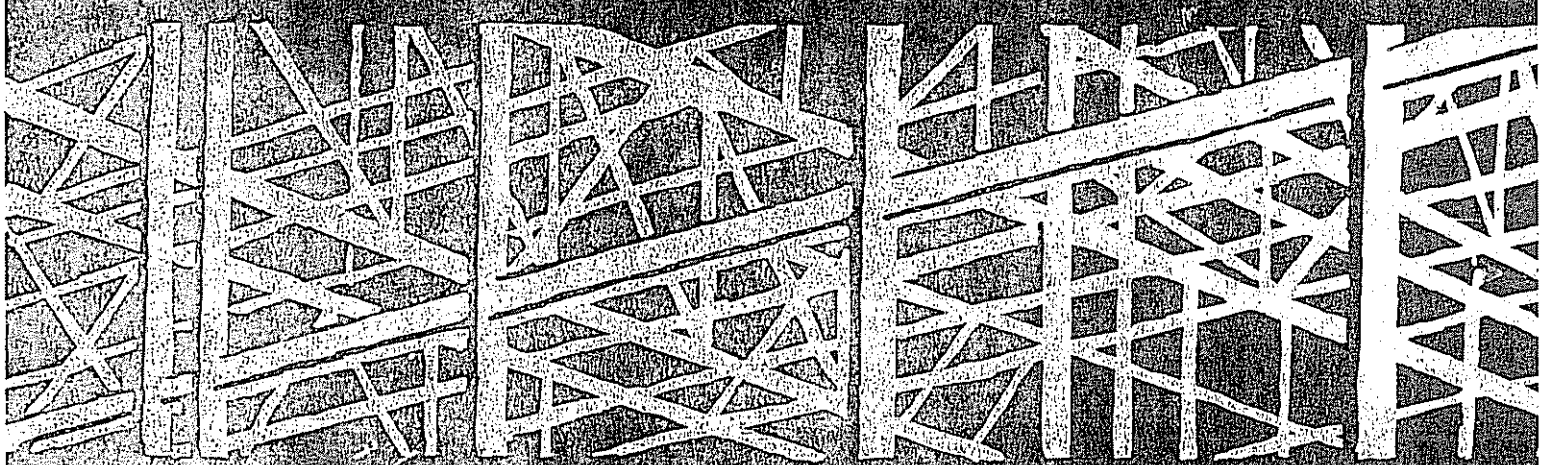
PUBLICACIONES ENSIDESA

MANUALES SOBRE LA CONSTRUCCION CON ACERO

BASES DE CALCULO

DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES



TOMO 0*

TABLA DE CONVERSION

Para convertir	En	Se multiplica por
Acre	Pie cuadrado	43 560,00
Acre	Metro cuadrado	4 047,00
Acre	Milla cuadrada	$1,562 \times 10^{-3}$
Acre	Yarda cuadrada	4 840,00
Acre-pie	Pie cúbico	43 560,00
Acre-pie	Galón	$3,259 \times 10^{5}$
Area	Yarda cuadrada	119,60
Area	Acre	0,02471
Area	Metro cuadrado	100,00
Atmósfera	Tonelada/pulgada²	0,007348
Atmósfera	cm de mercurio	76,00
Atmósfera	Pie de agua (a 4° C)	33,90
Atmósfera	Pulgada Hg (a 0° C)	29,92
Atmósfera	kg/cm²	1,0333
Atmósfera	kg/m²	10,332
Atmósfera	Libra/pulgada²	14,70
Atmósfera	Tonelada/pie²	1,058
Bar	Atmósfera	0,9869
Bar	Dina/centímetro²	10^{6}
Bar	kg/m²	$1,020 \times 10^{4}$
Bar	Libra/pie²	2 089
Bar	Libra/pulgada²	14,50
Barril (U. S. Liam.)	Galón	31,5
Barril (aceite)	Galón (aceite)	42,0
B. T. U.	Litro-atmósfera	10,409
B. T. U.	Ergio	$1,0550 \times 10^{10}$
B. T. U.	Pie-libra	778,3
B. T. U.	Gramo-caloría	252,0
B. T. U.	CV-hora	$3,931 \times 10^{-4}$
B. T. U.	Julio	1 054,8
B. T. U.	Kilogramo - caloría	0,2520
B. T. U.	Kilogramo - metro	107,5
B. T. U.	Kilovatio - hora	$2,928 \times 10^{-4}$
B. T. U./hora	Pie-libra/segundo	0.2162
B. T. U./hora	Gramo-caloría/seg	0,0700
B. T. U./hora	CV-hora	3.929×10^{-4}
B. T. U./hora	Vatio	0,2931
B. T. U./minuto	Pie-libra/seg	12,96
B. T. U./minuto	Caballo vapor	0.02356
B. T. U./minuto	Kilovatio	0,01757
B. T. U./minuto	Vatio	17,57
B. T. U./pie² min	Vatio/pulgada²	0,1221
Caballo vapor	B. T. U./minuto	42,44
Caballo vapor	Pie-libra/minuto	33 000,00
Caballo vapor	Pie-libra/segundo	550,00
Caballo vapor	Kilovatio	0,7457
Caballo vapor	Vatio	745,70
CV-hora	Ergio	2.6845×10^{13}
CV-hora	Pie-libra	$1,98 \times 10^{6}$
CV-hora	Julio	2.684×10^{6}
CV-hora	Kilocaloría	641.10
CV-hora	Kilogramo - metro	$2,737 \times 10^{5}$
CV-hora	Kilovatio - hora	0,7457
Centígrado	Fahrenheit	$(°C \times 9/5) + 32°$
Centigramo	Gramo	0,01
Centilitro	Pulgada cúbica	0,6103
Centilitro	Litro	0,01
Centímetro	Pie	$3,281 \times 10^{-2}$
Centímetro	Pulgada	0,3937
Centímetro	Kilómetro	10^{-5}
Centímetro	Metro	0,01
Centímetro	Milla	$6,214 \times 10^{-6}$
Centímetro	Yarda	$1,094 \times 10^{-2}$
Centímetro²	Pie cuadrado	$1,076 \times 10^{-3}$
Centímetro²	Pulgada cuadrada	0,1550
Centímetro²	Yarda cuadrada	$1,196 \times 10^{-4}$
Centímetro cúbico	Pie cúbico	$3,531 \times 10^{-5}$
Centímetro cúbico	Pulgada cúbica	0,06102
Centímetro cúbico	Yarda cúbica	$1,308 \times 10^{-6}$
Centímetro cúbico	Galones (U. S. Liq.)	$2,642 \times 10^{-4}$
Centímetro cúbico	Litro	0,001
Centímetro cúbico	Pinta (U. S. Liq.)	$2,113 \times 10^{-3}$
cm de mercurio	Atmósfera	0,01316
cm de mercurio	Pie de agua	0,4461
cm de mercurio	kg/m²	136,00
cm de mercurio	Libra/pie²	27,85
cm de mercurio	Libra/pulgada²	0,1934
Centímetro-dina	Centímetro - gramo	$1,020 \times 10^{-3}$
Centímetro-dina	Metro - kilogramo	$1,020 \times 10^{-8}$
Centímetro-dina	Libra - pie	$7,376 \times 10^{-8}$
Centímetro-gramo	Centímetro - dino	980,70
Centímetro-gramo	Metro - kilogramo	10^{-5}
Centímetro-gramo	Libra - pie	$7,233 \times 10^{-5}$
cm/segundo	Pie/minuto	1,1969
cm/segundo	Pie/segundo	0,03281
cm/segundo	Kilómetro/hora	0,036
cm/segundo	Nudo	0,1943
cm/segundo	Metro/minuto	0,6
cm/segundo	Milla/hora	0,02237
cm/segundo	Milla/minuto	$3,728 \times 10^{-4}$
Centímetro/seg²	Pie/seg²	0,03281
Centímetro/seg²	Km/hora/seg	0,036
Centímetro/seg²	Metro/segundo²	0,01
Centímetro/seg²	Milla/hora/seg	0,02237
Circunferencia	Radián	6,283
Cuadrante	Grado	90,0
Cuadrante	Minuto	5 400,0
Cuadrante	Radián	1,571
Cuadrante	Segundo	$3,24 \times 10^{5}$
Día	Segundo	86 400,0
Dina/cm²	Atmósfera	9.869×10^{-7}
Dina/cm²	Pulgada Hg a 0° C)	$2,953 \times 10^{-5}$
Dina/cm²	Pulgada agua (a 4° C)	$4,015 \times 10^{-4}$
Dina	Gramo	$1,020 \times 10^{-3}$
Dina	Julio/centímetro	10^{-7}
Dina	Julio/m (Newton)	10^{-5}
Dina	Kilogramo	$1,020 \times 10^{-6}$
Dina	Libra	$2,248 \times 10^{-6}$
Dina/cm²	Bar	10^{-6}
Ergio	B.T.U	9.480×10^{-11}
Ergio	Dina - centímetro	1,0

Para convertir	En	Se multiplica por
Ergio	Pie · libra	$7{,}367 \times 10^{-8}$
Ergio	Gramo · centímetro	$1{,}020 \times 10^{-3}$
Ergio	Caballo vapor-hora	$3{,}7250 \times 10^{-14}$
Ergio	Julio	10^{-7}
Ergio	Kilocaloría	$2{,}389 \times 10^{-11}$
Ergio	km · m	$1{,}020 \times 10^{-8}$
Ergio	Kilovatio-hora	$0{,}2778 \times 10^{-13}$
Ergio	Vatio · hora	$0{,}2778 \times 10^{-10}$
Ergio/segundo	B. T. U./minuto	$5\,688 \times 10^{-9}$
Ergio/segundo	Libra · pie/minuto	$4{,}427 \times 10^{-6}$
Ergio/segundo	Libra · pie/segundo	$7{,}3756 \times 10^{-8}$
Ergio/segundo	Caballo vapor	$1{,}341 \times 10^{-10}$
Ergio/segundo	Kilocaloría/minuto	$1{,}433 \times 10^{-9}$
Ergio/segundo	Kilovatio	10^{-10}
Fathom	Metro	1,828804
Fathom	Pie	6,0
Galón	Centímetro cúbico	3 785,0
Galón	Pie cúbico	0,1337
Galón	Pulgada cúbica	231,0
Galón	Metro cúbico	$3{,}785 \times 10^{-3}$
Galón	Yarda cúbica	$4{,}951 \times 10^{-3}$
Galón	Litro	3,785
Galón inglés	Galón (U. S.)	1,20095
Galón (U. S.)	Galón inglés	0,83267
Galón de agua	Libra de agua	8,3453
Galón/minuto	Pie cúbico/segundo	$2{,}228 \times 10^{-3}$
Galón/minuto	Litro/segundo	0,06308
Galón/minuto	Pie cúbico/hora	8,0208
Grado (ángulo)	Cuadrante	0,01111
Grado (ángulo)	Radián	0,01745
Grado (ángulo)	Segundo	3 600,0
Gramo	Dina	980,7
Gramo	Onza (AVDP)	0,03527
Gramo	Libra	$2{,}205 \times 10^{-3}$
Hectárea	Acre	2,471
Hectárea	Pie cuadrado	$1{,}076 \times 10^{5}$
Hora	Día	$4{,}167 \times 10^{-2}$
Hora	Semana	$5{,}952 \times 10^{-3}$
Julio	B. T. U.	$9{,}480 \times 10^{-4}$
Julio	Ergio	10^{7}
Julio	Pie · libra	0,7376
Julio	Kilocaloría	2.389×10^{-4}
Julio	Kilogramo · metro	0,1020
Julio/centímetro	Gramo	$1{,}020 \times 10^{3}$
Julio/centímetro	Dina	10^{7}
Julio/centímetro	Libra	22,48
Kilogramo	Dina	980 665
Kilogramo	Julio/centímetro	0,09807
Kilogramo	Julio/m (Newton)	9.807
Kilogramo	Libra	2,205
Kilogramo	Tonelada (larga)	$9{,}842 \times 10^{-4}$
Kilogramo	Tonelada (corta)	$1{,}102 \times 10^{-3}$
kg/cm²	Atmósfera	0,9678
kg/cm²	Pie de agua	32.81
kg/cm²	Pulgada de Hg	28,96
kg/cm²	Libra/pulgada²	14,22
Kilogramo/metro	Libra/pie	0,6720
Kilogramo · metro	B. T. U.	9.294×10^{-3}
Kilogramo · metro	Ergio	$9{,}804 \times 10^{7}$
Kilogramo · metro	Libra-pie	7,233
Kilogramo · metro	Julio	9.804
Kilogramo · metro	Kilovatio-hora	$2{,}723 \times 10^{-6}$
kg/m²	Atmósfera	$9{,}678 \times 10^{-5}$
kg/m²	Bar	$98{,}07 \times 10^{-6}$
kg/m²	Pie de agua	$3{,}281 \times 10^{-3}$
kg/m²	Pulgada de Hg	$2{,}896 \times 10^{-3}$
kg/m²	Libra/pie²	0,2048
kg/m²	Libra/pulgada²	$1{,}422 \times 10^{-3}$
kg/m³	Gramo/cm³	0,001
kg/m³	Libra/pie³	0,06243
kg/m³	Libra/pulgada³	3.613×10^{-5}
kg/mm²	Kilogramo/m²	10^{6}
Kilómetro	Pie	3 281.0
Kilómetro	Pulgada	3.937×10^{4}
Kilómetro	Metro	1 000,0
Kilómetro	Milla	0,6214
Kilómetro	Yarda	1 094,0
Kilómetro²	Acre	247,1
Kilómetro/hora	cm/segundo	27,78
Kilómetro/hora	Pie/minuto	54,68
Kilómetro/hora	Pie/segundo	0.9113
Kilómetro/hora	Nudo	0,5396
Kilómetro/hora	Metro/minuto	16,67
Kilómetro/hora	Milla/hora	0,6214
Kilovatio	B. T. U./minuto	56.92
Kilovatio	Libra · pie/minuto	$4{,}426 \times 10^{4}$
Kilovatio	Libra · pie/segundo	737,6
Kilovatio	Caballo vapor	1,341
Kilovatio-hora	B. T. U.	3 413.0
Kilovatio-hora	Ergio	$3{,}600 \times 10^{13}$
Kilovatio-hora	Libra · pie	$2{,}655 \times 10^{6}$
Kilovatio-hora	Julio	3.6×10^{6}
Kilovatio-hora	Kilogramo · metro	3.671×10^{5}
Kips	Libra	1 000.0
Libra	Dina	44.4823×10^{4}
Libra	Julio/centímetro	0,04448
Libra	Julio/m (Newton)	4.448
Libra	Kilogramo	0,4536
Libra/pie	Kilogramo/metro	1.488
Libra/pie²	Atmósfera	4.725×10^{-4}
Libra/pie²	Pie de agua	0.01602
Libra/pie²	Libra/pulgada²	6.944×10^{-3}
Libra/pie³ cúbico	Gramo/centímetro³	0,01602
Libra/pie cúbico	Kilogramo/metro³	16,02
Libra/pie cúbico	Libra/pulgada³	$5{,}787 \times 10^{-4}$
Libra-pie	Dina · centímetro	1.356×10^{7}
Libra-pie	Gramos · centímetro	13 825,0
Libra-pie	Kilogramo · metro	0.1383

(Continúa en las guardas finales)

BASES DE CALCULO

DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TOMO 0*

INTRODUCCION A LA SEGUNDA EDICION

Agotada la primera edición del Tomo II del Prontuario ENSIDESA. en esta segunda se han actualizado los datos estadísticos y puesto al día las características de los aceros de acuerdo con las últimas revisiones de las normas

Como ya se indicaba en el Tomo 1. en la presentación de las PUBLICACIONES ENSIDESA. las directrices fijadas en el EUROCODIGO 3 «Diseño de estructuras de acero». servirán como guía para el contenido del presente tomo

Precisamente el motivo de haber denominado Tomo 0 a esta edición se debe a que el contenido de sus capítulos se integrará en diversos tomos de las PUBLICACIONES ENSIDESA. basados en el EUROCODIGO 3. con lo que la presente obra quedará absorbida en dichas publicaciones.

Una vez más queremos agradecer el interés mostrado por nuestros Manuales sobre la Construcción con Acero e invitar a que nos envíen cuantas sugerencias consideren oportunas para la mejora de los mismos (1)

(1) Rogamos sean dirigidas a ENSIDESA. Dirección Asistencia a Proyectos. Velázquez. 134 bis. 28006 MADRID

Indice

TOMO 0*

1. GENERALIDADES SOBRE LA CONSTRUCCION METALICA

1.1. La construcción metálica en España

1.2. Normativa y disposiciones sobre la construcción metálica.

1.3. Materiales

1.4 Criterios prácticos del proyecto.

Apéndice. Normas UNE relacionadas con los materiales y ejecución de las estructuras metálicas.

2. BASES DE CALCULO

2.1. Acciones y cargas.

2.2. Valores característicos de las cargas.

2.3. Métodos de cálculo.

2.4. Comprobación de estados límites

2.5 El acero de construcción.

Apéndice I Norma MV-101 - 1962. Acciones en la edificación Ministerio de la Vivienda Madrid, 1963.

Apéndice II Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Ministerio de Obras Públicas. Madrid, 1972.

Apéndice III Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril Ministerio de Obras Públicas. Madrid, 1975.

3. PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESION

3.1. Clases de piezas.

3.2. Espesores mínimos de las piezas comprimidas.

3.3. Piezas simples de directriz recta sometidas a compresión.

3.4. Pandeo de arcos.
3.5. Pandeo espacial.
3.6. Compresión excéntrica.
3.7. Piezas compuestas de directriz recta sometidas a compresión.

Tablas

3.8. Magnitudes características de la torsión.
3.9. Solicitación de agotamiento Perfiles sometidos a compresión centrada. Solicitación de agotamiento N*.
Apéndice I. Longitud de pandeo en pórticos con pilares de sección variable por escalones.

4. PIEZAS SOMETIDAS A TRACCION

4.1. Clases de piezas
4.2. Piezas sometidas a tracción centrada.
4.3 Piezas solicitadas a tracción excéntrica.
4.4. Solicitación de agotamiento a tracción para perfiles laminados.

5 PIEZAS SOMETIDAS A FLEXION

5.1. Diferentes tipos de flexión de piezas prismáticas.
5.2. Vigas de alma llena.
5.3. Vigas de celosía
5.4. Vigas aligeradas.
5.5. Vigas carril de puente grúa.
5.6. Tablas para el dimensionamiento de perfiles laminados a flexión simple.
Apéndice I. Torsión de piezas prismáticas.
Apéndice II. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases específicas para su cálculo (Borrador de propuesta de norma.)

TOMO 0**

6. UNIONES ROBLONADAS Y ATORNILLADAS

6.1. Elementos de unión.
6.2. Resistencia de los elementos de unión.
6.3. Valores de las solicitaciones de agotamiento de los elementos de unión.

6 4 Solicitaciones de agotamiento de los elementos de unión. Tablas y ábacos.
6 5. Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión que forman un conjunto
6 6 Uniones de vigas.
6.7 Empalmes en vigas y pilares.
Apéndice I. Longitud de vástago. Longitud de apretura. Peso de los tornillos.
Apéndice II. Resistencia de vigas con despalmillado de una o dos alas.
Apéndice III Cubrejuntas normalizados para uniones y empalmes.

7. UNIONES SOLDADAS

7 1. Procedimientos de soldeo.
7.2. El proceso de soldeo
7 3. Clasificación, representación y calidad de las soldaduras.
7.4. Control de calidad y defectos de las soldaduras
7.5. Resistencia de las soldaduras.
7.6 Resistencia de un conjunto de cordones de soldadura.
7 7. Uniones soldadas

8 APOYOS Y APARATOS DE APOYO

8 1. Clasificación de los apoyos.
8.2 Apoyos de vigas
8.3 Bases de columnas
8 4. Apoyos de puentes.
8 5. Apoyos elastoméricos.
Apéndice. Norma Básica MV-103 Capítulo IX. Aparatos de apoyo.

Tomo 0*

Indice

1. GENERALIDADES SOBRE LA CONSTRUCCION METALICA 1

1.1. La construcción metálica en España 3

1.1 1. Historia 3

1 1 2 Situación actual 3

1.1 3. Situación comparativa respecto a otros países 5

1.2. Normativa y disposiciones sobre la construcción metálica 7

1.2 1. Normas UNE 7

1 2 2. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo 9

1.2 3. Ministerio de Industria 11

1.3. Materiales 11

1 3 1. Aceros 16

1.3 2. Productos laminados 18

1 3 3. Medios de unión 21

1.4. Criterios prácticos del proyecto 21

Apéndice Normas UNE relacionadas con los materiales y ejecución de las estructuras metálicas 23

2. BASES DE CALCULO 27

2.1. Acciones y cargos 29

2.2. Valores característicos de las cargas 29

2.2.1. Cargas y sobrecargas en la edificación 30

2.2.2. Cargas y sobrecargas en puentes de carretera 30

2.2.3. Cargas y sobrecargas en puentes de ferrocarril 30

2.3. Métodos de cálculo 31

2.3.1. Estados límites 32

2.3.2. Método de los estados límites 33

2.3.3. Acciones ponderadas 35

2.3.4. Solicitaciones 37

2.4. Comprobación de estados límites 37

2.4.1. Comprobación de los estados límites últimos 37

2.4.2. Estado límite de rotura. Rotura frágil y rotura dúctil 39

2.4.3. Rotura dúctil. Condición de agotamiento según la MV-103 40

2.4.4. Rotura frágil. Factores determinantes 41

2.4.4.1. Influencia de la temperatura. Temperatura de transición 43

2.4.4.2. Concentración de tensiones y efecto entalla 43

2.4.4.3. Calidad del acero 45

2.4.4.4. La energía de rotura. Resiliencia 47

2.4.4.5. Elección del tipo de acero en función de su susceptibilidad a la rotura frágil 50

2.4.5. Rotura por fatiga 50

2.4.5.1. Ensayos de fatiga 51

2.4.5.2. Factores que influyen en la resistencia a la fatiga 55

2.4.5.3. Proyecto y dimensionamiento a la fatiga 57

2.4.5.4. Tensión admisible máxima de fatiga 69

2.4.6. Estados límites de servicio 71

2.5. El acero de construcción 71

2.5.1. Características mecánicas y químicas 75

2.5.2. Resistencia de cálculo del acero 85

Apéndice I. Norma MV-101-1962. Acciones en la edificación. Ministerio de la Vivienda. Madrid, 1963 ... 87

Apéndice II Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Ministerio de Obras Públicas. Madrid, 1972 ... 125

Apéndice III Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril. Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 1975 ... 151

3. PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESION ... 183

3.1. Clases de piezas ... 185

3.2. Espesores mínimos de las piezas comprimidas ... 189

3.3. Piezas simples de directriz recta sometidas a compresión ... 191

3.3 1 Piezas de sección constante. Longitud y coeficiente de pandeo ... 193

3.3 1 1. Piezas de sección constante con extremos empotrados elásticamente ... 195

3.3 1 2. Estructuras trianguladas ... 199

3.3 1 3. Cordones comprimidos no arriostrados de vigas de celosía ... 199

3.3 1 4. Estructuras porticadas ... 207

3.3 1 5. Pilares de edificios ... 209

3.3 1 6. Pandeo de piezas sometidas a varias fuerzas de compresión ... 213

3.3 1 7. Piezas de sección constante, sometidas a compresión variable por efecto de cargas axiales repartidas a lo largo de la directriz ... 221

3.3 2. Piezas de sección variable ... 223

3.3 2 1. Piezas con cambio brusco de inercia, sometidas a compresión constante ... 223

3.3 2 2. Piezas de momento de inercia variable, sometidas a compresión por fuerzas aisladas a distintos niveles ... 225

3.3 2 3. Piezas con variación gradual de inercia, sometidas a compresión constante ... 227

3.3 2 4. Piezas biarticuladas, de sección variable, sometidas a compresión constante ... 227

3.4. Pandeo de arcos ... 229

3.4 1 Arco circular de inercia constante, comprimido radialmente ... 229

3.4 2 Arcos cargados con fuerzas verticales ... 231
3.4 3 Fórmulas aproximadas de la DIN 4114 ... 233

3.5. Pandeo espacial ... 235
3.5 1. Pandeo por torsión pura de barras comprimidas axilmente ... 239
3.5 2. Pandeo por flexión y torsión de barras comprimidas axilmente ... 241

3.6. Compresión excéntrica ... 255
3 6 1. Piezas sin posibilidad de pandeo ... 255
3.6 2. Piezas de sección de simetría sencilla y con la fuerza de compresión contenida en el plano de simetría ... 257
3.6 2 1. Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al de simetría ... 257
3.6 2 2. Con posibilidad de pandeo en cualquier plano ... 259
3.6 3. Piezas de sección con doble simetría, solicitadas por una fuerza de compresión contenida en uno de los planos de simetría ... 263
3.6 3 1. Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al que contiene la fuerza de compresión. 263
3.6 3 2. Con posibilidad de pandeo en cualquier plano ... 263
3.6 4 Piezas de sección con doble simetría, solicitadas por una fuerza de compresión no contenida en un plano de simetría ... 265
3.6 4 1. Sin posibilidad de pandeo en uno de los planos de simetría ... 265
3.6 4 2. Con posibilidad de pandeo en cualquier plano ... 265
3.6 5. Caso general ... 269

3.7. Piezas compuestas de directriz recta sometidas a compresión ... 269

TABLAS

3.8. Magnitudes características de la torsión ... 285
3.8 1. Un perfil IPN ... 286
3.8 2. Un perfil IPE ... 290
3.8 3. Un perfil HEB ... 294
3.8 4. Un perfil HEA ... 298
3.8 5. Un perfil HEM ... 302

3.9. **Solicitación de agotamiento. Perfiles sometidos a compresión centrada.**
Solicitación de agotamiento N* 307

		A 37	A 42	A 52
 3 9 1	Un perfil IPN	310	396	482
 3 9 2	Dos perfiles IPN soldados	312	398	484
 3 9 3	Dos perfiles IPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)	314	400	486
 3 9 4	Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes	316	402	488
 3 9 5	Dos perfiles IPN en cruz	320	406	492
3 9 6	Medio perfil IPN	322	408	494
 3 9 7	Dos medios perfiles IPN	324	410	496
 3 9 8	Un perfil IPE	326	412	498
 3 9 9	Un perfil IPE con dos platabandas soldadas	328	414	500
 3 9 10	Dos perfiles IPE soldados	330	416	502
 3 9 11	Dos perfiles IPE empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)	332	418	504
 3 9 12	Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes	334	420	506
 3 9 13	Dos perfiles IPE en cruz	338	424	510
 3 9 14	Conjunto de tres perfiles IPE	340	426	512
 3 9 15	Medio perfil IPE	344	430	516
3 9 16	Dos medios perfiles IPE	346	432	518
 3 9 17	Un perfil HEB	348	434	520
 3 9 18	Un perfil HEB con dos platabandas soldadas	350	436	522
 3 9 19	Medio perfil HEB	352	438	524
 3 9 20	Dos medios perfiles HEB	354	440	526
 3 9 21	Un perfil HEA	356	442	528
 3 9 22	Un perfil HEA con dos platabandas soldadas	358	444	530
 3 9 23	Medio perfil HEA	360	446	532
 3 9 24	Dos medios perfiles HEA	362	448	534
 3 9 25	Un perfil HEM	364	450	536
 3 9 26	Un perfil HEM con dos platabandas soldadas	366	452	538
 3 9 27	Medio perfil HEM	368	454	540
 3 9 28	Dos medios perfiles HEM	370	456	542
 3 9 29	Un perfil PCS (h = b)	372	458	544

		A 37	A 42	A 52
3.9.30.	Un perfil UPN	374	460	546
3.9.31.	Dos perfiles UPN	376	462	548
3.9.32.	Dos perfiles UPN con distintas separaciones entre almas	378	464	550
3.9.33.	Dos perfiles UPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)	380	466	552
3.9.34.	Dos perfiles UPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes	382	468	554
3.9.35	Dos perfiles UPN con dos platabandas soldadas ($\lambda_x \approx \lambda_y$)	384	470	556
3.9.36.	Un perfil L	386	472	558
3.9.37.	Dos perfiles L con distintas separaciones	388	474	560
3.9.38.	Dos perfiles L con distintas separaciones	390	476	562
3.9.39.	Un perfil T	392	478	564
3.9.40.	Dos perfiles T	394	480	566

Apéndice I. Longitud de pandeo en pórticos con pilares de sección variable por escalones... 569

4. PIEZAS SOMETIDAS A TRACCION ... 579

4.1. Clases de piezas ... 581

4.1.1. Redondos y pletinas ... 581

4.1.2. Perfiles simples ... 583

4.1.3. Piezas compuestas de varios perfiles ... 585

4.1.4. Piezas compuestas ... 585

4.1.5. Clases de piezas según la Norma Básica MV-103 ... 587

4.2. Piezas sometidas a tracción centrada ... 587

4.2.1. Concentración de tensiones ... 589

4.2.1.1. Sección neta de una pieza ... 593

4.2.2. Cálculo de las piezas sometidas a tracción centrada ... 595

4.3. Piezas solicitadas a tracción excéntrica ... 597

4.3.1. Cálculo según la Norma Básica MV-103 de las piezas solicitadas a tracción excéntrica ... 601

4.4. Solicitación de agotamiento a tracción para perfiles laminados ... 603

5. PIEZAS SOMETIDAS A FLEXION 619

5.1. Diferentes tipos de flexión de piezas prismáticas 621

5 1 1. Centro de esfuerzos cortantes 621

5.1 2. Flexión coaccionada 625

5.1 3 Flexión con torsión 629

5.2. Vigas de alma llena 629

5 2 1 Perfiles laminados 631

5 2 2. Perfiles laminados con platabandas 633

5 2 3. Vigas múltiples 635

5 2 4. Vigas armadas 635

5 2 4 1 Tipos de secciones 635

5 2 4 2 Vigas de alma llena soldadas 637

5 2 4 3. Las vigas armadas según la MV-103 643

5 2 5 Cálculo de tensiones 645

5 2 5 1 Flexión simple de perfiles laminados 647

Abacos para el dimensionado 649

5.2 5 2 Cálculo de platabandas 649

5 2 6. Flechas 657

5.2 7 Pandeo lateral 659

5 2 7 1. Pandeo lateral en el dominio elástico 659

5 2 7 2. El pandeo lateral según la Norma Básica MV-103 665

5 2 7 3. Comprobación del pandeo lateral en el caso de perfiles laminados 669

5 2 8. Abollamiento del alma en las vigas de alma llena 681

5.2 8 1. Planteamiento teórico 681

5 2 8 2. El fenómeno experimental. Resistencia pos-abollamiento 683

5 2 8 3. Método de cálculo convencional 685

5 2 8 4. Abollamiento del alma de las vigas de alma llena. según la Norma Básica MV-103 687

5 2 8 4 1 Limites de espesores 694

5 2 8 4 2. Constantes de abollamiento y coeficientes de seguridad 694

5 2 8 4 3. Tensión de comparación ideal en el caso de solicitaciones compuestas 695

5 2 8 4 4. Abollamiento fuera del campo elástico 705

5 2 8 4 5 Rigidizadores. Concepto de rigidizador ultrarrígido 705

5.2 9 Ancho eficaz de las alas en las vigas de alma llena . . . 709

5.3. Vigas de celosía . . . 713

5.3 1 Tipos de vigas de celosía . . . 717

5 3 2 Cálculo de las vigas de celosía . . . 719

5 3 2 1. Vigas de celosía isostáticas . . . 721

5.3 2 2. Método Cremona, o de las figuras recíprocas . . . 721

5.3 2 3. Métodos algebraicos . . . 721

5.3 2 4. Vigas en cruz de San Andrés . . . 725

5.3 3 Deformaciones de las vigas de celosía . . . 725

5.3 3 1 Diagrama de WILLIOT . . . 725

5 3 3 2 Principio de los trabajos virtuales . . . 727

5.3 3 3. Método aproximado . . . 733

5.3 4 Particularidades constructivas . . . 733

5.4. Vigas aligeradas . . . 733

5 4 1. Cálculo del cordón . . . 737

5.4 1 1. Acción del momento flector aisladamente . . . 737

5.4 1 2. Acción del esfuerzo cortante aisladamente . . . 737

5.4 1 3. Acción combinada del momento flector y del esfuerzo cortante . . . 739

5.4 2. Cálculo del montante . . . 743

5.4 2 1. Comprobación de la cortadura . . . 743

5.4 2 2. Comprobación a la flexión . . . 744

5.4 2 3. Comprobación de inestabilidad . . . 744

5.4 3. Cálculo de flechas . . . 745

5.4 3 1. Flecha debida al momento flector . . . 745

5.4 3 2. Flecha debida al esfuerzo cortante . . . 745

5.4 4. Aplicación de las fórmulas anteriores a las series de vigas aligeradas, recogidas en el Prontuario, Tomo I . . . 747

5.5. Vigas carril de puente grúa . . . 753

5 5 1. Sección transversal . . . 753

5 5 2. Sistema estático . . . 755

5.5 2 1. Esfuerzos locales . . . 759

5 5 3. Disposición de los apoyos 761
5 5 4 Bases para el cálculo 763

5.6. Tablas para el dimensionamiento de perfiles laminados a flexión simple . 763

5 6 1. Solicitaciones simples en perfiles laminados. Casos más frecuentes 765
5 6 1 1 Cargas máximas 765
5 6 1 2 Cálculo de las flechas 765
5 6 1 3. Clase de acero 767
5 6 2. Solicitaciones compuestas en perfiles laminados. Dimensionamiento por asimilación al caso de sobrecarga uniforme 937
5 6 2 1 Equivalencia de sistemas de cargas 937
5 6 2 2. Uso del método en el caso de solicitaciones combinadas 939

Apéndice I. Torsión de piezas prismáticas 947

Apéndice II. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases específicas para su cálculo. (Borrador de propuesta de norma) 965

1. Generalidades sobre la construcción metálica

1.1. La construcción metálica en España

1.2. Normativa y disposiciones sobre la construcción metálica

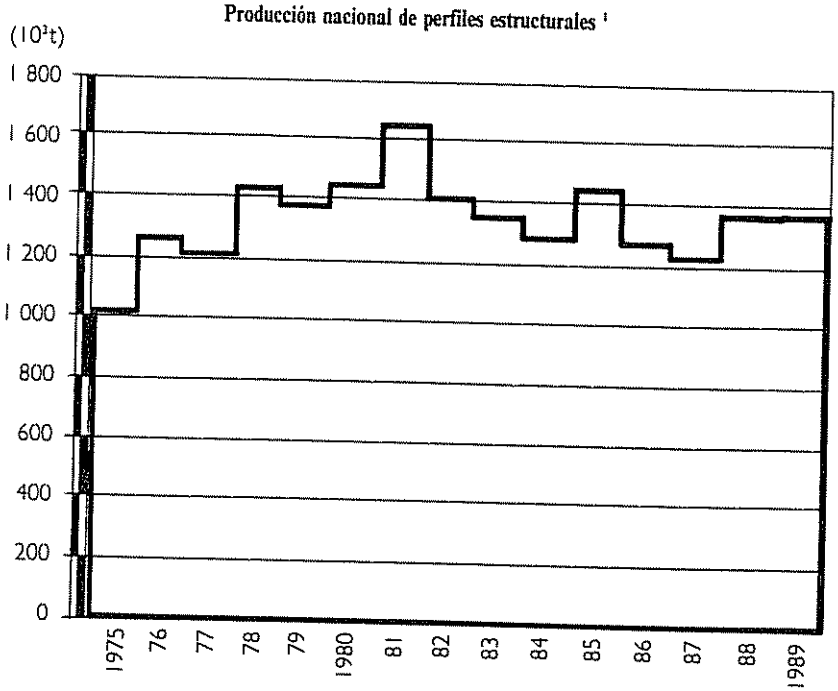
1.3. Materiales

1.4. Criterios prácticos del proyecto

Apéndice. Normas UNE relacionadas con los materiales y ejecución de las estructuras metálicas

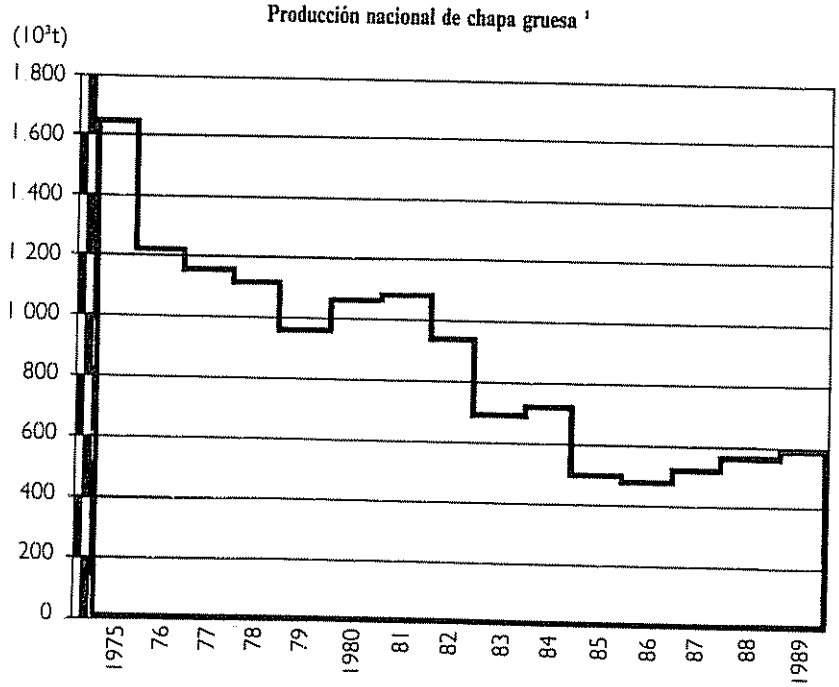
generalidades sobre la construcción metálica

Producción nacional de perfiles estructurales [1]



[1.1]

Producción nacional de chapa gruesa [1]



[1.2]

[1] Según definiciones CECA

1 GENERALIDADES SOBRE LA CONSTRUCCION METALICA

1.1 LA CONSTRUCCION METALICA EN ESPAÑA

1.1.1 Historia

El desarrollo de la construcción metálica en España guarda estrecho paralelismo con la disponibilidad de los materiales utilizados en la misma, así como del crecimiento inmobiliario e industrial del país

La producción de estructuras metálicas a gran escala es un fenómeno relativamente reciente Hasta finales de la década de los 50 el principal mercado de la estructura metálica estaba constituido por la edificación en altura y los volúmenes de producción eran sumamente cortos

Es precisamente en esta década, coincidiendo con las medidas de estabilización económica y el ajuste de la paridad monetaria, cuya repercusión en el desarrollo industrial era objeto de indudables expectativas, cuando el Estado español, a través del Instituto Nacional de Industria, constituyó la Empresa Nacional Siderúrgica La creación de ENSIDESA obedeció, pues, a asegurar una oferta suficiente de materiales siderúrgicos que posibilitasen el desarrollo industrial del país

A mediados de 1960 entró en funcionamiento el tren estructural de la factoría de ENSIDESA en Avilés, al que se unieron posteriormente diversas ampliaciones de otras factorías, y así, en 1973 se ponía en marcha el tren universal de perfiles de la factoría de ENSIDESA en Veriña En [1.1] se representa la variación de la producción nacional de perfiles estructurales

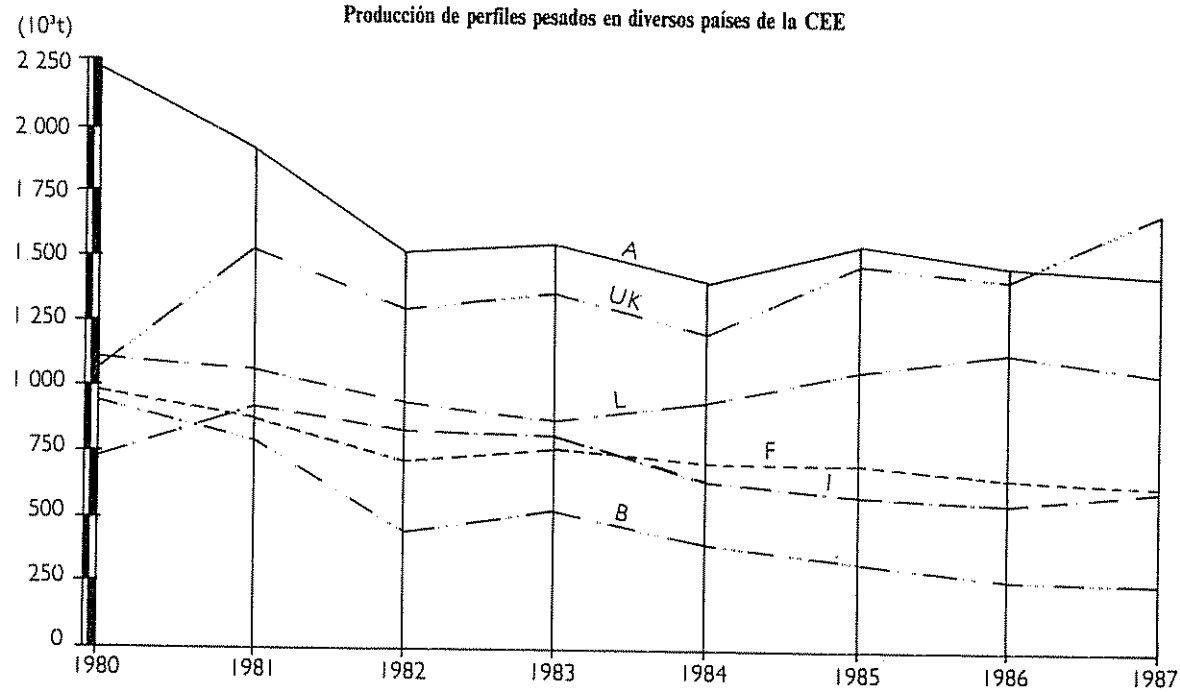
Con respecto a la producción de chapa gruesa [1.2], el único tren que fabrica este producto en España es el de la factoría de ENSIDESA en Veriña

Comparativamente en [1.3] y [1.4] se indican las producciones de perfiles pesados y de chapa gruesa en los principales países de la CEE

1.1.2 Situación actual

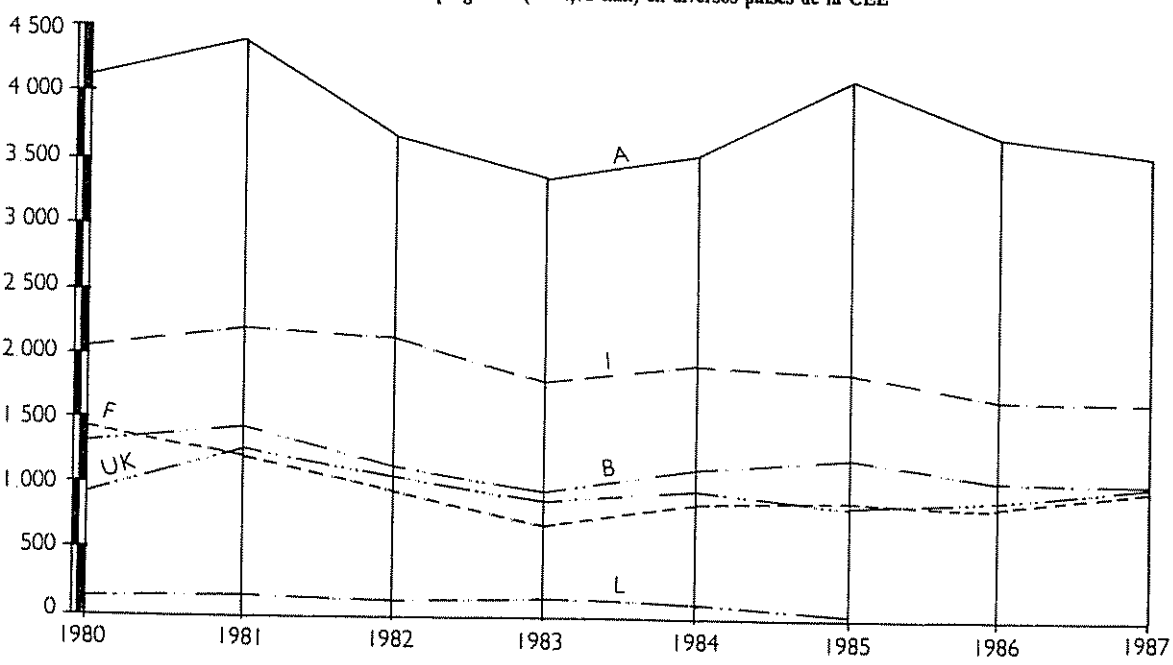
La producción de estructuras metálicas ha seguido caminos sensiblemente paralelos a los de los materiales que consume No obstante, el desglose del mercado de estruc-

Producción de perfiles pesados en diversos países de la CEE



[1.3]

Producción de chapa gruesa (> 4,75 mm) en diversos países de la CEE



[1.4]

A = Alemania
F = Francia
I = Italia
B = Bélgica
L = Luxemburgo
UK = Reino Unido

turas metálicas ha evolucionado profundamente en la última década Así, hace unos años, el principal capítulo estaba constituido por la edificación en altura, mientras que hoy, tal como se observa en [1 5], adquiere importancia decisiva el capítulo de las naves industriales y cubiertas, así como también las estructuras para los grandes bienes de equipo (estructuras para centrales térmicas y nucleares, soportes de hornos y de silos, etc)

Como cifras estimativas se señala que en 1988 el sector de estructuras metálicas supuso:

Producción total	302 000 t
Cifra de facturación	65 900 millones de pesetas
Personal empleado	31 800 operarios

Existen en nuestro país del orden de 500 empresas que abordan la actividad de las estructuras metálicas, aun cuando no sobrepasan de 100 aquellas que pueden acreditar medios técnicos y financieros de cierta consideración

La localización geográfica de las empresas más importantes queda reflejada en [1 6], donde se observa que son precisamente las provincias más desarrolladas las que cuentan con un mayor número de empresas dedicadas a esta actividad

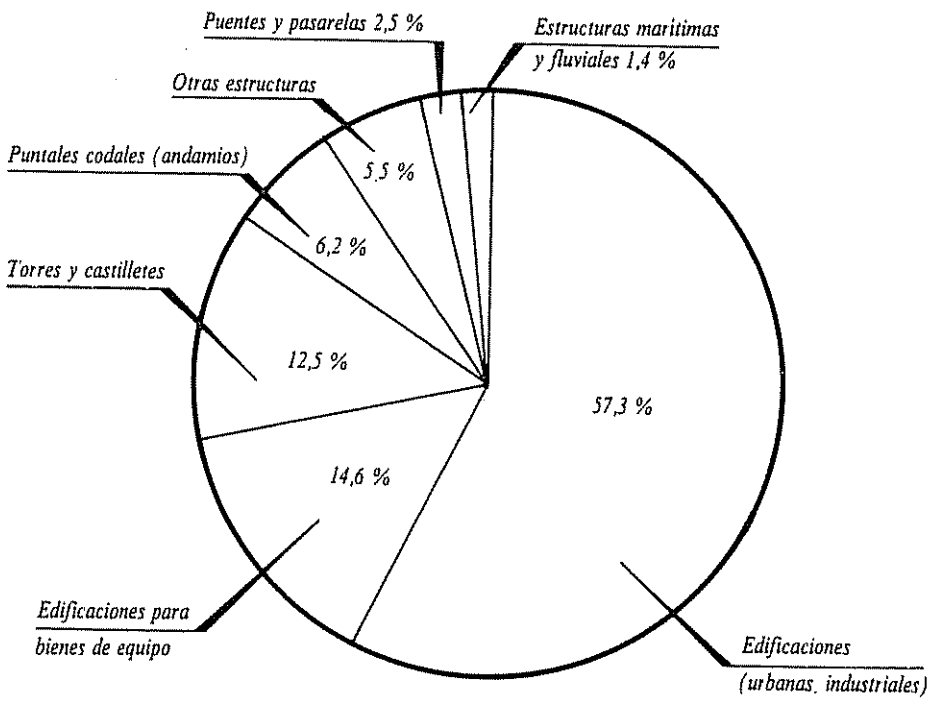
1 1 3 Situación comparativa respecto a otros países

Es interesante destacar que en la producción de estructuras «per capita» España ocupe una situación de privilegio que tiene justificación en el hecho de que una parte notable de la infraestructura industrial, así como del desarrollo inmobiliario y de obras civiles, se ha realizado en los últimos años o se está efectuando actualmente

Sin embargo, aunque la situación global del consumo respecto a otros países es satisfactoria, no se puede afirmar lo mismo sobre la situación del sector de la construcción metálica En España existe un excesivo número de empresas, y, además, el grado de concentración de la producción es notablemente inferior a los existentes en el exterior

Es, asimismo, notable la pequeña dimensión que, en comparación con Europa, tienen las empresas españolas de primera fila Así, en el exterior existen empresas constructoras con volúmenes anuales de producción del orden de 40 000 a 80 000 t, e inclusive algunas rebasan las 120 000 t, en tanto que las empresas nacionales más gigantescas tienen una producción de 12 000 a 20 000 t

Desglose del mercado de estructuras metálicas en 1988



[1.5]

El grado de concentración de la producción en distintos países, en función de los parámetros característicos

$P_t = \frac{\text{Producción total}}{\text{Número de fábricas}}$ y $P_{t/2} = \frac{50\ \%\ \text{producción total}}{\text{Número de fábricas}}$, se refleja en el cuadro

que se inserta a continuación:

PAISES	P_t	$P_{t/2}$
ALEMANIA	1 900	16 600
AUSTRIA	4 700	27 000
BELGICA	1 400	14 500
ESPAÑA	1 200	6 600
FRANCIA	2 300	14 300
GRAN BRETAÑA	1 800	23 100
ITALIA	1 400	25 100
SUIZA	1 600	11 700

1.2. NORMATIVA Y DISPOSICIONES SOBRE LA CONSTRUCCION METALICA

1.2.1 Normas UNE

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) produce las Normas UNE. Dentro de la normativa UNE interesa esencialmente la perteneciente a las siguientes Comisiones Técnicas de Trabajo:

CTT 7 «Ensayos» Esta Comisión está dedicada a la elaboración de normas de ensayos de materiales entre los que se cuentan los productos siderúrgicos.

CTT 14 «Soldadura». Esta Comisión elabora normas UNE relacionadas con los materiales de aportación, ejecución de las soldaduras, ensayos destructivos y no destructivos, cálculo de las soldaduras. etc

CTT 36 «Siderurgia» Esta Comisión elabora las normas de aceros y de dimensiones y tolerancias de los productos siderúrgicos

generalidades sobre la construcción metálica

Localización de las principales empresas constructoras



[1.6]

CTT 76 «Estructuras metálicas» Esta Comisión de recientísima creación elabora la normativa relacionada con las estructuras metálicas

En el Apéndice I de este capítulo se recoge una lista de las normas UNE relacionadas con las estructuras metálicas

1 2 2 Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

El Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, que absorbió al antiguo Ministerio de la Vivienda, regula. mediante una serie de disposiciones preceptivas, el uso de las estructuras metálicas en el ámbito de su esfera administrativa; es decir, la edificación. Estas disposiciones, de obligatoria observancia, son las siguientes Normas Básicas de la Edificación, NBE, antiguas MV:

NBE-101 (MV-101) «Acciones en la edificación»
NBE-102 (MV-102) «Acero laminado para estructuras de edificación»
NBE-103 (MV-103) «Cálculo de las estructuras de acero laminado en la edificación»
NBE-104 (MV-104) «Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación».
NBE-105 (MV-105) «Roblones de acero»
NBE-106 (MV-106) «Tornillos ordinarios y calibrados para estructuras de acero»
NBE-107 (MV-107) «Tornillos de alta resistencia para estructuras de acero»

También existe el «Pliego de Condiciones Técnicas» de la Dirección General de Arquitectura, obligatorio en las obras dependientes de dicho Organismo

Se citan, por ultimo, las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) que recogen determinados criterios y soluciones técnicas y cuyo uso no es obligatorio, salvo que expresamente esté así indicado en los Pliegos de Condiciones de los proyectos de las obras

El Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo tiene una disposición sobre puentes metálicos, titulada: «Instrucción para el cálculo de los tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en los de hormigón armado »

Además de esta Instrucción existe el «Pliego de Condiciones Técnicas» de la Dirección General de Carreteras. en donde se trata de las obras metálicas

generalidades sobre la construcción metálica

Clasificación de los trabajos.

Grupo	Puentes	Edificios	Naves y cubiertas	Elementos hidráulicos	Obras de reforma o refuerzo
A	←	Sin limitaciones			→
B	L ⩽ 50 m	h ⩽ 25 plantas	L ⩽ 50 m	Sí	Sí
C	Pasarelas	h ⩽ 15 plantas	L ⩽ 25 m (sin puentes-grúa) L ⩽ 20 m (con puentes-grúa de hasta 10 t y suma total de 25 t máximo)	Sí excepto grandes presas	Sí
D	—	h ⩽ 5 plantas	L ⩽ 10 m	—	Sí

a

Clasificación de empresas de estructuras metálicas.
(Según Decreto 3.291/1974 del Ministerio de Industria)

— Oficina técnica.
— Equipos de control no destructivo (propios o subcontratados).
— Soldadores homologados.

Grupo	Técnicos titulados	Potencia instalada kVA	Inversión maquinaria de taller millones de pesetas	Superficie cubierta m²
A	10	500	15	4 000
B	5	250	10	2 000
C	1	150	3	1 000
D	—	—	—	—

b

[1.7]

1 2 3 Ministerio de Industria

Por el Decreto 3 291/1974 el Ministerio de Industria ha ordenado el sector de la construcción metálica estableciendo una clasificación obligatoria para todas aquellas empresas que operan en dicho campo

El Decreto 3 291/1974 exige a las empresas determinados requisitos mínimos, tales como disponer de oficina técnica y de medios de control de ejecución propios o subcontratados Asimismo, se requiere la homologación obligatoria de todos aquellos operarios que realizan labores de soldeo

El Decreto establece una clasificación de las empresas en cuatro Grupos (A, B. C y D), en función de su capacidad técnica y de fabricación, y se señalan los trabajos a realizar por cada Grupo Estas limitaciones de los trabajos tienen carácter obligatorio para las obras de la Administración y carácter indicativo y aconsejable para las obras privadas [1 7]

En la clasificación de empresas dedicadas a la construcción metálica, España ha seguido medidas paralelas realizadas en otros países europeos (DIN 8 573 en Alemania y el «Organismo profesional de calificación y clasificación de la edificación y sus actividades anexas». en Francia)

1 3 MATERIALES

Los aceros laminados son. dentro del grupo de los productos industriales, aquellos cuyo proceso de fabricación está sometido a los controles más exhaustivos y rigurosos Dichos controles empiezan en las primeras materias (minerales de hierro. hulla coquizable y chatarra) y abarcan los procesos de sinterización, obtención del arrabio en el horno alto, obtención del acero y, por último. de laminación

El rápido progreso de la industria siderúrgica nacional. a lo largo de los últimos diez años. ha dado lugar a un favorable reparto entre los diversos procesos de obtención de los aceros Estos son:

AÑO 1989		
Proceso de obtención	Miles de t	Porcentaje
Soplado con oxígeno Horno eléctrico	5 617 7 180	43.9 56 1
TOTAL	12 797	100.0

Correspondencia UNE 36080-73	Designación		Límite elástico R_e mín en MPa [1] Espesor en mm						Resistencia a la tracción R_m en MPa Espesor en mm			Orientación de la probeta [2]	
	Numérica	Simbólica	⩽ 16	> 16 ⩽ 40	> 40 ⩽ 63	> 63 ⩽ 80	> 80 ⩽ 100	> 100 ⩽ 150	< 3	⩾ 3 ⩽ 100	> 100 ⩽ 150		
A 33-0	F 6200	A 310-0 [3]	185	175	—	—	—	—	310-540	290-510	—	x y	
A 37-b A 37-b A 37-b A 37-c A 37-d	F 6201 F 6202 F 6202 F 6203 F 6204	AE 235-B [3] AE 235-B [3] AE 235-B AE 235-C AE 235-D	235	225	215	215	215	195	360-510	340-470	340-470	x y	
A 44-b A 44-c A 44-d	F 6210 F 6211 F 6212	AE 275-B AE 275-C AE 275-D	275	265	255	245	235	225	430-580	410-540	400-540	x y	
A 52-b A 52-c A 52-d —	F 6213 F 6214 F 6215 F 6220	AE 355-B AE 355-C AE 355-D AE 355-DD	355	345	335	325	315	295	510-680	490-630	470-630	x y	
A 50-2	F 6216	A 490-2	295	285	275	265	255	Por acuerdo	490-660	470-610	Por acuerdo	x y	
A 60-2	F 6217	A 590-2	335	325	315	305	295		590-770	570-710		x y	
A 70-2	F 6218	A 690-2	365	355	345	335	325		690-900	670-830		x y	

[1] 1 MPa = 1 N/mm² = 0,102 kg/mm²

[2] La probeta de orientación «x» es aplicable a los productos largos y a los productos planos de anchura inferior a 600 mm. La probeta de orientación «y» es aplicable a los productos planos de anchura igual o superior a 600 mm.

[3] Sólo para productos de espesor igual o superior a 25 mm.

— Los valores de esta tabla son aplicables a productos planos de espesor igual o inferior a 150 mm (100 mm para el ensayo de resiliencia) y a productos largos de espesor igual o inferior a 100 mm. Para otras dimensiones los valores se fijarán por acuerdo.

Alargamiento en %							Estado de desoxidación	Temperatura °C	Resiliencia Energía absorbida mínima [4] KV en julios		Designación	
Probeta $L_o = 80$ mm Espesor en mm			Probeta $L_o = 5{,}65$ Espesor en mm						Valor medio V_e	Valores individ. $V_{min} = 0{,}7\ V_e$	Simbólica	Numérica
⩾ 1,5 ⩽ 2	> 2 ⩽ 2,5	> 2,5 < 3	⩾ 3 ⩽ 40	> 40 ⩽ 63	> 63 ⩽ 100	> 100 ⩽ 150						
12	13	14	18	—	—	—	Opcional	—	—	—	A 310-0	F 6200
10	11	12	16	—	—	—						
							Opcional	20	27 [5]	19	AE 235-B	F 6201
							FU	20	27 [5]	19	AE 235-B	F 6202
19	20	21	26	25	24	22	FN	20	27	19	AE 235-B	F 6202
17	18	19	24	23	22	22	FN	0	27	19	AE 235-C	F 6203
							FF	–20	27	19	AE 235-D	F 6204
							FN	20	27	19	AE 275-B	F 6210
16	17	18	22	21	20	18	FN	0	27	19	AE 275-C	F 6211
14	15	16	20	19	18	18	FF	–20	27	19	AE 275-D	F 6212
							FN [6]	20 [6]	27 [6]	19 [6]	AE 355-B	F 6213
16	16	18	22	21	20	18	FN	0	27	19	AE 355-C	F 6214
14	14	16	20	19	18	18	FF	–20	27	19	AE 355-D	F 6215
							FF [7]	–20 [7]	40 [7]	28 [7]	AE 355-DD	F 6220
14	15	16	20	19	18	Por acuerdo	FN	—	—	—	A 490-2	F 6216
12	13	14	18	17	16							
10	11	12	16	15	14		FN	—	—	—	A 590-2	F 6217
8	9	10	14	13	12							
6	7	8	11	10	9		FN	—	—	—	A 690-2	F 6218
5	6	7	10	9	8							

Los valores de energía indicados se refieren a probetas en V (tipo A) de 10 mm de anchura. Para probetas de 7.5 mm de anchura, los valores indicados deberán multiplicarse por 0.80 y para probetas de 5 mm de anchura, por 0.60

Sólo aplicable a productos de espesor igual o inferior a 25 mm

Sólo aplicable a productos largos

Sólo aplicable a productos planos

Composición química. Análisis de colada

Designación		Desoxidación [1]	% C máx Espesor del producto en mm				% M_n máx	% S_i máx	% P máx	% S máx	% N [2] máx
Numérica	Simbólica		≤ 16	> 16 ≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40					
F 6200	A 310-0	Opcional	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F 6201	AE 235-B	Opcional	0,17	0,20 [3]	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6202	AE 235-B	FU	0,17	0,20 [3]	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6202	AE 235-B	FN	0,17	0,17	0,17	0,20	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6203	AE 235-C	FN	0,17	0,17	0,17	0,17	—	—	0,040	0,040	0,009
F 6204	AE 235-D	FF	0,17	0,17	0,17	0,17	—	—	0,035	0,035	—
F 6210	AE 275-B	FN	0,21	0,21	0,21	0,22	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6211	AE 275-C	FN	0,20	0,20	0,20	0,20	—	—	0,040	0,040	0,009
F 6212	AE 275-D	FF	0,20	0,20	0,20	0,20	—	—	0,035	0,035	—
F 6213	AE 355-B [4]	FN	0,24	0,24	0,24	0,24	1,60	0,55	0,045	0,045	0,009
F 6214	AE 355-C	FN	0,20	0,20	0,22	0,22	1,60	0,55	0,040	0,040	0,009
F 6215	AE 355-D	FF	0,20	0,20	0,22	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	0,009
F 6220	AE 355-DD [5]	FF	0,20	0,20	0,22	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	—
F 6216	A 490-2	FN	—	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6217	A 590-2	FN	—	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
F 6218	A 690-2	FN	—	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009

[1] FU = Efervescente; FN = No efervescente (semicalmado o calmado); FF = Calmado especial con práctica de grano fino

[2] Los valores límite son aplicables al contenido en nitrógeno libre y pueden ser superados si se reduce el contenido en fósforo. Se admite un incremento de 0,001 % en el contenido en nitrógeno por cada 0,005 % reducido en fósforo. No son aplicables si el acero tiene un contenido en aluminio igual o superior a 0,020 % o si se han añadido otros elementos fijadores de nitrógeno

[3] Aplicable sólo a productos hasta 25 mm de espesor

[4] Este grado de acero sólo es aplicable a productos largos

[5] Este grado de acero sólo es aplicable a productos planos

[I.8b]

Desviaciones admisibles en el análisis de producto respecto a los valores especificados para el análisis de colada

Elemento	Intervalos		Variaciones admisibles	
	Desde (excluido)	Hasta (incluido)	Aceros efervescentes opcional y FU	Aceros no efervescentes FN y FF
Carbono	—	0.17	+ 0.04	+ 0.02
	0.17	0.20	+ 0.05	—
	0,17	0.20	—	+ 0,03
Manganeso	—	1.60	—	+ 0.10
Silicio	—	0.55	—	+ 0.05
Azufre	—	0.045	+ 0.010	+ 0.005
Fósforo	—	0.045	+ 0.010	+ 0.005
Nitrógeno	—	0,012	+ 0,002	+ 0,001

[1.8c]

generalidades sobre la construcción metálica

Los aceros obtenidos por procedimiento Thomas o convertidor Bessemer, que generalmente contienen porcentajes más elevados de fósforo y nitrógeno que disminuyen su soldabilidad y les hacen sensibles al envejecimiento, así como los obtenidos en horno Siemens-Martin, han quedado ya desterrados en nuestro país

Dentro del campo de la edificación, el uso del acero laminado está regulado por la Norma MV-102, del antiguo Ministerio de la Vivienda En ella se establece la obligatoriedad de que los fabricantes siderúrgicos nacionales garanticen sus fabricados. La Norma dice:

> *El fabricante garantiza las características mecánicas y la composición química de los productos laminados que suministra*

Para que dicha garantía del fabricante pueda establecerse, es necesario que exista una identificación inequívoca del producto A este respecto, la Norma fija lo siguiente:

> *Todo perfil laminado llevará las siglas de la fábrica, marcadas a intervalos, en relieve producido por los rodillos de laminación*
>
> *Los demás productos redondos, cuadrados, rectangulares y chapas irán igualmente marcados con las siglas de fábrica, mediante procedimiento elegido por el fabricante*
>
> *El símbolo de la clase de acero irá marcado, además, en todo producto, pudiendo hacerse en el laminado o mediante troquel o pintura indeleble*

En consecuencia, el marcado de los productos siderúrgicos es, en realidad, un certificado de origen, por lo que a efectos de su control de calidad es suficiente, como criterio general, el examen de sus características aparentes

Los modernos procedimientos de fabricación de los productos siderúrgicos y la selección más rigurosa de las primeras materias utilizadas en los mismos, aseguran para éstos el mayor grado de fiabilidad de todos los materiales utilizados en el campo de la construcción.

1 3 1 Aceros

Los aceros de construcción están tipificados en la Norma UNE 36-080 «Aceros no aleados de uso general en construcción». Sus características mecánicas y composiciones químicas se recogen en [1.8], tomado de dicha Norma que coincide prácticamente con la Euronorma 25 Por tanto, los aceros nacionales son equivalentes a los tipificados y utilizados en los países de la Comunidad Económica Europea.

Dentro de todos los aceros que figuran en la Norma 36-080, podemos diferenciar dos grupos: los de construcción metálica (A 37, A 42, A 44 y A 52) y los de construcción mecánica (A 33, A 50, A 60 y A 70)[1] Estos últimos no ofrecen garantías de soldabilidad tan seguras como los de construcción metálica, por no tener limitados los contenidos máximos de carbono.

Es claro que no es posible la existencia en el mercado de productos siderúrgicos en todos los tipos y grados de aceros que figuran en la Norma UNE 36-080 Basta recordar que exceden con mucho de 100 los diversos perfiles. estructurales y comerciales, utilizados en construcción y este número sería preciso multiplicarlo por los diferentes aceros, formatos y/o longitudes. con lo que alcanzaríamos una cifra económicamente inviable.

Estas razones económicas determinan el que en una mayoría de países sólo se disponga de un único acero como acero comercial, es decir, aquel que es utilizado para el consumo mayoritario En los diversos países europeos, este acero es el A 37b o A 42b. España está situada dentro del grupo de países cuya tradición es el acero A 42b, y esta situación es la que se recoge en la Norma MV-102, del antiguo Ministerio de la Vivienda. en donde se indica que:

> *El acero ordinario para perfiles y chapas es el de la clase A 42b*
>
> *Salvo el acero de clase A 42b los demás requieren condiciones especiales de pedido y aprovisionamiento*

La necesidad de una unificación a escala europea de estos dos tipos de acero, cuyos límites elásticos difieren tan solo en 2 kg/mm^2, ha dado lugar a que la Euronorma suprima el acero tipo A 42 creando el A 44 (AE 275) España ha seguido esta tendencia en la UNE 36080, pero mientras no se revise la NBE-102 (MV-102), norma de obligado cumplimiento, se mantendrá en el mercado el acero A 42.

Los avances técnicos producidos en la fabricación de los aceros y las garantías que éstos ofrecen hoy día, han dado lugar a que desde hace ya años la resistencia de cálculo se establece en función del límite elástico y no de su resistencia o tracción. Sin embargo, la tradición determina que la simbolización de los aceros se siga realizando en base a su resistencia mínima o tracción garantizada

La elección del tipo de acero (A 37, A 42, A 44 y A 52) se realiza en función de las circunstancias concurrentes en el proyecto, a fin de que la resistencia del acero sea la más adecuada en cada caso y teniendo presente siempre la posibilidad de suministro.

[1] Si bien en la actualidad los aceros se designan por su límite elástico mínimo en N/mm^2. anteponiendo las letras AE. se ha conservado la antigua denominación de la carga de rotura en kg/mm^2. anteponiendo la letra A. de acuerdo con las vigentes normas NBE (MV) de obligatoria observancia

La elección del grado del acero (a, b, c y d), una vez determinado el tipo del mismo, se realiza en función de criterios tales como la temperatura mínima de servicio, tipo de solicitación, signo de los esfuerzos (tracción o compresión), espesores a soldar, deformación en frío del producto, responsabilidad del elemento en la construcción, etcétera

La Norma Básica MV-103 contiene en su Anejo I unas recomendaciones (no preceptivas) para la elección del grado del acero

Asimismo, en el apartado 7 231 se recoge una recomendación para la elección del grado del acero siguiendo los criterios de la Norma UNE 76-001 (dichos criterios son sensiblemente paralelos)

Es frecuente en determinadas construcciones metálicas (puentes y grandes estructuras) asociar diferentes tipos y grados de acero. En muchas ocasiones se disponen aceros con límites elásticos más elevados en las zonas de mayores esfuerzos y las exigencias para los elementos secundarios (arriostramientos, riostras, vigas de acompañamiento de vigas-carril, etc) son más moderadas

1 3 2 **Productos laminados**

Los productos laminados se clasifican en función de sus características de forma en:

Productos longitudinales
Productos planos

Los productos longitudinales son aquellos en los que una dimensión es determinante sobre las dos restantes. Se subdividen a su vez en:

Perfiles estructurales. Son los perfiles I, H, L, T, Ø, con una altura o anchura igual o mayor a 80 mm. A veces se denominan también perfiles pesados

Perfiles comerciales. Incluyen los del grupo anterior con dimensión inferior a 80 mm e igualmente los redondos, cuadrados, hexagonales y pletinas. También se denominan perfiles ligeros

Los productos planos son aquellos en los que dos de sus dimensiones predominan sobre la tercera. El producto plano utilizado normalmente es la chapa laminada en caliente, que puede ser obtenida por procedimientos discontinuos (tren dúo o cuarto) o bien por troceo de bobinas. (Es fácil de determinar cuándo la chapa proviene de bobina por tener generalmente los bordes rebordeados.) La chapa se clasifica según su espesor en:

Fina: inferior a 3 mm
Media: igual o superior a 3 mm hasta 4,75 mm
Gruesa: superior a 4,75 mm

La utilización de los aceros laminados en la construcción general está regulada por la Norma UNE 76-002 Los productos laminados utilizados en el ámbito de la edificación están recogidos en la Norma MV-102 del antiguo Ministerio de la Vivienda. Asimismo, se pueden encontrar tabulados los datos de sección y los valores estáticos de perfiles y chapas, simples o compuestos, en numerosos prontuarios y formularios nacionales y extranjeros [1].

Sin embargo. lo que no es fácil encontrar, en este tipo de publicaciones, son orientaciones que ayuden al proyectista en la elección del material Además, debe tenerse en cuenta que no todos los perfiles que figuran en las Normas y Prontuarios se encuentran de forma permanente en el mercado, por lo que el proyectista deberá evitar la utilización de todos aquellos productos sobre los que no tenga plena constancia sobre su facilidad en suministro Esta situación ha sido recogida en la Norma MV-102, donde se señala:

> *Productos de existencia permanente En las Tablas del Apéndice se destacan mediante la sigla P aquellos productos que en circunstancias normales se mantienen en existencia permanente en el mercado Los productos marcados con la sigla C no deben emplearse en los proyectos sin previa consulta de su posibilidad de suministro*

En el cuadro [1 9] se recoge la recomendación del Anexo de la Norma UNE 76-002 que básicamente coincide con la de la mencionada Norma MV-102 sobre la elección de los materiales Se ha dispuesto una columna libre a fin de que el proyectista anote en la misma las modificaciones futuras, dado que la situación está sometida a una continua evolución como consecuencia de las renovaciones y mejoras de la siderurgia, del lanzamiento de nuevos productos, así como de la incidencia de las diversas coyunturas de la oferta-demanda del acero

Sin embargo, se ha estimado interesante señalar cuáles pueden ser las innovaciones que se prevén a corto plazo

Ampliación de la gama de perfiles UPN.

La gama actual de ángulos que finaliza en 150 podría ampliarse hasta 200

Otra novedad previsible es la aparición de los ángulos de espesores reducidos en la gama 80-150.

[1] Ver Publicaciones ENSIDESA. Tomo 2

Producto	Medidas en mm	Futuros productos recomendados
Perfil IPE Perfil IPN Perfil HEB Perfil UPN	160-500 180-600 100-450 180-400	
Perfil L	40 × 4 45 × 4 45 × 5 50 × 4 50 × 5 60 × 5 60 × 6 70 × 6 70 × 7 80 × 8 90 × 8 100 × 8 100 × 10 120 × 10 120 × 12 150 × 12 150 × 15	
Redondo:	6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 y 50	
Rectangular	30 × 4 30 × 5 30 × 6 40 × 4 40 × 5 40 × 6 40 × 8 50 × 4 50 × 5 50 × 6 50 × 8 50 × 10 60 × 5 60 × 6 60 × 8 60 × 10 60 × 12 60 × 15 60 × 20 60 × 25 70 × 5 70 × 6 70 × 8 70 × 10 70 × 12 70 × 15 70 × 20 70 × 25 80 × 6 80 × 8 80 × 10 80 × 12 80 × 15 80 × 20 80 × 25 100 × 8 100 × 10 100 × 12 100 × 15 100 × 20 100 × 25 120 × 10 120 × 12 120 × 15 120 × 20 120 × 25 140 × 12 140 × 15 140 × 20 140 × 25	
Chapa (*)	4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50	

(*) Los formatos máximos de chapas figuran en los catálogos de las fábricas siderúrgicas.

[1.9]

1.3.3. Medios de unión.

Los roblones, hace ya años profusamente utilizados en la construcción metálica, han quedado desplazados hoy día por razones técnicas y, fundamentalmente, económicas. Su empleo ha sido sustituido en la fabricación en taller por la soldadura y en el montaje por la soldadura y los tornillos.

Es frecuente que se presenten algunas dificultades en el acopio de los tornillos, dado que su utilización no ha alcanzado, por el momento, el desarrollo previsible que debe tener en el montaje de las estructuras y, además, los diversos tipos de tornillos (T, TC y TR) y aceros dan lugar a una atomización del mercado que repercute desfavorablemente en su utilización. Ello aconseja el adoptar siempre criterios prácticos en su elección, por lo que se recomienda la utilización de:

(T) Tornillos ordinarios en acero 4.6.
(TR) Tornillos de alta resistencia (pretensados) en acero 10.9.

Además, el proyectista debe cuidar de que el número de diámetros diversos usados en una misma obra sea el mínimo posible (el suministro directo de fábrica supone cifras del orden de 1 500/2 500 tornillos de un mismo diámetro).

1.4. CRITERIOS PRACTICOS DEL PROYECTO

El Proyecto de una estructura metálica es sumamente simple en su fase de cálculo y dimensionado, dado que el acero, como material, sigue la ley de Hooke y, además, la labor del calculista se ve enormemente facilitada por la ayuda de prontuarios, manuales y tablas. En definitiva, las facetas que verdaderamente otorgan categoría al proyecto de una estructura metálica son la adecuada elección de los materiales, el estudio cuidadoso de su fabricación y montaje, la concepción de los detalles constructivos y de las uniones que constituyen punto capital en una estructura a la que por esencia se le puede titular de «prefabricada».

Por ello, y salvo que sean condicionantes otros criterios, tales como valores estéticos, etc., se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\text{Proyecto} + \text{ejecución} + \text{montaje} = \text{Optimo económico}$$

Esta ecuación puede dejar en entredicho en bastantes ocasiones a los alardes que realizan los proyectistas al obtener unos pesos por m² sumamente favorables, pero que no suponen, en ocasiones, economías.

El proyectista de estructuras metálicas deberá conocer a fondo los procesos de fabrica-

ción y montaje de la estructura, conocimientos imprescindibles, si se pretende diseñar nudos y detalles constructivos, que posteriormente no ofrezcan dificultades en su ejecución.

Otro factor a tener en cuenta, a la hora de proyectar, es el de la tecnología de la empresa constructora que posteriormente ejecutará la obra. Así, el criterio del proyectista será evidentemente diferente cuando se presume que la obra va a ser realizada por una empresa con escaso bagaje tecnológico, que cuando la misma correrá a cargo de una empresa destacada por su experiencia y medios técnicos, en cuyo caso el proyectista podrá recurrir a soluciones constructivas más sofisticadas.

Otra incógnita de gran importancia a la hora de proyectar lo constituye el binomio «ejecución en taller-montaje en obra». A este respecto y como norma general es recomendable recargar la fabricación en taller en aras de un montaje más simple, en base a la incertidumbre que en todo momento presenta el montaje por las circunstancias atmosféricas.

El proyecto debe contemplar también aspectos que muy frecuentemente tocan problemas que, con carácter simplista, se achacan siempre al mantenimiento. Es el caso de la corrosión de las estructuras metálicas. El proyecto tiene que estar claramente enfocado a soslayar este inconveniente, en aquellos casos en que la obra vaya a estar sometida a adversas condiciones, y el proyectista puede perfectamente adoptar soluciones estructurales que aseguren un mantenimiento económico y eficaz. Se señala a este respecto la adopción de formas cerradas, la accesibilidad de mantenimiento a todos los rincones y, en general, el uso de formas que aseguren por un lado la perfecta evacuación de las aguas pluviales, así como el evitar las condensaciones sobre superficies que pueden ser origen de una corrosión local intensa.

Corresponde igualmente al proyectista la concepción y dimensionado de las uniones de la estructura. En este punto hay que tener presente los condicionamientos de los gálibos y longitudes máximas a transportar por nuestras carreteras y ferrocarriles y, asimismo, la posibilidad de transporte de piezas excepcionales, por su peso o dimensiones, mediante permisos especiales de circulación. En este aspecto, muchas veces la decisión final debe adoptarse después de haber estudiado el tema conjuntamente con la empresa constructora y a la vista de los medios de que disponga la misma.

Por último, datos estadísticos de otros países señalan el hecho de que un tercio de los accidentes ocurridos en estructuras metálicas acontecen durante la fase de montaje. Por tanto, es preciso estudiar con todo detalle las fases de ejecución de las estructuras y confiar su ejecución y montaje a empresas con experiencia y medios técnicos y humanos adecuados.

APENDICE

NORMAS UNE RELACIONADAS CON LOS MATERIALES Y EJECUCION DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS:

Ensayos

UNE 7-014	Determinación cuantitativa del carbono en los aceros empleados en la construcción.
UNE 7-017	Determinación de la dureza en productos de acero por el método Brinell.
UNE 7-019	Determinación cuantitativa del azufre en los aceros empleados en la construcción.
UNE 7-027	Determinación cuantitativa del manganeso en los aceros empleados en la construcción.
UNE 7-028	Determinación gravimétrica del silicio en los aceros y fundiciones.
UNE 7-029	Determinación cuantitativa del fósforo en los aceros empleados en la construcción.
UNE 7-246	Determinación de la resistencia a cizalladura de robiones y tornillos de acero.
UNE 7-053	Ensayo de dureza en productos de acero por el método Rockwell.
UNE 7-054	Determinación de la dureza en productos de acero por el método Vickers.
UNE 7-194	Ensayo de tracción de alambres de acero.
UNE 7-195	Ensayo de doblado alternativo de alambres de acero.
UNE 7-262	Ensayo de tracción para productos de acero.
UNE 7-248	Determinación espectrofotocolorimétrica del fósforo en aceros y fundiciones.
UNE 7-264	Conversión de alargamientos de acero.
UNE 7-266	Ensayo de tracción de tubos de acero.
UNE 7-278	Inspección de chapas por ultrasonidos.
UNE 7-280	Determinación del tamaño de grano en aceros.
UNE 7-282	Toma y preparación de muestras y probetas de productos de acero laminado y forjado.
UNE 7-290	Ensayo de flexión por choque con probeta entallada de productos de acero.
UNE 7-292	Ensayo de doblado simple de productos de acero.
UNE 7-326	Determinación de la carga de rotura a tracción de cables y cordones de acero.
UNE 7-330	Ensayo de torsión simple de alambres de acero.
UNE 7-334	Determinación del nitrógeno en aceros y fundiciones.
UNE 7-349	Determinación de carbono en aceros y fundiciones. Método gaseométrico.
UNE 7-354	Determinación espectrofotocolorimétrica del contenido de manganeso en aceros y fundiciones.

Soldadura

UNE 14-001	Electrodos para soldadura y corte por arco. Definiciones.
UNE 14-002	Electrodos revestidos para soldadura manual por arco de acero para construcción. Medidas.
UNE 14-003	Simbolización para la identificación de electrodos para el soldeo por arco manual descubierto de aceros no aleados y débilmente aleados.
UNE 14-009	Signos convencionales en soldadura.
UNE 14-010	Examen y calificación de los operarios destinados a trabajos de soldeo eléctrico por arco, en las estructuras de acero.

generalidades sobre la construcción metálica

UNE 14-011	Calificación de las soldaduras por análisis radiográfico. Defectos de las uniones soldadas.
UNE 14-022	Ensayos de tracción y resiliencia para la identificación de electrodos para el soldeo manual.
UNE 14-035	Cálculo de cordones de soldadura solicitados por cargas estáticas.
UNE 14-038	Método de ensayo para la determinación del rendimiento y del coeficiente de depósito de electrodos revestidos.
UNE 14-041	Indicadores de calidad de imagen radiográfica (I. C. I.).
UNE 14-044	Instrucciones para la inspección de las construcciones de estructuras de acero.
UNE 14-050	Clasificación de defectos en las soldaduras por fusión de metales.
UNE 14-051	Definición de soldabilidad.
UNE 14-204	Simbolización para la identificación de alambres macizos para el soldeo al arco eléctrico, en atmósfera protectora, de aceros no aleados y débilmente aleados.
UNE 14-401	Valores límites de gargantas de soldaduras de ángulo en uniones de perfiles y chapas.
UNE 14-402	Cálculo de soldaduras de ángulo solicitadas por esfuerzos estáticos de manera que su sección transversal no esté sometida a tensión normal.
UNE 14-403	Cálculo y diseño de uniones soldadas a tope.
UNE 14-501	Calificación de soldadores para trabajos de soldadura de usos generales.
UNE 14-602	Recomendaciones para el uso de los indicadores de calidad de imagen radiográfica.
UNE 14-603	Principales términos radiográficos concernientes a la soldadura. Terminología.
UNE 14-604	Prácticas recomendadas para el examen radiográfico de las uniones soldadas a tope por fusión, en chapas de acero de espesor inferior a 50 mm.
UNE 14-605	Prácticas recomendadas para el examen radiográfico de las uniones soldadas a tope por fusión en chapas de acero de espesor entre 50 mm y 200 mm.
UNE 14-606	Ensayo de tracción transversal de las uniones soldadas a tope por fusión.
UNE 14-607	Ensayo de doblado transversal por el lado de la cara y por el lado de la raíz de las uniones soldadas a tope por fusión.
UNE 14-608	Ensayo de doblado transversal lateral en las uniones soldadas a tope por fusión.
UNE 14-609	Ensayo de tracción longitudinal sobre probetas cilíndricas tomadas del metal de aportación en las uniones soldadas a tope por fusión.
UNE 14-610	Examen de partículas magnéticas para uniones soldadas.
UNE 14-611	Bloque de calibrado para el examen ultrasónico de piezas de acero.
UNE 14-612	Práctica recomendada para el examen de las uniones soldadas mediante la utilización de líquidos penetrantes.
UNE 14-613	Examen por ultrasonido de uniones soldadas.

Materiales siderúrgicos.

UNE 36-004	Aceros. Definición y clasificación.
UNE 36-006	Tratamientos térmicos de los productos férreos. Terminología y definiciones.
UNE 36-007	Condiciones técnicas generales de suministro de productos siderúrgicos.
UNE 36-009	Designación convencional de aceros. Designación simbólica y designación numérica.
UNE 36-011	Aceros no aleados para temple y revenido.
UNE 36-075	Condiciones técnicas de suministro y recepción de perfiles huecos.
UNE 36-080	Aceros no aleados de uso general en construcción. Tipos y grados.
UNE 36-081	Aceros de construcción soldables de calidad especial. Tipos y grados.
UNE 36-082	Aceros de construcción de resistencia mejorada contra la corrosión atmosférica.

UNE 36-100	Clasificación de la chapa gruesa según el examen por ultrasonidos.
UNE 36-111	Fundición gris.
UNE 36-252	Acero moldeado aleado para usos generales. Tipos y grados.
UNE 36-255	Aceros moldeados de baja aleación para usos generales.
UNE 36-257	Aceros moldeados inoxidables.
UNE 36-501	Productos siderúrgicos. Definición y clasificación.
UNE 36-521	Productos de acero. Perfil I Normal (IPN). Medidas y tolerancias.
UNE 36-522	Productos de acero. Perfil U Normal (UPN). Medidas y tolerancias.
UNE 36-525	Productos de acero. Perfil U comercial. Medidas y tolerancias.
UNE 36-526	Productos de acero. Perfiles IPE.
UNE 36-527	Productos de acero. Perfil HEB.
UNE 36-528	Productos de acero. Perfil HEA.
UNE 36-529	Productos de acero. Perfil HEM.
UNE 36-531	Productos de acero. Angulares de lados iguales. Medidas y tolerancias.
UNE 36-532	Productos de acero. Angulares de lados desiguales. Medidas y tolerancias.
UNE 36-533	Productos de acero. Perfil T.
UNE 36-537	Productos de acero. Perfiles huecos. Medidas y tolerancias.
UNE 36-541	Productos de acero. Redondo para uso general.
UNE 36-542	Productos de acero. Cuadrado para uso general.
UNE 36-543	Productos de acero. Pletinas y barras rectangulares laminadas en caliente. Medidas y tolerancias.
UNE 36-553	Productos de acero. Fleje laminado en caliente y pletina cortada de fleje. Tolerancias dimensionales.
UNE 36-559	Productos de acero. Chapas laminadas en caliente por procesos discontinuos. Tolerancias dimensionales.
UNE 36-560	Bobinas de banda ancha, laminada en caliente, de acero al carbono y chapas cortadas de bobina. Tolerancias.
UNE 36-703	Designación de los cables de acero.
UNE 36-710	Cables de acero para usos generales.
UNE 36-543	Productos de acero. Barras rectangulares. Medidas y tolerancias.
UNE 36-547	Productos de acero. Hexagonal. Medidas y tolerancias.
UNE 36-711	Condiciones generales técnicas de suministro y recepción de cables de acero.
UNE 36-712	Alambres para cables en acero no aleado.
UNE 36-714	Cables de acero para teleféricos y funiculares.

Estructuras Metálicas

UNE 76-001	Elección del acero en estructuras metálicas soldadas.
UNE 76-002	Acero laminado para estructuras metálicas.
UNE 76-100	Tolerancias de estructuras metálicas de edificios de varias alturas.
UNE 76-101	Ejecución de estructuras metálicas.
UNE 76-201	Caminos de rodadura de puentes-grúa.

2. Bases de cálculo

2.1. Acciones y cargas

2.2. Valores característicos de las cargas

2.3. Métodos de cálculo

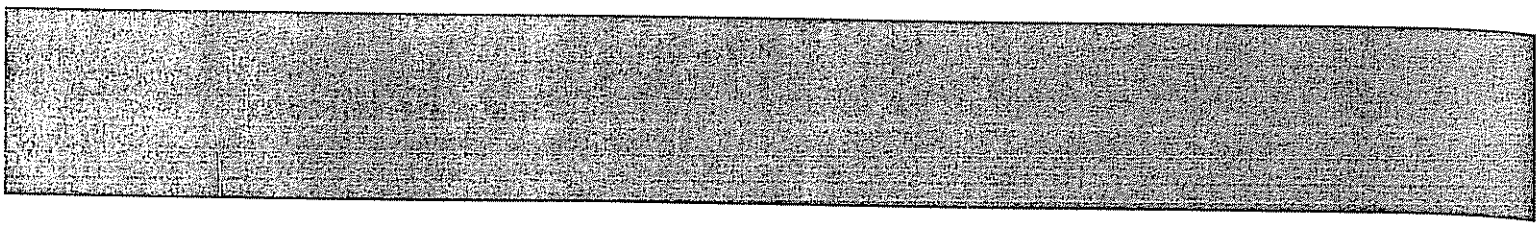
2.4. Comprobación de estados límites

2.5. El acero de construcción

Apéndice I. Norma MV 101-1962
Acciones en la edificación

Apéndice II. Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras

Apéndice III. Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril



2. BASES DE CALCULO

2.1. ACCIONES Y CARGAS

Durante la vida de una estructura, ésta puede estar sometida a diferentes acciones de las cuales las que interesan, desde el punto de vista que consideramos, solo son aquellas que pueden producir o alterar el estado tensional de sus elementos.

En este sentido puede definirse como carga, F, a cualquier acción o conjunto de acciones capaz de producir estados tensionales en una estructura.

Por su forma de actuación las acciones pueden clasificarse fundamentalmente en dos grupos:

a) Cargas directas:
   - — Peso propio.
   - — Cargas permanentes.
   - — Cargas originadas durante la construcción.
   - — Sobrecarga variable de explotación o uso.
   - — Cargas variables climáticas que comprende el viento y la nieve.
   - — Cargas dinámicas.
   - — Cargas excepcionales.

b) Cargas o acciones indirectas:
   - — Variación de temperatura.
   - — Pretensado.
   - — Acciones por asiento, producidas por descensos diferenciales de los apoyos de la estructura, como consecuencia de asientos del terreno u otras causas.
   - — Acciones sísmicas, producidas por las aceleraciones transmitidas a la estructura por movimientos sísmicos.

2.2. VALORES CARACTERISTICOS DE LAS CARGAS

Se define como valor característico, F_k, de una carga al que tiene una probabilidad determinada (que en casi todas las normas vigentes se fija en un 5 %) de ser sobre-

pasada durante la vida prevista de la estructura. En el caso en que una reducción de la carga sea más peligrosa para la estabilidad de la estructura, deben considerarse los valores mínimos como más desfavorables.

Igualmente en el caso de acciones indirectas, los valores característicos para supuestas deformaciones, serán aquellos que tienen una determinada probabilidad de ser excedida (hacia valores más desfavorables) durante la vida prevista de la estructura.

Solo en casos muy particulares, podrá el proyectista verse obligado a fijar por sí mismo el valor de una acción. En estos casos deberá definir para la carga o acción la ley de distribución de frecuencias y por métodos estadísticos obtener el valor característico correspondiente a la probabilidad preestablecida (5 %).

Normalmente los valores característicos le vienen fijados al proyectista por las Normas, Instrucciones y Reglamentos oficiales, o en algunos casos por las prescripciones particulares de la obra, es decir, en general los valores característicos se escogen en función de la utilización de la estructura. En este caso estos valores se llaman valores nominales de las cargas o acciones.

2.2 1. Cargas y sobrecargas en la edificación.

La Norma MV-101-1962 «Acciones en la edificación», que incluimos, en el Apéndice I, fija los valores nominales o característicos que deben considerarse en el cálculo de edificios.

2.2 2. Cargas y sobrecargas en puentes de carretera.

Las acciones a considerar para el cálculo de puentes de carretera vienen recogidas en la Instrucción del Ministerio de Obras Públicas «Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera» 1972, que se reproduce en el Apéndice II de este capítulo.

2.2 3. Cargas y sobrecargas en puentes de ferrocarril.

Las acciones a considerar para el cálculo de puentes de ferrocarril vienen recogidas en la Instrucción del Ministerio de Obras Públicas «Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril» 1975, que se reproduce en el Apéndice III de este capítulo.

2.3. METODOS DE CALCULO

Las estructuras metálicas deben proyectarse de manera que puedan resistir los más desfavorables efectos de las cargas aplicadas durante su construcción y durante la vida de la misma, con un grado de seguridad prefijado.

Según las Recomendaciones de la C. E. C. M. [1], los métodos de cálculo de estructuras pueden clasificarse según dos criterios:

1. Según la forma en que se introducen los coeficientes relativos a la seguridad:
   - — Método de las tensiones admisibles en el cual las tensiones que se originan con las hipótesis más desfavorables de las cargas se comparan con valores disminuidos de la resistencia del material de que se trate.
   - — Método de los estados límites, en el cual los coeficientes de seguridad son entera o parcialmente aplicados a las cargas de manera de conseguir el mismo grado de seguridad para los problemas de segundo orden (se estudia el comportamiento de la estructura con su geometría real bajo carga) que para los problemas de primer orden (el comportamiento de la estructura se estudia con la geometría no deformada por la aplicación de las cargas).
2. Por el tipo de las condiciones de seguridad:
   - — Métodos de proyecto deterministas, en los que los parámetros básicos no se tratan como magnitudes aleatorias.
   - — Métodos de proyecto probabilísticos, en los cuales los parámetros básicos se consideran como magnitudes aleatorias.

Algunas recomendaciones y normas, sobre todo las redactadas más recientemente, adoptan métodos que pueden denominarse como semiprobabilísticos de estados límites, aunque se excluyen de ellos ciertos problemas, como la fatiga y resonancia que deben someterse a comprobaciones especiales.

Por el contrario, el método de tensiones admisibles, de gran tradición en España, es recogido por las normas y recomendaciones de otros países (Norma DIN, AISC...).

Es preciso no olvidar que la seguridad no es solo un problema de método de cálculo, depende también y esencialmente de la supervisión y la calidad del control, tanto de fabricación como de montaje, y de que las condiciones de uso de la estructura no difieran esencialmente de las previstas en el cálculo.

---

1 Convención Europea de la Construcción Metálica.

2.3 1. Estados límites.

Se entiende como estado límite de una estructura, aquellos estados o situaciones de la misma, tales que si se rebasan queda la estructura fuera de servicio. Los estados límites pueden ser de dos categorías:

a) Estados límites últimos, que significan una puesta fuera de servicio de la estructura por colapso o rotura de la misma o de una parte de ella y corresponden a la máxima capacidad soporte de cargas.

   Dentro de este grupo es necesario considerar:

   — Estado límite de equilibrio, definido por la pérdida de estabilidad de una parte o del conjunto de la estructura considerada como un cuerpo rígido.

   — Estado límite de rotura definido por el agotamiento resistente a la deformación plástica excesiva de una o varias secciones del material de la estructura.

   — Estado límite de inestabilidad o pandeo de una parte o del conjunto de la estructura.

b) Estados límites de servicio, que corresponden a criterios que determinan él uso normal o la duración.

   Entre ellos es preciso considerar aquellos en que se alcanzan las deformaciones máximas admisibles por razón de la función que la estructura debe cumplir.

No obstante es posible considerar otros estados límites de una y otra categoría, según el tipo y función de las estructuras consideradas. Las Recomendaciones de la C. E. C. M. enumeran como ejemplos para una y otra clases, las que citamos a continuación:

De la primera:

— *Pérdida de equilibrio de parte o de la totalidad de la estructura considerada como sólido rígido.*

— *Rotura de secciones críticas de la estructura.*

— *Transformación de la estructura en un mecanismo.*

— *Inestabilidad por deformación.*

— *Deterioros consecuencia del efecto fatiga.*

— *Deformación plástica o por fluencia que conduce a un cambio inaceptable en la geometría de la estructura.*

— *El estado límite último puede también originarse por la sensibilidad de la estructura a los efectos de cargas repetidas, fuego, explosiones. Es necesario entonces considerar estos efectos dentro de un concepto estructural*

Y de la segunda:

— *Excesiva deformación o desplazamiento.*

— *Prematuro o excesivo agrietamiento.*

— *Corrosión excesiva.*

— *Excesiva amplitud de vibración.*

2.3.2. Método de los estados límites.

El procedimiento de comprobación, para un cierto estado límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o a parte de ella, y por otra la respuesta de tal estructura correspondiente a la situación límite en estudio. Comparando estas dos magnitudes, siempre que las acciones exteriores produzcan un efecto inferior al que ocasiona la situación límite, podrá afirmarse que está asegurado el comportamiento de la estructura frente a tal estado límite.

Con objeto de limitar convenientemente la probabilidad de que, en realidad, el efecto de las acciones exteriores sea superior al previsto o que la respuesta de la estructura resulte inferior a la calculada, se introduce el margen de seguridad correspondiente en los cálculos, mediante unos coeficientes de ponderación que multiplican los valores característicos de las acciones, y otros coeficientes de minoración que dividen los valores característicos de las propiedades resistentes de los materiales que constituyen la estructura.

En consecuencia, el proceso de cálculo preconizado en las Instrucciones españolas actuales y por tanto en este Prontuario consiste en:

1) Obtención de las solicitaciones de cálculo, S_d, relativas al estado límite en estudio, a partir de los valores ponderados de las acciones características.

2) Obtención de la respuesta última, R_u, de la estructura, relativa al estado límite en estudio, a partir de los valores minorados de las características de los materiales.

3) El criterio de aceptación consiste en la comprobación $R_u > S_d$.

Coeficientes de ponderación.

Caso de carga		Clase de acción	Coeficiente de ponderación si el efecto de la acción es:		
			Desfavorable		Favorable
CASO I Acciones constantes y combinación de dos acciones variables independientes.	Ia	Acciones constantes	1,33	1,33	1,00
		Sobrecarga	1,33	1,50	0
		Viento	1,50	1,33	0
	Ib	Acciones constantes	1,33		1,00
		Sobrecarga	1,50		0
		Nieve	1,50		0
	Ic	Acciones constantes	1,33		1,00
		Viento	1,50		0
		Nieve	1,50		0
CASO II Acciones constantes y combinación de tres acciones variables independientes.		Acciones constantes	1,33		1,00
		Sobrecarga	1,33		0
		Viento	1,33		0
		Nieve	1,33		0
CASO III Acciones constantes y combinación de cuatro acciones variables independientes, incluso las acciones sísmicas.		Acciones constantes	1,00		1,00
		Sobrecarga	r [1]		0
		Viento	0,25 [2]		0
		Nieve	0,50 [3]		0
		Acciones sísmicas	1,00		0

[1] r es el coeficiente reductor para las sobrecargas (Tabla VIII de la Norma Sismorresistente P. G. S-1, parte A), que indica:
Caso 1.° Azoteas, viviendas y hoteles (salvo locales de reunión): $r = 0,50$.
Caso 2.° Oficinas, comercios, calzadas y garajes: $r = 0,60$.
Caso 3.° Hospitales, cárceles, edificios docentes, iglesias, edificios de reunión y espectáculos y salas de reunión de hoteles: $r = 0,80$.

[2] Sólo se considerará en construcciones en situación topográfica expuesta o muy expuesta (Norma MV-101).

[3] En caso de lugares en los que la nieve permanece acumulada habitualmente más de treinta días, en el caso contrario el coeficiente será cero.

[2.1]

2.3.3. Acciones ponderadas.

La Norma Básica MV-103 define las acciones ponderadas que intervienen en el método de estados límites en su artículo 2.5.

Acción ponderada es el producto de una acción característica por el coeficiente de ponderación que le corresponda, en la combinación de acciones que se esté considerando.

A efectos de aplicación de coeficientes de ponderación las cargas se clasifican en dos grupos: constantes y variables.

Se considerarán como cargas o acciones constantes las que actúan o pueden actuar en todo momento o durante largo período de tiempo con valor fijo en posición y magnitud.

Se incluyen en este tipo:

- *La concarga.*
- *Las cargas permanentes.*
- *El peso y empuje del terreno.*
- *Las acciones térmicas por variación de temperatura.*
- *Los asientos de las cimentaciones.*

Como sobrecargas y acciones variables se consideran:

- *Las sobrecargas de uso o explotación variables.*
- *Las sobrecargas de ejecución que puedan presentarse durante el período de montaje y construcción.*
- *Las acciones del viento.*
- *La sobrecarga producida por la nieve.*
- *Las acciones sísmicas.*

Los coeficientes de ponderación según la hipótesis de carga, la clase de acción y el efecto favorable o desfavorable de la acción sobre la estabilidad o las tensiones, se dan en la tabla 2.1 [1]

Cuando se utilicen métodos anelásticos, se utilizarán los coeficientes de ponderación definidos en la tabla 2.1 [1] *multiplicados por el factor 1,12.*

Para el cálculo de los puentes, el borrador de la Instrucción de Puentes de Acero fija las hipótesis y coeficientes de ponderación que se recogen en [2.2], a título orientativo, ya que podrán variar en su redacción definitiva.

---

[1] La tabla citada en la Norma se representa en [2.1].

Hipótesis de comprobación de acciones	Acciones	Coeficiente de ponderación si el efecto de la acción es:	
		Desfavorable	Favorable
I	Peso propio	1,50 [1]	0,9
	Cargas muertas y sobrecargas de uso fijas	1,50	0,9
	Nieve	1,50	0,9
	Acciones térmicas y asientos	1,50	0
	Sobrecargas de uso	1,50	0
II	Peso propio	1,33	0,9
	Cargas muertas y sobrecargas de uso fijas	1,33	0,9
	Nieve	1,33	0
	Acciones térmicas y asientos	1,33	0
	Sobrecargas de uso	1,33	0
	Viento	1,33	0
III	Peso propio	1,00	0,9
	Cargas muertas y sobrecargas de uso fijas	1,00	0,8
	Nieve	1,00	0
	Acciones térmicas y asientos	1,00	0
	Sobrecargas de uso	1,00	0
	Viento	0,25 [2]	0
	Acciones sísmicas	1,00	0

[1] En puentes de grandes luces, en los que a juicio del proyectista prevalezca el peso propio sobre la sobrecarga, el coeficiente 1,50 puede reducirse a 1,33.

[2] Cuando el puente no esté en una situación muy expuesta se tomará el valor 0.

[2.2]

2.3.4. Solicitaciones.

Los efectos originados por las acciones son los esfuerzos que actúan o pueden actuar en una sección de una pieza de la estructura: momento flector, esfuerzo normal, esfuerzo cortante, momento torsor. Al conjunto de tales esfuerzos se denomina solicitación.

2.4. COMPROBACION DE LOS ESTADOS LIMITES

De acuerdo con la clasificación establecida para los estados límites deben realizarse dos tipos de comprobaciones:

— Comprobación de los estados límites últimos.

— Comprobación de los estados límites de servicio.

2.4.1. Comprobación de los estados límites últimos.

Deberá comprobarse que las acciones exteriores producen efectos inferiores a los que ocasionan las posibles situaciones límites. El conjunto de situaciones límites a considerar depende del tipo de estructura y las posibles acciones a que esté sometida. Por ejemplo, la comprobación de fatiga será necesaria realizarla exclusivamente para estructuras sometidas a cargas repetidas, igualmente sucede para otras posibles acciones no generales.

Existen, sin embargo, comprobaciones que siempre deben realizarse para estructuras normales sometidas a cargas estáticas, como son, por ejemplo, las de edificación comprendidas en la Norma Básica MV-103. Estas son las ya señaladas anteriormente:

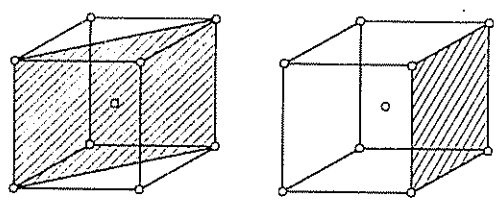
— Estado límite de equilibrio como cuerpo rígido (vuelco, deslizamiento, etc.).

— Estado límite de rotura.

— Estado límite de inestabilidad o pandeo.

El primero debe comprobarse de acuerdo con las ecuaciones que proporciona la estática; para la inestabilidad se tienen en cuenta las condiciones límites específicas que sobre pandeo, abollamiento, etc., fijan las diversas normas y entre ellas la Norma Básica MV-103.

En cuanto a la condición de rotura, es necesario hacer algunas consideraciones.



a b

[2.3]

2.4.2. Estado límite de rotura. Rotura frágil y rotura dúctil.

El fenómeno de rotura consiste en la separación o fragmentación de un sólido a consecuencia de un estado tensional, que se manifiesta con la iniciación de grietas o fisuras que se propagan hasta la separación del material.

En los materiales cristalinos y entre ellos los metales y concretamente el acero, se producen dos tipos de roturas o fracturas: la rotura frágil y la rotura dúctil.

La rotura frágil se produce por la aparición y propagación rápida de una fisura después de poca o ninguna deformación plástica. En materiales cristalinos la fisura se propaga a lo largo de ciertos planos cristalográficos característicos, llamados planos de despegue o de clivaje. La superficie de este tipo de fractura tiene una apariencia granular y brillante, debido a la reflexión de la luz sobre los planos de despegue. También puede propagarse siguiendo una trayectoria a lo largo del límite de los granos (fractura intergranular).

La rotura dúctil se produce después de una deformación plástica apreciable antes y durante la propagación de grietas. La superficie de este tipo de fractura tiene una apariencia característica opaca y fibrosa.

El fenómeno macroscópico es consecuencia del que se produce a la escala de sus monocristales componentes.

Los aceros de construcción están compuestos principalmente de ferrita (hierro α) cuya estructura cristalográfica es cúbica centrada (cc). En estos tipos de cristales se producen dos tipos de fracturas. El primero por cortadura y deslizamiento según un plano diagonal [2.3a]. El desplazamiento relativo de los dos semicristales anterior a su separación, puede ser relativamente grande. El segundo tipo de rotura es por despegue, cuando se alcanza una cierta tensión crítica normal a la cara de clivaje o despegue [2.3b].

Cuando sobre un cristal actúa un estado complejo de tensiones, se producirá una u otra de estas roturas, dependiendo principalmente de las dos circunstancias siguientes:

- Los valores de las tensiones cortantes y de tracción, en los posibles planos de rotura, por deslizamiento y despegue principalmente.
- Las resistencias respectivas al deslizamiento y al despegue.

Más adelante se analizan los factores que influyen en las circunstancias anteriores y que condicionan por tanto el tipo de rotura previsible.

La mayor parte de las estructuras, sobre todo las solicitadas estáticamente y realizadas con los aceros ordinarios de construcción, tienen un comportamiento dúctil frente

a las solicitaciones. Es decir, para estudiar el estado último habrá que considerar un criterio de agotamiento que contemple la rotura dúctil o la fluencia del acero.

La fractura frágil es un fenómeno indeseable que depende de muchos factores de distinta naturaleza (temperatura, composición química del acero, concentración de tensiones, etc.) y no es posible, por tanto, establecer un criterio de agotamiento tensional o fijar por este concepto un tope a las tensiones de proyecto.

Las Instrucciones y Normas se limitan a imponer condiciones y limitaciones para evitar la producción de este fenómeno. Análogas consideraciones pueden hacerse con el fenómeno de rotura por fatiga, aunque en este caso sí pueden establecerse unas tensiones máximas admisibles, para evitarlo.

De ambas trataremos en líneas generales más adelante.

En el caso general, por tanto, de comportamiento dúctil, el estado último corresponde al de iniciación de la fluencia. La predicción de las condiciones en las que comienza la deformación plástica, es un problema importante en el campo de la plasticidad. En un elemento solicitado con una carga uniaxial, la fluencia plástica comienza cuando se alcanza el límite elástico. En un estado complejo de tensiones, el problema es más complicado pero puede suponerse que la fluencia esté relacionada con cierta combinación de las tensiones principales. Se puede expresar un criterio de fluencia en la forma general $F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, K_1) = 0$ pero en la actualidad no existe ningún método teórico para calcular la relación de las componentes de las tensiones que correlacionan la fluencia en un estado de tensión en tres dimensiones y la fluencia en un ensayo de tracción uniaxial. Los criterios de fluencia son por consiguiente, relaciones esencialmente empíricas.

Actualmente existen dos teorías generalmente aceptadas para predecir el comienzo de la fluencia en los metales dúctiles:

— Teoría de la tensión cizallante máxima (criterio de tensión), llamado también de TRESCA, COULOMB o GUEST, y que establece que la fluencia aparece cuando la tensión máxima cizallante alcanza un valor crítico igual a la tensión cizallante de fluencia en un ensayo de tracción uniaxial.

— Teoría de VON MISES (criterio de energía) que dice que la fluencia tendrá lugar cuando la energía de distorsión por unidad de volumen rebase la energía de distorsión por unidad de volumen almacenada en una probeta deformada hasta el límite elástico en tracción o compresión uniaxial.

Este es el criterio que adoptan la mayor parte de las Normas y Reglamentos y entre ellos la Norma Básica MV-103. Su expresión se indica en el apartado siguiente:

2.4.3. Rotura dúctil. Condición de agotamiento según la MV-103.

La Norma Básica MV-103 establece en su artículo 2.6:

En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales σ_I , σ_{II} , σ_{III} , *la condición de agotamiento es:*

$$\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2\right]} = \sigma_u$$

siendo σ_u *la resistencia de cálculo del acero, definido en el artículo 2.7.*

Si el estado de tensión está definido en ejes cualesquiera, la condición de agotamiento se convierte en:

$$\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\,(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)\right]} = \sigma_u$$

Si el estado es de tracción triple ($\sigma_I \geqslant \sigma_{II} \geqslant \sigma_{III} > 0$), *existe una segunda condición de agotamiento, que es:*

$$\sigma_I = 2\,\sigma_u$$

En un estado plano de tensión, o sea, con una tensión principal nula, definido en su plano XOY, *la condición de agotamiento es:*

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\,\sigma_y + 3\,\tau_{xy}^2} = \sigma_u$$

Si el estado plano está definido por sus tensiones principales:

$$\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 - \sigma_I\,\sigma_{II}} = \sigma_u$$

En un estado simple, de tracción o compresión, la condición de agotamiento es:

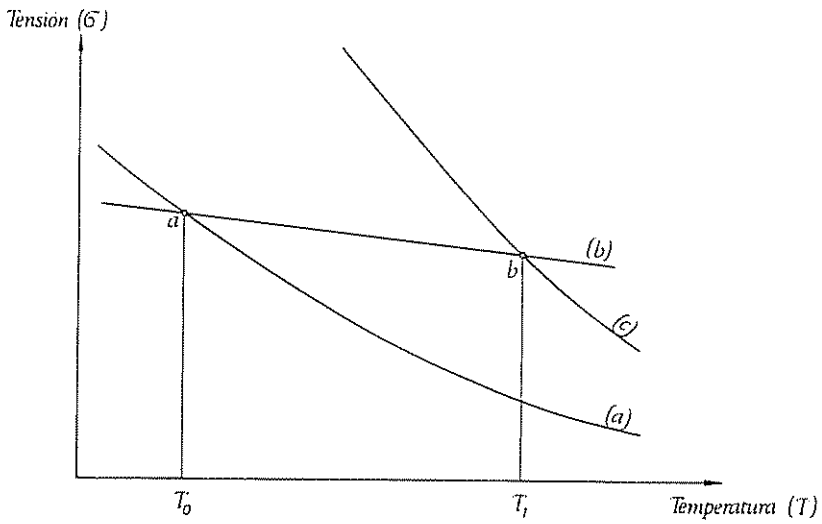
$$\sigma = \sigma_u$$

En un estado de cortadura simple ($\sigma_x = \sigma_y = 0$), *la condición de agotamiento es:*

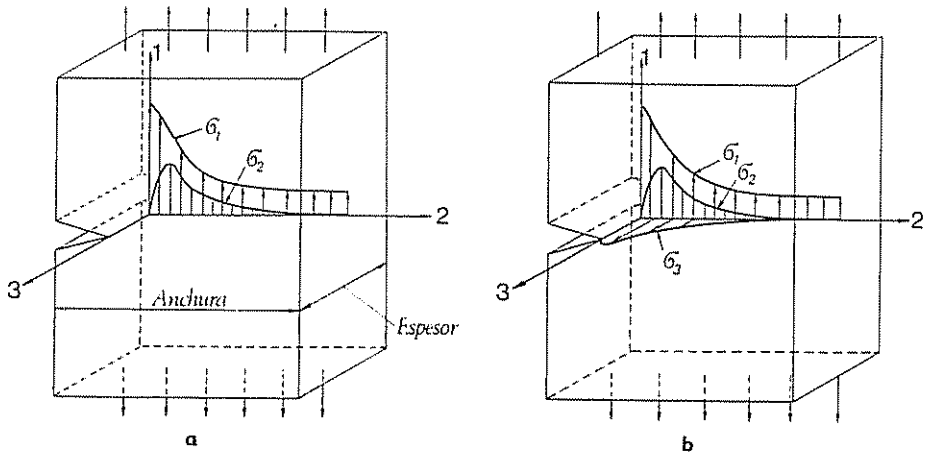
$$\tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = 0{,}576\,\sigma_u$$

2.4.4. Rotura frágil. Factores determinantes.

En el comportamiento dúctil o frágil del acero influye en primer lugar la calidad del mismo, entendiendo por calidad no solo su composición química, sino otras características dependientes del proceso de fabricación y, hasta en algunos, del tratamiento térmico.


Tensión (σ)
a
b
(b)
(c)
(a)
T_0
T_1
Temperatura (T)

[2.4]


1
σ_1
σ_2
2
3
Anchura
Espesor
a
1
σ_1
σ_2
2
σ_3
3
b

[2.5]

Dentro de un mismo acero, tres son los factores principales que estimulan la fractura frágil: un estado triaxial de tensiones, una temperatura baja y una velocidad de deformación elevada.

La presencia de una entalla es un factor muy importante a tener en cuenta, puesto que origina la primera de las condiciones anteriores y contribuye a la tercera.

2.4.4.1. *Influencia de la temperatura. Temperatura de transición.*

La temperatura tiene un efecto importante sobre las propiedades básicas de fluencia y fractura de los metales. El límite elástico o tensión de fluencia de todos los metales aumenta con el descenso de temperatura, y lo mismo sucede con la resistencia al cizallamiento y al despegue. En [2.4] se muestran las curvas típicas de variación de estas resistencias y se ve que la variación al deslizamiento es más acusada que la de resistencia al despegue. Ambas curvas se cortan en un punto que corresponde a un valor T_o de la temperatura, que se llama temperatura de transición, ya que determina la temperatura por encima de la cual se producen roturas dúctiles y por debajo de las cuales roturas frágiles.

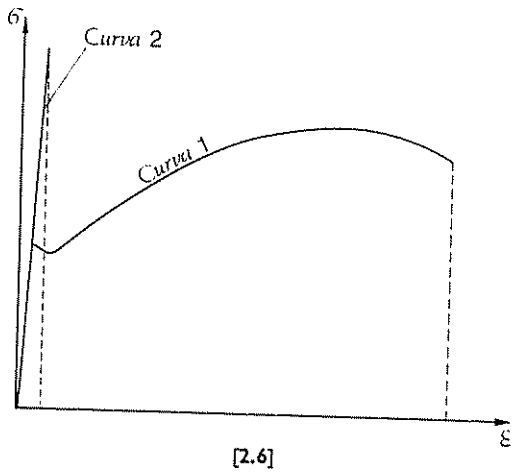
Si en lugar de una barra simple se trata de una barra con una entalla, la curva correspondiente a la rotura dúctil es la *c* de [2.4]. La temperatura de transición T_1 es más alta y existe posibilidad de rotura frágil a temperaturas en las que no se producen para la barra sin entalla (ver artículo 7.2.3.2).

2.4.4.2. *Concentración de tensiones y efecto entalla.*

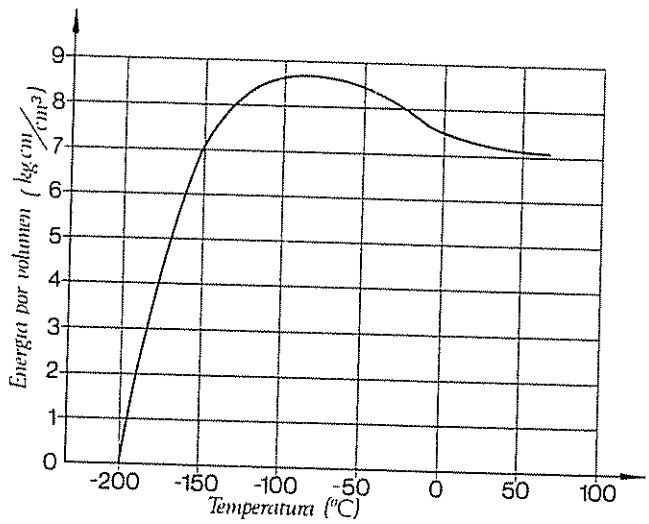
Los cambios producidos por la introducción de una entalla tienen importantes consecuencias para la fractura de los metales. De hecho, solo considerando el efecto de la entalla, pueden explicarse algunas roturas frágiles que se producen con temperaturas y tensiones moderadas en aceros suaves de construcción.

Consideremos una barra con entalla solicitada axilmente [2.5a]. A causa de la entalla las tensiones longitudinales σ_1 no son uniformes, su intensidad en el borde puede ser apreciablemente mayor que el correspondiente valor medio. Según la teoría de la elasticidad existen también tensiones en el plano que contiene el borde de la entalla, tensiones σ_2 de tracción dirigidas en dirección del ancho de la barra. A no ser que la barra sea muy gruesa no existirán tensiones apreciables en la dirección 3.

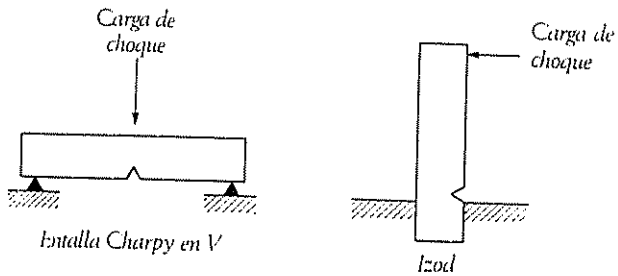
Supongamos que la fuerza axial aumenta hasta un punto en que exista una tendencia a iniciar la fluencia en sentido longitudinal. Es decir, existe una tendencia a la distribución plástica de tensiones σ_1 y a nivelar el pico de tensión. En la deformación plástica, el volumen permanece constante y por consiguiente debe existir una contracción en el sentido del espesor en el plano 2-3, que contiene la entalla. El material por


σ
Curva 2
Curva 1
ε

[2.6]


Energía por volumen (kg cm/cm³)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
-200
-150
-100
-50
0
50
100
Temperatura (°C)

[2.7]


Carga de choque
Entalla Charpy en V
Carga de choque
Izod

[2.8]

encima y debajo de la región localizado donde se produce la concentración de tensiones no tiene que contraerse, y de hecho se opone a la contracción originando unas tensiones σ_3 en el sentido del espesor, en [2.5b] se representa la intensidad de σ_3 en el plano 1-2, medio de la pieza. Su intensidad decrece hasta el valor cero en las caras de la pieza. La magnitud de σ_3 depende del espesor. Las placas pequeñas ofrecen poca resistencia a la contracción y σ_3 será pequeña. En piezas suficientemente gruesas su valor puede ser significante.

Consecuencia de todo ello es que un estado biaxial se ha convertido en un estado triaxial. En un estado triaxial aumenta la resistencia a la rotura dúctil. Esto se ve claramente si se considera la teoría de fluencia de TRESCA o de la máxima tensión cortante citada anteriormente.

En efecto, la máxima tensión cortante es la mitad de la diferencia entre la mayor y menor de las tensiones principales, o sea:

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \leqslant \frac{1}{2}\sigma_e$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leqslant \sigma_e$$

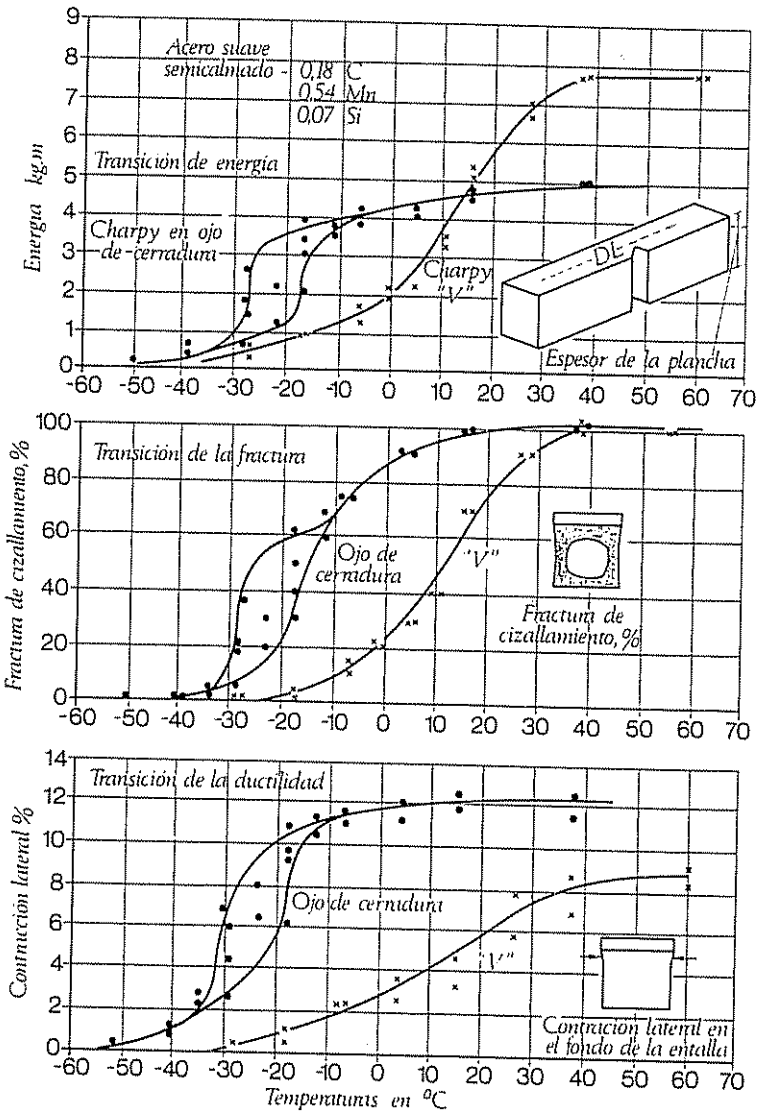
en un estado mono o biaxial σ_3 es cero y la tensión principal máxima es igual a σ_e. En un estado triaxial σ_3 no es cero y σ_1 puede ser considerablemente mayor que σ_e sin que se produzca fluencia. Existe por tanto un aumento de la resistencia a la rotura dúctil que puede venir representada por la curva c de [2.4], dando lugar a una temperatura de transición T_1 para la barra con entalla considerablemente mayor que T_0 y que puede que sea superior a la temperatura ambiental, justificando por tanto la producción de una fractura frágil.

Existen otras circunstancias que pueden producir, en determinados puntos de una pieza, la creación de estados tridimensionales de tensión, es decir, que pueden producir un efecto de entalla o entalladura, tales como las tensiones residuales de laminación o las tensiones creadas por cordones de soldadura. En la mayoría de los casos estas tensiones internas pueden eliminarse por recocido.

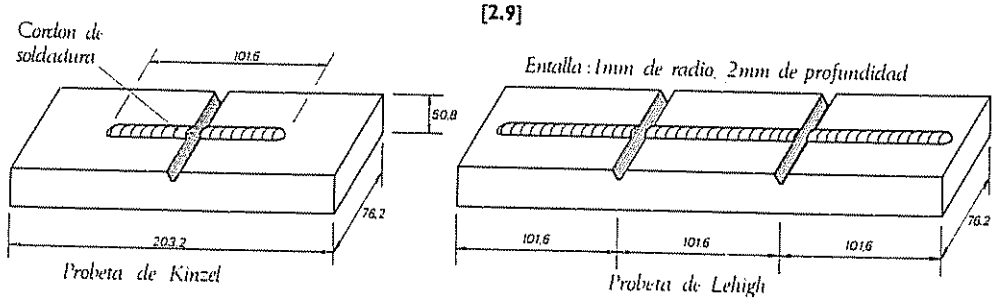
2.4.4.3. *Calidad del acero*

El carbono y el manganeso son los elementos que más frecuentemente se usan para aumentar la resistencia del acero, con mucha más frecuencia el carbono por ser más económico. Una mayor proporción de carbono aumenta la resistencia del acero, pero aumenta la temperatura de transición, es decir, lo fragiliza. El manganeso, por el contrario, baja la temperatura de transición.

En este aspecto también es importante el estado del acero; los aceros pueden ser efervescentes, semicalmados y calmados. En un acero efervescente se ha producido una cantidad importante de monóxido de carbono gaseoso durante su enfriamiento y, por tanto, un acero de este tipo puede contener inclusiones gaseosas distribuidas en su estructura. El acero calmado, por el contrario, ha sido desoxidizado suficientemente, para evitar la producción de gas durante la solidificación. El acero semicalmado es


Acero suave semicalmado - 0,18 C 0,54 Mn 0,07 Si
Transición de energía
Energía kg.m
Charpy en ojo de cerradura
Charpy "V"
Espesor de la plancha
Transición de la fractura
Fractura de cizallamiento, %
Ojo de cerradura
"V"
Fractura de cizallamiento, %
Transición de la ductilidad
Contracción lateral %
Ojo de cerradura
"V"
Contración lateral en el fondo de la entalla
Temperaturas en °C

[2.9]


Cordon de soldadura
101.6
50.8
76.2
203.2
Probeta de Kinzel
Entalla: 1mm de radio, 2mm de profundidad
101.6
101.6
101.6
76.2
Probeta de Lehigh

[2.10]

una situación intermedia entre ambos. Los aceros efervescentes tienen una mayor susceptibilidad a la rotura frágil que los semicalmados y éstos más que los calmados.

En el capítulo 7, se trata con mayor extensión de la influencia de la calidad del acero en la susceptibilidad para la rotura frágil y en consecuencia del problema de la elección del acero para las estructuras soldadas.

2.4.4.4. *La energía de rotura. Resiliencia.*

El ensayo de tracción de una barra de acero a una temperatura ambiente normal, da como resultado una curva del tipo de la (1) en [2.6].

A una temperatura más baja el límite de fluencia y la resistencia de rotura aumenta al mismo tiempo que la ductilidad, o sea, el alargamiento plástico disminuye. Para una temperatura suficientemente baja obtendríamos en el ensayo de tracción una curva del tipo de la (2) de [2.6]. La energía necesaria para la rotura de la probeta es proporcional al área encerrada entre la curva tensión-deformación y el eje de abscisas, y ésta es notablemente menor para la curva (2) que para la (1). Es decir, un material dúctil absorbe una energía en la rotura considerablemente mayor que un material frágil. Dentro de un mismo material la energía de rotura varía con la temperatura como se indica en [2.7].

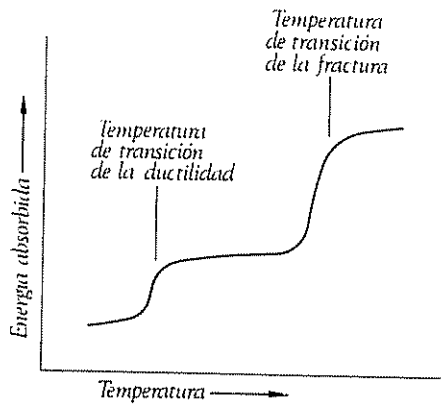
Puede, por tanto, medirse la mayor o menor ductilidad de un material por un ensayo de rotura al choque en el que se puede determinar la energía comunicada a la muestra para su rotura.

Se emplean diversos tipos de ensayos de choque sobre probeta entallada para determinar la tendencia del material al comportamiento frágil. Estos ensayos, que en España se conocen con el nombre de *ensayos de resiliencia*, ponen de manifiesto diferencias entre los materiales que no son observables en el ensayo de tracción.

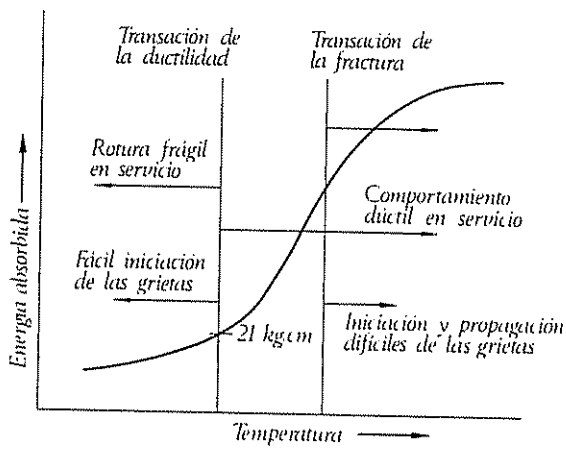
Los diversos investigadores de la fractura frágil de los metales han empleado una gran variedad de formas de probeta. Dos tipos de probetas, y de ensayos, son los que han alcanzado mayor generalidad y se aceptan en las especificaciones. Las *probetas Charpy*, y el correspondiente modo de ensayo, son las que han alcanzado mayor difusión en todos los países, aunque la *Izod* aún son muy empleadas en Gran Bretaña [2.8].

La Norma UNE 7-290-72 «Ensayos de flexión por choque con probeta entallada de productos de acero», establece las condiciones en que debe realizarse el ensayo.

La probeta normal es de 10 mm de lado y 55 mm de longitud y tiene en el centro una entalla. La forma de la entalla y su profundidad puede ser muy variada, aunque actualmente se generaliza el empleo de la forma en *V* que se prefiere a las formas en *U* y en ojo de cerradura. La *probeta Charpy* se apoya


Temperatura
de transición
de la fractura
Temperatura
de transición
de la ductilidad
Energía absorbida
Temperatura

[2.11]


Transación de
la ductilidad
Transación de
la fractura
Rotura frágil
en servicio
Comportamiento
dúctil en servicio
Fácil iniciación
de las grietas
21 kgcm
Iniciación y propagación
difíciles de las grietas
Energía absorbida
Temperatura

[2.12]

horizontalmente por sus dos extremos, como una viga, y la carga se aplica por el choque de un péndulo pesado, cuyo impacto se produce, a una velocidad del orden de los 5 m/seg, sobre el punto medio de la viga y por el lado opuesto a la entalla

La respuesta de la probeta al ensayo de choque se mide usualmente por la energía absorbida en la rotura de la probeta. En los países anglosajones la energía absoluta se expresa en libras-pie, que puede leerse directamente en una esfera calibrada de la máquina de ensayo. En la Europa continental es más frecuente expresar la energía absorbida por unidad de área de la sección transversal de la probeta que queda entre el fondo de la entalla y la cara opuesta a esta última, expresada en kgm/cm^2. Es frecuente que se suplemente esta información con alguna medida de la ductilidad como, por ejemplo, el tanto por ciento de contracción de la entalla. Es muy importante examinar la superficie de fractura para determinar cuándo es fibrosa (fractura de cizallamiento) o granular (fractura de despegue) y hacer una estimación de la proporción entre áreas fibrosas y áreas granulares cuando se presentan fracturas de tipo mixto [2.9].

A veces se emplea un ensayo de flexión lenta, utilizando probetas en forma de viga de poco espesor, para determinar la temperatura de transición. Durante la flexión de una viga sin entalla y cuando el ancho es mucho mayor que el espesor, se produce un estado biaxial de tensiones. Cuando la relación entre ancho y espesor es aproximadamente la unidad, la tensión es fundamentalmente uniaxial, pero al aumentar el ancho la relación entre la tensión transversal y la longitudinal se aproxima al valor $\frac{1}{2}$, que es la condición para un estado de tensiones planas. El ensayo de flexión sin entalla representa una condición intermedia entre el ensayo de tracción y el de choque sobre probeta entallada. Usualmente, la entalla se emplea para introducir una tensión triaxial, con lo que aumenta la temperatura de transición.

Las *probetas de Kinzel y Lehigh* [2.10], se emplean frecuentemente para estudiar el efecto de la soldadura y de las variables metalúrgicas en la tenacidad a la entalla. Los dos tipos de probeta llevan un cordón de soldadura longitudinal y la entalla está hecha de tal forma que el metal aportado, la zona afectada por el calor y el material base inalterado, queden sometidos a las tensiones creadas en el fondo de la entalla.

De las curvas energía-temperatura de los ensayos se deduce que en realidad pueden establecerse dos temperaturas distintas de transición. En [2.11] se muestra la curva de energía absorbida, en función de la temperatura, para un material ideal. La *temperatura de transición de la ductilidad* está relacionada con la tendencia a la iniciación de la fractura. Por debajo de ella se producen fácilmente fracturas de despegue completamente frágiles. La *temperatura de transición en el aspecto de la fractura* se relaciona con las características del material en lo que respecta a la propagación de las grietas. Por encima de esta temperatura de transición no se propagan las grietas en forma catastrófica, sino que la fractura se produce por cizallamiento, con apreciable absorción de energía. En la región intermedia entre las dos temperaturas de transición las fracturas se inician difícilmente, pero una vez iniciadas se propagan rápidamente, con poca absorción de energía.

Los materiales reales no presentan dos temperaturas distintas de transición como en [2.11] Son mucho más típicas las curvas, como en [2.12], que se obtienen en el ensayo de probetas Charpy con entalla en V del acero suave.

No hay una correlación de tipo general entre los resultados de ninguno de los ensayos de fragilidad de fractura y el comportamiento en el servicio.

La experiencia con aceros suaves efervescentes y semicalmados indica que las planchas de hasta 25 mm de espesor que presenten una energía absorbida de 2,1 kgm, como valor mínimo del ensayo Charpy, con probeta de entalla en V, realizado a la temperatura más baja a que han de encontrarse en servicio, no sufrirán fractura frágil si la tensión nominal a que han de estar sometidos es, aproximadamente, la mitad del límite elástico.

2.4.4.5. *Elección del tipo de acero en función de su susceptibilidad a la rotura frágil.*

(Ver artículo 7.2.3.1).

2.4.5. **Rotura por fatiga.**

Puede definirse la fatiga con palabras de la ASTM [1] como «el proceso de un localizado, permanente y progresivo cambio estructural sufrido por un material sujeto a condiciones que le producen tensiones y deformaciones en uno o varios puntos y que puede conducir a la producción de grietas o a la rotura después de un número suficiente de fluctuaciones».

De hecho, se ha comprobado que materiales dúctiles sometidos a esfuerzos cíclicos mucho menores que el nivel de su resistencia estática pueden fallar por fatiga.

Se llamó fatiga a este tipo de rotura o agrietamiento porque generalmente se producía después de un período considerablemente largo de servicio del material.

La fractura de una pieza de acero por fatiga presenta un aspecto característico. Se distinguen en ella dos zonas diferenciadas: una de superficie mate y sedosa o aterciopelada, que constituye la fractura de fatiga propiamente dicha, y otra de aspecto granular o fibroso, que forma la fractura final instantánea.

El origen de rotura por fatiga es una fisura minúscula que va extendiéndose progresivamente hasta el instante en que no existe suficiente metal sano en la sección para soportar el esfuerzo aplicado; se produce entonces la rotura instantánea por deforma-

[1] American Society for Testing and Materials.

ción plástica o por fragilidad, de acuerdo con las propiedades del metal y su sensibilidad al efecto entalla una vez formada la fisura, dando origen a las dos zonas que pueden observarse en la superficie de rotura.

La periodicidad de los esfuerzos hace que la grieta propiamente de fatiga progrese intermitentemente, apreciándose, en correspondencia, en la superficie de fractura una serie de líneas paralelas o marcas anulares que parecen propagarse desde el punto de iniciación de la falla, con un aspecto característico semejante a las ondas concéntricas que se producen en la superficie de las aguas.

La mayor parte de los fallos de fatiga se han detectado en máquinas o estructuras como la de los aviones sometidas a vibraciones o a otro tipo de cargas repetidas con ciclos más o menos acusados de variación. No son, por tanto, de temer en la mayor parte de las estructuras de ingeniería civil, con excepción de las que pueden estar sometidas a cargas de esa naturaleza, como sucede, por ejemplo, en los caminos de rodadura de puentes grúa, los puentes de ferrocarril y desde luego las bancadas y estructuras que soportan maquinaria.

El concepto de cargas repetidas debe ser cuantificadc y precisado. pues en realidad podría aplicarse a las sobrecargas que actúan no permanentemente sobre una estructura. en las que consiguientemente podrían considerarse ciclos de carga y descarga. Sin embargo, los periodos correspondientes son tan largos que se salen por completo de lo que se consideran cargas repetidas a efectos de fatiga. Precisando más, las Normas AISC fijan en 10 000 ciclos de fluctuación de tensiones el límite por debajo del cual no es preciso una comprobación especial a fatiga de las estructuras. Por esta razón no se consideran, en general, a efectos de fatiga, la acción del viento ni las acciones sísmicas.

2.4.5.1. *Ensayos de fatiga*

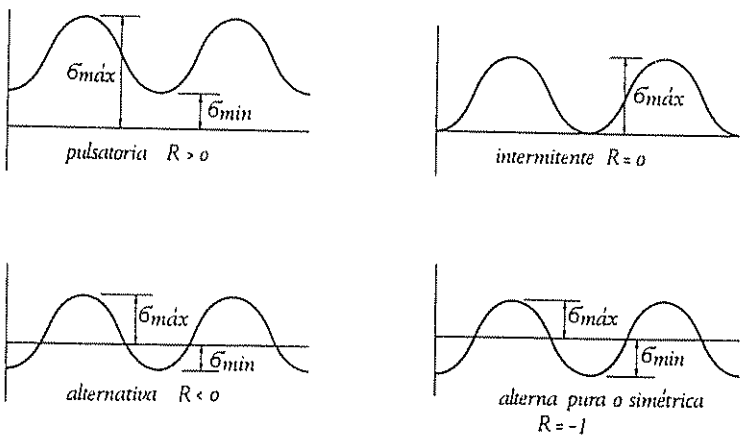
Aunque en el fenómeno de fatiga intervienen muchos factores, algunos de los cuales analizaremos más adelante, los parámetros principales que lo determinan son la variación de tensiones que provoca la repetición de las cargas, y el número de variaciones o ciclos necesarios para la rotura del material.

Cualquiera que sea la naturaleza (tracción, flexión o torsión) de los esfuerzos actuantes pueden producirse diferentes ciclos de variación de tensiones.

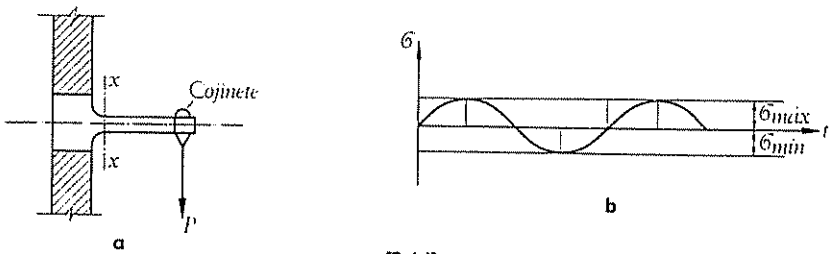
La amplitud de la variación se caracteriza por el parámetro de asimetría del ciclo, R, relación entre la tensión mínima σ_{min} y la tensión máxima $\sigma_{máx}$ que produce el esfuerzo en un ciclo de carga.

Cuando la tensión varía en un solo sentido ($R > 0$), la solicitación es pulsatoria, llamándose intermitente cuando $R = 0$.

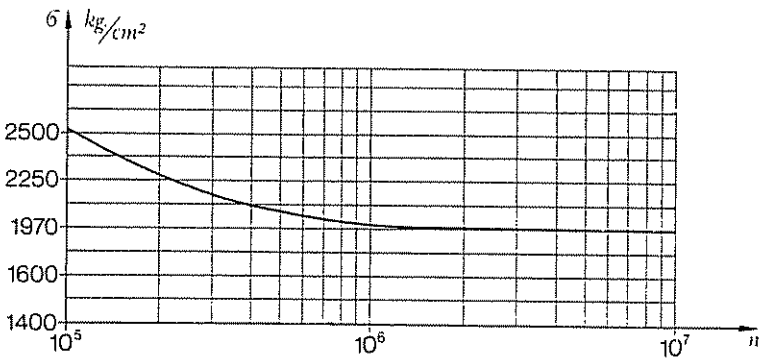
$$R = \frac{\sigma min}{\sigma máx}$$



[2.13]



[2.14]



[2.15]

Cuando la tensión varía entre dos valores de signo contrario ($R < 0$), la solicitación es alterna, llamándose alterna pura o simétrica cuando $R = -1$ [2.13].

El caso de $R = 1$ corresponde a la solicitación estática.

Curvas de Wöhler

Los primeros ensayos sobre fatiga los realizó entre 1852 y 1869, WÖHLER, ingeniero de los ferrocarriles alemanes, para investigar las causas de las roturas que tras largos períodos de servicios se producían en el material ferroviario.

Uno de los tipos de ensayo se representa esquemáticamente en [2.14] En él la probeta giraba a velocidad constante, y como la carga permanecía vertical en cualquier punto de su sección transversal x-x se producían tensiones que variaban sinusoidalmente con el tiempo En una fibra extrema, por ejemplo, las tensiones variaban entre una $\sigma_{máx}$ de tracción y una $\sigma_{mín} = -\sigma_{máx}$ de compresión.

WÖHLER descubrió que aun con probetas pulidas y sin defectos, se podían producir roturas de fatiga en la sección x-x de momento máximo siempre que la $\sigma_{máx}$ sea suficientemente grande (aunque menor de la tensión de rotura estática) y el número de ciclos suficientemente elevado. Haciendo ensayos con distintos valores de P y por tanto de la $\sigma_{máx}$ producida y contando el número de ciclos necesarios n para producir la rotura total, WÖHLER obtenía una curva característica para el material ensayado. En escala semilogarítmica los aceros suaves tienen curvas del tipo de la representada en [2.15] De ella se deduce que existe un valor de la tensión (o de fluctuación de la tensión) que puede repetirse indefinidamente sin que el material rompa por fatiga. Esta tensión se define como límite de fatiga del material (para este determinado tipo de solicitación). El número de ciclos para el cual la curva se hace horizontal depende del material ensayado. Para los aceros de construcción se admite que esto sucede para $n = 2 \times 10^6$ ciclos.

El límite de fatiga depende del valor de R de variación de las tensiones. Es preciso por tanto, cuando se habla de límite de fatiga, calificarlo con el tipo de variación a que se refiere Cuando no se menciona suele referirse al correspondiente a $R = -1$, que es su valor mínimo

Diagrama de Goodman

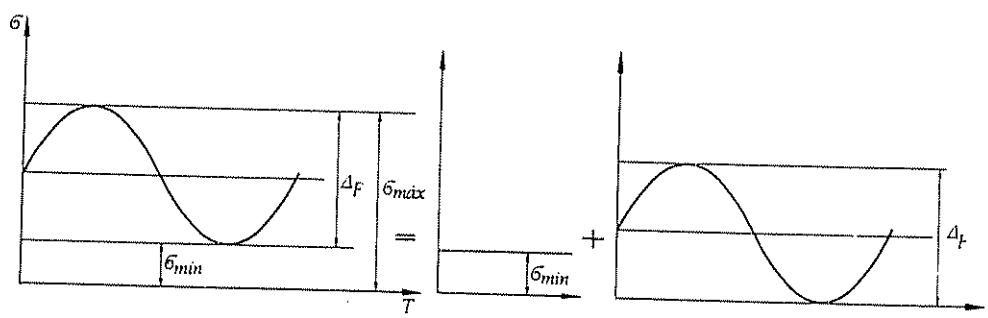
El diagrama original de GOODMAN es otra de las primeras contribuciones al estudio de la fatiga GOODMAN, consideró la ley de variación de tensiones como la suma de una tensión constante $\sigma_{mín}$ más una variación alternativa pura [2.16], que se superponía bruscamente a la tensión mínima. Teniendo en cuenta que la aplicación brusca de una carga produce un efecto doble que su aplicación gradual supuso que el efecto de la alternancia pura sobreimpuesta sería doble de su valor nominal Es decir, con un coeficiente de mayoración de 2 Entonces hizo la hipótesis que la rotura por fatiga se produciría cuando estas tensiones mayoradas alcanzasen la resistencia última del material

$$\sigma_{mín} + 2\,\Delta_F = \sigma_u$$

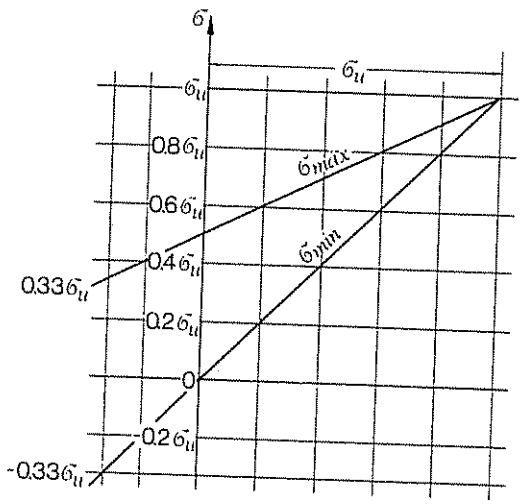
y como

$$\Delta_F = \sigma_{máx} - \sigma_{mín} \qquad \sigma_{máx} - \frac{1}{2}\,\sigma_{mín} = \frac{1}{2}\,\sigma_u$$

que puede representarse en la forma [2.17].


σ
Δ_F
σ_máx
=
σ_mín
T
σ_mín
+
Δ_t

[2.16]


σ
σ_u
σ_u
0.8σ_u
σ_máx
0.6σ_u
σ_mín
0.4σ_u
0.33σ_u
0.2σ_u
0
-0.2σ_u
-0.33σ_u

[2.17]

La hipótesis simplificativa de GOODMAN no se ajusta a los resultados reales, por lo que su diagrama original no tiene en la actualidad más que un valor histórico. Sin embargo, se utiliza un tipo de representación semejante dando origen a los *diagramas modificados de Goodman*, en los que basados en resultados experimentales, proporcionan una visión completa del comportamiento a la fatiga de una barra, conexión o elemento estructural cualquiera. En este diagrama, las ordenadas son las tensiones máximas, las abcisas las tensiones mínimas (de tracción o compresión) y las rectas radiales indican el tipo de variación de tensión. Las curvas n_1 . n_2 corresponden a distintos valores del número de ciclos o vida calculada para la estructura [2.18].

2.4.5.2. *Factores que influyen en la resistencia a la fatiga.*

Además de las fluctuaciones de tensión y el número de ciclos de carga, verdaderos protagonistas del fenómeno de fatiga, existen otros factores que influyen en mayor o menor grado en la potenciación del mismo.

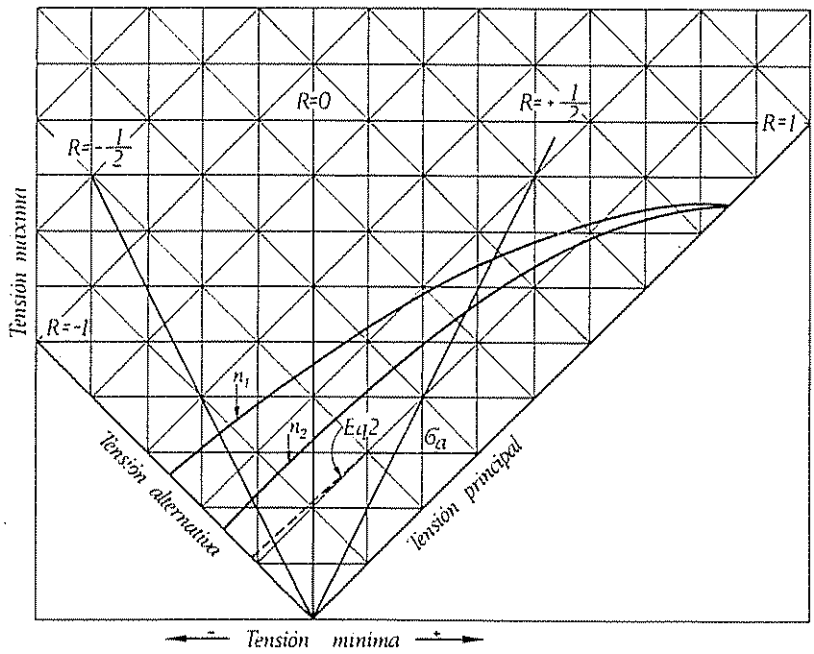
Efecto de entalladura.

La mayor parte de las numerosas teorías existentes para explicar el mecanismo de la fatiga, establecen como necesaria la existencia de un concentrador de tensiones (*stress raiser*), aun en el caso de las probetas pulidas y de aspecto homogéneo que se ensayan en el laboratorio, y que en este caso puede consistir en la no homogeneidad interior del material o defectos microscópicos superficiales. En las piezas reales de las máquinas existen invariablemente accidentes que concentran las tensiones tales como filetes, roscas y taladros y en ellos, como regla general, se inician las grietas de fatiga.

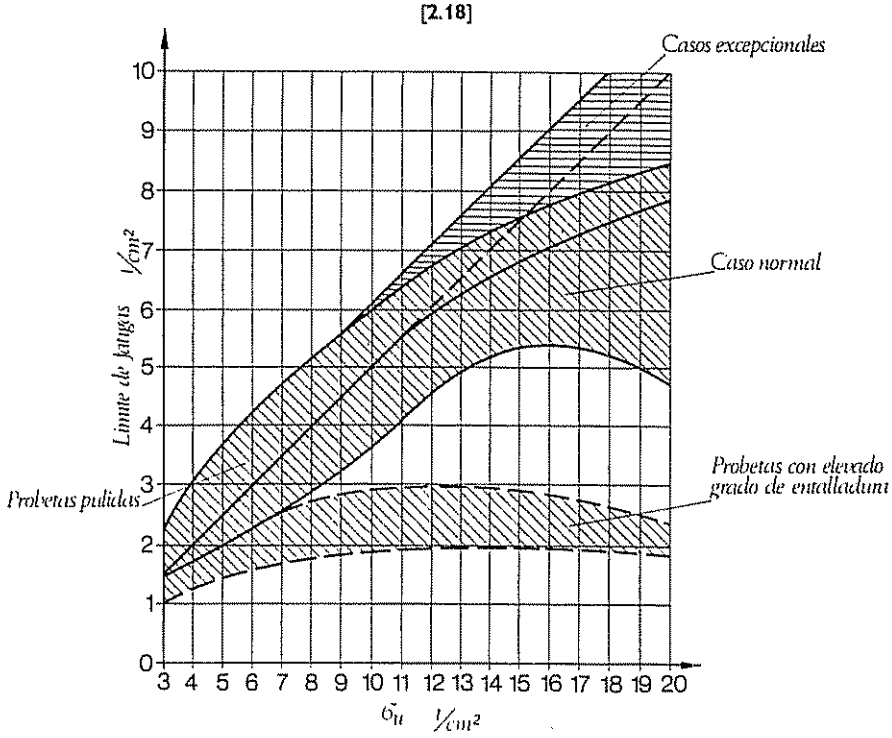
El efecto de las entallas en la resistencia a la fatiga se determina comparando las curvas de WÖHLER de probetas entalladas y sin entallar. Los datos para las probetas entalladas suelen representarse en términos de la tensión nominal obtenida a partir de la sección neta de la probeta. Los resultados de los ensayos demuestran que en general la resistencia a la fatiga de una probeta con una discontinuidad aparente u otra causa de concentración de tensiones, es más baja y en ocasiones mucho más baja que la de una probeta sin alteraciones.

La eficacia de las entallas en la disminución del límite de fatiga se expresa mediante el factor de resistencia a la fatiga o factor de fatiga con entalla K_f. Este factor es sencillamente la relación del límite de fatiga de las probetas sin entallas al mismo valor de las probetas con entalla.

En los casos en que el valor del coeficiente de concentración de tensiones, para solicitaciones estáticas K_t es conocido (calculado o medido), se comprueba que generalmente este es mayor que K_f, lo que se explica porque, aún en fatiga, existe cierta redistribución plástica de tensiones que alivia el efecto concentrador de tensiones.


R=0
R=+1/2
R=1
R=-1/2
R=-1
Tensión máxima
Tensión alternativa
Tensión principal
Tensión mínima
n1
n2
Eq2
σa

[2.18]


Casos excepcionales
Caso normal
Probetas con elevado grado de entalladuni
Probetas pulidas
Límite de fatigas kg/cm²
σu kg/cm²
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

[2.19]

La sensibilidad a la entalla en fatiga se expresa normalmente por el índice de sensibilidad a la entalla q:

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1}$$

En un material que no experimenta reducción de la resistencia a la fatiga por la presencia de la entalla es $q = 0$, mientras que en otro en que la entalla ejerce completamente su efecto teórico es $q = 1$

Sin embargo, q no es una verdadera constante del material porque varía con el tipo de entalla, el tamaño de la probeta y el tipo de carga.

Tipo de acero.

En general, puede decirse que la resistencia a la fatiga de un acero de construcción es proporcional a su resistencia última. Sin embargo, esta proporcionalidad puede variar considerablemente e incluso no existir dependiendo del efecto entalla y los ciclos de tensión a que esté sometido. En probetas no alteradas, la resistencia a la fatiga con variaciones alternativas de tensión ($R = -1$), su valor puede ser el 50 % de la resistencia última estática del material. Pero cuando el efecto entalla es importante, el tanto por ciento puede ser mucho más bajo. Esto puede apreciarse en [2.19].

Los aceros de alta resistencia suelen tener sensibilidades a la entalla mayores que los aceros más suaves y con menor resistencia estática, por lo que cuando la fatiga es determinante no suele ser interesante su utilización.

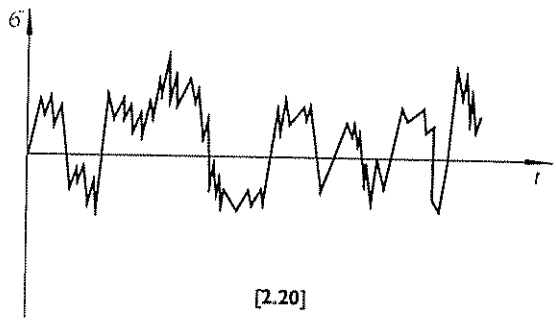
Tipo de solicitación.

La frecuencia de los ciclos de solicitación no tiene un efecto importante en la resistencia a la fatiga, con la excepción tal vez de las frecuencias muy altas. Por encima de los 10 000 ciclos por minuto la resistencia a la fatiga aumenta con la frecuencia. Tampoco es de tener en consideración la distribución de los ciclos de carga en el tiempo, aunque en general el efecto de prolongados períodos de reposo entre las aplicaciones de las cargas repetidas, suele ser beneficioso.

El comportamiento a la fatiga de piezas solicitadas axilmente es notoriamente diferente en caso de compresión y tracción. Solicitaciones repetidas exclusivamente de compresión no producen fatiga más que con un número de ciclos verdaderamente elevado, superior al correspondiente para solicitaciones de tracción.

2.4.5.3. *Proyecto y dimensionamiento a la fatiga.*

El proyecto de estructuras frente a los fenómenos de fatiga es fundamentalmente empírico, basado en datos de laboratorio, lo que presenta siempre la dificultad de corre-



[2.20]

lacionar las condiciones complejas reales (secuencia de las cargas, ciclos variables, historia del material) con las teóricas y relativamente simples de los ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio se hacen con curvas de variación de tensiones que son perfectamente senoidales con amplitudes constantes. Esto que puede ser coincidente con la realidad en elementos de máquinas, no lo es para el cálculo de puentes de ferrocarril o caminos de rodadura de puentes grúa, en los que las cargas repetidas son en cierto modo variables, originando ciclos del tipo del esquematizado en [2.20].

En este caso es preciso:

— Calcular un ciclo de tensiones característico en el que la tensión máxima y mínima se calculen teniendo en cuenta los efectos dinámicos.

— Estimación del número de ciclos posible durante la vida de la estructura.

— Suposición de que la carga real es equivalente a una función periódica de la misma amplitud con el mismo número de ciclos

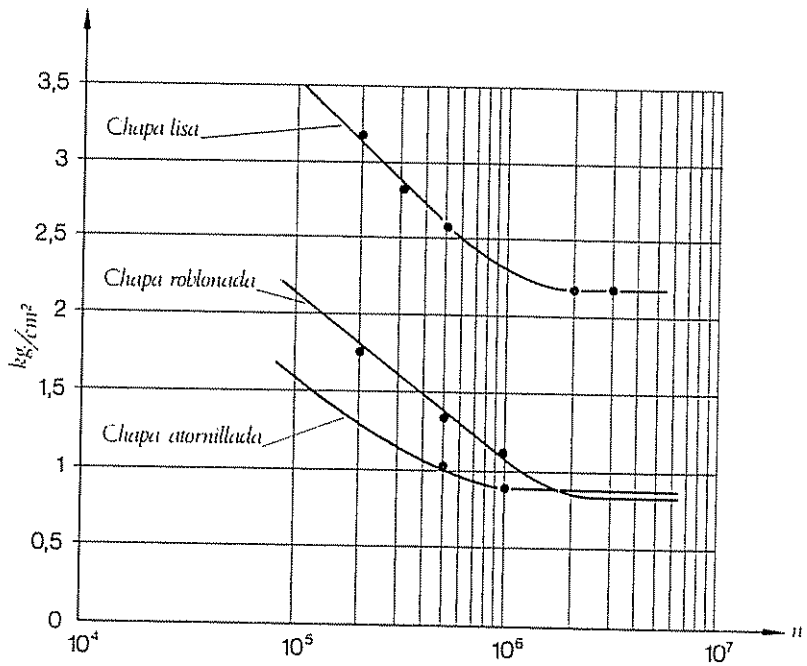
— Determinación de los posibles efectos de entalla derivados de la geometría y uniones de la pieza, que no puedan ser eliminados por un diseño adecuado.

— Utilización de los diagramas de GOODMAN o prescripciones reglamentarias para piezas con las mismas condiciones de carga, y de entalla.

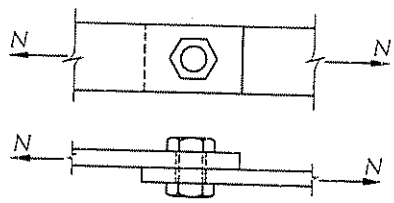
Todas las estructuras están sometidas a lo largo de su vida a la aplicación más o menos intermitente de las sobrecargas para que han sido diseñadas. A menos que este número de cargas y descargas sea suficientemente grande, no es preciso considerar la posible fatiga de la estructura, y su cálculo se rige por el criterio general de agotamiento de fluencia anteriormente expuesto. Precisando más, las Normas AISC, por ejemplo, no establecen como necesaria ninguna comprobación de fatiga para elementos sometidos a menos de 10 000 ciclos completos de carga en su vida prevista. Las exigencias por fatiga son poco severas para número de ciclos comprendidos entre 10^4 a 10^5 y más fuertes entre 10^5 y 2×10^6 ciclos.

Uniones roblonadas y atornilladas.

A causa de la concentración de tensiones en los bordes de los agujeros, las uniones roblonadas tienen resistencias a la fatiga relativamente bajas. El tipo de acero influye poco debido a esta razón. La compresión que ejercen los roblones sobre la chapa,


3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
kg/cm²
Chapa lisa
Chapa roblonada
Chapa atornillada
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
n

[2.21]


N
N
N
N

a


N
N
N
N

b c

[2.22]

ejerce un efecto beneficioso que puede aumentar la resistencia a la fatiga en un 25 % o más de la correspondiente, sin considerar el apriete. No obstante, no suele considerarse este incremento en las normas y especificaciones [2.21].

Las uniones con tornillos ordinarios (no pretensados) tienen un comportamiento parecido a las uniones roblonadas, para número elevado de ciclos y notoriamente inferior conforme disminuye el número de ciclos [2.21].

Las uniones con tornillos de alta resistencia tienen mucho mejor comportamiento a la fatiga debido a ser más elevada la fuerza de compresión que el tornillo ejerce sobre la placa. La transmisión de los esfuerzos es menos brusca con tornillos de alta resistencia que con tornillos ordinarios o roblones [2.22], con lo que se disminuye la concentración de tensiones.

Uniones soldadas.

Las estructuras soldadas pueden tener una resistencia relativamente baja a la fatiga si no están adecuadamente proyectadas y fabricadas. Existe gran cantidad de ensayos y datos experimentales que permiten ponderar el efecto de entalla según el tipo y disposición de las soldaduras.

A efectos de fatiga una unión por soldadura es tanto mejor cuanto menor discontinuidad establece entre los elementos unidos.

Son, por tanto, especialmente recomendables las uniones a tope con preparación de bordes, en las que se haya repasado el refuerzo de la soldadura en dirección del esfuerzo de manera de no establecer ninguna discontinuidad.

Recomendaciones de proyecto.

Para mejorar la resistencia a la fatiga de las estructuras sometidas a ciclos de carga, es conveniente:

— Estudiar los detalles constructivos de manera de evitar concentración de tensiones o distribución irregular de las mismas.

— Evitar los cambios bruscos de sección, y de rigidez en las piezas o elementos estructurales.

— Cuidar la coincidencia de ejes en los nudos evitando las excentricidades o reduciéndolas al mínimo.

Condición de carga	Número de ciclos de carga	
	De	A
1	20 000 [1]	100 000 [2]
2	100 000	500 000 [3]
3	500 000	2 000 000 [4]
4	más de 2 000 000	

[1] Aproximadamente equivalente a 2 aplicaciones diarias durante 25 años.
[2] Aproximadamente equivalente a 10 aplicaciones diarias durante 25 años.
[3] Aproximadamente equivalente a 50 aplicaciones diarias durante 25 años.
[4] Aproximadamente equivalente a 200 aplicaciones diarias durante 25 años.

[2.23]

— Evitar la unión de elementos secundarios en piezas con solicitaciones de fatiga importantes.

— Emplear soldaduras a tope con preparación de bordes y alisado, con preferencia a los cordones de soldadura.

— Utilización preferente de tornillos de alta resistencia pretensados a los roblones o tornillos ordinarios.

— Emplear soldaduras continuas con preferencia a las discontinuas o intermitentes.

— Evitar detalles que produzcan tensiones localizadas importantes.

— Inspección adecuada para garantizar una correcta fabricación y montaje.

— En el caso de detectar grietas de fatiga, tomar las medidas necesarias para evitar su propagación.

Dimensionamiento y comprobación.

La Norma Básica MV-103, por referirse a estructuras solicitadas estáticamente, no incluye la comprobación a fatiga entre sus prescripciones. De entre las normas que tratan de este fenómeno, la AISC [1] lo hace de una forma simple y de fácil aplicación, que describimos a continuación:

Condiciones de carga y tipo y configuración del material

En el proyecto de piezas y uniones sometidas a tensiones variables debidas a las sobrecargas, debe tenerse en cuenta el número de ciclos de tensión. La variación de tensiones previstas y el tipo y configuración de la pieza o detalle.

Las condiciones de carga se clasificarán según se indica en [2.23]

El tipo y configuración del material (grado de entalladura) se determinará según [2.24] *y* [2.25]

Tensiones admisibles.

La máxima tensión no debe exceder de las máximas tensiones admisibles para solicitaciones estáticas [2] *y la máxima fluctuación de tensión* Δ_F *(cuyo valor es el doble de la amplitud de la onda de variación*

---

[1] *Specification for the design, fabrication and erection of structural steel for building*, Apéndice B. Febrero, 1969. Este mismo procedimiento comprobatorio está recogido en *Specifications for electric overhead traveling cranes* de Crane Manufacturers Association of America, Inc. 1975 y en *Specifications for the design and Construction of mill buildings* de Association of Iron and Steel Engineers. Enero, 1969.

[2] Para nuestros aceros puede tomarse los valores de [2.26]. Con un valor admisible de la cortadura simple de $\tau_{ad} = 0.576\,\sigma_{ad}$.

Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según [2.25]	Categoría de entalladura
Material simple	Metal base laminado	T o Rev	1-2	A
Barras y vigas armadas	Metal base y metal de aportación de la soldadura en piezas sin uniones, construidas con chapas o perfiles unidos con soldaduras a tope con penetración total, paralelas a la dirección de los esfuerzos.	Rev Rev T o C	3 4 3-4	B* B B
	Metal base y metal de aportación de soldadura en piezas sin uniones formadas por chapas o perfiles unidos por cordones de soldadura paralelos a la dirección de los esfuerzos.	T, C o Rev	4-5-6	B
	Tensión de flexión σ en la zona de unión de ala y alma, adyacente a rigidizadores transversales soldados: Cuando la tensión cortante $\tau < \frac{1}{2}\,\tau_{adm}$ Cuando la tensión cortante $\tau > \frac{1}{2}\,\tau_{adm}$ siendo τ_{adm} la tensión admisible para solicitaciones estáticas	 T o Rev T o Rev	 7 7	 C D
	Metal base en el final de una platabanda con o sin soldadura frontal.	T, C o Rev	5	E
Uniones con elementos mecánicos de unión	Metal base en la sección neta de uniones con tornillos de alta resistencia sometidos a tensiones alternativas y uniones solicitadas axilmente que producen flexión fuera del plano del material unido.	T o Rev	8	A
	Metal base en la sección neta de elementos en otros tipos de uniones con elementos mecánicos de unión.	T o Rev	8-9	B
Soldadura a tope	Metal base y de soldadura en uniones con soldadura a tope de penetración completa repasadas en dirección de los esfuerzos y con inspección por Rayos X o ultrasonido.	T o Rev	10	A
	Metal base y de aportación con soldadura de penetración completa, repasadas en uniones de secciones de perfiles o vigas armadas de la misma sección.	T o Rev	10-11	B
	Metal base y de aportación en uniones a topes con penetración completa y casi completa con transición en ancho o espesor, con soldaduras repasadas en dirección al esfuerzo, con taludes no mayores de 1/2,5, soldadura sana con inspección radiográfica o por ultrasonido.	T o Rev	12-13	B
	Metal base y de aportación con soldaduras a tope de penetración completa o casi completa, con o sin transiciones de taludes no mayor a 1/2,5, repasadas en dirección del esfuerzo y cuya calidad no ha sido comprobada por radiografía o ultrasonido.	T Rev T o Rev	10 10 11-12-13	C C* C

[2.24]

(Continuación)

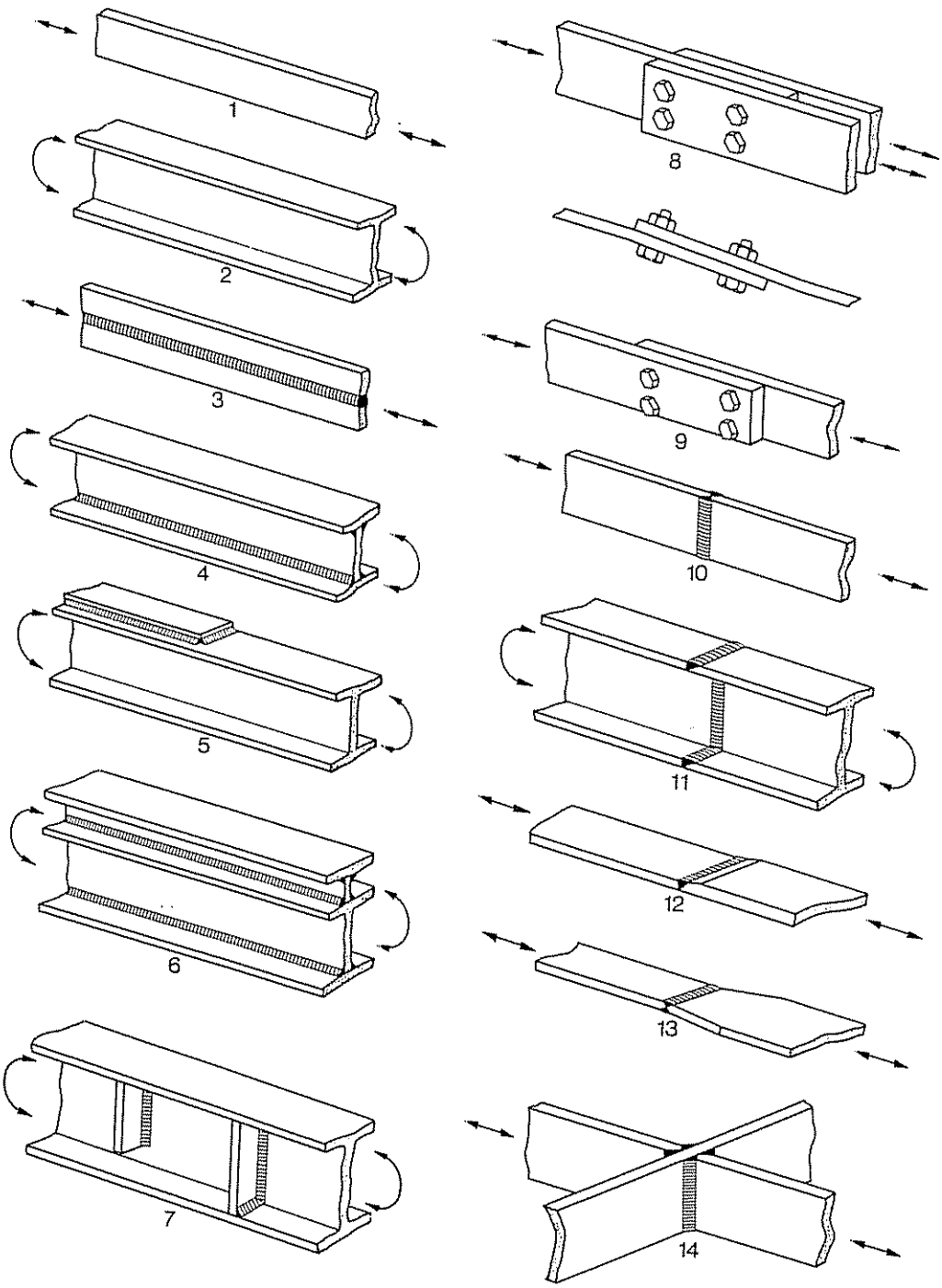
Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según [2.25]	Categoría de entalladura
Soldadura a tope (cont.)	Metal base y de aportación con soldadura a tope de penetración completa o casi completa, en uniones en T o en cruz.	T Rev	14 14	D D*
	Metal base en nudos unidos con soldaduras a tope, solicitados transversal y/o longitudinalmente.	T, C o Rev	15	E
	Metal de aportación en soldadura a tope transversales con penetración parcial, referidas a la sección nominal de la soldadura.	T o Rev	16	G
Uniones con cordones de soldadura	Metal base en cordones discontinuos.	T, C o Rev		E
	Metal base en barras solicitadas axilmente y cordones de fijación en su extremidad.	T, C o Rev	17-18-19-20	E
	Cordones frontales o longitudinales, continuos o intermitentes, (excepto cordones frontales en uniones en T) y cordones continuos sometidos a esfuerzo cortante paralelos al eje del cordón, en combinación con el cortante debido a la flexión.	S	5-17-18-19-21	F
	Cordones frontales en uniones en T.	S	20	G
Otras disposiciones	Metal base en las inmediaciones (a una distancia máxima de 5 cm en dirección del esfuerzo) de soldaduras de pequeña longitud.	C T o Rev	22-23-24 22-23-24-25	C D
	Metal base en las inmediaciones de cordones largos.	T, C o Rev	26	E
	Metal base en las inmediaciones de ojal o ranura.	T, C o Rev	27	E
	Tensiones cortantes en conectores (área nominal).	S	22	G
	Tensiones cortantes en soldaduras de ojal o ranura.	S	27	G

T Tensiones solamente de tracción, pulsatoria o intermitente $K \geqslant 0$
C Tensiones solamente de compresión, pulsatoria o intermitente $K \geqslant 0$
Rev Tensiones alternativas $K < 0$
S Campo de variaciones de tensiones cortantes
* En estos casos puede utilizarse como valor admisible de variación de tensión, en lugar de Δ_F, de **[2.27]**, el valor Δ'_F dado por la fórmula:

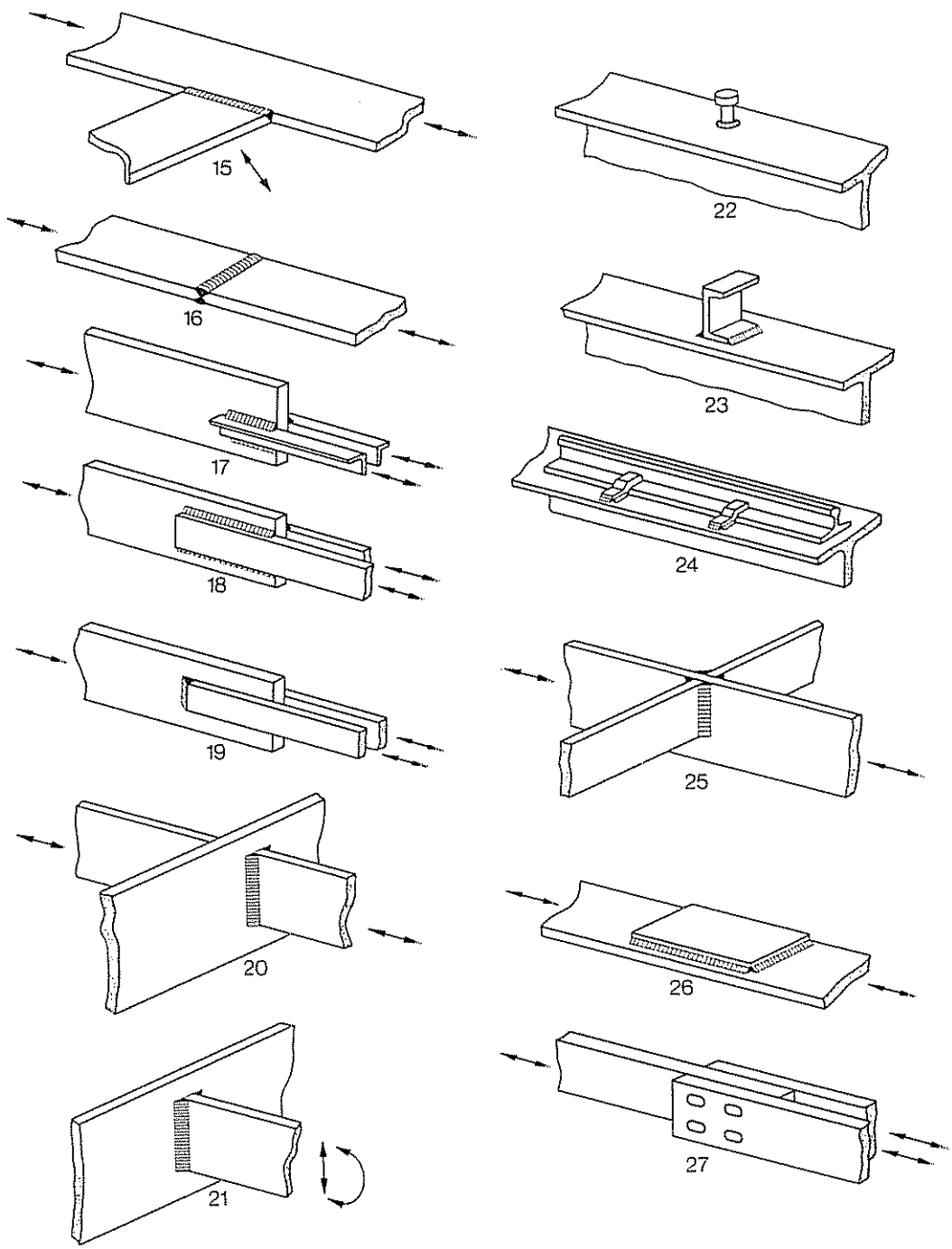
$$\Delta'_F = \frac{\sigma_T + \sigma_C}{\sigma_T + 0{,}6\,\sigma_C}\,\Delta_F$$

σ_C y σ_T Tensiones de compresión y tracción respectivamente consideradas con su valor absoluto.

[2.24]



[2.25]



[2.25]

Tensiones admisibles (kg/cm²)

Clase de acero	Espesor mm		
	$\leqslant 16$	> 16 $\leqslant 40$ [1]	> 40 [1] $\leqslant 63$
A 37	1 600	1 533	1 466
A 42	1 733	1 666	1 600
A 52	2 400	2 333	2 266

[1] En los aceros de tipo A 52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.

[2.26]

Valor admisible de la variación de tensión Δ_F (kg/cm²)

Categoría de la entalladura	Condiciones de carga			
	1	2	3	4
A	2 812	2 250	1 687	1 687
B	2 320	1 758	1 195	1 054
C	1 969	1 476	984	843
D	1 687	1 195	703	632
E	1 195	843	492	421
F	1 195	984	773	632
G	1 055	843	632	562

[2.27]

de tensiones, es decir, igual a $\sigma_{máx} - \sigma_{mín}$) no excederá del que se da en [2.27], excepto en el caso de tensiones alternativas, en que para los grados de entalla que se marcan con un asterisco en [2.24] en los que puede utilizarse la fórmula

$$\Delta'_F = \frac{\sigma_T + \sigma_c}{\sigma_T + 0{,}6\,\sigma_c}\,\Delta_F$$

en las que σ_T y σ_c son los valores absolutos de las tensiones de tracción y compresión y Δ_F la fluctuación de tensión dada por [2.27].

La comprobación se hace para tensiones admisibles [1], por lo que debe utilizarse con valores característicos de las cargas.

La Norma es válida y común para los aceros americanos A 36, A 529, A 440, por lo que es extrapolable a los aceros españoles de construcción, cuyos límites elásticos están muy próximos a los de ellos.

2.4.5.4. *Tensión admisible máxima de fatiga.*

Las barras, soldaduras y elementos de unión, sometidos a solicitaciones repetidas, deben calcularse de manera que la tensión máxima no sobrepase en ningún caso la tensión admisible para solicitaciones estáticas, según [2.26], ni que el margen de variación de tensiones (tensión máxima menos tensión mínima) sobrepase los valores que para dicha variación Δ_F se dan en [2.27].

La tensión mínima se considerará negativa en el cálculo de Δ_σ, si es de signo opuesto a la tensión máxima.

Estas dos condiciones equivalen a:

$$\sigma_{máx,F}\ (1 - R) \leqslant \Delta_F$$

$$\tau_{máx,F}\ (1 - R) \leqslant \Delta_F$$

debiendo cumplirse al mismo tiempo:

$$\sigma_{máx,F} \leqslant \sigma_{adm,est}$$

$$\tau_{máx,F} \leqslant \tau_{adm,est}$$

---

[1] Esto es regla general para las normas e instrucciones que tratan del tema. Incluso las normas soviéticas, que utilizan el cálculo en estados últimos desde hace más de veinticinco años, lo realizan, en el caso de fatiga, con tensiones admisibles.

Tensiones admisibles a la fatiga. $R = 0$

Condición de carga		1		2		3		4	
Entalla		σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}
Acero A 37	A	1 600	922	1 600	922	1 600	922	1 600	922
	B	1 600	922	1 600	922	1 195	688	1 054	607
	C	1 600	922	1 476	850	984	567	844	486
	D	1 600	922	1 195	688	703	405	632	364
	E	1 195	688	843	486	492	283	422	243
	F	1 195	688	984	567	773	445	632	364
	G	1 055	608	843	486	632	364	562	324
Acero A 42	A	1 733	998	1 733	998	1 688	972	1 688	972
	B	1 733	998	1 733	998	1 195	688	1 054	607
	C	1 733	998	1 476	850	984	567	844	486
	D	1 688	972	1 105	688	703	405	632	364
	E	1 195	688	843	486	492	283	422	243
	F	1 195	688	984	567	773	445	632	364
	G	1 055	608	843	486	632	364	562	324
Acero A 52	A	2 400	1 382	2 249	1 295	1 688	972	1 688	972
	B	2 320	1 336	1 757	1 012	1 195	688	1 054	607
	C	1 968	1 134	1 476	850	984	567	844	486
	D	1 688	972	1 195	688	703	405	632	364
	E	1 195	688	843	486	492	283	422	243
	F	1 195	688	984	567	773	445	632	364
	G	1 055	608	843	486	632	364	562	324

[2.28]

En [2.28] y [2.29], se resumen las tensiones admisibles a fatiga en función del número de ciclos y grado de entalla, para los aceros A 37, A 42 y A 52, en los casos de solicitaciones repetidas $R = 0$ y de solicitaciones alternativas simétricas $R = -1$

2.4.6. Estados límites de servicio.

Las estructuras y sus elementos no deben, cuando estén sometidos a cargas, sufrir deformaciones, desplazamientos o vibraciones que las hagan incompatibles con su adecuado uso.

Las condiciones que se exigen por este concepto, se fijan en reglamentos e instrucciones correspondientes o en el pliego de condiciones de cada proyecto.

El coeficiente de ponderación que se utiliza para los cálculos de comprobación de los estados límites de servicio o de deformación es $\gamma_s = 1$, lo que equivale a decir que se efectuarán con los valores característicos de las cargas.

2.5. EL ACERO DE CONSTRUCCION

Según la Norma UNE 36-004-89: *El acero es un producto férreo generalmente apto para la conformación en caliente. Con excepción de ciertos aceros de alto contenido en cromo, el contenido en carbono es igual o inferior al 2 %, límite que los separa de las fundiciones.* En esta misma Norma se establece la clasificación de los aceros atendiendo a dos conceptos:

— composición química

— criterios derivados de su utilización.

> *3.1 Clasificación según la composición química. Atendiendo a la composición química los aceros se dividen en dos grupos* [1]:
>
> *a) aceros no aleados,*
> *b) aceros aleados.*

[1] Cuando se trate de productos compuestos o recubiertos la composición química se refiere a la del metal base

Tensiones admisibles a la fatiga. R = — 1

Condición de carga		1		2		3		4	
Entalla		σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}	σ_{adm}	τ_{adm}
Acero A 37	A	1 406	810	1 125	648	844	486	844	486
	B	1 160	668	879	506	597	344	527	304
	C	984	567	738	425	492	283	422	243
	D	844	486	597	344	352	203	316	182
	E	597	344	422	243	246	142	211	122
	F	597	344	492	283	387	223	316	182
	G	527	304	422	243	316	182	261	162
Acero A 42	A	1 406	810	1 125	648	844	486	844	486
	B	1 160	668	879	506	597	344	527	304
	C	984	567	738	425	492	283	422	243
	D	844	486	597	344	352	203	316	182
	E	597	344	422	243	246	142	211	122
	F	597	344	492	283	387	223	316	182
	G	527	304	422	243	316	182	281	162
Acero A 52	A	1 406	810	1 125	648	844	486	844	486
	B	1 160	668	879	506	597	344	527	304
	C	984	567	738	425	492	283	422	243
	D	844	486	597	344	352	203	316	182
	E	597	344	422	243	246	142	211	122
	F	597	344	492	283	387	223	316	182
	G	527	304	422	243	316	182	281	162

[2.29]

3.2. Subdivisión según los criterios de utilización.

Los aceros, tanto no aleados como los aleados, se subdividen atendiendo a su utilización en los grupos siguientes:

a) aceros de base,
b) aceros de calidad,
c) aceros especiales.

4. Clasificación de los aceros según la composición química.

4.1. Aceros no aleados.

Se consideran como aceros no aleados aquellos en que ninguno de sus elementos se encuentra en porcentajes iguales o superiores a los indicados en la Tabla 1[1].

4.2. Aceros aleados.

Se consideran como aceros aleados aquellos que contienen uno o varios elementos en porcentajes iguales o superiores a los valores indicados en la Tabla 1[1].

5 Subdivisión atendiendo a criterios de utilización.

5.1. Definiciones.

Los aceros de base son aquellos para los cuales no se exige ninguna prescripción particular en cuanto a su utilización.

Los aceros de calidad son aquellos que, en general, no presentan regularidad de respuesta a los tratamientos térmicos pero cuyas condiciones de utilización requieren cuidados especiales en particular desde el punto de vista del estado superficial, de la estructura o de la sensibilidad a la rotura frágil.

Los aceros especiales son los que, en general, se destinan a tratamientos térmicos por sus condiciones de regularidad de respuesta a estos tratamientos. Además, por sus condiciones particulares de elaboración, estos aceros presentan una limpieza superior a los aceros de calidad, en especial desde el punto de vista de inclusiones

Observación: A efectos de esta Norma, los recocidos de eliminación de tensiones y de ablandamiento y el normalizado no se consideran como tratamientos térmicos

Los aceros que se emplean en la construcción metálica son aceros no aleados según la clasificación anterior. Las características y condiciones de suministro y recepción de los productos laminados en caliente con estos aceros, vienen recogidas en la Norma MV-102-75 y en la UNE 36-080-85. Aunque existe una correlación fundamental entre ambas normas, difieren esencialmente en el número de aceros considerado,

[1] La tabla citada en la Norma se representa en [2.30].

Contenidos límite para la clasificación de los aceros.

Elementos	Contenido %	Elementos	Contenido %
Aluminio	0,10	Níquel [1]	0,30
Bismuto	0,10	Plomo	0,40
Boro	0,0008	Selenio	0,10
Circonio [2]	0,10	Silicio	0,50
Cobalto	0,10	Telurio	0,10
Cobre [1]	0,40	Titanio [2]	0,05
Cromo [1]	0,30	Vanadio [2]	0,10
Manganeso	1,60	Volframio	0,10
Molibdeno [1]	0,08	Lantanidos	0,05
Niobio [2]	0,05	Otros (excepto C, P, S, N, y O)	0,05

[1] Cuando dos, tres o los cuatro de estos elementos se encuentran en combinación en un acero deben considerarse simultáneamente:
a) los porcentajes límites individuales de cada uno de ellos,
b) un contenido límite conjunto que será el 70 % de la suma de los valores límites individuales de cada uno de los elementos considerados.

[2] Cuando dos o tres de estos elementos se encuentran en combinación se aplica la misma regla para que los elementos marcados con [1].

[2.30]

más reducido en la MV-102 [7.16], por tratarse solamente de los productos que se emplean en la construcción metálica para edificación, que en la Norma UNE contempla la construcción metálica en general [1.8].

La versión de 1975 de la MV-102 difiere de la anterior de 1964, en los tipos de acero considerados. En ella se suprimen los aceros A 34, que actualmente no se fabrican y los del tipo A 37, porque los productos laminados largos actualmente se fabrican en España con acero A 42

La Norma UNE ha introducido además el acero A 44 siguiendo la tendencia europea a considerar como tipos fundamentales los aceros A 37, A 44 y A 52, puesto que establecen un escalonamiento más racional entre los límites de fluencia respectivos [2.31]

En las tablas y ábacos de este Tomo se ha dado importancia preferente al acero A 42, que es el único que se ha considerado, cuando el paso de uno a otro acero no consiste más que en una proporcionalidad. Sin embargo, en los casos en que, como el pandeo, se utilizan coeficientes distintos según el tipo de acero, se han considerado los tres aceros A 37, A 42 y A 52. El acero A 37, es el acero común empleado en Europa y por ello, no obstante su supresión en la MV-102, parece útil su inclusión en el Prontuario

2.5.1. Características mecánicas y químicas.

La Norma UNE 36-080-85, dice a este respecto:

> *8 Características*
>
> *8.1 Composición química*
>
> *8.1.1 Análisis de colada. La composición química, referida al análisis de colada, se indica en la tabla 2 [1]*
>
> *8.1.2 Análisis sobre producto. Las desviaciones máximas admisibles para los análisis sobre producto, aplicables al valor máximo sobre colada especificado en la tabla 2, se indican en la tabla 3 [2]*
>
> *8.2 Características mecánicas*
>
> *8.2.1 Los valores de las características determinadas en el ensayo de tracción que han de satisfacer los distintos tipos y grados en el estado de suministro (véase 7.3), se indican en la tabla 4 [3], para productos planos de espesor hasta 150 mm y para los productos largos de espesor (o dimensión de referencia) hasta 100 mm. Para dimensiones superiores a estos valores, las características se establecerán por acuerdo*

[1] Se reproduce en [1.8b]
[2] Se reproduce en [1.8c]
[3] Se reproduce en [1.8a]

Correspondencia entre las designaciones de los aceros de distintas versiones de la norma UNE 36080

UNE 36080-64	UNE 36080-73	UNE 36080-85
A 33-0	A 33-0	A 310-0
A 34-b	—	—
A 34-c	—	—
A 37-a	A 37-a	—
A 37-b	A 37-b	AE 235-B
A 37-c	A 37-c	AE 235-C
A 37-d	A 37-d	AE 235-D
A 42-a	A 42-a	—
A 42-b	A 42-b	—
A 42-c	A 42-c	—
A 42-d	A 42-d	—
—	A 44-a	—
—	A 44-b	AE 275-B
—	A 44-c	AE 275-C
—	A 44-d	AE 275-D
—	A 52-b	AE 355-B
—	A 52-c	AE 355-C
A 52-d	A 52-d	AE 355-D
—	—	AE 355-DD
A 50-1	—	—
A 50-2	A 50-2	A 490-2
A 60-1	—	—
A 60-2	A 60-2	A 590-2
A 70-2	A 70-2	A 690-2

[2.31]

8.2.2 El espesor que se indica en las tablas 2 y 4 es la dimensión nominal de referencia para barras y rollos y el espesor nominal para productos planos. En el caso de perfiles, se considerará el espesor de la zona de donde se toma la muestra para la preparación de la probeta. Para productos de espesor irregular, se tomará el espesor de la zona plana de mayor extensión.

8.2.3 El límite elástico R_e, especificado en las tablas, se refiere bien al límite elástico superior R_{eH}, bien al límite elástico convencional bajo carga $R_t0.5$. En los casos en que no se presente el fenómeno de cedencia, se determinará el límite elástico convencional $R_p0.2$. En cualquier caso, se considerará que se cumple la especificación si el valor obtenido no es inferior al valor indicado en la tabla 4.

8.2.4 En la tabla 5.1 se indica el valor especificado de resiliencia, así como las temperaturas a que debe realizarse el ensayo. Son aplicables a productos de espesor igual o inferior a 100 mm. Para productos de espesores superiores deberán fijarse por acuerdo los valores medios admisibles. Los valores V_e, indicados en dichas tablas, se refieren al valor mínimo admisible para la media aritmética de tres o seis determinaciones (véase 10.2.2.3), obtenidas sobre probetas definidas en 10.2.2.1. Los valores V_{min} se refieren al valor mínimo admisible para una probeta individual de la serie ($V_{min} = 0.7 \times V_e$).

8.3 Propiedades tecnológicas

8.3.1 Soldabilidad

8.3.1.1 No puede establecerse una aptitud general de los aceros a los distintos procesos de soldeo, ya que el comportamiento del acero, durante y después de esta operación, no depende sólo del material sino también de las condiciones en que se realiza el soldeo y de las condiciones de proyecto y de trabajo de las uniones soldadas. No se recomienda el soldeo de los aceros A 490-2, A 590-2 y A 690-2.

8.3.1.2 Deberán tenerse en cuenta las reglas y prescripciones de los organismos de inspección y de las normas y recomendaciones, aplicables en cada caso, para establecer las condiciones de soldeo, necesidad de precalentamiento y espesores límite utilizables de cada grado.

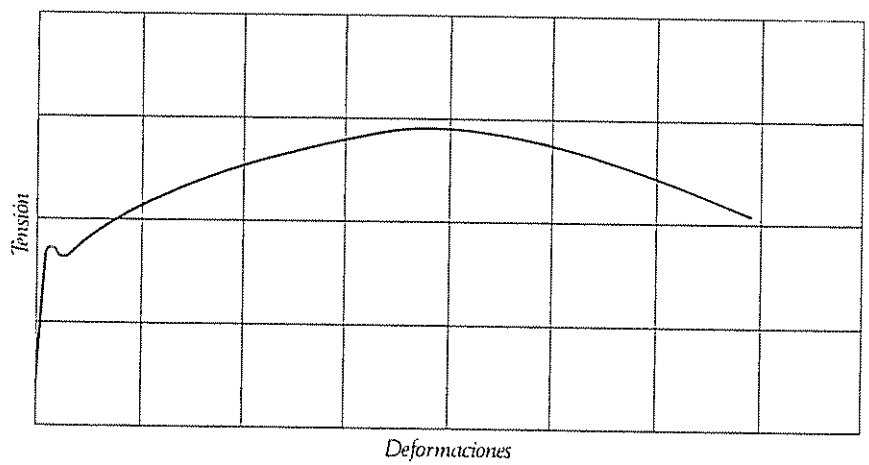
8.3.1.3 Como regla general, no es usual la utilización de aceros efervescentes para soldeo por fusión, en especial si se realiza en zonas de segregación.

Las propiedades mecánicas de un acero dependen principalmente de su composición química, del proceso de laminado, y del tratamiento térmico que haya experimentado.

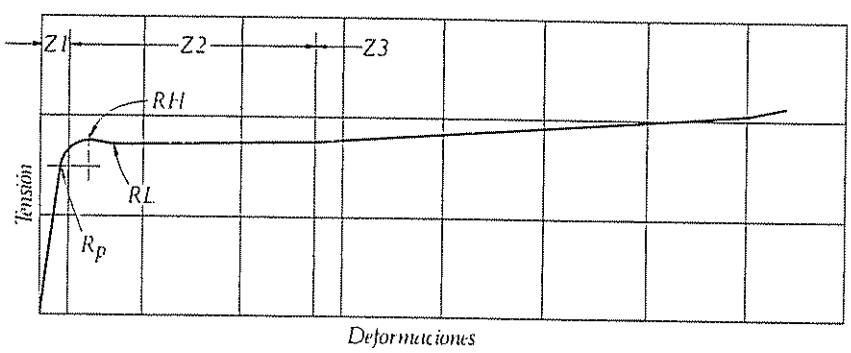
Las propiedades mecánicas del acero son similares en compresión que en tracción. El ensayo de tracción es el que normalmente se usa para determinar las propiedades mecánicas del acero.

---

[1] Se reproduce en [1.8a].


Tensión
Deformaciones

[2.32]


Z1
Z2
Z3
RH
RL
R_p
Tensión
Deformaciones

[2.33]

Un diagrama típico tensiones-deformaciones de un acero no aleado de construcción es de la forma de [2.32]. Inicialmente existe una relación lineal entre tensiones y deformaciones, seguido por una zona plástica de gran deformación, sin aumento apreciable de tensión [2.33], y termina en una región de endurecido por deformación en que el aumento de la deformación va acompañado por cierto incremento de la tensión.

Las características mecánicas principales que se deducen del ensayo de tracción y de su diagrama correspondiente son, de acuerdo con la UNE 7-262-73 (Ensayo de tracción para productos de acero):

1 Objeto

La presente Norma tiene por objeto establecer las condiciones en que debe realizarse el ensayo de tracción a la temperatura ambiente, en productos de acero de espesor igual o superior a 3 mm o de diámetro igual o superior a 4 mm. para determinar una o varias de las características siguientes:

a) Límite elástico (convencional, aparente, superior o inferior).
b) Resistencia a la tracción.
c) Alargamiento de rotura.
d) Estricción.

Para el ensayo de tracción de chapas de espesor inferior a 3 mm, se aplicará la Norma UNE 7-277. Para alambres, la UNE 7-194 y para tubos la UNE 7-266. Para la determinación del límite elástico en caliente, se aplicará la Norma UNE 7-223.

2. Fundamento del método.

El ensayo consiste en someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente, generalmente hasta la rotura.

3. Definiciones.

3.1 Distancia entre puntos (L).

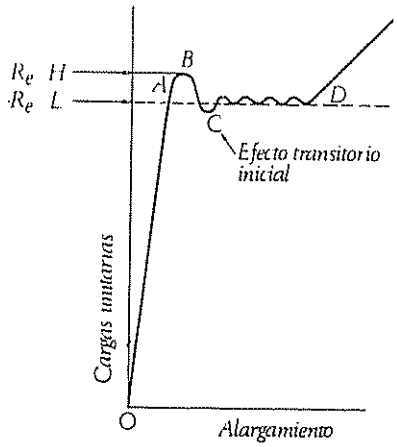
Es la longitud medida en cualquier momento entre las referencias marcadas en la parte cilíndrica o prismática de la probeta, antes de comenzar el ensayo. En particular se denominan como se indica a continuación:

3.1.1. Distancia inicial entre puntos (L_o). Es la longitud medida entre los puntos de referencia citados, antes de la aplicación de la carga.

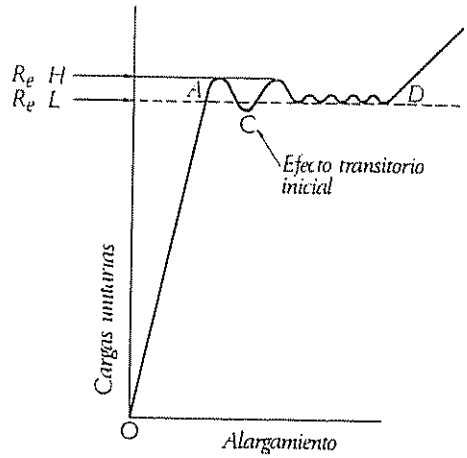
3.1.2 Distancia final entre puntos (L_u). Es la longitud medida después de la rotura de la probeta y de la reconstrucción de ésta, mediante la aproximación cuidadosa de las partes obtenidas, a fin de que encajen lo más perfectamente posible, estando sus ejes en prolongación.

3.2. Parte calibrada (L_c).

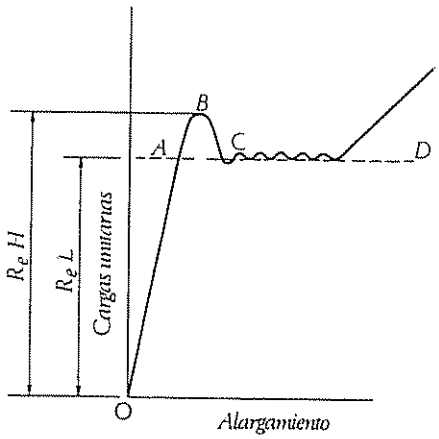
Es la parte mecanizada de la probeta en aquellas que han sido sometidas a proceso de mecanizado. Puede ser cilíndrica o prismática de anchura constante; en éste último caso, es frecuente denominarla longitud paralela.



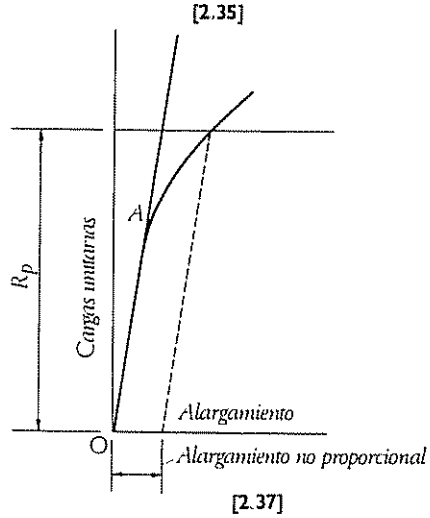
[2.34]



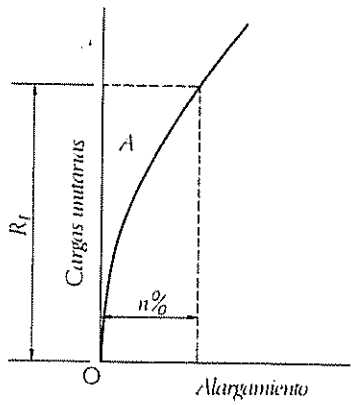
[2.35]



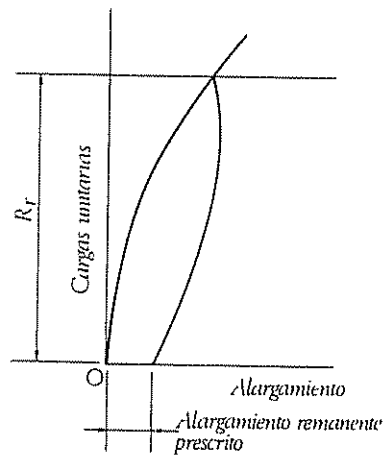
[2.36]



[2.37]



[2.38]



[2.39]

3.3. Longitud base de medida del extensómetro (L_e).

Es la longitud utilizada en la probeta para la medición del alargamiento por medio de un extansómetro.

3.4 Carga unitaria (R).

Es el coeficiente de dividir la carga a que está sometida la probeta, en cualquier momento del ensayo, por la sección recta inicial

3.5. Cedencia.

Es el fenómeno que tiene lugar en la transición de la zona de deformación elástica a la de deformación plástica y que produce un aumento rápido de deformación sin aumento de carga (figuras 1 a 3) [1].

3.6. Límite elástico aparente (R_e).

Es la carga unitaria que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de cedencia.

3.6.1. Límite elástico aparente superior (R_eH) *Es el valor de la carga unitaria medida al comienzo de la deformación plástica al iniciarse el fenómeno de cedencia o el valor de la carga unitaria media en el primer máximo que aparece en el gráfico al iniciarse la cedencia, aunque éste sea igual o inferior a otros máximos que puedan presentarse durante dicho fenómeno.*

3.6.2. Límite elástico aparente inferior (R_eL) *Es la carga unitaria más baja que soporta la probeta (registrada en el gráfico al final de la cedencia, sin tener en cuenta las oscilaciones intermedias (figuras 1, 2 y 3)* [1].

3.7 Límite elástico convencional (R_{pu}).

Es la carga unitaria bajo la cual se produce un alargamiento remanente del n % prefijado. Los alargamientos más usuales son el 0,2 % y el 0,1 % (figura 4) [2].

3.8. Límite elástico convencional bajo carga (R_{tn}).

Es la carga unitaria para la cual el alargamiento total bajo carga (alargamiento elástico más alargamiento plástico) es igual a un porcentaje n ‰, prefijado, de la distancia inicial entre puntos (figura 6) [3].

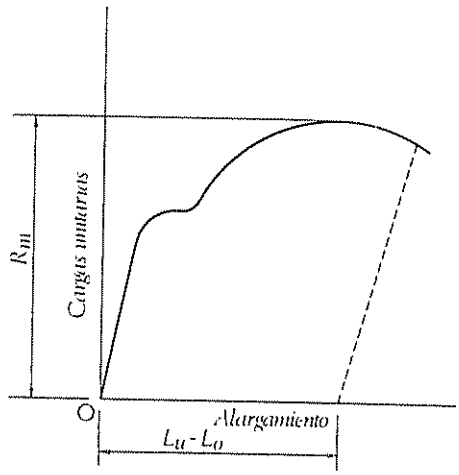
El límite elástico así determinado no es igual a R_p *nada más que si se ha tenido en cuenta convenientemente el alargamiento elástico.*

3.9. Límite elástico con alargamiento remanente del n % (R_r).

Es la carga unitaria para la cual, después de suprimida la carga, la probeta presenta un alargamiento remanente del n % prefijado (figura 7) [4].

---

1 Se reproducen respectivamente en [2.34], [2.35] y [2.36].
2 Se reproduce en [2.37].
3 Se reproduce en [2.38].
4 Se reproduce en [2.39].



[2.40]

3.10 Resistencia a la tracción (R_m).

Es la carga unitaria máxima soportada por la probeta durante el ensayo. Cuando no pueda confundirse con otras cargas, puede simbolizarse por R (figura 8) [1].

3.11 Alargamiento remanente (A_r)

Es el aumento de la distancia inicial entre puntos de la probeta una vez sometida a la carga prescrita y después de descargada, expresada en tanto por ciento según la fórmula siguiente:

$$A_r = 100 \frac{L - L_o}{L_o}$$

3.12 Alargamiento de rotura (A).

Es el aumento de la distancia inicial entre puntos después de producida la rotura de la probeta y reconstruida ésta, expresado en tanto por ciento de la distancia inicial según la fórmula siguiente:

$$A = 100 \frac{L_u - L_o}{L_o}$$

El símbolo A debe completarse con la relación K entre la distancia entre puntos y el diámetro inicial de la probeta, cuando no se emplee la probeta $L_o = 5d$ recomendada en esta norma ($K = L_o/d$). En el caso de probetas no cilíndricas, para el cálculo de esta relación, se tomará el diámetro de una sección de igual área.

3.13 Estricción (Z).

Es la diferencia entre el área de la sección inicial (S_o) y el área mínima (S_u) de la probeta después de la rotura, expresada en tanto por ciento según la fórmula siguiente:

$$Z = 100 \frac{S_o - S_u}{S_o}$$

Para los aceros A 37, A 42 y A 52 pueden tomarse los siguientes valores:

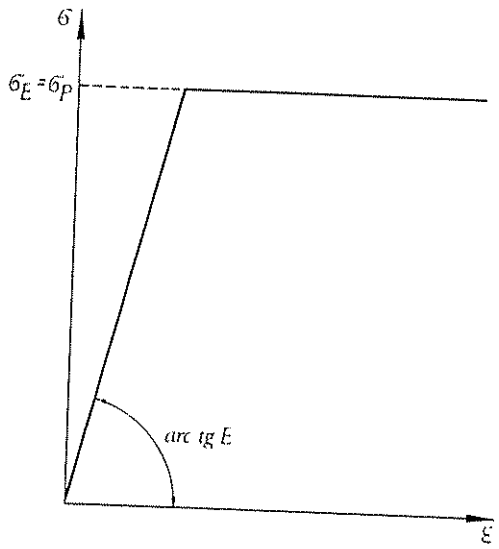
— Módulo de elasticidad: $E = 2\,100\,000$ kg/cm².

— Módulo de rigidez: $G = 810\,000$ kg/cm².

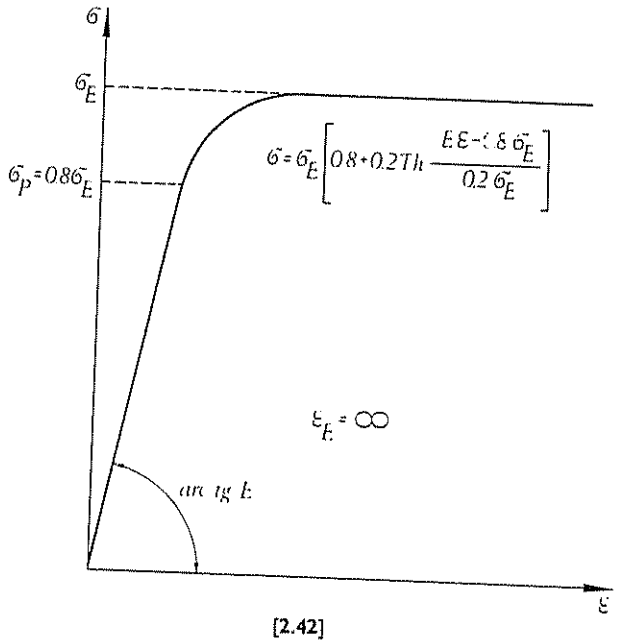
— Coeficiente de POISSON: $\nu = 0{,}30$.

— Coeficiente de dilatación térmica: $\sigma_t = 0{,}000012$, valor fijado en el artículo 6.4 de la Norma MV-101.

[1] Se reproduce en [2.40].


σ
σE = σP
arc tg E
ε

[2.41]


σ
σE
σP = 0.86σE
σ = σE [0.8 + 0.2 Th (E ε − 1.8 σE) / (0.2 σE)]
εE = ∞
arc tg E
ε

[2.42]

En la mayor parte de los problemas técnicos relacionados con las estructuras normales puede admitirse, con suficiente aproximación, la sustitución del diagrama tensiones-deformaciones real de un acero por otro ideal birrectilíneo, en el que el límite de proporcionalidad coincida con el límite elástico (límite de fluencia) y, a partir de dicho punto, se mantenga constante la tensión en la rama de plasticidad [2.41].

Cuando sea necesario utilizarlo, y no se encuentre claramente definido en el diagrama tensiones-deformaciones obtenido experimentalmente, se permite tomar como valor del límite de proporcionalidad, σ_P, el 80 % del límite elástico aparente registrado en el ensayo:

$$\sigma_P = 0{,}8\ \sigma_E$$

En los problemas de orden superior al primero, entre ellos los de estabilidad, es necesario tener en cuenta las deformaciones no lineales comprendidas entre el límite de proporcionalidad y el elástico, así como los valores del módulo de elasticidad tangente, E_t, correspondientes a los distintos puntos de esta zona. A título de orientación, se sugiere la curva de tensiones-deformaciones ideal de [2.42], en la que se exponen, también, fórmulas matemáticas sencillas para el valor de la tensión y del módulo de elasticidad tangente en cada punto.

2.5.2. Resistencia de cálculo del acero.

La Norma Básica MV-103 en su artículo 2.7 establece:

> *El límite elástico σ_e del acero*[1] *que se tomará para establecer su resistencia de cálculo, será el siguiente:*
>
> *a) Aceros laminados fabricados; según la Norma MV-102. Acero laminado para estructuras de edificación.*

Tipo de acero	Límite elástico [2] kg/cm²
A 37	2 400
A 42	2 600
A 52	3 600

[1] El límite elástico σ_e es la tensión que en la Norma MV-102, 1975, se define con el nombre de límite de fluencia y la notación σ_F. En la próxima revisión de la MV-102, se recogerá esta modificación de nomenclatura y notación.

[2] Estos valores se aplicarán hasta espesores de 40 mm en los aceros A 37 y A 42 y de 35 mm en acero A 52. Para espesores mayores se tomarán los valores correspondientes de la Tabla 1.1 de la MV-102.

Estos aceros se sirven con garantía de las características exigidas en la Norma MV-102 y pueden realizarse ensayos de recepción.

b) Otros aceros laminados.

El límite elástico garantizado por el fabricante verificado mediante ensayos de recepción. Si no existe este mínimo garantizado, se obtendrá el límite elástico σ_e mediante ensayos, de acuerdo con los métodos estadísticos y se tomará:

$$\sigma_e = \sigma_m (1 - 2\,\delta)$$

siendo σ_m el valor medio, y δ la desviación cuadrática media relativa de los resultados de los ensayos.

La resistencia de cálculo del acero viene fijada por la expresión:

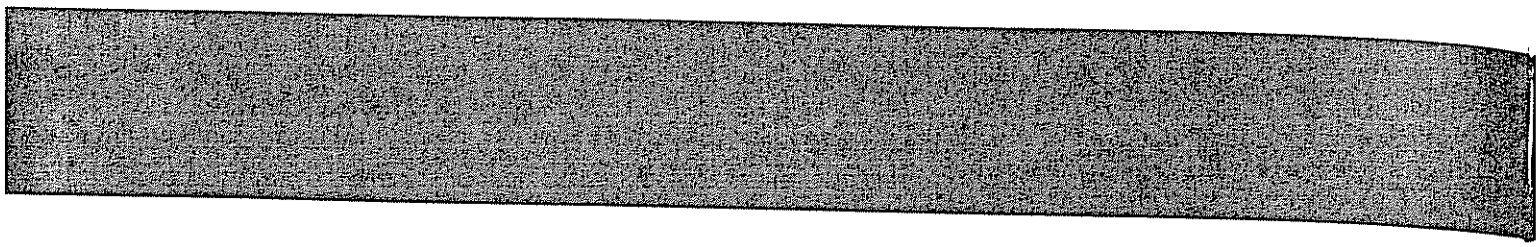
$$\sigma_u = \frac{\sigma_e}{\gamma_a}$$

siendo $\gamma_a = 1$ para los aceros con límite elástico mínimo garantizado, entre ellos los incluidos en la Norma MV-102, y $\gamma_a = 1{,}1$ para aceros no incluidos en dicha Norma, cuyo límite elástico sea determinado por métodos estadísticos.

Apéndice I. Norma MV 101-1962

Acciones en la edificación:

Capítulo 1. Generalidades
Capítulo 2. Acciones gravitatorias
Capítulo 3. Sobrecargas de uso
Capítulo 4. Sobrecargas de nieve
Capítulo 5. Acciones del viento
Capítulo 6. Acciones térmicas y reológicas
Capítulo 7. Acciones sísmicas
Capítulo 8. Presiones en terreno de cimentación
Capítulo 9. Empujes de terreno



CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 *Ambito de aplicación de la Norma.* *La Norma MV 101-1962 se aplicará en el proyecto y en la obra de toda edificación, cualquiera que sea su clase y destino.*

1.2. *Aplicación de la Norma en los proyectos.* *El arquitecto o en los casos previstos en la legislación el técnico autor del proyecto de una edificación, está obligado a conocer y a tener en cuenta la Norma, pero puede, bajo su personal responsabilidad, adoptar valores de acciones y reacciones diferentes de los marcados en ella.*

En la Memoria del proyecto figurará un apartado con el título: «Acciones adoptadas en el cálculo», en el que detallará todos los valores que ha aplicado en el cálculo de cada uno de sus elementos resistentes y de su cimentación, reseñando explícitamente que se ajustan a lo prescrito en la Norma, o en su caso, justificando por qué se apartan.

Los Colegios Profesionales u otros organismos, para extender visado formal de un proyecto comprobarán que en su Memoria figura el apartado antes indicado.

Los organismos que extiendan visado técnico de un proyecto comprobarán, además, que lo reseñado en dicho apartado se ajusta a la Norma.

1.3. *Aplicación de la Norma en las obras.* *El arquitecto, o en los casos previstos en la legislación el técnico director de la obra, está obligado, si no es autor del proyecto, a comprobar lo que figura en el apartado «Acciones adoptadas en el cálculo» de la Memoria del proyecto.*

En caso de no estar conforme deberá redactar las precisas modificaciones de proyecto, y dar cuenta de ellas a los organismos que visaron formal o técnicamente el proyecto.

El director de obra dará conocimiento de los valores adoptados al aparejador o, en su caso, al técnico ayudante, y al constructor de la obra, y dará las órdenes precisas para que durante la obra no se rebasen estos valores.

1.4 *Clasificación de las acciones.* *Las acciones que en general actúan en los edificios son las que se definen a continuación. En casos especiales puede ser preciso tener en cuenta acciones de otra clase.*

1.4.1 *Acción gravitatoria.* *Es la producida por el peso de los elementos constructivos, de los objetos que puedan actuar por razón de uso, y de la nieve en las cubiertas. En ciertos casos puede ir acompañada de impactos o vibraciones. De ella se trata en los capítulos 2, 3 y 4.*

1.4.2. *Acción del viento.* *Es la producida por las presiones y succiones que el viento origina sobre las superficies. De ella se trata en el capítulo 5.*

1.4.3. *Acción térmica.* *Es la producida por las deformaciones debidas a los cambios de temperatura. De ella se trata en el capítulo 6.*

1.4.4. *Acción reológica.* *Es la producida por las deformaciones que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por retracción, fluencia bajo las cargas u otras causas. De ella se trata en el capítulo 6.*

1.4.5. *Acción sísmica.* *Es la producida por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas. De ella se trata en el capítulo 7.*

1.4.6. *Acción del terreno.* *Es la producida por el empuje activo o el empuje pasivo del terreno sobre las partes del edificio en contacto con él. Se desarrolla en los capítulos 8 y 9.*

1.5. *Simultaneidad de las acciones. En el cálculo de una estructura se considerarán los casos de carga que se indican a continuación, detallando las acciones que se incluyen en cada uno de ellos.*

CASO I.

Concargas. (Capítulo 2.)

Sobrecargas de uso. (Capítulo 3, con las precisas hipótesis de alternancia según el artículo 3.8.)

Sobrecargas de nieve. (Capítulo 4.)

Asientos de apoyo (si, de acuerdo con el capítulo 8, deben considerarse).

Empujes del terreno. (Capítulo 9.)

CASO II.

Todas las del caso I (con los valores que, combinados con los siguientes, produzcan los efectos más desfavorables).

Acciones del viento. (Capítulo 5.)

Acciones térmicas y reológicas. (Capítulo 6.)

CASO III. *(Cuando sea preciso según el capítulo 7.)*

Concargas, sobrecargas de uso y de nieve y asientos de apoyo (con los valores que, combinados con los siguientes, produzcan los efectos más desfavorables).

Empujes del terreno, aumentados en el 25 %.

Acciones del viento, reducidas en el 50 %.

Acciones térmicas y reológicas, reducidas en el 50 %.

Acciones sísmicas. (Capítulo 7.)

Las tensiones admisibles, y/o los coeficientes de seguridad, aplicables en cada uno de los tres casos serán las que se indiquen en las Normas para el cálculo de estructuras de los diferentes materiales.

1.6. *Notaciones. Las notaciones empleadas en la Norma se detallan en la Tabla 1.1.*

CAPITULO 2: ACCIONES GRAVITATORIAS

2.1. *Clasificación de las cargas. La carga producida por los pesos que gravitan sobre un elemento resistente, o una estructura, se descompone en concarga y sobrecarga.*

2.1.1. *Concarga. Es la carga cuya magnitud y posición es constante a lo largo del tiempo, salvo el caso de reforma del edificio. Se descompone en peso propio y carga permanente.*

2.1.2. *Peso propio. Es la carga debida al peso del elemento resistente. Constituye parte de la concarga.*

Tabla 1.1

Notaciones empleadas en la Norma.

Símbolo	Dimensión	Descripción	Símbolo	Dimensión	Descripción
a	$L\,T^{-2}$	Aceleración.	z_o	L	Profundidad.
a_g	$L\,T^{-2}$	Aceleración de la gravedad.	A	L^2	Area de una sección
b	L	Anchura.	G	F	Concarga aislada.
c	—	Coeficiente eólico.	P	F	Sobrecarga aislada. Empuje
d	L	Canto de una sección.	P_S	F	Sobrecarga sísmica.
e	—	Base de los logaritmos neperianos.	P_H	F	Empuje horizontal.
f	L	Profundidad del nivel freático.	P_V	F	Empuje vertical.
g	$F\,L^{-2}$	Concarga unitaria.	Q	F	Carga aislada
h	L	Altura.	α	—	Angulo de una cubierta. Angulo de incidencia del viento
k	—	Factor eólico de esbeltez.	β	—	Angulo de talud de un terreno.
n	—	Indice de huecos de un terreno en %	γ	$F\,L^{-3}$	Peso específico aparente.
p	$F\,L^{-2}$	Sobrecarga unitaria. Presión.	γ_a	$F\,L^{-3}$	Peso específico aparente del agua.
p_H	$F\,L^{-2}$	Presión horizontal.	γ'	$F\,L^{-3}$	Peso específico virtual de un terreno anegado.
p_N	$F\,L^{-2}$	Presión normal a una superficie	δ	—	Angulo de rozamiento entre terreno (o material) y muro.
p_V	$F\,L^{-2}$	Presión vertical	χ	$F\,L^{-2}$	Cohesión de un terreno.
q	$F\,L^{-2}$	Carga unitaria.	λ_H	—	Coeficiente de empuje horizontal.
r	—	Factor sísmico de reducción.	λ_V	—	Coeficiente de empuje vertical
s	—	Coeficiente sísmico.	φ	—	Angulo de rozamiento interno.
t	L	Grueso.			
u	L	Perímetro de una sección.			
v	$L\,T^{-1}$	Velocidad del viento			
w	$F\,L^{-2}$	Presión dinámica del viento.			
y	L	Profundidad de un empuje.			
z	L	Profundidad.			

2.1.3. *Carga permanente. Es la carga debida a los pesos de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc., que soporta el elemento. Constituye parte de la concarga.*

2.1.4. *Sobrecarga. Es la carga cuya magnitud y/o posición puede ser variable a lo largo del tiempo. Puede ser: de uso o de nieve.*

2.1.5. *Sobrecarga de uso. Es la sobrecarga debida al peso de todos los objetos que puedan gravitar por el uso, incluso durante la ejecución.*

2.1.6. *Sobrecarga de nieve. Es la sobrecarga debida al peso de la nieve sobre las superficies de cubierta.*

2.2. *Determinación de pesos. La determinación del peso de un cuerpo homogéneo se hará, en general, multiplicando su volumen por su peso específico aparente.*

El volumen se calculará geométricamente en función de sus dimensiones.

El peso específico aparente se determinará experimentalmente en los casos en que sea preciso. Para materiales de construcción pueden tomarse los valores consignados en la Tabla 2.1. para materiales almacenables, los de la Tabla 2.2, y para líquidos, los de la Tabla 2.3.

2.3. *Determinación de la carga permanente.* *En el proyecto de cada elemento resistente se considerarán las cargas debidas a los pesos de todos los elementos constructivos que gravitan permanentemente sobre él: muros, pisos, pavimentos, guarnecidos, etc.; los tabiques, en los casos que se indican en el artículo 3.3; las instalaciones fijas; etc.*

El peso de los elementos constructivos se calculará como se indica en el artículo 2.2, componiendo el de sus diversas partes cuando sean heterogéneas, y tomando el peso específico aparente que corresponda a las condiciones más desfavorables, por ejemplo, el del material húmedo en los elementos expuestos a la intemperie.

Para los casos más frecuentes de fábricas y macizos pueden utilizarse los pesos por unidad de volumen consignados en la Tabla 2.4, y para los de otros elementos constructivos, los pesos por unidad de superficie de la Tabla 2.5.

2.4. *Determinación del peso propio.* *El peso propio de un elemento resistente, cuyas dimensiones van a determinarse en el cálculo, se estimará inicialmente, pudiendo para ello utilizarse tablas o fórmulas empíricas, o datos de estructuras construidas de características semejantes.*

Con las dimensiones calculadas se determinará el peso propio real del elemento, y se rectificarán, si es preciso, los cálculos basados en la estimación.

2.5. *Empujes de materias almacenadas.* *Los empujes de las materias almacenadas sobre las paredes de depósitos o silos se calcularán por los métodos que se indican en los artículos 9.3 y 9.6, que sirven tanto para terrenos como para materias almacenadas.*

El peso específico aparente γ y el ángulo de rozamiento interno φ del material almacenado se determinarán experimentalmente cuando sea preciso, pudiendo utilizarse los valores de la Tabla 2.2.

El ángulo de rozamiento entre material y pared δ, se tomará en general con valor no superior a $\delta = \frac{2}{3}\varphi$, debiendo tenerse en cuenta que en el vaciado de depósitos o silos el rozamiento puede anularse.

Tabla 2.1

Peso específico de materiales de construcción.

Material	Peso específico aparente kg/m³	Material	Peso específico aparente kg/m³
A. Rocas			
Arenisca	2 600	Baldosa cerámica	1 800
Arenisca porosa y caliza porosa	2 400	Baldosa de gres	1 900
Basalto, diorita	3 000	Baldosa hidráulica	2 100
Calizas compactas y mármoles	2 800	Hormigón ordinario	2 200
Granito, sienita, diabasa, pórfido	2 800	Ladrillo cerámico macizo (0 a 10 % de huecos)	1 800
Gneis	3 000	Ladrillo cerámico perforado (20 a 30 % de huecos)	1 400
Pizarra de tejados	2 800	Ladrillo cerámico hueco (40 a 50 % de huecos)	1 000
B. Piedras artificiales		Ladrillo de escorias	1 400
Adobe	1 600	Ladrillo silicocalcáreo	1 900
Amiantocemento	2 000		

Tabla 2.1 (continuación).

Material	Peso específico aparente kg/m³	Material	Peso específico aparente kg/m³
C. Maderas		Cobre	8 900
		Estaño	7 400
Maderas resinosas:		Latón	8 500
Pino, pinabete, abeto	600	Plomo	11 400
Pino tea, pino melis	800	Cinc	7 200
Maderas frondosas:		**E. Materiales diversos**	
Castaño, roble, nogal	800		
		Alquitrán	1 200
		Asfalto	1 300
D. Metales		Caucho en plancha	1 700
		Linóleo en plancha	1 200
Acero	7 850	Papel	1 100
Aluminio	2 700	Plástico en plancha	2 100
Bronce	8 500	Vidrio plano	2 600

Tabla 2.2

Características de materias almacenables.

Material	Peso específico aparente kg/m³	Angulo de rozamiento interno	Material	Peso específico aparente kg/m³	Angulo de rozamiento interno
A. Materiales de construcción			Carbón de leña en trozos	400	45°
			Coque de hulla	500	45°
Arena	1 500	30°	Hulla en bruto, con humedad de mina	1 000	45°
Arena de pómez	700	35°	Hulla pulverizada	700	25°
Cal en polvo	1 000	25°	Hulla en residuos de lavadero	1 200	0°
Cal en terrón	1 000	45°	Hulla en otras formas	850	30°
Cascote o polvo de ladrillo	1 300	35°	Leña en astillas	200	45°
Cemento en sacos	1 600	—	Leña troceada	400	45°
Cemento en polvo	1 200	25°	Lignito	700	35°
Cenizas de coque	700	25°	Serrín de madera asentado	250	45°
Clinker de cemento	1 500	30°	Serrín de madera suelto	150	45°
Escoria de Altos Hornos (granulada)	1 100	25°			
Escoria de Altos Hornos (troceada)	1 500	40°	**C. Productos agrícolas**		
Grava	1 700	40°			
Yeso y escayola	1 250	25°	Avena	450	30°
			Azúcar	750	35°
B. Combustibles			Cebada	650	25°
			Centeno	800	35°
Briquetas de lignito, amontonadas	800	30°	Guisantes	800	25°
Briquetas de lignito, apiladas	1 300	—	Harina y salvado	500	45°
			Heno prensado	170	—

Tabla 2.2 (continuación).

Material	Peso específico aparente kg/m³	Angulo de rozamiento interno	Material	Peso específico aparente kg/m³	Angulo de rozamiento interno
C. Prods. agrícs. (cont.)			**D. Otras materias**		
Judías	750	30°	Abonos artificiales	1 200	40°
Maíz	750	25°	Carburo	900	30°
Malta triturada	400	45°	Estiércol apelmazado	1 800	45°
Patatas	750	30°	Estiércol suelto	1 200	45°
Remolacha azucarera desecada y cortada	300	40°	Harina de pescado	800	45°
Remolacha, nabos o zanahorias	750	30°	Hielo	900	30°
Sémola	550	30°	Mineral de hierro	3 000	40°
Trigo	750	25°	Pirita	2 700	45°
			Pirita tostada	1 400	45°
			Sal común	1 200	40°

Tabla 2.3

Peso específico de líquidos.

Material	Peso específico kg/m³	Material	Peso específico kg/m³
Aceite de creosota	1 100	Alcohol etílico	800
Aceite de linaza	940	Anilina	1 040
Aceite de oliva	920	Bencina	700
Aceite de ricino	970	Benzol	900
Aceite mineral	930	Cerveza	1 030
Acetona	790	Gasolina	750
Acido clorhídrico al 40 %	1 200	Leche	1 030
Acido nítrico al 40 %	1 250	Petróleo	800
Acido sulfúrico al 50 %	1 400	Sulfuro de carbono	1 290
Agua	1 000	Vino	1 000

Tabla 2.4

Peso de fábricas y macizos.

Elemento	Peso kg/m³	Elemento	Peso kg/m³
A. Sillería		**B. Mampostería con mortero**	
De basalto	3 000	De arenisca	2 400
De granito	2 800	De basalto	2 700
De caliza compacta o mármol	2 800	De caliza compacta	2 600
De arenisca	2 600	De granito	2 600
De arenisca porosa o caliza porosa	2 400		

Tabla 2.4 (continuación)

Elemento	Peso kg/m³	Elemento	Peso kg/m³
C. Fábrica de ladrillo		Bloque hueco de mortero (ligero)	1 300
Cerámico macizo	1 800	Bloque hueco de yeso	1 000
Cerámico perforado	1 500		
Cerámico hueco	1 200	**E. Hormigones**	
Silicocalcáreo macizo	2 000	De grava, armado	2 400
		De grava en masa	2 200
D. Fábrica de bloques		De cascote de ladrillo	1 900
Bloque hueco de mortero (pesado)	1 600	De escoria	1 600

Tabla 2.5

Peso de elementos constructivos.

	Peso kg/m²		Peso kg/m²
A. Tabiques (sin revestir)		**D. Forjados de cubierta**	
Tabique de rasilla (3 cm)	40	Enlistonado	5
Tabique de ladrillo hueco (4.5 cm)	60	Tablero de madera de 2,5 cm	15
Tabicón de ladrillo hueco (9 cm)	100	Tablero de rasilla (1 hoja)	40
Tabicón de ladrillo hueco (12 cm)	140	Tablero de rasilla (2 hojas)	100
		Tablero de resilla (1 hoja), tendido de yeso	50
B. Revestimientos (por cm de grueso)			
		E. Materiales de cobertura	
Enfoscado o revoco de cemento	20		
Revoco de cal, estuco	16	Una capa de cartón embreado	5
Guarnecido de yeso	12	Dos capas de cartón embreado	15
		Pizarra (1/2 vista)	20
C. Pavimentos		Pizarra (1/3 vista)	30
		Plancha ondulada de fibroasfalto	5
Baldosa hidráulica o cerámica:		Plancha ondulada de fibrocemento	15
		Plancha de plomo (1,5 mm)	18
Grueso total, incluso relleno: 3 cm	50	Plancha de cinc (1 a 1,2 mm)	10
Grueso total, incluso relleno: 5 cm	80	Teja curva ligera (1.6 kg por pieza)	40
Grueso total, incluso relleno: 7 cm	110	Teja curva corriente (2,0 kg por pieza)	50
Tarima de 2 cm sobre rastrel recibido con yeso	30	Teja curva pesada (2,4 kg por pieza)	60
Parquet sobre tarima de 2 cm y rastrel	40	Teja plana ligera (2,4 kg por pieza)	30
Corcho aglomerado sobre tarima de 2 cm con rastrel	40	Teja plana corriente (3,0 kg por pieza)	40
Terrazo sobre mortero (5 cm de espesor total)	80	Teja plana pesada (3,6 kg por pieza)	50
Linóleo o losetas de goma sobre capa de mortero de 2 cm	50		

Tabla 2.5 (continuación) **Peso de elementos constructivos.**

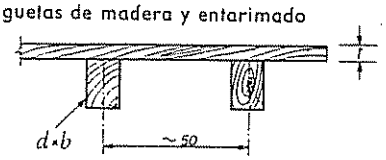
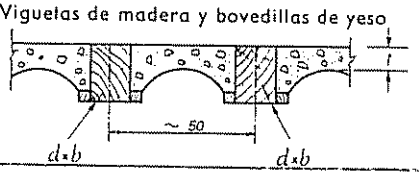
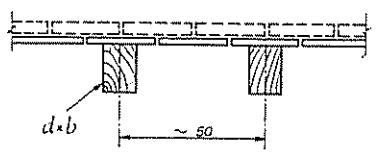
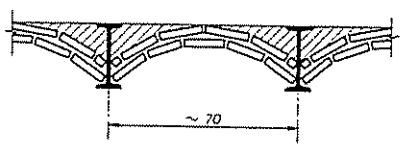
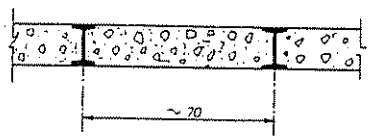
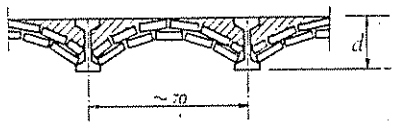
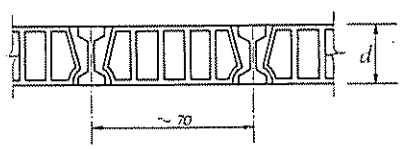
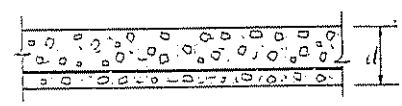
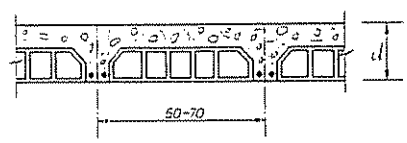
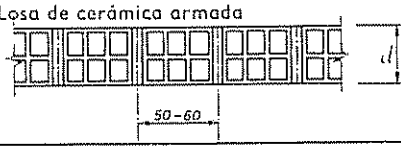
F. Pisos	Dimensiones		Peso kg/m²
Viguetas de madera y entarimado 	t	$d \times b$ (cm)	
	2,5 cm 3,0 cm 3,5 cm	16 × 10 20 × 12 24 × 14	40 55 70
Viguetas de madera y bovedillas de yeso 	t	$d \times b$ (cm)	
	8 cm 10 cm 12 cm	16 × 10 20 × 12 24 × 14	100 130 160
Viguetas de madera y tablero de ladrillo 	Tablero	$d \times b$ (cm)	
	Tablero de rasilla (3 cm)	16 × 10 20 × 12 24 × 14	60 70 80
	Tablero de hueco (4,5 cm)	16 × 10 20 × 12 24 × 14	80 90 100
	Tablero doble de rasilla (2 × 3 + 1 = 7 cm)	16 × 10 20 × 12 24 × 14	120 130 140
Viguetas metálicas y bovedillas de ladrillo 	Bovedilla	IPN (cm)	
	Bovedilla doble de rasilla (2 × 3 + 1 = 7 cm)	10 16 20 24	130 170 210 250
	Bovedilla triple de rasilla (3 × 3 + 2 = 11 cm)	16 20 24	200 240 280
Viguetas metálicas y mortero ligero 	Mortero	IPN (cm)	
	Densidad 1 500 kg/m³	10 16 20	160 260 330
	Densidad 1 800 kg/m³	10 16 20	190 310 390
Un tablero de rasilla tendido de yeso, como cielorraso, aumenta el peso en 50 kg/m²			

Tabla 2.5 (continuación) **Peso de elementos constructivos.**

F. Pisos (cont)	Dimensiones		Peso kg/m²
Vigueta de hormigón y bovedillas de ladrillo  Un tablero de rasilla tendido de yeso, como cielorraso, aumenta el peso en 50 kg/m²	Bovedilla	d (cm)	
	Bovedilla doble de rasilla (2 × 3 + 1 = 7 cm)	16 20 24	180 220 280
	Bovedilla triple de rasilla (3 × 3 + 2 = 11 cm)	16 20 24	210 250 290
Viguetas de hormigón y bloques huecos 	Bloque	d (cm)	
	Cerámico	16 20 24	100 130 160
	De mortero	16 20 24	120 150 180
Losa de hormigón armado 	Canto d (cm)		
	8 10 12 15 20		190 240 290 360 480
Losa aligerada de hormigón armado 	Bloque	Canto d (cm)	
	Cerámico: t = 3 cm	15 20 25	200 230 260
	Cerámico: t = 5 cm	15 20 25	240 270 300
	De mortero: t = 3 cm	15 20 25	220 250 280
	De mortero: t = 5 cm	15 20 25	260 290 320
Losa de cerámica armada 	Canto d (cm)		
	12 15 20		150 180 240

3.8 *Hipótesis de aplicación de sobrecargas.* *Cada elemento de una estructura se calculará con las solicitaciones más desfavorables, que, en muchos casos, especialmente en estructuras hiperestáticas, aparecen al actuar la sobrecarga completa sólo en determinadas partes de la estructura, estando las demás descargadas.*

3.9. *Acciones dinámicas.* *El elemento que directamente soporta una sobrecarga que actúa con impacto se calculará con la sobrecarga multiplicada por un coeficiente de impacto. En el cálculo de los elementos que indirectamente soportan la sobrecarga, el coeficiente de impacto se reduce o anula.*

Las sobrecargas A a F de la Tabla 3.1 llevan ya incluido el efecto del impacto, salvo el caso en que se prevean causas extraordinarias.

En las calzadas con tráfico el coeficiente de impacto será de 1,4 para los vehículos.

La sobrecarga de máquinas que produzcan vibraciones se calculará teniendo en cuenta la influencia de éstas en la estructura.

CAPITULO 4: SOBRECARGAS DE NIEVE

4.1. *Sobrecarga de nieve* *Sobrecarga de nieve en una superficie de cubierta es el peso de la nieve que, en las condiciones climatológicas más desfavorables, puede acumularse sobre ella.*

4.2. *Peso específico aparente de la nieve.* *El peso específico aparente de la nieve acumulada es muy variable según las circunstancias, pudiendo servir de orientación los siguientes valores:*

Nieve recién caída	*120 kg/m³*
Nieve prensada o empapada	*200 kg/m³*
Nieve mezclada con granizo	*400 kg/m³*

4.3. *Sobrecarga sobre superficie horizontal.* *La sobrecarga de nieve sobre una superficie horizontal se supone uniformemente repartida, y su valor en cada localidad puede fijarse con los datos estadísticos locales cuando existan con garantía suficiente. Cuando no existan datos estadísticos, el valor de la sobrecarga, en función de la altitud topográfica de la localidad, será el dado por la Tabla 4.1.*

Tabla 4.1

Sobrecarga de nieve sobre superficie horizontal.

Altitud topográfica *h* m	Sobrecarga de nieve kg/m²
0 a 200	40
201 a 400	50
401 a 600	60
601 a 800	80
801 a 1 000	100
1 001 a 1 200	120
> 1 200	*h* : 10

Aun para las localidades en que no nieva se debe adoptar una sobrecarga de cubierta no menor de 40 kg/m².

En la Tabla 4 2 figura la altitud topográfica de las capitales de provincia españolas.

4 4 *Sobrecarga sobre superficie inclinada. La sobrecarga de nieve sobre una superficie de cubierta que forme el ángulo α con el plano horizontal, que no ofrezca impedimento al deslizamiento de la nieve, tendrá por metro cuadrado de proyección horizontal el valor siguiente:*

$$\alpha \leqslant 60^\circ \qquad p \cos \alpha$$

$$\alpha > 60^\circ \qquad \text{cero}$$

siendo p el valor de la sobrecarga sobre superficie horizontal.

Cuando la superficie de cubierta tenga resaltos u otros obstáculos que impidan el deslizamiento natural de la nieve, se tomará, cualquiera que sea el ángulo α, sobrecarga por metro cuadrado de proyección horizontal de valor p

Tabla 4.2

Altitud topográfica de las capitales de provincia.

Capitales	Altitud m	Capitales	Altitud m
Albacete	690	Madrid	660
Alicante	M	Málaga	M
Almería	M	Murcia	40
Avila	1 130	Orense	130
Badajoz	180	Oviedo	230
Barcelona	M	Palencia	740
Bilbao	M	Pamplona	450
Burgos	860	Palma de Mallorca	M
Cáceres	440	Palmas (Las)	M
Cádiz	M	Pontevedra	M
Castellón	M	Salamanca	780
Ciudad Real	640	San Sebastián	M
Córdoba	100	Santa Cruz de Tenerife	M
Coruña	M	Santander	M
Cuenca	1 010	Segovia	1 000
Gerona	70	Sevilla	10
Granada	690	Soria	1 090
Guadalajara	680	Tarragona	M
Huelva	M	Teruel	950
Huesca	470	Toledo	550
Jaén	570	Valencia	M
León	820	Valladolid	690
Lérida	150	Vitorio	520
Logroño	380	Zamora	650
Lugo	470	Zaragoza	210

La altitud topográfica de una población es variable. En la tabla se da la que corresponde a un punto importante de la capital, que se tomará como base para la sobrecarga de nieve.

Las capitales marítimas se marcan con M.

4.5 *Acumulaciones de nieve* En las limahoyas y otras zonas de la cubierta en donde pueda acumularse anormalmente la nieve por deslizamiento en los faldones confluyentes, o por efecto del viento, se calculará la sobrecarga debida a las acumulaciones previsibles El peso específico de la nieve figura en el artículo 4.2.

4.6 *Diferencias de sobrecarga.* Se considerará la posibilidad de que la sobrecarga de nieve gravite con valor distinto sobre zonas parciales de la cubierta, a causa de desigualdades en la velocidad de fusión, arrastres de viento u otras causas.

En general, la diferencia de sobrecarga que se considere entre distintas partes de la cubierta tendrá valor no superior a 30 kg/m².

CAPITULO 5: ACCIONES DEL VIENTO

5.1. *Dirección del viento.* Se admite que el viento, en general, actúa horizontalmente y en cualquier dirección. Se considerará en cada caso la dirección o direcciones que produzcan las acciones más desfavorables.

Las estructuras se estudiarán ordinariamente bajo la actuación del viento en dirección a sus ejes principales y en ambos sentidos. En casos especiales, por ejemplo, estructuras reticuladas abiertas, construcciones con caras dentadas, o con estructura oblicua a las fachadas, se estudiará además su acción en las direcciones sesgadas que resulten más desfavorables.

En los casos especiales que se señalan, y en otros que lo requieren, se considerará que la dirección del viento forma un ángulo de ± 10° con la horizontal.

5.2. *Presión dinámica del viento.* El viento de velocidad v (m/s) produce una presión dinámica w (kg/m²) en los puntos donde su velocidad se anula de valor:

$$w = \frac{v^2}{16}$$

La presión dinámica que se considerará en el cálculo de un edificio, función de la altura de su coronación y de su situación topográfica se da en la tabla 5.1.

Tabla 5.1

Presión dinámica del viento.

Altura de coronación del edificio sobre el terreno en m, cuando la situación topográfica es		Velocidad del viento v		Presión dinámica w
Normal	Expuesta	m/s	km/h	kg/m²
De 0 a 10	—	28	102	50
De 11 a 30	—	34	125	75
De 31 a 100	De 0 a 30	40	144	100
Mayor de 100	De 31 a 100	45	161	125
—	Mayor de 100	49	176	150

Se considera situación topográfica expuesta la de las costas, las crestas topográficas, los valles estrechos, los bordes de meseta, etc.

En casos especiales de situación topográfica muy expuesta, por ejemplo: en alta montaña, en desfiladeros, en acantilados, etc., pueden requerirse valores mayores, que se determinarán mediante estudio especial

5.3 *Sobrecarga del viento sobre un elemento superficial.* El viento produce sobre cada elemento superficial de una construcción, tanto orientado a barlovento como a sotavento, una sobrecarga unitaria p (kg/m^2) en la dirección de su normal, positiva (presión) o negativa (succión), de valor dado por la expresión:

$$p = cw$$

siendo w la presión dinámica del viento y c el coeficiente eólico, positivo para presión, o negativo para succión, que depende de la configuración de la construcción, de la posición del elemento y del ángulo α de incidencia del viento en la superficie. (Véase la figura de la Tabla 5.2)

5.4 *Sobrecarga local de viento en construcciones cerradas.* En una construcción cerrada, para obtener la sobrecarga local en cada elemento de su superficie exterior se tomará el coeficiente eólico de la Tabla 5.2.

En las superficies a resguardo, o sea, situadas dentro de la proyección, en dirección del viento, de otro elemento, como por ejemplo, en las cubiertas múltiples a diente de sierra, el coeficiente eólico se puede reducir en el 25 %.

En una construcción que tenga huecos (puertas o ventanas) actúa además sobre cada elemento una sobrecarga local en su superficie interior, que puede ser presión y puede ser succión, cualquiera que sea la dirección del viento.

Se calculará con los siguientes coeficientes eólicos:

Presión interior: $c = +0{,}4$
Succión interior: $c = -0{,}2$

En una construcción que tenga en una cara un hueco, o conjunto de huecos, cuya área practicable sea en total mayor que el tercio del área de la cara, sin producirse corriente de viento a través de la construcción, la sobrecarga interior se calculará con los siguientes coeficientes eólicos:

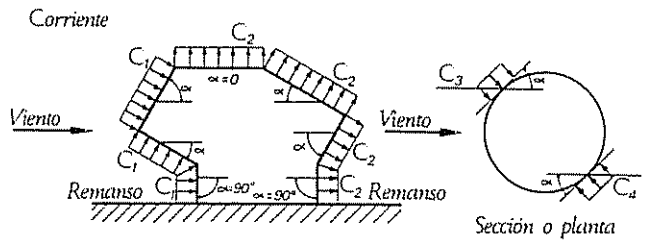
Hueco a barlovento: Presión interior: $c = +0{,}8$
Succión interior: $c = -0{,}2$

Hueco a sotavento: Presión interior: $c = +0{,}4$
Succión interior: $c = -0{,}4$

La sobrecarga exterior se combina con la interior. El coeficiente eólico total es la suma del de la sobrecarga exterior más el de la interior cambiado de signo. El cálculo se realizará con la combinación o combinaciones que produzcan efectos más desfavorables.

Tabla 5.2

Coeficiente eólico de sobrecarga local en una construcción cerrada.



Situación	Coeficiente eólico en:					
	Superficies planas		Superficies curvas rugosas		Superficies curvas muy lisas	
Angulo de incidencia del viento α	A barlovento c_1	A sotavento c_2	A barlovento c_3	A sotavento c_4	A barlovento c_3	A sotavento c_4
En remanso 90° — 0°	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4
En corriente 90°	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4
80°	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4
70°	+ 0,8	— 0,4	+ 0,8	— 0,4	+ 0,4	— 0,4
60°	+ 0,8	— 0,4	+ 0,4	— 0,4	0	— 0,4
50°	+ 0,6	— 0,4	0	— 0,4	— 0,4	— 0,4
40°	+ 0,4	— 0,4	— 0,4	— 0,4	— 0,8	— 0,4
30°	+ 0,2	— 0,4	— 0,8	— 0,4	— 1,2	— 0,4
20°	0	— 0,4	— 0,8	— 0,4	— 1,6	— 2,0
10°	— 0,2	— 0,4	— 0,8	— 0,4	— 2,0	— 2,0
0°	— 0,4	— 0,4	— 0,4	— 0,4	— 2,0	— 2,0

Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.

5.5. *Sobrecarga total de viento sobre las construcciones. La sobrecarga total del viento sobre una construcción es la resultante de las sobrecargas locales sobre el total de su superficie*

En los casos ordinarios puede calcularse directamente esta sobrecarga total admitiendo una presión uniforme sobre el área proyección de la construcción en un plano normal al viento, con el valor del coeficiente eólico dado en la Tabla 5.3.

Se considerará incluso el área de los elementos eventuales: carteles, instalaciones, etc., que puedan existir. En las banderas sueltas se computará el 25 % del área de la tela.

5.6. Sobrecarga de viento en construcciones abiertas. Se denomina construcción abierta la que tiene corriente de viento a través de ella.

La sobrecarga local de viento sobre sus elementos se calcula, en general, como en el artículo 5.4. Un elemento a resguardo de otro, o sea situado dentro de su proyección en la dirección del viento, no recibe sobrecarga si la separación entre ambos es igual o menor que la mínima dimensión del elemento que resguarda. Si la separación es mayor, sin sobrepasar cinco veces la mínima dimensión, recibe sobrecarga reducida en el 25 %. Para separaciones superiores se considerará la sobrecarga total.

Tabla 5.3

Coeficiente eólico de sobrecarga total en una construcción.

Clase de construcción	Coeficiente eólico c
Construcciones prismáticas	
De planta rectangular o combinación de rectángulos	1,2
De planta octogonal o análoga	1,0
Construcciones cilíndricas	
De superficie rugosa o nervada	0,8
De superficie muy lisa	0,6
Construcciones esféricas	
Esferas o semiesferas	0,4
Casquetes esféricos de relación altura: diámetro $\leqslant 1:4$	0,2

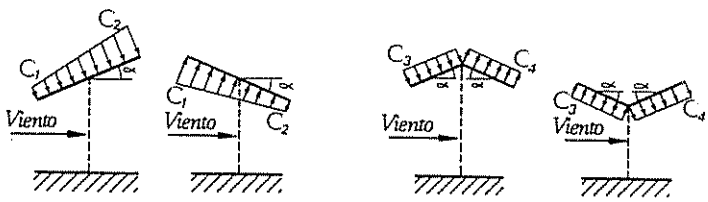
La sobrecarga total del viento se calculará como en el artículo 5.5, tomando el área de la proyección de la parte maciza de la construcción.

En este tipo de construcciones es muy importante tener en cuenta el área de todas las instalaciones solidarias que puedan existir.

En los planos y diedros exentos, la sobrecarga total, suma de la de sus dos caras, se calculará con los coeficientes eólicos dados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4

Coeficiente eólico en planos y diedros exentos



Angulo de incidencia del viento α	Coeficiente eólico en:					
	Planos exentos Se calcularán los efectos más desfavorables con $\alpha \pm 10°$		Diedros exentos Se calculará cada elemento en los casos más desfavorables			
			Caso I		Caso II	
	En el borde a barlovento c_1	En el borde a sotavento c_2	En el plano a barlovento c_3	En el plano a sotavento c_4	En el plano a barlovento c_3	En el plano a sotavento c_4
90° a 60°	1,2	1,2	1,2	0	0,8	0,4
50°	1,4	1,0	1,2	0	0,6	0,6
40°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
30°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
20°	1,2	0,4	1,0	0	0,2	0,8
10°	0,8	0	0,8	0	0	0,8
0°	0	0	0	0	0	0

Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.

5.7. *Influencia de la esbeltez. La acción del viento es mayor en los edificios cuya esbeltez es grande. En función de la relación entre los valores medios de la altura h y de la anchura b de la construcción en el plano normal al viento, los coeficientes eólicos de los artículos 5.4, 5.5 y 5.6 se multiplicarán por el factor eólico de esbeltez k dado por la Tabla 5.5.*

En las estructuras reticuladas abiertas se aplicará el factor eólico de esbeltez k que corresponda a la esbeltez media de sus barras, si éste es mayor que el general de la estructura.

Tabla 5.5

Factor eólico de esbeltez

Esbeltez: $\frac{h}{b}$ si $h > b$ $\frac{b}{h}$ si $b > h$	1 a 5	10	60 o mayor
Factor eólico de esbeltez k	1	1,25	1,50

Valores intermedios pueden interpolarse linealmente.

CAPITULO 6: ACCIONES TERMICAS Y REOLOGICAS

6.1. *Estructuras afectadas. Las acciones producidas por las deformaciones debidas a las variaciones de temperatura, y por las que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por otras causas, debe tenerse en cuenta en las estructuras hiperestáticas, muy especialmente en arcos, bóvedas o estructuras semejantes, salvo en los casos que se detallan.*

Pueden no considerarse acciones térmicas y reológicas en las estructuras formadas por pilares y vigas cuando se disponen juntas de dilatación a distancia adecuada.

Suele estimarse que la distancia entre juntas de dilatación en estructuras ordinarias de edificación, de acero laminado, o de hormigón armado, no debe sobrepasar 40 m. Esta distancia suele aumentarse a 50 m si los pilares son de rigidez pequeña, y reducirse a 30 m si los pilares son de rigidez grande.

6.2. *Variación de temperatura. Los valores de variación de temperatura que deben adoptarse en el cálculo, a menos de haber realizado determinaciones directas en la localidad, son los siguientes:*

Estructuras metálicas a la intemperie y expuestas a la radiación solar directa	$\pm$ 30°
Estructuras a la intemperie en los demás casos	$\pm$ 20°

En las estructuras con revestimientos que aseguren una variación de temperatura no superior a $\pm$ 10° puede prescindirse, en general, de considerar las acciones térmicas.

6.3. *Variaciones diferenciales de temperatura. Deben considerarse las acciones producidas por deformaciones debidas a temperaturas diferentes en zonas distintas de la estructura, en el caso de que puedan presentarse.*

6.4. *Coeficientes de dilatación: En el cálculo de las deformaciones se adoptarán los siguientes valores para el coeficiente de dilatación térmica:*

Acero laminado	*0,000012 m/m °C*
Hormigón armado	*0,000011 m/m °C*

6.5. *Acciones reológicas. En las estructuras construidas con materiales en que se producen deformaciones en el transcurso del tiempo, debidas a la retracción, a la fluencia bajo las cargas o a otras causas, las variaciones dimensionales a tener en cuenta según el artículo 6.1 se calcularán siguiendo las directrices de las normas para el cálculo de las estructuras de dichos materiales.*

Las acciones reológicas son despreciables, en general, en los materiales metálicos, debiendo considerarse en el hormigón en masa, armado y pretensado.

CAPITULO 7: ACCIONES SISMICAS

7.1. *Casos en que deben considerarse. Se tendrán en cuenta la acciones sísmicas en las localidades cuyo grado sísmico de la escala de Mercalli, modificada por Wood-Neumann, sea igual o superior a VII, siendo potestativo tenerlas en cuenta en localidades cuyo grado sea VI o inferior.*

7.2. *Zonas sísmicas. El grado sísmico de las capitales de provincia se indica en la Tabla 7.1, en la que se destacan las capitales en que es preceptivo considerar las acciones sísmicas. El grado sísmico de las demás localidades se determinará mediante el mapa de las zonas sísmicas de la península Ibérica.*

Tabla 7.1

Grado sísmico de las capitales de provincia.

Capital	Grado sísmico	Capital	Grado sísmico
Albacete	IV	Madrid	IV
Alicante	VI	**Málaga**	VIII
Almería	VII	**Murcia**	VIII
Avila	III	Orense	VI
Badajoz	VIII	Oviedo	V
Barcelona	VII	Palencia	III
Bilbao	IV	Pamplona	IV
Burgos	V	Palma de Mallorca	*
Cáceres	V	Palmas (Las)	*
Cádiz	VIII	**Pontevedra**	VII
Castellón	VI	Salamanca	IV
Ciudad Real	V	San Sebastián	IV
Córdoba	VII	Santa Cruz de Tenerife	*
Coruña (La)	VII	Santander	VI
Cuenca	IV	Segovia	IV
Gerona	VI	**Sevilla**	VII
Granada	VIII	Soria	V
Guadalajara	IV	Tarragona	VI
Huelva	V	Teruel	IV
Huesca	V	Toledo	IV
Jaén	VII	Valencia	V
León	III	Valladolid	III
Lérida	IV	Vitoria	VI
Logroño	VI	Zamora	III
Lugo	VI	Zaragoza	III

Fuentes: Instituto Geológico y Minero, Instituto Geográfico y Catastral.
* Pendientes de evaluación.

7.3. *Coeficiente sísmico. Coeficiente sísmico s, para el cálculo, es la relación entre la aceleración horizontal a producida por las sacudidas sísmicas en cada elemento, y la aceleración de la gravedad* a_g:

$$s = \frac{a}{a_g}$$

La aceleración a para cada elemento depende del grado sísmico de la localidad y, además, de la clase de terreno de cimentación y del tipo de construcción. El valor del coeficiente sísmico s que se tomará en cada caso se da en la Tabla 7.2.

7.4. *Sobrecargas sísmicas. La sobrecarga sísmica horizontal* P_s *producida por las sacudidas sísmicas sobre cada elemento se calculará con la fórmula:*

$$P_s = sQ$$

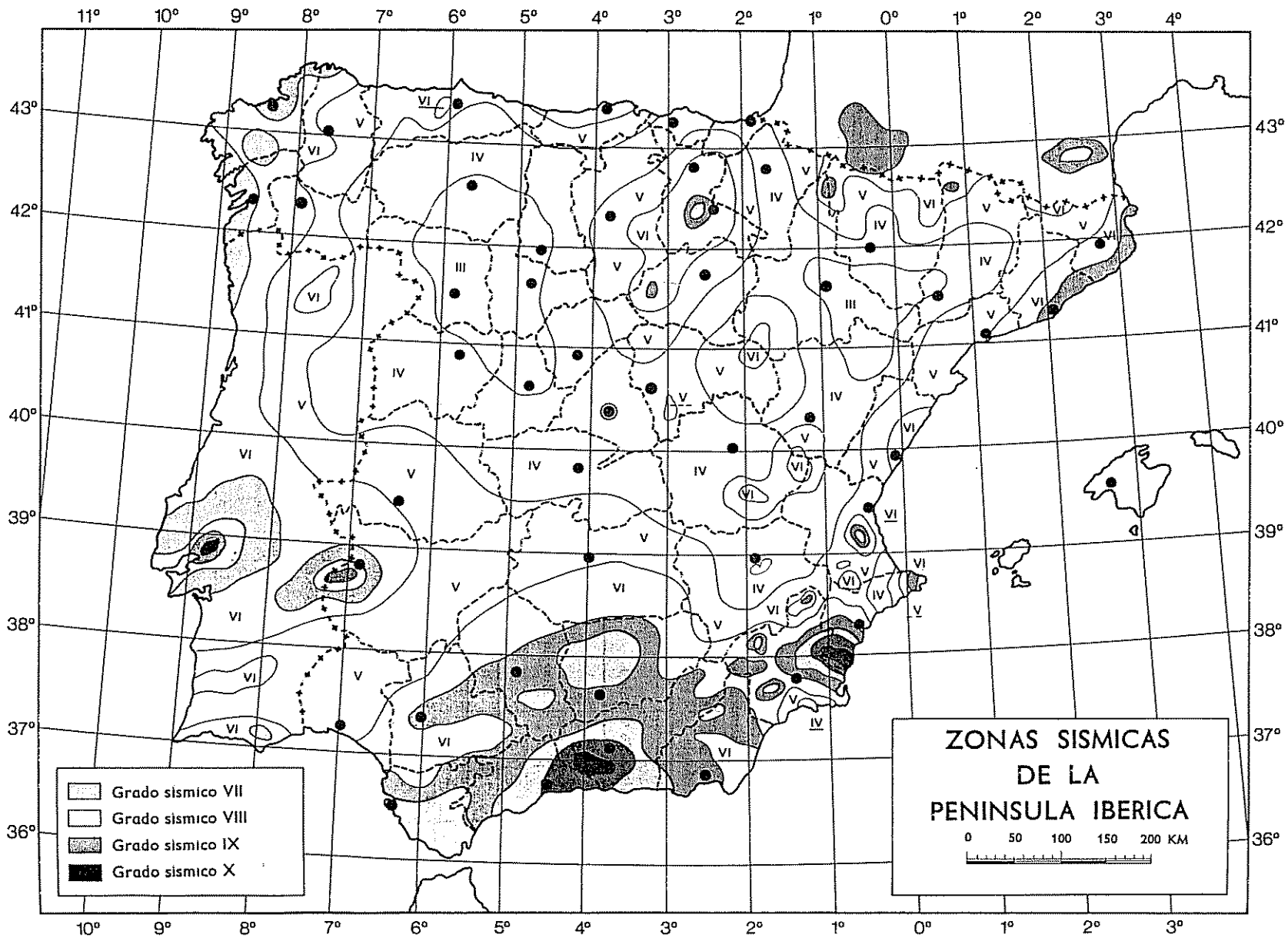
siendo s el coeficiente sísmico y Q la carga vertical que gravita directamente sobre el elemento, calculada según el artículo 7.5. La sobrecarga sísmica actúa en el centro de gravedad del elemento en un plano horizontal, pudiendo tomar dentro de él cualquier dirección, y eligiéndose para el cálculo aquella o aquellas direcciones que sean más desfavorables, cada una en ambos sentidos.

En el cálculo de una estructura se tendrán en cuenta las sobrecargas sísmicas que se producen en cada uno de sus elementos. En general se calculan las estructuras admitiendo que en las cabezas de los soportes actúan las sobrecargas sísmicas de vigas y muros. Los muros u otros elementos verticales se calculan, si es preciso, con sobrecargas sísmicas repartidas en su altura.

Tabla 7.2

Coeficiente sísmico.

Tipo de construcción	Valor del coeficiente sísmico en localidades cuyo grado sísmico es:				
	⩽ VI	VII	VIII	IX	X
Construcciones entramadas sobre:					
a) Terrenos compactos (rocas, graveras y arenosos gruesos, arcillosos duros, etc.)	0	0,03	0,05	0.07	0,10
b) Terrenos semicompactos (arenosos finos, arcillosos semiduros, etc.)	0	0,04	0,08	0,10	0,15
c) Terrenos blandos (arcillosos blandos y fluidos, etc.) y construcciones sobre pilotes	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20
Torres, depósitos elevados, casos análogos	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20
Construcciones con muros de fábrica, no entramados	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20
Ornamentos aislados y elementos en ménsula vertical u horizontal	0,02	0,10	0,20	0,30	0,50


ZONAS SISMICAS
DE LA
PENINSULA IBERICA
0 50 100 150 200 KM
Grado sismico VII
Grado sismico VIII
Grado sismico IX
Grado sismico X
11° 10° 9° 8° 7° 6° 5° 4° 3° 2° 1° 0° 1° 2° 3° 4°
43° 42° 41° 40° 39° 38° 37° 36°

Las sobrecargas sísmicas verticales, debidas a la aceleración sísmica vertical, se consideran, en general, despreciables, salvo el caso de elementos volados.

7.5. *Cargas verticales para el cálculo de sobrecargas sísmicas. La carga vertical Q que figura en el artículo 7.4 se calculará con la expresión:*

$$Q = G + r\,P$$

siendo G la concarga, y P la sobrecarga vertical, que actúan sobre el elemento que se estudia, y r el factor sísmico de reducción, cuyo valor figura en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3

Factor sísmico de reducción de sobrecargas.

Clase de sobrecarga	Factor sísmico de reducción *r*
Sobrecargas de uso, según Tabla 3.1:	
Apartados A., B. y C.	0,5
Apartado D., excepto locales de almacén	0,7
Apartados E., F. y G., y locales de almacén	1,0
Sobrecargas de nieve	
En todo caso	1,0

7.6. *Casos especiales. Cuando el autor del proyecto, debido a la ubicación o las características de las obras, considere precisa una ampliación de datos, se recomienda una consulta a los servicios oficiales de sismología* [1].

CAPITULO 8: PRESIONES EN TERRENO DE CIMENTACION

8.1. *Clasificación de los terrenos de cimentación. En consideración a su comportamiento frente a las cargas de cimentación, y a los efectos de determinar las presiones admisibles según el artículo 8.2, se clasifican los terrenos de cimentación en: rocas, terrenos sin cohesión, terrenos coherentes y terrenos deficientes.*

8.1.1. *Rocas. Formaciones geológicas sólidas, con notable resistencia a compresión. Se agrupan en:*

A. *Rocas isótropas. Sin visible estratificación: granitos, dioritas, etc.*

B. *Rocas estratificadas. Con visible estratificación laminar: pizarras, esquistos, etc.*

---

[1] Servicio de Sismología del Instituto Geográfico y Catastral, Instituto Geológico y Minero.

Igualmente es preciso observar que si bien los valores que figuran en la Tabla 8.1 se consideran admisibles para cada clase de terreno que en ella se especifica, dichos valores no garantizan que los asientos que se produzcan sean tolerables para cada obra en particular, debiendo el autor del proyecto comprobar en cada caso estos extremos.

Tabla 8.1

Presiones admisibles en el terreno de cimentación.

Naturaleza del terreno	Presión admisible en kg/cm², para profundidad de cimentación en m de:				
	0	0,5	1	2	≦ 3
1 **Rocas** [1]					
No estratificadas	30	40	50	60	60
Estratificadas	10	12	16	20	20
2 **Terrenos sin cohesión** [2]					
Graveras	—	4	5	6,3	8
Arenosos gruesos	—	2,5	3,2	4	5
Arenosos finos	—	1,6	2	2,5	3,2
3 **Terrenos coherentes**					
Arcillosos duros	—	—	4	4	4
Arcillosos semiduros	—	—	2	2	2
Arcillosos blandos	—	—	1	1	1
Arcillosos fluidos	—	—	0,5	0,5	0,5
4 **Terrenos deficientes**					
Fangos Terrenos orgánicos Rellenos sin consolidar	En general resistencia nula, salvo que se determine experimentalmente el valor admisible.				

Observaciones:

[1] *a)* Los valores que se indican corresponden a rocas sanas, pudiendo tener alguna grieta.

b) Para rocas meteorizadas o muy agrietadas las tensiones se reducirán prudencialmente.

[2] *a)* Los valores indicados se refieren a terrenos consolidados que requieren el uso del pico para removerlos.

Para terrenos de consolidación media en que la pala penetra con dificultad, los valores anteriores se multiplicarán por 0,8.

Para terrenos sueltos, que se remuevan fácilmente con la pala, los valores indicados se multiplicarán por 0,5.

b) Los valores indicados corresponden a una anchura de cimiento igual o superior a 1 m. En caso de anchuras inferiores, la presión se multiplicará por la anchura del cimiento expresada en metros.

c) Cuando el nivel freático diste de la superficie de apoyo menos de su anchura, los valores de la Tabla se multiplicarán por 0,8.

8.1.2. *Terrenos sin cohesión. Terrenos formados fundamentalmente por áridos: grava, arena y limo inorgánico, pudiendo contener arcillas en cantidad moderada. Predomina en ellos la resistencia debida al rozamiento interno. Se clasifican en:*

A. Terrenos de graveras. Si predominan las gravas y gravillas, conteniendo al menos un 30 % de estos áridos.

B. Terrenos arenosos gruesos. Si predominan las arenas gruesas y medias, conteniendo menos del 30 % de gravas y gravillas y menos del 50 % de arenas finas y limo inorgánico.

C. Terrenos arenosos finos. Si predominan las arenas finas, conteniendo menos del 30 % de grava y gravilla y más del 50 % de arenas finas y limo inorgánico.

A estos efectos, se denominarán los áridos, según el tamaño de sus granos, como sigue:

Gravas y gravillas: mayor de 2 mm.
Arenas gruesas y medias: entre 2 y 0,2 mm.
Arenas finas: entre 0,2 y 0,06 mm.
Limos inorgánicos: menor de 0,06 mm.

8.1.3. *Terrenos coherentes. Terrenos formados fundamentalmente por arcillas, que pueden contener áridos en cantidad moderada. Al secarse forman terrones que no pueden pulverizarse con los dedos. Predomina en ellos la resistencia debida a la cohesión. Según su consistencia y su resistencia a compresión en estado natural no alterado, se clasifican en:*

A. Terrenos arcillosos duros. Los terrones con su humedad natural se rompen difícilmente con la mano. Tonalidad en general clara. Resistencia a compresión superior a 4 kg/cm².

B. Terrenos arcillosos semiduros. Los terrones con su humedad natural se amasan difícilmente con la mano. Tonalidad en general oscura. Resistencia a compresión entre 2 y 4 kg/cm².

C. Terrenos arcillosos blandos. Los terrones con su humedad natural se amasan fácilmente, permitiendo obtener entre las manos cilindros de 3 mm de diámetro. Tonalidad en general oscura. Resistencia a compresión entre 1 y 2 kg/cm².

D. Terrenos arcillosos fluidos. Los terrones con su humedad natural, presionados en la mano cerrada fluyen entre los dedos. Tonalidad en general oscura. Resistencia a compresión inferior a 1 kg/cm².

8.1.4. *Terrenos deficientes. Terrenos en general no aptos para la cimentación. Entre ellos se encuentran los siguientes:*

A. Fangos inorgánicos. Limos inorgánicos y arcillas con gran cantidad de agua, que no permite la formación de cilindros que resistan su propio peso.

B. Terrenos orgánicos. Los que contienen proporción notable de materia orgánica.

C. Terreno de relleno o echadizos. De naturaleza artificial, como vertederos sin consolidar.

8.2. *Presiones admisibles en el terreno. La presión admisible en un terreno, bajo cargas verticales, depende fundamentalmente de la naturaleza del terreno y de la profundidad y anchura del cimiento, y, además, de otras circunstancias.*

La variedad y dificultad de clasificación de los terrenos sólo permite dar valores de la presión admisible a título de orientación, debiendo en cada caso el autor del proyecto, con su criterio técnico y tras el reconocimiento y ensayos del terreno que considere precisos, elegir para cada caso la presión admisible que considere adecuada. Con las salvedades que se acaban de señalar, los valores de las presiones admisibles se consignan en la Tabla 8.1.

8.3. *Presiones en las capas profundas. Cuando el terreno que soporta el cimiento descansa sobre otro cuya presión admisible sea inferior, se comprobará que la presión resultante sobre el inferior no excede de la presión admisible que le corresponda.*

El cálculo de las presiones sobre el terreno inferior puede determinarse con los métodos de la Mecánica del Suelo, o puede suponerse uniforme en cada capa de terreno, en la superficie limitada por sus intersecciones con planos trazados por los bordes de la cimentación que formen ángulo de 30° con la vertical. En el caso de zapatas próximas, si los planos a 30° contiguos se cortan, se tomará el plano vertical que pasa por su intersección.

8.4. *Presión general en terrenos coherentes. En caso de terrenos coherentes, se comprobará, además, que la carga total de cada cuerpo de edificación, disminuida en el peso del terreno excavado y dividida por la superficie que ocupa en planta, no excede de la mitad de la presión admisible que corresponda al terreno en la Tabla 8.1.*

8.5. *Consideración de los asientos. Cuando calculados los asientos o sus diferencias entre las diversas zonas del edificio, no sean de valor tolerable, se reducirán las presiones admisibles hasta conseguir que lo sean.*

El asiento máximo tolerable se fijará por el autor del proyecto, atendiendo a las características especiales de cada tipo de obra. Ello no obstante, y a título de orientación, se fijan los valores que indica la Tabla 8.2.

8.6. *Cargas excéntricas. Cuando la actuación de cargas sobre el cimiento produzca por su excentricidad presiones no uniformes sobre el terreno, se admitirá en los bordes un aumento del 25 % en la presión admisible indicada en la Tabla 8.1, siempre que la presión en el centro de gravedad de la superficie de apoyo no exceda de la presión admisible.*

Tabla 8.2

Asientos generales admisibles.

Características del edificio	Asiento general, máximo admisible en terrenos:	
	Sin cohesión mm	Coherentes mm
Obras de carácter monumental	12	25
Edificios con estructura de hormigón armado de gran rigidez	35	50
Edificios con estructura de hormigón armado de pequeña rigidez Estructuras metálicas hiperestáticas Edificios con muros de fábrica	50	75
Estructuras metálicas isostáticas Estructuras de madera	> 50	> 75
Estructuras provisionales	Comprobando que no se produce desorganización en la estructura ni en los cerramientos.	

8.7. *Seguridad al deslizamiento. Cuando la resultante de las fuerzas transmitidas al terreno incida oblicuamente sobre la superficie de contacto del cimiento y terreno, el terreno deberá ser capaz de equilibrar la componente horizontal de aquella resultante multiplicada por 1,5. El equilibrio se consigue por el rozamiento entre cimiento y terreno, y en algunos casos además con el empuje pasivo del terreno. Sólo podrá contarse con este empuje pasivo en los casos en que el terreno no pueda desaparecer definitiva o temporalmente y sean admisibles los corrimientos horizontales de la estructura precisos para originar los referidos empujes.*

No se contará en ningún caso con el empuje pasivo de la capa superior del terreno en una profundidad de 1 m.

8.8. *Cargas a considerar en el proyecto de la cimentación. En el cálculo de las presiones sobre el terreno se considerarán las combinaciones más desfavorables de las concargas, incluido el peso propio de la cimentación, y de las sobrecargas de uso, de nieve, de viento, etc., con sus reducciones admisibles.*

Se tendrán en cuenta las subpresiones en el caso que la cimentación alcance la capa freática.

8.9. *Reconocimiento del terreno. Para la elección de la presión admisible en el terreno se procederá a un reconocimiento de éste. Los criterios que suelen seguirse son los que a continuación se indican.*

8.9.1. *Estudio de las observaciones e informaciones locales, así como el comportamiento de las cimentaciones de edificios próximos.*

8.9.2. *Realización de perforaciones o calicatas, con profundidad suficiente para llegar a todas las capas que puedan influir en los asientos de la obra, y en número necesario para juzgar de la naturaleza de todo el terreno afectado por la edificación.*

La profundidad de las perforaciones no será en general inferior a las siguientes:

Cimentaciones discontinuas. Tres veces el ancho mínimo de las zapatas, con un mínimo de 5 m.

Cimentaciones continuas. Vez y media el ancho de la placa de cimentación.

Estas profundidades se aumentarán prudencialmente en el caso de terrenos de mala calidad, en el que se presuma que puedan existir a profundidad que afecte a la obra, y en el de terrenos de estructura irregular.

8.9.3. *Si con los estudios y observaciones de los apartados anteriores u otros adecuados no pudiera fijarse de manera clara la presión admisible para el terreno, se procederá a la realización de los ensayos precisos, que deben ser programados, ejecutados e interpretados por personal especializado.*

CAPITULO 9: EMPUJES DEL TERRENO

Características de los terrenos. El cálculo de los empujes se realizará utilizando los métodos de la Mecánica del Suelo. Las características de cada terreno: peso específico aparente γ, índice de huecos n, ángulo de rozamiento interno φ y cohesión x se determinarán experimentalmente.

Cuando se juzgue necesario se realizarán los ensayos precisos, que deben ser programados, ejecutados e interpretados por personal especializado que domine las técnicas correspondientes.

En terrenos coherentes debe procederse con gran prudencia al fijar el valor de la cohesión, ya que varía con

el grado de humedad del terreno, disminuyendo rápidamente cuando éste pasa de un cierto límite, así como a causa de posibles acciones perturbadoras de los agentes climatológicos. Si no se efectúa determinación directa de las características del terreno se supondrá cohesión nula en todo caso, y se tomarán los valores de la Tabla 9.1.

Tabla 9.1

Características empíricas de los terrenos.

Clase de terreno	Peso específico aparente γ t/m³	Angulo de rozamiento interno φ Grados	Indice de huecos n %
Terrenos naturales			
Grava y arena compacta	2,0	30°	30
Grava y arena suelta	1,7	30°	40
Arcilla	2,1	20°	—
Rellenos			
Tierra vegetal	1,7	25°	40
Terraplén	1,7	30°	40
Pedraplén	1,8	40°	35

9.2. *Rozamiento entre terreno y muro. El ángulo de rozamiento δ entre un terreno y un muro depende principalmente: del ángulo de rozamiento interno del terreno, de su grado de humedad y de la rugosidad del paramento del muro. El valor de δ puede determinarse experimentalmente o estimarse con las consideraciones siguientes:*

En los casos más desfavorables, como, por ejemplo, en terrenos coherentes anegados o en muros de superficie muy lisa, se tomará un ángulo de rozamiento:

$$\delta = 0°$$

Con terrenos bien drenados y muros de superficie muy rugosa, el máximo valor posible del ángulo de rozamiento es $\delta = \varphi$. Para el cálculo de los empujes, salvo justificación especial, no se pasará del valor

$$\delta = \frac{2}{3}\varphi$$

9.3. *Empuje activo. Para el cálculo de los empujes activos de terrenos sin cohesión se recomienda aplicar la teoría de Coulomb, que proporciona valores suficientemente aproximados. Con muro de trasdós plano (figura 1), que forma un ángulo α con la horizontal, y superficie del terreno plana, formando talud de ángulo β, sobre la que actúa una carga uniformemente repartida de valor q por m de proyección, las componentes horizontal p_H y*

vertical p_V de la presión sobre el muro, a la profundidad z contada a partir de la coronación del muro, tienen las expresiones siguientes:

$$p_H = (\gamma z + q)\,\lambda_H$$

$$p_V = (\gamma z + q)\,\lambda_V$$

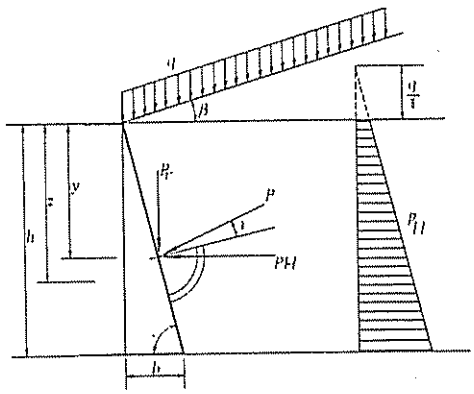


Fig. 1

Los coeficientes de empuje activo λ_H y λ_V vienen dados por las expresiones:

$$\lambda_H = \frac{\operatorname{sen}^2(\alpha + \varphi)}{\operatorname{sen}^2\alpha \left[1 + \sqrt{\dfrac{\operatorname{sen}(\alpha + \delta)\operatorname{sen}(\varphi - \beta)}{\operatorname{sen}(\alpha - \delta)\operatorname{sen}(\alpha + \beta)}}\right]^2}$$

$$\lambda_V = \lambda_H \cot(\alpha - \delta)$$

pudiendo tomarse de la Tabla 9.2.

Como valor β del ángulo de talud de la superficie libre del terreno, respecto a la horizontal, se tomará el más desfavorable de los que sean posibles.

Los componentes horizontal P_H y vertical P_V del empuje total P, por unidad de longitud de muro, tienen por expresiones:

$$P_H = \left(\gamma \frac{h^2}{2} + q\,h\right)\lambda_H$$

$$P_V = \left(\gamma \frac{h^2}{2} + q\,h\right)\lambda_V$$

El punto de aplicación del empuje P se encuentra a una profundidad y desde la coronación del muro dada por la expresión:

$$y = h\,\frac{2\,\gamma h + 3\,q}{3\,\gamma h + 6\,q}$$

Tabla 9.2

Coeficientes de empuje activo.

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot\alpha =$ 0,8	0,6	0,4	0,2	0	—0,2	Coeficiente λ_V de empuje activo vertical siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot\alpha =$ 0,8	0,6	0,4	0,2	0	— 0,2
20°	0°	0°	0,71	0,67	0,62	0,56	0,49	0,42	0,57	0,40	0,25	0,11	0	— 0,08
		5°	0,78	0,73	0,67	0,60	0,52	0,44	0,62	0,44	0,27	0,12	0	— 0,09
		10°	0,88	0,81	0,74	0,65	0,57	0,48	0,70	0,49	0,29	0,13	0	— 0,10
		15°	1,01	0,92	0,83	0,74	0,64	0,54	0,81	0,55	0,33	0,15	0	— 0,11
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	1,18	0,79	0,46	0,20	0	— 0,15
	$\frac{\varphi}{3}$ = 6° 40′	0°	0,63	0,60	0,56	0,51	0,45	0,39	0,64	0,46	0,28	0,16	0,05	— 0,03
		5°	0,70	0,66	0,62	0,56	0,48	0,42	0,71	0,51	0,31	0,18	0,06	— 0,03
		10°	0,80	0,75	0,68	0,61	0,54	0,46	0,81	0,58	0,34	0,20	0,06	— 0,04
		15°	0,95	0,87	0,79	0,70	0,61	0,52	0,96	0,67	0,39	0,23	0,07	— 0,04
		20°	1,47	1,21	1,16	1,02	0,88	0,76	1,49	1,01	0,58	0,33	0,10	— 0,06
	$\frac{2\varphi}{3}$ = 13° 20′	0°	0,56	0,54	0,52	0,48	0,42	0,37	0,72	0,53	0,36	0,22	0,10	0,01
		5°	0,63	0,61	0,57	0,52	0,46	0,40	0,81	0,60	0,40	0,24	0,11	0,01
		10°	0,73	0,69	0,64	0,58	0,51	0,44	0,93	0,67	0,45	0,27	0,12	0,02
		15°	0,88	0,82	0,75	0,67	0,59	0,50	1,13	0,81	0,53	0,31	0,14	0,02
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	1,88	1,28	0,82	0,47	0,21	0,03
	φ = 20°	0°	0,49	0,49	0,47	0,44	0,40	0,35	0,80	0,60	0,42	0,27	0,15	0,05
		5°	0,56	0,55	0,53	0,48	0,44	0,38	0,92	0,69	0,47	0,29	0,16	0,06
		10°	0,66	0,64	0,60	0,55	0,49	0,42	1,08	0,78	0,54	0,33	0,18	0,06
		15°	0,82	0,77	0,71	0,64	0,57	0,48	1,35	1,01	0,69	0,39	0,21	0,07
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02	0,88	0,76	2,42	1,62	1,04	0,60	0,32	0,12
25°	0°	0°	0,65	0,60	0,55	0,48	0,41	0,33	0,52	0,36	0,22	0,10	0	— 0,07
		10°	0,79	0,72	0,64	0,55	0,46	0,37	0,63	0,43	0,26	0,11	0	— 0,07
		15°	0,89	0,80	0,70	0,60	0,50	0,41	0,71	0,48	0,28	0,12	0	— 0,08
		20°	1,03	0,92	0,80	0,69	0,57	0,46	0,82	0,55	0,32	0,14	0	— 0,09
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	1,24	0,81	0,46	0,20	0	— 0,14
	$\frac{\varphi}{3}$ = 8° 20′	0°	0,56	0,53	0,49	0,44	0,37	0,30	0,60	0,43	0,28	0,16	0,05	— 0,02
		10°	0,70	0,65	0,58	0,51	0,43	0,34	0,75	0,53	0,34	0,18	0,06	— 0,02
		15°	0,80	0,73	0,65	0,56	0,47	0,38	0,86	0,60	0,38	0,20	0,07	— 0,02
		20°	0,96	0,86	0,76	0,65	0,55	0,44	1,03	0,70	0,44	0,23	0,08	— 0,02
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	1,66	1,10	0,67	0,35	0,12	— 0,03
	$\frac{2\varphi}{3}$ = 16° 40′	0°	0,48	0,47	0,44	0,40	0,35	0,29	0,69	0,51	0,35	0,21	0,10	0,03
		10°	0,61	0,58	0,53	0,47	0,40	0,33	0,88	0,64	0,42	0,25	0,12	0,03
		15°	0,72	0,67	0,60	0,53	0,45	0,37	1,04	0,73	0,48	0,28	0,14	0,03
		20°	0,88	0,80	0,71	0,62	0,52	0,42	1,27	0,88	0,56	0,33	0,16	0,04
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	2,24	1,47	0,92	0,52	0,25	0,06
	φ = 25°	0°	0,40	0,41	0,39	0,37	0,32	0,27	0,81	0,60	0,42	0,27	0,15	0,07
		10°	0,53	0,52	0,48	0,44	0,38	0,31	1,07	0,77	0,51	0,32	0,18	0,07
		15°	0,63	0,60	0,56	0,50	0,43	0,35	1,27	0,89	0,60	0,37	0,20	0,08
		20°	0,79	0,74	0,67	0,59	0,50	0,41	1,60	1,10	0,71	0,43	0,23	0,10
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98	0,82	0,68	3,13	1,99	1,23	0,72	0,38	0,17

Tabla 9.2

Coeficientes de empuje activo.

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot\alpha =$						Coeficiente λ_V de empuje activo vertical siendo la inclinación del muro: $b:h = \cot\alpha =$					
			0.8	0,6	0.4	0,2	0	—0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	— 0,2
30°	0°	0°	0,60	0,54	0,48	0,41	0,33	0,26	0,48	0,33	0,19	0,08	0	— 0,05
		10°	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,57	0,38	0,22	0,09	0	— 0,06
		20°	0,89	0,78	0,67	0,55	0,44	0,33	0,71	0,47	0,27	0,11	0	— 0,07
		25°	1,04	0,90	0,77	0,63	0,50	0,38	0,83	0,54	0,31	0,13	0	— 0,08
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	1,28	0,82	0,45	0,19	0	— 0,12
	$\frac{\varphi}{3}$ = 10°	0°	0,50	0,47	0,42	0,37	0,30	0,24	0,57	0,41	0,26	0,14	0,05	— 0,01
		10°	0,61	0,56	0,50	0,42	0,34	0,27	0,69	0,49	0,31	0,16	0,06	— 0,01
		20°	0,79	0,71	0,61	0,51	0,41	0,32	0,90	0,62	0,38	0,20	0,07	— 0,01
		25°	0,95	0,84	0,72	0,60	0,48	0,37	1,08	0,73	0,45	0,23	0,08	— 0,01
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	0,82	1,18	0,71	0,36	0,13	— 0,01
	$\frac{2\varphi}{3}$ = 20°	0°	0,41	0,40	0,37	0,33	0,28	0,22	0,68	0,49	0,33	0,20	0,10	0,03
		10°	0,52	0,49	0,44	0,39	0,32	0,25	0,85	0,60	0,39	0,24	0,12	0,04
		20°	0,69	0,63	0,56	0,48	0,39	0,30	1,13	0,78	0,50	0,29	0,14	0,05
		25°	0,86	0,77	0,67	0,57	0,46	0,35	1,41	0,96	0,60	0,35	0,17	0,05
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	2,63	1,68	1,02	0,57	0,27	0,09
	φ = 30°	0°	0,32	0,33	0,33	0,30	0,26	0,21	0,82	0,60	0,41	0,26	0,15	0,07
		10°	0,42	0,42	0,39	0,35	0,30	0,24	1,07	0,76	0,50	0,31	0,17	0,08
		20°	0,58	0,56	0,51	0,44	0,37	0,29	1,48	1,01	0,65	0,39	0,21	0,10
		25°	0,75	0,70	0,62	0,53	0,44	0,34	1,92	1,26	0,79	0,47	0,25	0,12
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,75	0,59	4,10	2,45	1,44	0,82	0,43	0,20
35°	0°	0°	0,54	0,49	0,42	0,35	0,27	0,20	0,43	0,29	0,17	0,07	0	— 0,04
		15°	0,70	0,61	0,51	0,42	0,32	0,23	0,56	0,37	0,20	0,08	0	— 0,05
		25°	0,88	0,75	0,62	0,50	0,38	0,27	0,70	0,45	0,25	0,10	0	— 0,05
		30°	1,04	0,88	0,72	0,57	0,44	0,31	0,83	0,53	0,29	0,11	0	— 0,06
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	1,31	0,81	0,44	0,17	0	— 0,10
	$\frac{\varphi}{3}$ = 11° 40′	0°	0,44	0,41	0,37	0,31	0,25	0,18	0,53	0,38	0,24	0,13	0,05	0,00
		15°	0,60	0,53	0,46	0,38	0,29	0,21	0,72	0,49	0,30	0,16	0,06	0,00
		25°	0,77	0,67	0,57	0,46	0,35	0,25	0,93	0,62	0,38	0,19	0,07	0,00
		30°	0,94	0,81	0,67	0,54	0,41	0,30	1,13	0,75	0,44	0,23	0,08	0,00
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	1,96	1,24	0,73	0,37	0,14	0,00
	$\frac{2\varphi}{3}$ = 23° 20′	0°	0,35	0,34	0,32	0,28	0,22	0,17	0,81	0,47	0,32	0,19	0,10	0,04
		15°	0,49	0,46	0,41	0,34	0,27	0,20	0,92	0,64	0,41	0,23	0,12	0,04
		25°	0,66	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	1,24	0,83	0,52	0,30	0,14	0,05
		30°	0,83	0,73	0,62	0,51	0,39	0,29	1,56	1,02	0,62	0,35	0,17	0,06
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	3,07	1,88	1,10	0,60	0,29	0,11
	φ = 35°	0°	0,25	0,27	0,27	0,24	0,21	0,16	0,85	0,60	0,41	0,26	0,14	0,07
		15°	0,36	0,37	0,35	0,31	0,25	0,19	1,23	0,83	0,53	0,30	0,17	0,08
		25°	0,52	0,51	0,46	0,39	0,31	0,23	1,77	1,14	0,70	0,37	0,22	0,10
		30°	0,69	0,64	0,57	0,48	0,37	0,27	2,35	1,43	0,87	0,46	0,26	0,12
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,67	0,50	5,57	3,03	1,68	0,91	0,47	0,22

Tabla 9.2

Coeficientes de empuje activo.

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal siendo la inclinación del muro: $b : h = \cot\alpha =$						Coeficiente λ_V de empuje activo vertical siendo la inclinación del muro: $b : h = \cot\alpha =$					
			0,8	0,6	0,4	0,2	0	—0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	—0,2
40°	0°	0°	0,49	0,44	0,37	0,29	0,22	0,15	0,39	0,26	0,15	0,06	0	— 0,03
		15°	0,63	0,53	0,44	0,34	0,25	0,17	0,50	0,32	0,18	0,07	0	— 0,03
		25°	0,76	0,64	0,52	0,40	0,29	0,19	0,61	0,38	0,21	0,08	0	— 0,04
		35°	1,02	0,84	0,67	0,51	0,37	0,24	0,82	0,50	0,27	0,10	0	— 0,05
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	1,31	0,79	0,42	0,16	0	— 0,08
	$\frac{\varphi}{3} =$ 13° 20′	0°	0,40	0,36	0,31	0,26	0,20	0,14	0,51	0,35	0,22	0,12	0,05	0,00
		15°	0,52	0,46	0,39	0,31	0,23	0,16	0,66	0,45	0,27	0,14	0,05	0,01
		25°	0,65	0,56	0,46	0,36	0,27	0,18	0,83	0,55	0,32	0,16	0,06	0,01
		35°	0,92	0,77	0,62	0,48	0,35	0,23	1,18	0,76	0,44	0,22	0,08	0,01
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	2,10	1,30	0,74	0,37	0,14	0,01
	$\frac{2\varphi}{3} =$ 26° 40′	0°	0,30	0,29	0,27	0,23	0,18	0,13	0,65	0,46	0,30	0,18	0,09	0,04
		15°	0,41	0,38	0,33	0,28	0,21	0,15	0,89	0,60	0,37	0,22	0,10	0,04
		25°	0,52	0,48	0,41	0,33	0,25	0,17	1,13	0,76	0,46	0,26	0,12	0,05
		35°	0,79	0,69	0,58	0,45	0,33	0,22	1,72	1,09	0,65	0,35	0,17	0,06
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	3,57	2,08	1,19	0,62	0,30	0,11
	$\varphi =$ 40°	0°	0,18	0,21	0,22	0,20	0,16	0,12	0,89	0,61	0,40	0,25	0,14	0,07
		15°	0,26	0,29	0,28	0,24	0,19	0,14	1,30	0,84	0,52	0,30	0,16	0,08
		25°	0,35	0,37	0,35	0,29	0,23	0,16	1,74	1,07	0,65	0,36	0,19	0,09
		35°	0,59	0,58	0,51	0,42	0,31	0,21	2,94	1,68	0,95	0,52	0,26	0,11
		40°	1,64	1,32	1,05	0,80	0,59	0,41	8,17	3,83	1,95	1,00	0,49	0,22
45°	0°	0°	0,45	0,38	0,32	0,24	0,17	0,11	0,36	0,23	0,13	0,05	0	— 0,02
		15°	0,56	0,47	0,37	0,28	0,19	0,12	0,45	0,28	0,15	0,06	0	— 0,02
		30°	0,73	0,60	0,47	0,34	0,23	0,14	0,58	0,36	0,19	0,07	0	— 0,03
		40°	0,99	0,79	0,61	0,45	0,30	0,18	0,79	0,47	0,24	0,09	0	— 0,04
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	1,30	0,77	0,39	0,14	0	— 0,06
	$\frac{\varphi}{3} =$ 15°	0°	0,35	0,32	0,27	0,21	0,14	0,10	0,48	0,33	0,20	0,10	0,04	0,01
		15°	0,45	0,39	0,32	0,25	0,18	0,11	0,61	0,40	0,24	0,12	0,05	0,01
		30°	0,55	0,52	0,42	0,31	0,22	0,13	0,75	0,54	0,31	0,15	0,06	0,01
		40°	0,88	0,72	0,57	0,42	0,29	0,17	1,20	0,74	0,43	0,21	0,08	0,01
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	2,20	1,32	0,73	0,36	0,13	0,02
	$\frac{2\varphi}{3} =$ 30°	0°	0,25	0,25	0,22	0,19	0,14	0,09	0,64	0,44	0,28	0,16	0,08	0,03
		15°	0,33	0,31	0,27	0,22	0,16	0,10	0,84	0,56	0,34	0,19	0,09	0,03
		30°	0,48	0,43	0,36	0,28	0,20	0,13	1,23	0,77	0,46	0,25	0,11	0,04
		40°	0,74	0,64	0,52	0,39	0,27	0,17	1,89	1,15	0,66	0,34	0,16	0,06
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	4,15	2,31	1,25	0,63	0,29	0,11
	$\varphi =$ 45°	0°	0,11	0,16	0,17	0,16	0,13	0,09	0,97	0,63	0,40	0,24	0,13	0,06
		15°	0,16	0,21	0,22	0,19	0,15	0,10	1,44	0,84	0,51	0,28	0,15	0,07
		30°	0,25	0,31	0,30	0,25	0,18	0,12	2,25	1,24	0,70	0,37	0,18	0,08
		40°	0,45	0,50	0,45	0,35	0,25	0,16	4,05	2,00	1,05	0,52	0,25	0,11
		45°	1,62	1,28	0,98	0,72	0,50	0,32	4,60	5,12	2,29	1,08	0,50	0,21

9.4. *Empuje activo de terrenos estratificados.* En los terrenos constituidos por estratos de diversas características se determinará el empuje total obteniendo la resultante de los empujes parciales correspondientes a cada uno de los estratos. A este efecto, cada uno de ellos se considerará como un terreno homogéneo, sobre cuya superficie superior actúa una carga igual a la suma de los pesos de los estratos superiores, más la que pueda existir sobre la superficie libre.

9.5. *Empuje activo de terrenos anegados.* En los terrenos permeables anegados se calculará el peso específico aparente del terreno, teniendo en cuenta la disminución originada por el empuje ascensional del agua, que se valorará a partir del índice de huecos. El peso específico virtual, γ' de un terreno anegado viene dado por la fórmula:

$$\gamma' = \gamma - \left(1 - \frac{n}{100}\right)\gamma_a$$

siendo γ el peso específico aparente del terreno seco, n el índice de huecos, en tanto por ciento, y γ_a el peso específico del agua.

Al empuje del terreno sobre el muro, calculado con el peso específico virtual γ', se superpondrá el empuje hidrostático del agua.

Si el terreno está anegado solamente desde cierta profundidad f (figura 2), se procederá como en el caso de terrenos estratificados.

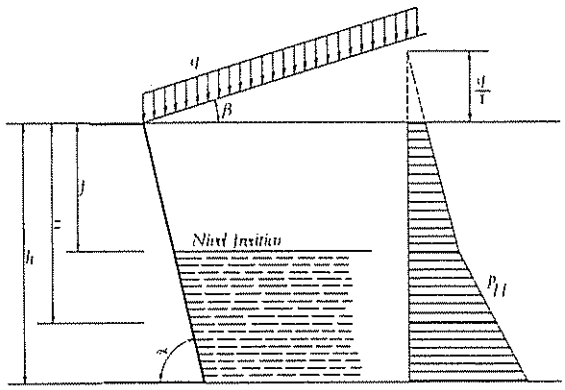


Fig. 2

Las componentes horizontal p_H y vertical p_V de la presión sobre el muro, a una profundidad z por debajo del nivel freático, pueden calcularse con las fórmulas:

$$p_H = [\gamma'(z - f) + \gamma f + q]\,\lambda_H + \gamma_a (z - f)\cos\alpha$$

$$p_V = [\gamma'(z - f) + \gamma f + q]\,\lambda_V + \gamma_a (z - f)\,\mathrm{sen}\,\alpha$$

9.6. *Empuje activo de terraplenes limitados por los muros.* Cuando un terraplén esté limitado posteriormente por un muro paralelo a aquel sobre el que se calcula el empuje, y situado a distancia suficientemente pequeña para que la superficie que define el prisma de máximo empuje corte al muro posterior, se tendrá en cuenta la reducción de empuje debida a esta circunstancia, pudiendo determinarse el empuje mediante métodos gráficos derivados de las hipótesis de Coulomb. También puede utilizarse la reducción producida por el efecto de ensilamiento. En un silo, cuya sección horizontal tiene área A y perímetro u, la presión horizontal p_H sobre una pared

vertical (figura 3), y la presión vertical p_V sobre una superficie horizontal, a la profundidad z, pueden calcularse mediante las fórmulas:

$$p_H = \gamma z_o (1 - e^{-z:z_o}) \lambda_H$$
$$p_V = \gamma z_o (1 - e^{-z:z_o})$$

siendo z_o la profundidad crítica, dada por la expresión:

$$z_o = \frac{A}{u \lambda_F}$$

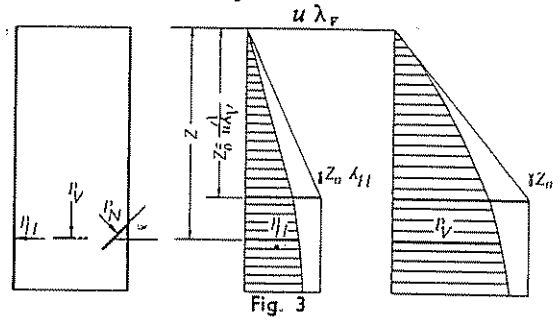


Fig. 3

La presión normal p_N sobre una superficie inclinada, que forme un ángulo α con la horizontal (paredes de las tolvas) es:

$$p_N = p_H \operatorname{sen}^2 \alpha + p_V \cos^2 \alpha$$

Los valores de la función de presión $(1 - e^{-z:z_o})$ se dan en la Tabla 9.3.

Tabla 9.3

Función de presión en silos.

$z:z_o$	$1 - e^{-z:z_o}$	$z:z_o$	$1 - e^{-z:z_o}$	$z:z_o$	$1 - e^{-z:z_o}$
0,00	0,000	1,00	0,632	2,00	0,865
0,05	0,049	1,05	0,650	2,05	0,871
0,10	0,095	1,10	0,667	2,10	0,877
0,15	0,139	1,15	0,683	2,15	0,883
0,20	0,181	1,20	0,699	2,20	0,889
0,25	0,221	1,25	0,713	2,25	0,895
0,30	0,259	1,30	0,727	2,30	0,900
0,35	0,295	1,35	0,741	2,35	0,905
0,40	0,330	1,40	0,754	2,40	0,909
0,45	0,362	1,45	0,766	2,45	0,914
0,50	0,393	1,50	0,777	2,50	0,918
0,55	0,423	1,55	0,788	2,55	0,922
0,60	0,451	1,60	0,798	2,60	0,926
0,65	0,478	1,65	0,808	2,65	0,929
0,70	0,503	1,70	0,817	2,70	0,933
0,75	0,528	1,75	0,826	2,75	0,936
0,80	0,551	1,80	0,835	2,80	0,939
0,85	0,573	1,85	0,843	2,85	0,942
0,90	0,593	1,90	0,850	2,90	0,945
0,95	0,613	1,95	0,858	3,00	0,950

9.7. *Empuje sobre elementos aislados. En los elementos de construcción de pequeña anchura sometidos a empujes de tierras (figura 4), como por ejemplo los soportes semienterrados en una ladera, no basta calcular el empuje considerando la anchura del elemento.*

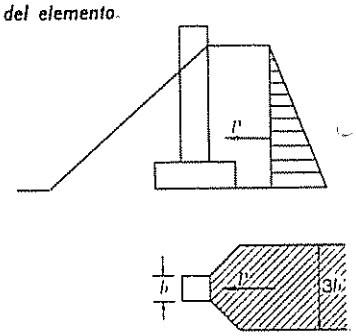


Fig. 4

En general, se calculará el empuje correspondiente a una anchura triple de la de dicho elemento. No se contará con el empuje pasivo de las tierras situadas por delante del mismo.

9.8. *Empuje pasivo. El cálculo del empuje pasivo mediante la teoría de Coulomb, que supone superficie de deslizamiento plana, da resultados que difieren bastante de los valores reales cuando se considera rozamiento entre terreno y muro.*

En estos casos, el empuje pasivo se obtendrá mediante superficies de deslizamiento curvas, adoptando el valor que corresponda a la que dé valor mínimo. Como superficies de deslizamiento pueden adoptarse las formadas (figura 5) por una parte, CD, plana, y otra, BC, cilíndrica, de directriz circular o espiral logarítmica.

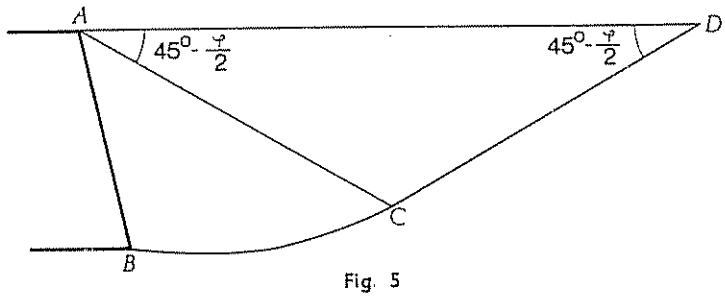
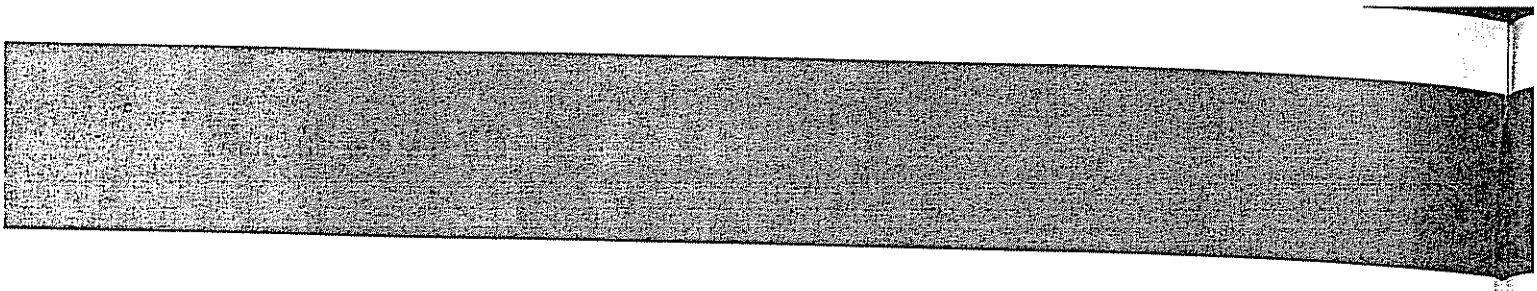


Fig. 5

Hay que tener en cuenta que para que el empuje pasivo pueda actuar es necesario que se produzcan corrimientos de la estructura, no despreciables en general. Se debe actuar, pues, con suma prudencia en la estimación de la acción estabilizante de los empujes pasivos no tomándola en consideración, a menos que se compruebe que los movimientos necesarios para provocarla son compatibles con las condiciones de servicio de la estructura, y se tenga la seguridad de que el terreno permanecerá con sus características inalteradas.

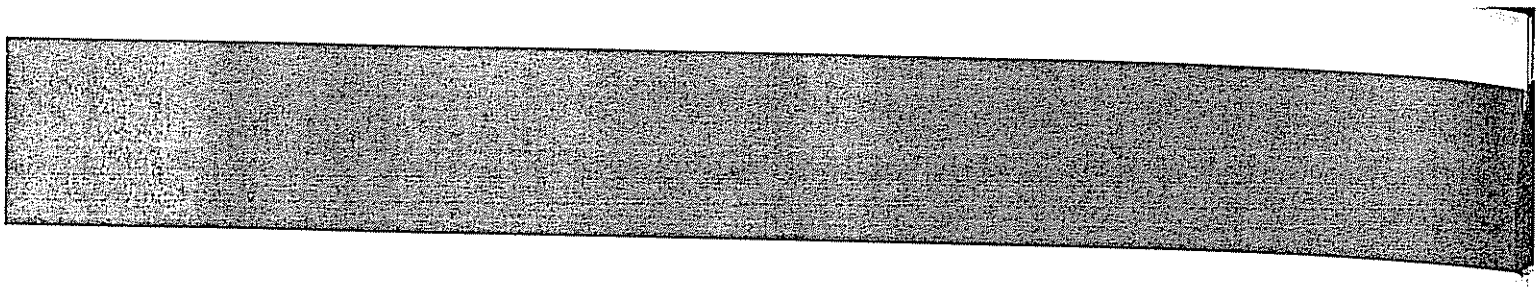


Apéndice II. Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera [1]

1. Ambito de aplicación
2. Notación y Unidades
3. Definiciones
4. Acciones
5. Bases de Cálculo
6. Pruebas de cargas

Comentarios

[1] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo Madrid. 1972



INSTRUCCION RELATIVA A LAS ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE CARRETERAS

1. AMBITO DE APLICACION

La presente Instrucción determina las acciones a tener en cuenta para el proyecto de puentes, muros u obras asimilables de las vías públicas.

En puentes de luces superiores a 125 metros el proyectista podrá utilizar hipótesis distintas a las definidas en esta Instrucción, previa autorización de la Superioridad.

2. NOTACION Y UNIDADES

La notación empleada en esta Instrucción coincide fundamentalmente con la de la Instrucción de Carreteras.

Las unidades adoptadas corresponden al sistema MKS (metro, kilogramo-fuerza, segundo).

En notas a pie de página se especifican las equivalencias en el sistema SI.

3. DEFINICIONES

Acera. Zona longitudinal de una vía, elevada o no, reservada al tránsito de peatones.

Andén. Acera elevada.

Apoyo. Zona donde queda sustentada una estructura o un elemento de ella.

Arcén. Zona longitudinal de la vía, comprendida entre el borde de la calzada y la arista correspondiente de la plataforma, no destinada normalmente a la circulación.

Arco. Elemento estructural, de directriz curva, destinado a salvar un vano.

Barandilla. Antepecho compuesto de balaustres y barandales de poco espesor para evitar la caída de personas.

Barrera de seguridad. Elemento que se opone físicamente al paso de vehículos y se destina a proteger personas o cosas.

Bordillo. Encintado de una acera o arcén. En esta Instrucción, el de altura superior a cinco centímetros (5 cm) sobre la calzada.

Calzada. Cada una de las zonas continuas de la vía destinada a la circulación de vehículos. Una vía puede comprender varias calzadas separadas entre sí.

Cimentación. Obra de fábrica, de relleno o de pilotes que forma el cimiento o elemento de unión de una construcción al terreno.

Dispositivo de apoyo. Dispositivo destinado a transmitir las acciones de sustentación en el apoyo.

Estribo. Soporte extremo resistente al empuje de tierras.

Estructura. Conjunto de elementos de una construcción que forman la parte resistente y sustentante de la misma.

Mediana. En esta Instrucción, franja longitudinal no destinada a la circulación que separa calzadas contiguas.

Obra de fábrica. Construcción hecha con piedra, ladrillo, hormigón y, en general, con materiales pétreos.

Obra metálica. Construcción hecha en su mayor parte con materiales metálicos.

Obra mixta. Construcción hecha con elementos de fábrica y elementos metálicos.

Obra de paso. En esta Instrucción, obra que salva una discontinuidad en un trazado para conseguir el paso por ella.

Parapeto. En esta Instrucción, antepecho con escaso porcentaje de huecos para evitar la caída de vehículos y personas.

Pasarela. En esta Instrucción, obra de paso sobre una vía destinada al tránsito de peatones, animales o vehículos muy ligeros.

Pila. Soporte intermedio de un puente.

Pista para ciclistas. Zona longitudinal de una vía reservada al tránsito de bicicletas

Plataforma de un puente. Superficie superior del tablero limitada por los bordes laterales extremos.

Puente. Obra de paso sustentada en sus extremos y, en su caso, en soportes intermedios, para permitir el tránsito de personas, animales o vehículos.

Soporte. Elemento de la estructura que transmite las acciones del elemento portante de las cargas a los cimientos o a otro elemento intermedio.

Tablero de un puente. Elemento directamente portante de las cargas debidas al tránsito de personas, animales o vehículos.

Tramo de un puente. Cada uno de los trozos en que el tablero está dividido en su longitud.

Vía. En esta Instrucción, camino destinado al tráfico de vehículos automóviles.

4. ACCIONES

4.1. Cargas permanentes.

Las cargas permanentes estarán constituidas por los pesos de los distintos elementos que formen la obra. Actuarán, por tanto, en todo momento y serán constantes en posición y magnitud.

Comprenderán el peso propio y las cargas muertas y sus valores se deducirán de las dimensiones reales y pesos específicos correspondientes.

Salvo justificación expresa, se tomarán para los valores más usuales de pesos específicos relativos al del agua (1 kgf/dm³) [1] los siguientes:

Fundición	7,25
Acero	7,85
Aluminio	2,70
Bronce	8,80
Plomo	11,40

[1] 1 kgf ≅ 9,8 N.

Madera seca	0,60 a 0.90
Madera húmeda	1,05
Hormigón en masa	2,30
Hormigón armado y pretensado	2,50
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	1,80
Fábrica de ladrillo cerámico hueco	1,20
Mampostería de basalto	2,80
Mampostería de granito o caliza	2,50
Relleno de arena	1,80
Relleno de grava	1,80
Relleno de arcilla o tierra seca	1,60
Relleno de arcilla o tierra húmeda	2,00
Pavimento de mezcla bituminosa	2.40
Pavimento basáltico	2,80
Pavimento granítico o calcáreo	2,50

4.1 1. *Peso propio.*

El peso propio es el que corresponde a los elementos resistentes y puede deducirse según 4.1.

En ocasiones, los pesos propios que resulten de las dimensiones definitivas de la estructura pueden diferenciarse de los supuestos para el dimensionamiento. Si las solicitaciones finales del cálculo no sobrepasan a las obtenidas en el dimensionamiento previo en más de un tres por ciento (3 %), podrá en general prescindirse de un nuevo cálculo, excepto en aquellos casos en que el peso propio sea determinante para el elemento o estructura en cuestión.

4.1 2. *Cargas muertas.*

Son las debidas a los elementos no resistentes y que gravitan sobre los resistentes, tales como pavimentos de calzada y aceras, barreras y barandillas, rellenos de contrapeso, aparatos de iluminación, etc.

Para el cálculo de las cargas muertas podrán tomarse los valores indicados en 4.1 y, en su defecto o caso de duda, los indicados en normas o catálogos especializados u obtenidos por pesadas directas.

4.2. *Sobrecargas.*

4.2 1. *Sobrecargas de uso.*

4.2 1 1. *Tren de cargas.*

El tren de cargas se valorará por la acción simultánea de:

a) Una sobrecarga uniforme de 400 kgf/m², [1]*, extendida a toda la superficie a nivel de la calzada o a parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento en estudio.*

b) Un vehículo de 60 t [2]*, cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al eje de la calzada y formado por seis cargas de 10 t* [3]*, pudiendo desplazarse en sentido transversal hasta el límite indicado en la figura 4.2 1 1.*

La separación entre cargas en sentido longitudinal será de 1,50 m, y en sentido transversal de 2 m.

---

[1] 400 kgf/m² ≅ 3 920 N/m².

[2] 60 t < > 60 000 kgf ≅ 588 kN.

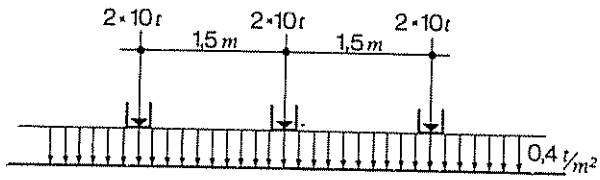
[3] 10 t < > 10 000 kgf ≅ 98 kN.

La superficie de apoyo sobre la que actuará cada carga será de 0,2 m, paralelamente al eje del vehículo, por 0,6 m de ancho.

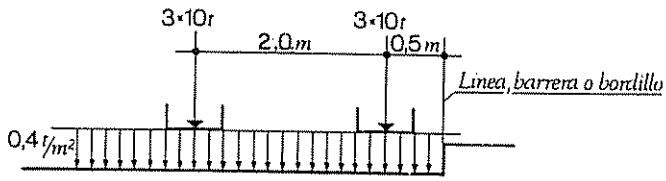
El tren de cargas así definido se extenderá a toda la superficie a nivel de la calzada delimitada por bordillos o barreras, independientemente de las marcas viales que se fijen.

A efectos de cálculo, la sobrecarga de 400 kgf/m² podrá considerarse actuando en fajas o bandas de 3 m de ancho constante.

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



PLANTA VEHICULO PESADO

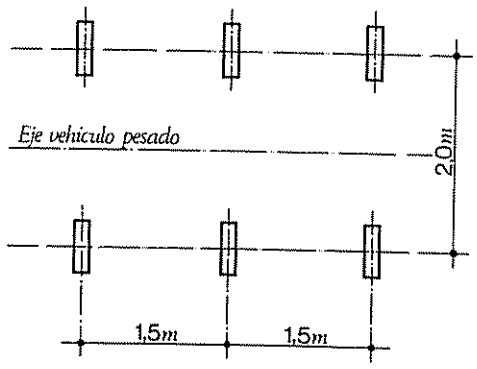


Fig. 4.2.1.1

En aceras, pistas para ciclistas y medianas, físicamente separadas de la calzada, se supondrá que actúa una sobrecarga uniforme igual a la definida en el párrafo a) anterior.

Dichas zonas, si no se encuentran protegidas por un obstáculo rígido que impida el paso accidental de un vehículo, se comprobarán con la sobrecarga uniforme citada e, independientemente de dicha sobrecarga, se comprobarán

con una carga de 6 t[1] supuesta, actuando sobre una superficie de 0,3 × 0,3 m² en la posición más desfavorable.

En pasarelas, rampas y escaleras para peatones se supondrá la misma sobrecarga uniforme definida en el párrafo a).

No debe considerarse el efecto de impacto en los valores de las acciones anteriormente enumeradas.

4.2.1.2. *Frenado.*

El esfuerzo de frenado y arranque o cambio de velocidad se supondrá actuando en la dirección del eje de la calzada y a la altura de la superficie del pavimento, y se estimará en un valor igual a 1/20 de la sobrecarga que actúe sobre calzada y arcenes definida en a) y b) de 4.2.1.1.

En el caso, como es normal, de sentidos opuestos de circulación, se considerará como de dirección única si esta hipótesis resulta más desfavorable.

Se adoptarán como valores mínimos y máximos los de 6 t[1] y 18 t[2], respectivamente. La limitación del máximo se refiere no sólo a los elementos directamente solicitados, sino a aquellos otros en que la acción se transmita de manera indirecta.

4.2.1.3. *Fuerza centrífuga.*

En obras de planta curva, la fuerza centrífuga se supondrá actuando horizontalmente en el eje de la vía y a nivel del pavimento, con valor deducido de la fórmula:

$$F_c = M \frac{V^2}{R_h}$$

F_c *es la fuerza centrífuga en* N.
M *es la masa en kg de la sobrecarga móvil.*
V *es la velocidad en m/seg de dicha sobrecarga.*
R_h *es el radio en planta de la curva en m.*

Dicha fórmula, suponiendo que la sobrecarga móvil es una fracción de la definida en a) y b) de 4.2.1.1, puede expresarse también:

$$F_c = K \cdot Q \frac{V^2}{127\ R_h}$$

Q *es la sobrecarga definida en a) y b) de 4.2.1.1.*
K *es un factor de distancia adimensional que puede tomarse igual a:*

$$\frac{3.000}{V^2 + 3.000}$$

V *es la velocidad específica en el tramo de ubicación de la obra en km/h.*
R_h *es el radio en planta de la curva en m*
F_c *es la fuerza centrífuga, en la misma unidad de fuerza en que se exprese* Q.

---

[1] 6 t ≅ 58,8 kN.
[2] 18 t ≅ 176,4 kN.

Al considerar la actuación de la fuerza centrífuga, el tren de cargas definido en a) y b) de 4.2.1.1 deberá disminuirse en el mismo factor de distancia K.

4.2.1.4. *Empuje sobre barandillas.*

En el elemento superior de las barandillas se considerará la actuación de un esfuerzo horizontal perpendicular a dicho elemento e igual a 150 kgf/m [1]. *La actuación de dicho esfuerzo será simultáneamente a la de la sobrecarga uniforme de 400 kgf/m²,* [2], *definida en a) de 4.2.1.1.*

La altura sobre el pavimento en que se considere actuando dicho esfuerzo será la del elemento superior de la barandilla, salvo que dicha altura sea superior a 1,5 m, en cuyo caso se considerará este valor de 1,5 m como altura máxima de actuación.

4.2.1.5. *Sobrecargas de uso fijas.*

Deberá considerarse, en su caso, la posible actuación de otras sobrecargas tales como las debidas a conducciones de agua, saneamiento, gas, electricidad, etc.

4.2.2. *Sobrecargas climáticas.*

4.2.2.1. *Viento.*

a) La acción del viento podrá asimilarse, en general, a una carga estática horizontal obtenida según se indica más adelante.

En aquellos casos en que la acción del viento pueda originar fenómenos vibratorios importantes —puentes colgantes, pilones esbeltos de gran altura, etc.—, el proyectista justificará los métodos de cálculo y estudios especiales que permitan prever la respuesta de la estructura a estos efectos.

Las normas que se indican a continuación se refieren exclusivamente a puentes cuya altura máxima de rasante sobre el terreno no sea mayor de 100 m o no supere los 80 m sobre el nivelsuperior de cimientos. Caso de sobrepasar estos límites, el proyectista justificará convenientemente los valores de las presiones producidas por el viento, así como los estudios especiales que sea oportuno realizar.

Por otra parte, y siempre que esté justificado por estudios, ensayos aerodinámicos o experiencias en obras de idénticas características, el proyectista podrá adoptar valores o expresiones distintos de los indicados en esta instrucción para tener en cuenta posibles reducciones del empuje del viento por formas aerodinámicas especiales de los elementos de la construcción.

b) El empuje horizontal debido al viento se obtendrá aplicando la presión indicada en b.1) a las superficies sobre las que actúe proyectadas sobre un plano vertical normal a la dirección del mismo, teniendo en cuenta lo indicado en b.2).

La dirección del viento se escogerá de forma que se obtengan los efectos más desfavorables sobre el elemento en estudio. Como simplificación, será suficiente comprobar la resistencia y estabilidad del mencionado elemento en las hipótesis de viento según dos direcciones perpendiculares normales a los ejes principales de su sección transversal. En cualquier caso, deberá siempre considerarse la hipótesis de viento normal al eje longitudinal del puente.

---

[1] 150 kgf/m ≅ 1 470 N/m.

[2] 400 kgf/m² ≅ 3 920 N/m².

b.1) Valores de la presión ejercida por el viento.

b.1 1) La presión básica horizontal p_V ejercida por el viento sobre un elemento cualquiera de la construcción se tomará igual a:

$p_V = 154\ (2 - 0{,}7\ c)$ [1], *en la que:*

p_V *es la presión básica horizontal en* kgf/m^2

c *es un coeficiente adimensional de valor igual a:*

$$c = \frac{S_n}{S_t}$$

en la que:

S_n *es la superficie neta, o real, que el elemento presenta al viento,*

S_t *es la superficie bruta, o total, encerrada por el contorno externo; o sea, la que el mismo elemento presentaría al viento si se obturasen todos sus huecos.*

b.1 2) Para todas aquellas situaciones de la construcción que puedan considerarse como transitorias (períodos de construcción de las obras, situaciones de tramos abiertos en puentes móviles, etc.), las presiones de viento sobre elementos de la construcción podrán reducirse al 70 % de los valores indicados en b.1 1), teniendo siempre en cuenta, por otra parte, las prescripciones especificadas en 5.

b.2) Valores de los empujes producidos por el viento.

El empuje producido por el viento sobre una superficie elemental de la construcción será igual a:

$$e = p_V \cdot S$$

en la que:

e *es el empuje sobre la superficie elemental considerada.*

p_V *es la presión básica horizontal definida en b.1).*

$$S = S_o + \Sigma \varphi_i S_i$$

en la que:

S_o *es el valor de la superficie neta, o real, total expuesta al viento según se proyecta en un plano normal a la dirección del mismo.*

S_i *es el valor neto de las superficies sobre las que, pudiendo actuar el viento, quedan ocultas (protegidas por S_o) en la proyección considerada.*

φ_i *es un coeficiente adimensional, cuyo valor se tomará de la siguiente tabla:*

$^a i/d_i$	$\leqslant 1$	$1 < {}^a i/d_i < 5$	$\geqslant 5$
φ_i	$1 - 1{,}2\ c$	$1 - c\ (1{,}5 - 0{,}3\ {}^a i/d_i)$	1

[1] $p_V\ (N/m^2) = 1\,509\ (2 - 0{,}7\ c)$.

teniendo en cuenta que:

c es el valor definido en b.1 1) con $c \geq 2/3$.
a_i es la distancia en horizontal entre los elementos considerados al definir S_i.
d_i es la anchura o dimensión más pequeña de las superficies que ocultan a S_i.

Caso de existir parapetos o barreras, la superficie de los mismos deberá considerarse como parte integrante del tablero. Las barandillas se considerarán como un parapeto de 0,5 m de altura.

El valor del empuje por metro de tablero se tomará, como mínimo, igual a 400 kgf/m [1].

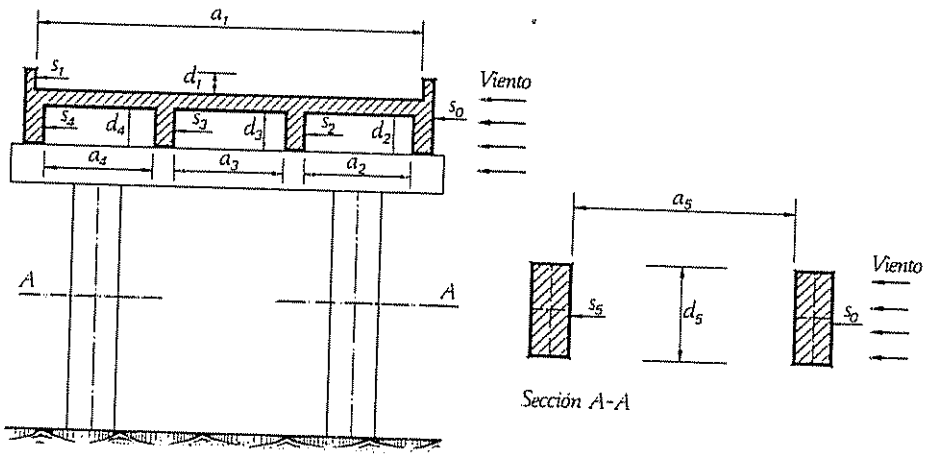


Fig. 4.2 2 1

4.2 2 2. *Nieve.*

En general, se supondrá actuando una sobrecarga de nieve de 100 kgf/m^2 [2]*, en planta en todas aquellas superficies sobre las que no se ha supuesto la actuación de la sobrecarga definida en 4.2 1 1.*

En casos extraordinarios el proyectista justificadamente, podrá utilizar valores distintos del indicado según la ubicación de la obra.

4.2 3. *Sobrecargas debidas al agua.*

La acción hidrostática se valorará a partir de un peso específico del agua igual a un kilogramo por decímetro cúbico (1 kgf/dm^3*).*

En el caso de elementos sumergidos se considerará la supresión con el mismo peso específico.

---

[1] 400 kgf/m ≅ 3 920 N/m.
[2] 100 kgf/m^2 ≅ 980 N/m^2.

El empuje debido a corrientes de agua y arrastres se calculará con la expresión siguiente:

$$E = K \cdot V^2 \cdot S, ^1$$

en la que:

E *es el empuje total en kgf.*
V *es la velocidad media del agua en m/seg.*
K *es el coeficiente de forma de la superficie sobre la que actúa el empuje.*
S *es el área de la superficie proyectada sobre un plano perpendicular a la corriente en* m^2.

4.2.4. *Sobrecargas del terreno.*

El empuje del terreno en magnitud y dirección se determinará de acuerdo con las características del relleno empleado, pero en ningún caso será inferior al equivalente del empuje hidrostático de un fluido de peso específico igual a 0,50 t/m^3, [2].

Cuando las sobrecargas debidas al tráfico actúen a una distancia medida en horizontal desde la parte superior de la estructura igual a la mitad de su altura, deberá añadirse para el cálculo del empuje una sobrecarga de 1 t/m^2, [3].

En su caso, deberán tenerse en cuenta los empujes locales debidos a la actuación de un eje del vehículo tipo del tren de cargas definido en b) de 4.2.1.1.

4.2.5. *Sobrecargas accidentales. Choques.*

Las acciones debidas a choques son de carácter extraordinario, por lo que deberán adoptarse los coeficientes de mayoración y minoración establecidos en 5.

4.2.5.1. *Choque de vehículos.*

El choque de un vehículo con un elemento estructural se asimilará a la actuación de una carga estática cuya resultante se encuentre situada a 1,2 m sobre la superficie del pavimento e igual en valor a 100 t [4] *en la dirección del tráfico y a 50 t* [5] *en sentido perpendicular a la indicada dirección. Esta carga podrá considerarse aplicada sobre una superficie o zona de choque no mayor de 2 m en ancho por 2 m en altura.*

No será necesario considerar la actuación simultánea de ambos esfuerzos.

La acción del choque en los elementos no directamente afectados requerirá, en cada caso, el oportuno estudio.

Podrá no considerarse la acción de choque cuando se disponga de una protección adecuada o el elemento se encuentre a una distancia del borde de la calzada superior a 10 m.

---

1 $E\,(N) = 9{,}8\ KV^2S$.
2 0,50 $t/m^3 < > 500\ kgf/m^3 \cong 4{,}9\ kN/m^3$.
3 1 $t/m^2 < > 1\,000\ kgf/m^2 \cong 9{,}8\ kN/m^2$.
4 100 $t < > 100\,000\ kgf \cong 980\ kN$.
5 50 $t < > 50\,000\ kgf \cong 490\ kN$.

4.2.5.2. *Choque lateral contra barreras o bordillos.*

El posible choque lateral de la rueda de un vehículo se asimilará a la actuación de una carga estática horizontal de valor igual a 10 t [1], aplicada en la parte superior y perpendicularmente al elemento considerado y repartida en un ancho de 0,6 m.

4.2.5.3. *Choque de embarcaciones.*

En cada caso concreto se realizarán los estudios precisos para determinar las acciones a que pueda dar lugar la colisión de una embarcación con los elementos de la estructura.

4.3 *Acciones indirectas.*

4.3.1. *Pretensado.*

Las acciones debidas a pretensado se valorarán, en su caso, teniendo en cuenta la forma de introducción de las mismas y la posibilidad de deformación de la estructura.

4.3.2. *Reológicas.*

4.3.2.1. *Esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia del hormigón.*

La deformación debida a fluencia bajo carga podrá considerarse proporcional a la deformación elástica instantánea y del orden del doble al triple de esta última.

De una forma más precisa, la deformación por fluencia varía a lo largo del tiempo y podrá calcularse por la fórmula siguiente:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_o \cdot \varphi_o \cdot \alpha_f \cdot \beta_f \cdot \zeta \cdot \rho$$

en la que:

ε_o *es la deformación elástica instantánea en valores unitarios en el momento de la puesta en carga.*
φ_o *es un coeficiente que depende de las condiciones climáticas.*
α_f *es un coeficiente que depende del espesor ficticio de la pieza.*
β_f *es un coeficiente que depende de la composición del hormigón.*
ζ *es un coeficiente que depende de la edad del hormigón en el instante de la puesta en carga.*
ρ *es un coeficiente que define el desarrollo de la deformación por fluencia en función del tiempo.*

4.3.2.2. *Esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón.*

La deformación final del hormigón en valores unitarios debida a retracción oscila entre $1{,}5 \times 10^{-4}$ y $4{,}0 \times 10^{-4}$ y depende de numerosos factores entre los que predomina el ambiente; corresponde el primer valor a zonas húmedas y el último a zonas muy secas y desérticas.

De una forma más precisa, la deformación en el tiempo debida a retracción podrá calcularse por la siguiente fórmula:

$$\varepsilon_r = \psi \cdot \alpha_r \cdot \beta_r (1 - 10\,\omega)\,\rho$$

[1] 10 t < > 10 000 kgf ≅ 98 kN.

en la que:

ψ *es un coeficiente que depende de las condiciones climáticas.*
α_f *es un coeficiente que depende del espesor ficticio de la pieza.*
β_f *es un coeficiente que depende de la composición del hormigón.*
ω *es la cuantía geométrica de la armadura longitudinal.*
ρ *es un coeficiente que define el desarrollo de la retracción en función del tiempo.*

4.3.3. *Térmicas.*

Los efectos de los cambios de temperatura se deducirán a partir de los criterios que se dan más adelante, considerando para el coeficiente de dilatación lineal los siguientes valores:

Elementos de hormigón: 10^{-5}
Elementos de acero: $1{,}2 \cdot 10^{-5}$

4.3.3.1. *Elementos metálicos.*

Para el estudio de los efectos térmicos, se considerará un incremento uniforme de temperatura de $\pm$ *35° C a partir de la temperatura media anual local.*

Si en la fase de la construcción en que se proceda a la unión de dos elementos de la estructura la temperatura difiriera apreciablemente de la temperatura media anual local, deberá tenerse en cuenta este efecto

En aquellos elementos en los que alguna de sus partes pueda estar sometida a la acción directa del sol será necesario considerar, salvo justificación especial, una diferencia de temperatura entre la parte más caliente y la más fría de 15° C, sin modificación de la temperatura media. Estos efectos se superpondrán a los de variación uniforme de temperatura.

Asimismo en aquellos casos en que, por estar protegidos de forma diferente, puedan existir dos elementos que se calienten de manera distinta se supondrá una diferencia de temperatura entre ambos de 15° C, sin modificación de la temperatura media.

4.3.3.2. *Elementos de hormigón.*

Para el estudio de los efectos térmicos se considerará un incremento uniforme de temperatura, expresado en grados centígrados.

$$\Delta = \pm \left[20 - 0{,}75\sqrt{e}\right] \geq 0^{\circ}$$

en la que:

e es el espesor ficticio del elemento considerado en centímetros.

En elementos enterrados podrá incluirse en su espesor el correspondiente a la capa de tierras que lo aisla del exterior

Si la estructura está formada por elementos de distinto espesor se admitirá, para simplificar los cálculos, una tolerancia de $\pm$ *5° C en los valores resultantes.*

En aquellos elementos en que alguna de sus partes pueda estar sometida a la acción directa del sol será necesario considerar una diferencia de temperatura entre la parte más caliente y la más fría de 10° C.

Quedará a juicio del proyectista la elección del gradiente térmico correspondiente. Podrá admitirse, en general, un gradiente constante. Cuando el proyectista así lo justifique, podrá prescindirse del estudio de los efectos producidos por el gradiente térmico.

En aquellas estructuras formadas por elementos en diferentes condiciones de exposición a la acción solar será necesario considerar un calentamiento diferencial de 5° C entre estos elementos.

4.3.3.3 *Elementos mixtos.*

Para el estudio de los efectos térmicos se considerarán, a partir de una temperatura de montaje que en general se tomará de 15° C, las variaciones térmicas que se indican en el siguiente cuadro:

	Hormigón	Acero
Calentamiento	$20 - 0{,}75\sqrt{e}$	35° C
Enfriamiento	$-20 + 0{,}75\sqrt{e}$	— 35° C

Donde «e» es el espesor ficticio en centímetros.

El gradiente térmico entre el punto más frío y el más caliente será el que el proyectista estime más ajustado a la realidad.

4.3.4. *Por asientos.*

Los asientos que deben considerarse en el cálculo de estructuras hiperestáticas se deducirán del estudio geotécnico correspondiente teniendo en cuenta el tipo de cimentación y las cargas transmitidas al terreno. Se considerará además la entrada en acción de las mismas según el proceso constructivo, especialmente cuando la estructura pase por una fase isostática inicial.

Al realizar el cálculo de los esfuerzos hiperestáticos que han de ir apareciendo se tendrá en cuenta la evolución, por fluencia tanto de las deformaciones del terreno como las de la propia estructura.

4.3.5. *Sísmicas.*

Las acciones sísmicas se considerarán en la forma que determinan las normas vigentes, aplicando lo especificado en 5 respecto a la simultaneidad de acciones y seguridad de las estructuras.

4.4. *Acciones durante la construcción*

Se tendrán en cuenta todas aquellas acciones que puedan producirse en las distintas fases de ejecución de las obras y que den lugar a solicitaciones superiores o de distinto signo a las previstas para la obra en servicio, así como las que pueda imponer un estado de solicitaciones en la estructura de carácter temporal o permanente.

Estas acciones pueden ser debidas a sobrecargas temporales de personas, maquinaria o materiales, modificaciones de esquemas estructurales o de apoyos, montaje o formas de ejecución, etc.

En cada caso se analizará la importancia de tales acciones y, en consecuencia, se aplicará un coeficiente de seguridad que puede ser distinto de los utilizados para la obra en servicio.

Merecerán especial atención además todas aquellas posibles situaciones en que exista el riesgo de pérdida de equilibrio o puedan producir fenómenos de inestabilidad.

4.5. *Otras acciones.*

4.5.1. *Dispositivos de apoyo*

La resistencia que oponen los dispositivos de apoyo al movimiento de las partes sustentadas se valorará considerando las características de dichos dispositivos.

4.5.2. *Vibración*

En todas aquellas estructuras o partes de las mismas en las que se prevea que las vibraciones puedan afectar a la seguridad deberá estudiarse el período propio de la estructura, los modos principales de vibración y la posibilidad de que aparezca el fenómeno de resonancia ante la actuación de cargas dinámicas (tren de cargas, viento, etcétera).

5. *BASES DE CALCULO*

5.1.

Las diferentes comprobaciones o estados límites que hay que analizar, tanto en relación con la seguridad de la construcción y de cada uno de sus elementos frente al agotamiento o colapso de la misma como en relación a las condiciones que ésta deba cumplir en situación de servicio, así como los coeficientes de mayoración o minoración que correspondan en cada caso, se ajustarán a lo que respecto a este tema se indique en las normas e instrucciones vigentes, de acuerdo con las hipótesis de carga expuestas a continuación.

5.2.

Las hipótesis de carga que hay que analizar se obtendrán a partir de las acciones definidas en 4, afectadas del coeficiente de mayoración correspondiente según los criterios siguientes:

5.2.1.

Las cargas desfavorables se aplicarán siempre con su valor mayorado.

5.2.2.

Las cargas favorables se aplicarán:

- *Con su valor característico, si su situación tiene carácter de permanente.*
- *Con su valor nulo, si pueden dejar de actuar.*
- *Con su valor minorado, con coeficiente de minoración de 1,1, en los cálculos de comprobación de la estabilidad estática.*

5.3.

Las hipótesis de carga a considerar se formarán combinando las sobrecargas cuya actuación pueda ser simultánea según lo indicado a continuación:

5.3.1. *Hipótesis I.*

— *Cargas permanentes y sobrecargas de uso fijas.*
— *Sobrecargas del terreno, las debidas al agua y nieve, en su caso.*
— *Acciones reológicas, térmicas y por asiento.*
— *Sobrecargas de uso.*

5.3.2. *Hipótesis II.*

— *Cargas permanentes y sobrecargas de uso fijas*
— *Sobrecargas del terreno, las debidas al agua y nieve, en su caso.*
— *Acciones reológicas, térmicas y por asiento.*
— *Sobrecargas de viento.*

5.3.3. *Hipótesis III.*

— *Cargas permanentes y sobrecargas de uso fijas.*
— *Sobrecargas del terreno, las debidas al agua y nieve, en su caso.*
— *Acciones reológicas, térmicas y por asiento.*
— *Sobrecargas de uso.*
— *Sobrecargas de viento, aplicadas con un valor mitad del prescrito en 4.2.2.1.*

En esta hipótesis, para el establecimiento de los valores mayorados, se considerará el coeficiente de mayoración reducido en un 10 %.

5.3.4. *Hipótesis IV.*

— *Cargas permanentes y sobrecargas de uso fijas.*
— *Sobrecargas del terreno, las debidas al agua y nieve, en su caso.*
— *Acciones reológicas, térmicas y por asiento.*
— *Sobrecargas de uso.*
— *Sobrecargas del viento, aplicadas con un valor mitad del prescrito en 4.2.2.1.*
— *Sobrecargas accidentales o acciones sísmicas.*

Para esta hipótesis, ya sea utilizando las sobrecargas accidentales o las acciones sísmicas —nunca las dos simultáneamente—, se considerarán todas las acciones con sus valores sin mayorar.

5.4.

Será necesario comprobar la situación de la estructura en fases de ejecución, pudiendo, en este caso, reducirse los coeficientes de mayoración de cargas en la proporción que el proyectista estime oportuno, sin bajar en ningún caso del valor 1,25. Sin embargo, la comprobación de la estabilidad estática en fases de ejecución se realizará siempre con un coeficiente de mayoración igual a 1,5.

5.5.

Como simplificación, y en aquellos casos en que la influencia de las cargas permanentes sea pequeña en relación con los efectos de las sobrecargas, podrá prescindirse de lo señalado en 5.2.2 y establecer las diversas hipótesis de carga a partir de sus valores mayorados.

Esta simplificación no es en ningún caso aplicable a la comprobación de la estabilidad estática de la estructura.

6. *PRUEBAS DE CARGA*

Todo puente deberá ser sometido a una prueba de carga antes de su puesta en servicio.

Tales pruebas podrán ser estáticas o dinámicas. Las primeras serán siempre obligatorias; las segundas serán necesarias en aquellas estructuras en las que se prevea un efecto considerable de vibración.

En el proyecto se incluirá un anejo a la Memoria en el que se describirán las distintas fases de la prueba de carga, elementos que se deberán comprobar y esfuerzos que éstos habrán de soportar, que en ningún caso superarán a los previstos en el cálculo.

COMENTARIOS

1. *AMBITO DE APLICACION*

Dentro del concepto de obras asimilables están incluidas las de viaductos, pontones, tajeas, pasarelas y obras de acompañamiento, tales como escaleras y rampas de acceso.

2. *NOTACION Y UNIDADES*

3. *DEFINICIONES*

4. *ACCIONES*

4.1. *Cargas permanentes.*

Para la clasificación de las acciones se sigue la línea general definida en la Instrucción de Hormigón EH-68.

Se incluye una lista de pesos específicos de los materiales comunmente empleados en obras de fábrica y metálicas para comodidad del proyectista, análogamente a como se hacía en la Instrucción de 1956.

Se han aumentado los valores correspondientes al hormigón, tanto en masa como armado y pretensado, pues parece que los valores reales son de este orden de magnitud, y en ocasiones ligeramente superiores. Por esta razón se indica que deben aceptarse con carácter general y justificarse en aquellas estructuras en que sus características de compacidad y resistencia, e incluso cuantía de armaduras, den lugar a pesos específicos distintos.

Los pesos específicos de fábrica de ladrillo se han tomado de la Norma MV-101.

4.1 1. *Peso propio.*

4.1 2. *Cargas muertas.*

Se supone que las cargas muertas enumeradas por definición no son resistentes en el sentido estructural.

Hay elementos, como las barreras, que poseen respecto al choque lateral una resistencia, pero no es la considerada aquí. En el caso en que estas barreras fuesen, por ejemplo, de hormigón armado y constituyan un elemento resistente, tal como una viga que soportase una losa de tablero, deben considerarse naturalmente como peso propio.

4.2. *Sobrecargas.*

4.2 1. *Sobrecargas de uso.*

4.2.1.1. *Tren de cargas*

Las cargas reales que actuarán sobre la calzada y los arcenes se sustituyen por un sistema doble simultáneo y superpuesto de sobrecargas ficticias de expresión sencilla, como es la tendencia de las modernas instrucciones.

Se supone que el tren de cargas puede actuar en toda la superficie limitada por bordillos o barreras, independientemente de la propia señalización vial, que puede ser alterada en un momento dado por múltiples razones, tales como aumento del número de carriles a costa de los arcenes o establecimiento de dirección única. A estos efectos, se entiende por bordillo el de altura superior a 5 centímetros.

Se admite la hipótesis de considerar la sobrecarga uniforme de 400 kg/m² actuando en bandas o fajas longitudinales. De esta forma, en ocasiones, pueden simplificarse los cálculos. Esta hipótesis de considerar un ancho constante cargado se corresponde con suficiente aproximación con el sentido físico de los trenes de carga reales.

La comprobación con una carga de 6 t fuera de calzada y arcenes, que no se considera compatible físicamente con la sobrecarga uniforme de 400 kg/m², tiende a evitar posibles perjuicios por accidente de un vehículo. Su valor no coincide con el correspondiente a la rueda de los ejes autorizados; pero teniendo en cuenta su probabilidad de actuación se ha preferido disminuir el valor de la carga, conservando los coeficientes de seguridad en vez de permitir la disminución de estos últimos.

Solo en caso de existir un obstáculo o separación de gran seguridad, tales como barreras rígidas de hormigón con altura sobre el pavimento superior a 25 cm y dimensionadas para resistir el choque correspondiente, deberá aceptarse la posibilidad del mencionado accidente del vehículo. Las barreras de tipo flexible no podrán ser consideradas como obstáculo de seguridad, en relación con los elementos estructurales.

Los efectos debidos al impacto se tienen en cuenta en las diferentes instrucciones por medio de un coeficiente amplificador de algunas o todas las sobrecargas prescindiendo de él a partir de una determinada luz.

El tren de cargas adoptado permite considerar estos coeficientes incluidos en los valores dados respecto a los vehículos normales autorizados. En relación con vehículos más pesados, su limitación vendrá impuesta por el coeficiente de impacto que sea necesario atribuir a los mismos, según el tipo de estructura.

4.2.1.2. *Frenado*

La acción real del frenado y arranque o cambio de velocidad se sustituye, al igual que las sobrecargas de vehículos, por un esfuerzo definido en posición, dirección y magnitud de expresión simple y semejante a la adoptada en otras instrucciones. Además de la simple consideración de que el esfuerzo corresponde a la acción conjunta de arranque y frenado, otras posibilidades de tipo vial aconsejan tener en cuenta la hipótesis de dirección única.

La limitación de mínimo tiene en cuenta la realidad de posibles esfuerzos mayores a la proporción del veinteavo indicada y que pueden actuar en una superficie relativamente pequeña.

La limitación de máximo se deduce de la imposibilidad o escasa probabilidad de simultaneidad y adición de esfuerzos en una gran superficie. Por esta misma razón, en elementos no directamente afectados (como una pila sobre la que descansan dos tableros independientes), se limita la acción total a un máximo de 18 toneladas.

4.2.1.3. *Fuerza centrífuga*

La concepción y ejecución de las modernas vías de tráfico y las velocidades específicas aceptadas en relación con los radios de las curvas en planta aconsejan considerar que puedan producirse acciones de cierta importancia debidas a la aceleración centrífuga.

De forma aproximada se considera dicha acción actuando en el eje de la vía, en la superficie del pavimento y horizontalmente.

Para el cálculo de dichas acciones se ha mantenido el tren de cargas normal, afectándolo de un coeficiente que se denomina de distancia y que tiene en cuenta la disminución de sobrecargas debida a la separación de vehículos.

En la siguiente tabla se incluyen, para distintos valores de la velocidad V, los correspondientes al factor de distancia, así como los radios mínimos especificados en la Instrucción de Carreteras 3.1-I. C. y el valor de $\frac{V^2}{127\ R_h}$ *para dichos radios.*

V *(km/h)*	30	40	50	60	70	80	90	100	120
K	0,769	0,652	0,546	0,455	0,378	0,319	0,270	0,231	0,172
R_h *(m)*	25	45	75	120	175	250	350	450	800
$\frac{V^2}{127\ R_h}$	0,283	0,280	0,262	0,236	0,221	0,202	0,182	0,175	0,142

4.2.1.4. *Empuje sobre barandillas.*

El esfuerzo sobre barandillas se debe principalmente al empuje que podría producirse por la aglomeración de personas y de ahí su simultaneidad con la sobrecarga uniforme sobre aceras o andenes.

En el caso de aceras de poca anchura, tales como las de servicio, dicho esfuerzo podría lógicamente disminuirse; pero por sencillez y escasa repercusión en la estructura se ha preferido mantener invariable este esfuerzo en relación con el ancho de la acera.

4.2.1.5. *Sobrecargas de uso fijas.*

En ocasiones es obligado prever otras sobrecargas de uso, tales como las indicadas.

La magnitud y posición de estas acciones es muy variable, por lo que en realidad solo se recuerda la posibilidad de actuación de las mismas, que, en general, tendrán carácter de sobrecargas.

4.2.2. *Sobrecargas climáticas.*

4.2.2.1. *Viento.*

a) No es de aplicación lo expuesto en la Instrucción para estructuras de altura desacostumbrada. En caso de situación en el mar, puede suponerse a efectos de viento que el nivel del terreno es el que corresponde a la B. M. V. E.

En general, los coeficientes y valores que aparecen en las fórmulas de la Instrucción corresponden sensiblemente a presiones ejercidas sobre elementos rectangulares de superficies planas perpendiculares a la dirección del empuje del viento. Por esta razón se autoriza al proyectista a emplear otros valores cuando la forma de la superficie difiera sensiblemente de la considerada.

b) Se define una presión básica horizontal, general para todos los elementos de la estructura (tablero, pilas, etc.) cuyo valor mínimo (200 kgf/m²) [1] *está adecuadamente situado entre los de otras Instrucciones para puentes de altura no excesiva.*

Para el cálculo del empuje se tienen en cuenta las superficies expuestas al viento y las que quedan ocultas, éstas afectadas de un coeficiente que depende de la relación de distancia entre las superficies y su dimensión transversal, así como el valor del coeficiente C definido al valorar la presión del viento sobre el elemento o parte de la estructura en estudio.

En el caso de tableros, se ha establecido un límite mínimo de 400 kgf/m para valor del empuje, al objeto de tener en cuenta los efectos del viento sobre la superficie lateral de los vehículos, cuando estos valores sean preponderantes sobre las del propio tablero; por ejemplo, para puentes de gran esbeltez

4.2.2.2. *Nieve*

En zonas climáticas excepcionales por su altitud o latitud, la acción debida a la nieve puede diferir del valor indicado.

4.2.3. *Sobrecargas debidas al agua.*

Se consideran las tres causas más frecuentes de acciones debidas al agua:

a) Presión hidrostática de agua en reposo, como puede ser el caso de una pila hueca sumergida cuyas paredes estén sometidas a dicha presión.

b) Subpresión, acción a tener en cuenta en los elementos o partes de la obra que puedan estar sumergidos.

Este fenómeno puede ser importante en la comprobación de la estabilidad del total o parte de la obra.

c) Empuje debido a corrientes de agua y arrastres, o acción combinada de la presión hidrodinámica y de otros materiales sueltos que pueden actuar sobre partes de la obra; por ejemplo, sobre las pilas.

En los casos enumerados a continuación, los valores de K a adoptar en la fórmula del empuje son los siguientes:

Superficie en ángulo $< 30°$	$K = 27$
Superficie circular	$K = 35$
Superficie con esquinas en ángulo recto	$K = 73$

En caso de mayor precisión puede consultarse la bibliografía especializada.

4.2.4. *Sobrecargas del terreno.*

Los empujes del terreno deberán reducirse mediante el drenaje adecuado y completo de los materiales de relleno que soporte la estructura de contención. Este drenaje podrá realizarse por medio de drenes de piedra partida, grava, tuberías de hormigón poroso u otros materiales de eficacia comprobada.

4.2.5. *Sobrecargas accidentales. Choques.*

La posibilidad de choque contra un elemento de la estructura y los graves daños que pueden ocasionarse obligan a la consideración de estas acciones. En todo caso, son acciones de carácter accidental, por lo que debe tenerse en cuenta una disminución sensible del coeficiente de seguridad, según se indica en 5.

---

[1] 200 kgf/m² ≅ 1960 N/m².

4.2.5.1. *Choque de vehículos.*

Se refiere al posible choque de vehículos contra elementos estructurales, principalmente pilas, como es el caso de un cruce a distinto nivel.

Los esfuerzos indicados equivalen, en cierta forma, a las acciones dinámicas reales debidas al choque directo de un vehículo relativamente pesado contra el elemento considerado, y es, por tanto, válido solo para dicho elemento.

Su repercusión en otras zonas de la estructura, tales como el cimiento de una pila, requiere una consideración particular en cada caso que depende del cimiento y del tipo de terreno en que se encuentre.

Tanto como la resistencia del conjunto, interesa una disposición adecuada de los elementos estructurales para resistir la acción local de dichos esfuerzos.

El número de accidentes disminuye notablemente a medida que es mayor la separación de un obstáculo a la calzada por donde discurre el tráfico. A una distancia de 10 metros la probabilidad de accidente es casi nula.

Puede considerarse como protección adecuada la que ofrecen las barreras elásticas situadas a distancia superior a un metro del elemento estructural, las barreras de tipo rígido de hormigón o la existencia de grandes cunetas, entre otras.

4.2.5.2. *Choque lateral contra barreras o bordillos.*

Se refiere este epígrafe al posible choque de la rueda de un vehículo sobre una barrera, parapeto o bordillo, situados sobre el nivel de calzada y arcenes que normalmente los limita en ancho. Se considera la acción local que puede producirse en la estructura, y de ahí la necesidad de definir el posible esfuerzo y su distribución.

4.2.5.3. *Choque de embarcaciones.*

El caso de posible choque de embarcaciones resulta de una gran variedad y complicación, y no es posible indicar valores generales de las acciones que pueden producirse.

En la mayoría de los casos habrá que considerar la necesidad de disponer defensas que impidan o reduzcan, al menos, el efecto de la posible colisión.

La importancia económica de la estructura y la intensidad y magnitud de la navegación, así como las condiciones meteorológicas del emplazamiento serán factores a tener en cuenta en las medidas a adoptar.

4.3. *Acciones indirectas.*

4.3.1. *Pretensado.*

Se recuerdan aquí las acciones debidas al pretensado, denominación general que incluye los distintos tipos de pretensado ordinario por alambres y cables, aplicación de gatos o cargas provisionales, modificaciones de apoyos, empleo de cementos expansivos, etc., cuya característica general es la introducción de deformaciones en la estructura.

4.3.2. *Reológicas.*

4.3.2.1. *Esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia del hormigón.*

Los esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia bajo carga pueden ser particularmente importantes en las estructuras de hormigón pretensado.

Su valor varía con el tiempo y depende de numerosos factores que se reflejan en la fórmula indicada, que es la adoptada en la Instrucción española EH-68 y propuesta en las recomendaciones internacionales del Comité CEB-FIP.

4.3.2.2. *Esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón.*

Los esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón pueden ser particularmente importantes en aquellas partes de la estructura cuyo libre movimiento esté impedido o coartado de alguna manera.

Al igual que en 4.3.2.1 se incluye la fórmula de la EH-68, propuesta también en las citadas recomendaciones del Comité CEB-FIP.

Para hormigón armado puede admitirse como valor de la retracción el de $e_r = 0{,}00025$.

4.3.3. *Térmicas.*

El coeficiente 10^{-5} *es aplicable a elementos estructurales de hormigón armado o pretensado en conjunto, sin que sea necesario tomar* $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ *para las armaduras.*

4.3.3.1. *Elementos metálicos.*

Este efecto puede tenerse en cuenta en la colocación de los aparatos de apoyo en estructuras isostáticas. En estructuras hiperestáticas habrá que estudiar los esfuerzos adicionales que puedan inducirse o las disposiciones necesarias para anularlos. En general, será posible elegir el momento para proceder a la unión de los elementos, de forma que la temperatura difiera muy poco de la media.

La variación de temperatura debida a la acción directa del sol puede suponerse lineal, debido a la gran conductibilidad térmica del acero. El efecto sobre una pieza rectangular isostática, por ejemplo, es el de darle una curvatura constante, sin variación de la longitud de la fibra media.

Se da el caso de elementos protegidos de forma diferente; por ejemplo, en un arco atirantado en el que el tirante esté por debajo de una losa.

4.3.3.2. *Elementos de hormigón.*

El espesor ficticio de los elementos de hormigón se deducirá de la expresión:

$$e = \frac{B}{P/2}$$

siendo:

B, *el área de la sección de la pieza.*
P, *el perímetro de la misma sección.*

En elementos superficiales, el espesor ficticio e coincide sensiblemente con su espesor real.

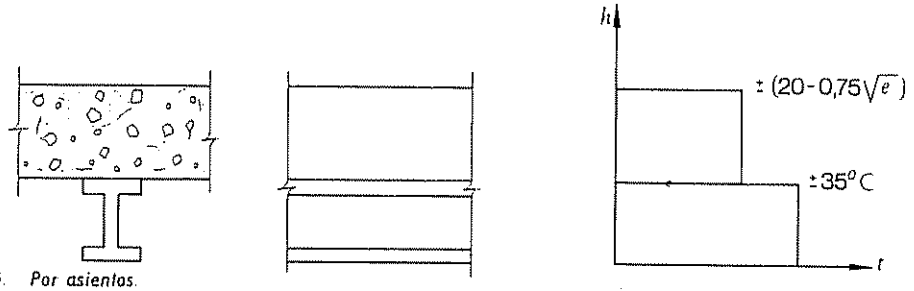
La consideración de diferentes temperaturas en elementos de una misma estructura con diferente exposición a la acción solar se refiere, por ejemplo, al caso de un arco atirantado cuyo tirante de hormigón, al igual que el arco, esté protegido del soleamiento. En este caso hay que estudiar los efectos de un incremento uniforme de temperatura media del arco de cinco grados centígrados respecto a la del tirante.

Si, por otra parte, ambos elementos son de espesores muy diferentes, la temperatura media de ambos diferirá según lo indicado en esta Instrucción.

4.3.3.3. *Elementos mixtos.*

El valor del espesor ficticio e se ha definido en el comentario 4.3.3.2.

Si no se hace un estudio detallado del gradiente térmico real, podrá suponerse para el mismo el indicado en la figura adjunta, que es el que produce efectos más desfavorables.



4.3.4. *Por asientos.*

Se considera especialmente el caso de estructuras hiperestáticas por ser el de mayor interés desde el punto de vista resistente.

En general, el cálculo de los posibles movimientos del terreno deberá hacerse considerando las características propias del mismo y el modo en que se transmiten las acciones. Dichos movimientos no suelen introducir acciones importantes o alterar el valor de las existentes en las estructuras isostáticas, aunque pueden llegar a ocasionar, por ejemplo, desnivelaciones o faltas de continuidad en el pavimento, que, en el aspecto resistente, no es necesario considerar.

4.3.5. *Sísmicas.*

Para la aplicación de la Norma sismorresistente PGS1 resultará conveniente la utilización de la O. C. 224/69 P de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales del Ministerio de Obras Públicas, específicamente redactada para el proyecto y construcción de carreteras y obras de paso.

4.4. *Acciones durante la construcción.*

4.5 *Otras acciones.*

4.5.1. *Dispositivos de apoyo.*

En esta Instrucción se recuerda la necesidad del conocimiento de las características de los dispositivos de apoyo para la correcta valoración de los esfuerzos a que pueda dar lugar el empleo de tales dispositivos. En el caso, por ejemplo, de dispositivos de apoyo móviles, los esfuerzos debidos a rozamiento podrán obtenerse a partir de la resultante de las cargas permanentes, multiplicándolas por un coeficiente cuyos valores pueden aproximarse a los siguientes:

Apoyos de rodillos	0,03
Apoyos de teflón	0,03
Apoyos deslizantes de acero-acero engrasados	0,20

Se supone siempre, al aceptar los valores de dichos coeficientes o los que, con las debidas garantías, suministran los fabricantes, una correcta ejecución y protección de los dispositivos de apoyo.

4.5.2. Vibración.

El comportamiento de las estructuras ante solicitaciones dinámicas viene condicionado por sus características geométricas y de masa. El estudio del período y modos de vibración podrá realizarse por ensayos en construcciones reales o en modelos, por estudios teóricos y por fórmulas empíricas debidamente sancionadas por la experimentación.

5. BASES DE CALCULO

El criterio de combinación de acciones se hará en la idea de posibilidad de actuación simultánea de las diferentes cargas. Las acciones que se consideran son aquellas que o son permanentes o pueden actuar durante largos periodos de tiempo; por ejemplo, sobrecargas del terreno, acciones reológicas o térmicas, o acciones debidas a nieve o al agua. que pueden presentarse con duración más o menos corta. reduciéndose los coeficientes de mayoración de cargas cuando la hipótesis considerada presente bajas posibilidades de ocurrencia.

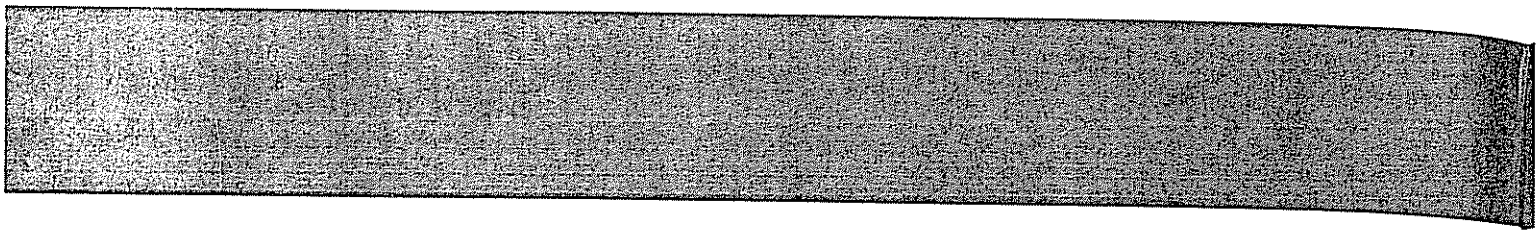
Se recuerda que para la hipótesis III el cálculo se desarrollará teniendo en cuenta los efectos de la fuerza centrífuga y frenado correspondientes al tren de cargas

También se recuerda que en la comprobación de la estabilidad estática será necesario minorar siempre por 1,1 las cargas favorables o estabilizantes, como se indica en 5.2.2.

6. PRUEBAS DE CARGA

El objeto de las pruebas de carga es controlar la adecuada concepción y la buena ejecución de las obras mediante el examen de su comportamiento bajo las cargas de explotación.

Al redactar el proyecto se tiene conocimiento exacto de las partes de la obra solicitadas de manera más favorable. Debe ser entonces cuando el proyectista fijará la composición aproximada del tren de cargas para las pruebas. su posición en las diferentes fases de la misma, las medidas a efectuar y los resultados esperados



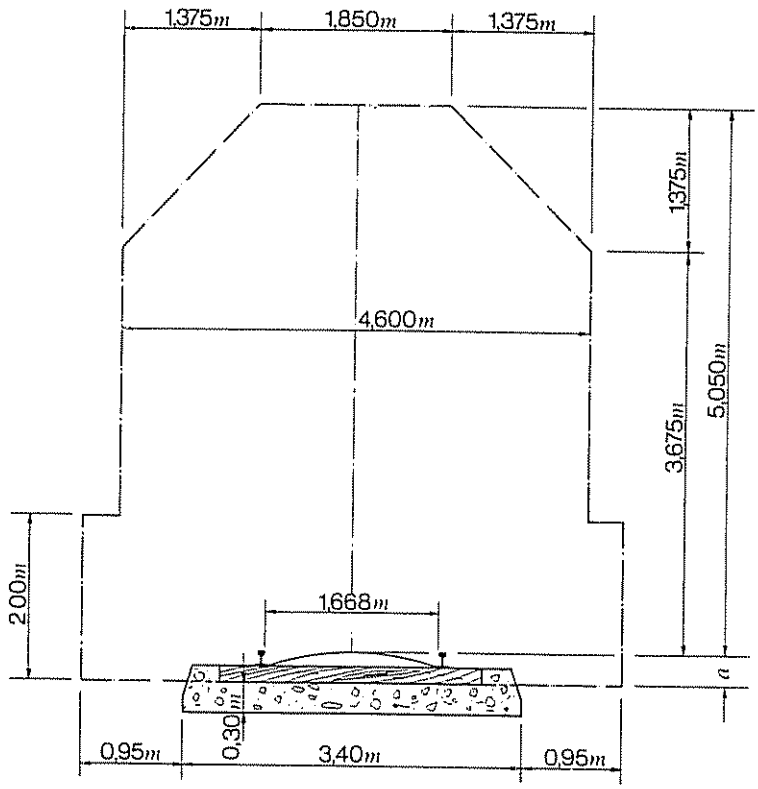
Apéndice III. Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril [1]

1. Ambito de aplicación
2. Unidades
3. Características geométricas
4. Acciones
5. Bases de cálculo
6. Pruebas de carga

Comentarios

[1] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo Madrid. 1975

Gálibo para puentes con balasto para vía RENFE.



Para vias múltiples se repetirá este módulo, dejando una separación entre ejes de vías de 3,70 m.

a = altura de traviesa y carril.

Vía RENFE es aquella cuya separación entre caras activas de carriles es de 1,668 m en recta.

Fig. 3.1

INSTRUCCION RELATIVA A LAS ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE FERROCARRIL

1. AMBITO DE APLICACION

La presente Instrucción será de aplicación en el proyecto de puentes, muros u obras asimilables de las vías férreas, tipo RENFE y métricas.

2. UNIDADES

Las unidades adoptadas corresponden al sistema metro, kilopondio, segundo.

3 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

Los gálibos de las figuras 3.1 y 3.2 se refieren a puentes de vía RENFE y los de las figuras 3.3 y 3.4 a los puentes de vía métrica.

En todos los casos, dichos gálibos serán de aplicación tanto si el trazado del puente se encuentra en una alineación recta como si estuviere en una curva.

Para garantizar en lo posible el correcto paso por los puentes metálicos del material móvil, se dispondrán en los puentes de más de 10 m de luz, sendas encarriladoras en ambos accesos al mismo y contracarriles en toda su longitud.

4. ACCIONES

4.1. Acciones permanentes.

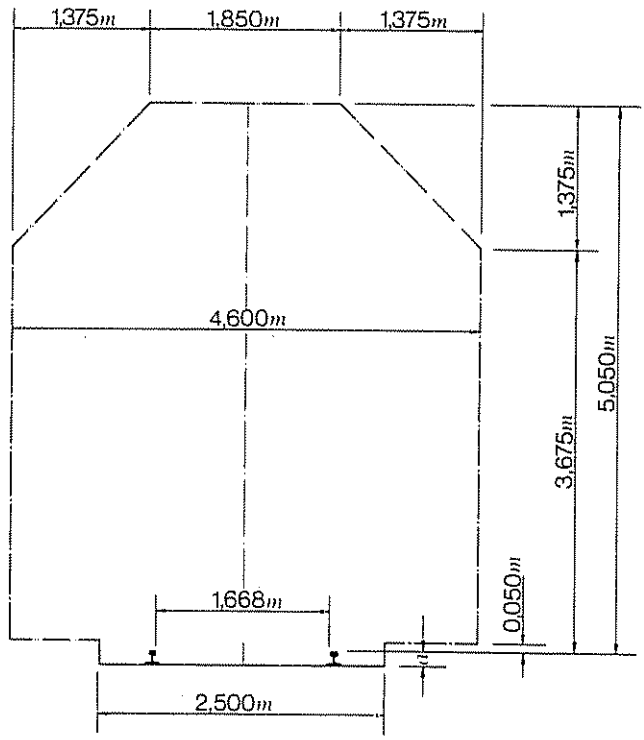
Las acciones permanentes estarán constituidas por los pesos de los distintos elementos que formen la obra. Actuarán, por tanto, en todo momento y serán constantes en su posición y en su magnitud.

Comprenderán el peso propio y las cargas muertas y sus valores se deducirán de las dimensiones reales y pesos específicos correspondientes a los elementos del puente y a los materiales con que están construidos éstos.

Salvo justificación expresa, se tomarán como valores de los pesos específicos más usuales los siguientes:

	kp/dm³
Acero	7,85
Aluminio	2,70
Balasto	1,60
Bronce	8,80
Fábrica de ladrillo cerámico hueco	1.20
Fábrica de ladrillo cerámico macizo	1,80
Fundición	7,25
Hormigón armado y pretensado	2,50
Hormigón en masa	2,30
Madera húmeda	1,05
Madera seca	0,60 a 0,90

Gálibo para puentes sin balasto para vía RENFE.

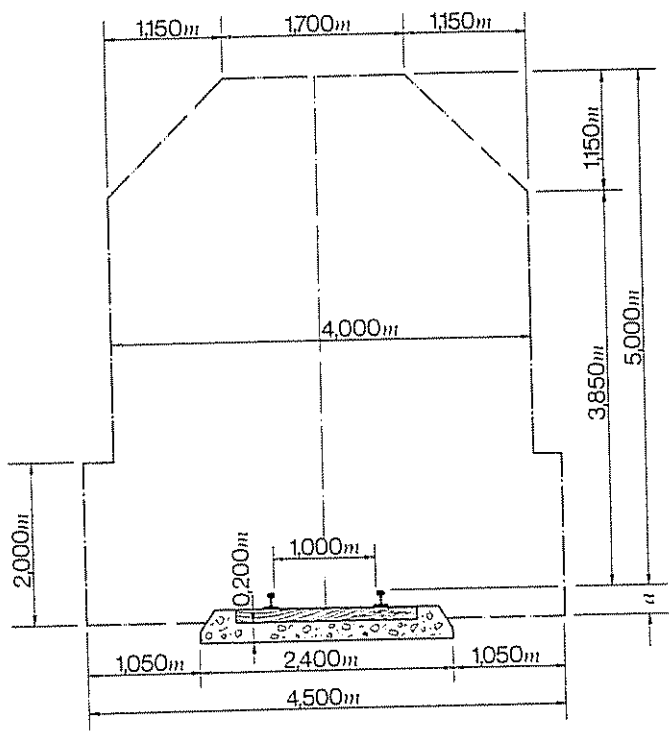


Para vías múltiples se repetirá este módulo, dejando una separación entre ejes de vías de 3,70 m.

a = altura del carril más placa de asiento y sujeción a la obra del puente.

Fig. 3.2

Gálibo para puentes con balasto para vía métrica.



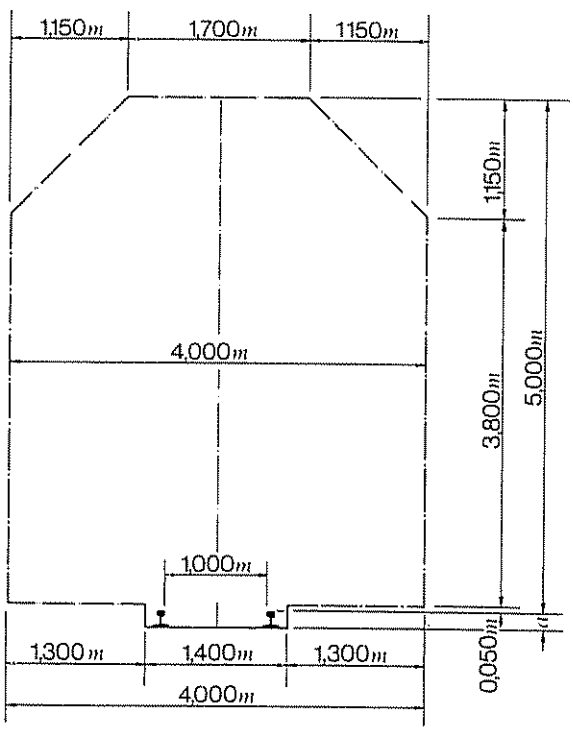
Para vías múltiples se repetirá este módulo. dejando una separación entre ejes de vías de 3,350 m.

a = altura de traviesa y carril.

Vía métrica es aquella cuya separación entre caras activas de carriles es de 1,000 m en recta.

Fig. 3.3

Gálibo para puentes sin balasto para vía métrica.



Para vías múltiples se repetirá este módulo, dejando una separación entre ejes de vías de 2,350 m.

a = altura del carril más placa de asiento y sujeción a la obra del puente.

Fig. 3.4

Mampostería de basalto	2,80
Mampostería de granito o caliza	2,50
Plomo	11,40
Relleno de arena	1,80
Relleno de arcilla o tierra húmeda	2.00
Relleno de grava	1,80

4 1 1 *Peso propio*

El peso propio es el que corresponde a los elementos resistentes del puente y puede deducirse según 4.1.

En ocasiones, los pesos propios que resulten de las dimensiones definitivas de la estructura pueden diferenciarse de los supuestos para el dimensionamiento previo. Si las solicitaciones finales de cálculo no sobrepasan a las obtenidas en el dimensionamiento previo en más de un tres por ciento (3 %), podrá en general prescindirse de un nuevo cálculo. En los casos en que el peso propio sea determinante para el elemento o estructura en cuestión, deberá repetirse el cálculo con las dimensiones definitivas.

4.1.2 *Cargas muertas.*

Son las debidas a los elementos no resistentes tales como: balasto, traviesas, carriles y pequeño material de vía, encarriladoras, barandillas, rellenos de contrapeso, aparatos de iluminación, etc.

Para el cálculo de las cargas muertas podrán tomarse los valores indicados en 4 1 y en su defecto o caso de duda los indicados en normas y catálogos especializados u obtenidos por pesadas directas de los elementos correspondientes.

4 2. *Sobrecargas.*

4.2.1 *Sobrecargas móviles de uso.*

4 2.1 1. *Tren de cargas para vía RENFE.*

Para el cálculo de los puentes de ferrocarril para vía RENFE se considerará para cada elemento el tren tipo que dé una sobrecarga más desfavorable entre los que a continuación se indican, correspondientes a circulación por una vía.

Además del tren tipo que haya de aplicarse en cada caso, se considerarán en los paseos de servicio unas sobrecargas uniformes de 400 kp/m² extendidas sobre toda la superficie de aquellos paseos, según sea más desfavorable para el elemento en estudio.

TREN TIPO A. Está constituido por tres ejes de treinta (30) toneladas separados entre si 1,50 m (fig. 4 2.1.1a).

TREN TIPO B. Está constituido por una sobrecarga uniforme repartida de doce (12) toneladas por metro, extendida en una longitud de quince (15) o treinta (30) m, seguida inmediatamente de otras sobrecargas uniformemente repartidas de diez (10) y una (1) toneladas por metro (fig. 4.2.1.1b).

El conjunto de estas dos últimas sobrecargas (de diez o una toneladas por metro) tendrá carácter indefinido en su longitud, y los valores a_i y b_i serán tales que produzcan los efectos más desfavorables.

En todo caso las sobrecargas uniformemente repartidas que se adopten no deben tener solución de continuidad.

TREN TIPO A

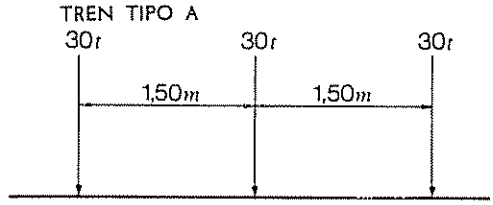


Fig. 4.2.1.1a

TREN TIPO B

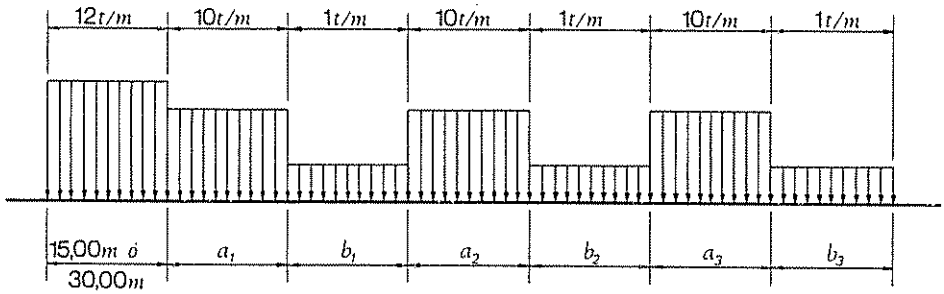


Fig. 4.2.1.1b

TREN TIPO C

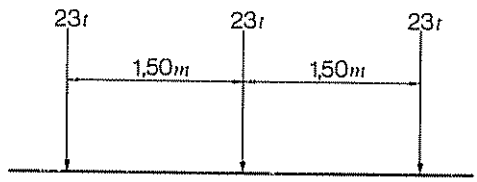


Fig. 4.2.1.2.1

TREN TIPO D

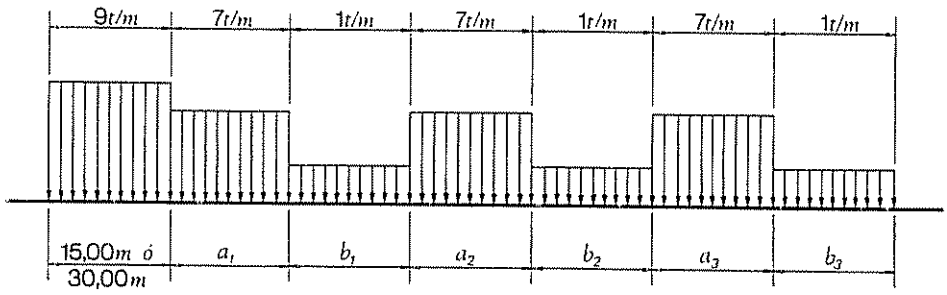


Fig. 4.2.1.2.2

4.2.1.2. *Tren de cargas para vía métrica*

Para el cálculo de los puentes de ferrocarril para vía métrica se considerará para cada elemento el tren tipo que dé una sobrecarga más desfavorable entre los que a continuación se indican, correspondientes a circulación por una vía.

Además del tren tipo que haya de aplicarse en cada caso, se considerarán en los paseos de servicio unas sobrecargas uniformes de 400 kp/m² extendidas sobre toda la superficie de aquellos paseos según sea más desfavorable para el elemento en estudio

TREN TIPO C. Está constituido por tres ejes de veintitrés (23) toneladas separados entre sí 1,50 m (figura 4.2.1.2.1).

TREN TIPO D. Está constituido por una sobrecarga uniformemente repartida de nueve (9) toneladas por metro, extendida en una longitud de quince (15) o treinta (30) m, seguida inmediatamente de otras sobrecargas uniformemente repartidas de siete (7) y una (1) toneladas por metro (fig. 4.2.1.2.2).

El conjunto de estas dos últimas sobrecargas (de siete o una tonelada por metro) tendrá carácter indefinido en su longitud, y los valores a_t y b_t serán tales que produzcan los efectos más desfavorables.

En todo caso las sobrecargas uniformemente repartidas que se adopten no deben tener solución de continuidad.

4.2.1.3. *Reparto local de cargas*

En el caso de puentes con balasto y losa de hormigón podrá suponerse que las cargas de los trenes tipo se reparten uniformemente en una superficie conforme a las indicaciones siguientes:

a) Como superficie de aplicación de la carga podrá tomarse la correspondiente a la de apoyo del patín del carril.

b) La transmisión de esfuerzos podrá suponerse que se realiza con la pendiente 1:1 a través del espesor de la traviesa y con la pendiente 2 (vertical):1 (horizontal) ó 1:1 según sea más desfavorable, a través del espesor del balasto.

Podrá suponerse otro reparto más favorable si las condiciones elásticas del tablero lo permiten y siempre que se justifique debidamente.

4.2.1.4. *Impacto*

Los esfuerzos estáticos calculados aplicando las sobrecargas de los trenes tipo se aumentarán en un tanto por ciento I, definido en la forma siguiente:

1.º Para luces iguales o menores de 6 m:

$$I = 33 \cdot 10^{-2} \cdot v$$

siendo v la velocidad de paso del tren en km/h. En todo caso la validez de aplicación de esta fórmula se circunscribe a los casos en que

$$v \leqslant 200 \text{ km/h}$$

2.° *Para luces mayores de 6 m:*

a) *Para el caso de tramos simplemente apoyados con flecha limitada a una milésima de la luz, el tanto por ciento de impacto puede obtenerse de la fórmula:*

$$I = \frac{114\sqrt{L}}{3{,}10 - 1{,}76\sqrt{L} + L}$$

b) *En general para tramos apoyados continuos la fórmula aplicable será:*

$$I = 65\,\frac{\mu}{1 - \mu + \mu^2}$$

siendo:

$$\mu = \frac{v \cdot T}{2L}$$

v *velocidad de paso del tren en km/h.*
T *período fundamental de vibración del elemento cargado en segundos.*
L *luz del elemento en estudio en metros.*

En todo caso la validez de aplicación de esta fórmula se circunscribe a los casos en que $v \leqslant 200$ *km/h.*

En puentes de vía doble la fórmula anterior se aplicará con el período máximo que resulte del estudio de las vibraciones independientes de flexión o de torsión.

4.2.1.5. *Reducción de sobrecargas en puentes de vías múltiples.*

Cuando en un puente coexistan varias vías se podrá aplicar la siguiente reducción de sobrecarga:

— *Dos de las vías con el total de la sobrecarga.*
— *Una tercera vía con el 75 %.*
— *Las restantes con el 50 %.*

Se combinarán todas las hipótesis precisas para obtener la que resulte más desfavorable a cada elemento del puente.

4.2.1.6. *Frenado y arranque.*

Se tendrá en cuenta los efectos de frenado actuando a la altura de las cabezas de los carriles y del sentido de la marcha sobre todos los elementos que constituyen el puente.

Se valorará dicho efecto en 1/8 del peso del tren tipo.

En los puentes que existan varias vías se aplicarán las siguientes reducciones de este efecto.

— *Una de las vías con la totalidad del esfuerzo.*
— *Una segunda vía con el 90 %.*
— *Las restantes con el 70 %.*

El efecto de arranque se aplicará en forma análoga al frenado, pero en este caso no se considerará el tren de carga total sino tan solo el bloque de carga que corresponde a la máquina (esto es, 12 t/m en el caso de vía RENFE y 9 t/m en el caso de vía métrica), por lo cual su efecto es siempre menor o igual que el frenado.

En aquellos puentes donde exista más de una vía se admite la posibilidad de que este efecto actúe en el mismo sentido.

4.2.1.7 *Fuerza centrífuga.*

En obras con vía de planta curva, la fuerza centrífuga (ver fig. 4.2.1.7) se supondrá actuando horizontalmente en un punto situado en la perpendicular al plano de rodadura por el eje de la vía y a 1,80 m de altura, con un valor F_c *deducido de la fórmula siguiente:*

$$F_c = Q \frac{v^2}{127\, r}$$

F_c *fuerza centrífuga en t/m.*
Q *sobrecarga de trenes tipo definidos en 4.2.1.1 ó 4.2.1.2 expresada en t/m.*
v *velocidad en km/h de dicha sobrecarga, fijada por la Administración para el trayecto de línea donde va ubicada la obra.*
r *radio en planta de la curva en m.*

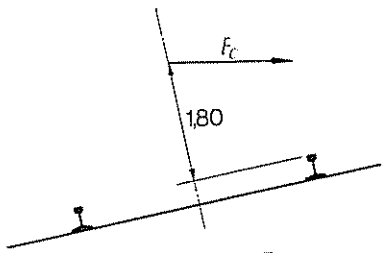


Fig. 4.2.1.7

4.2.1.8. *Efecto de lazo.*

Este efecto se valorará en los cálculos como una fuerza única de valor igual a 5 t que actúe en dirección transversal al eje de la vía, a la altura superior del carril y en la posición y sentido que resulte más desfavorable para el elemento en estudio.

En general, si en un puente se disponen vigas principales y la vía estuviese colocada directamente sobre dichas vigas, puede despreciarse este tipo de efecto.

Cuando en un puente exista más de una vía, solo es necesario tener en cuenta una fuerza de 5 t.

4.2.1.9. *Ripado.*

Para prever la posibilidad de ripado de vía en un puente con balasto, se tendrá en cuenta en el cálculo de la estructura la eventual excentricidad de cargas respecto al eje primitivo de la vía de +0,30 m.

En puentes sin balasto, salvo casos excepcionales, no es preciso realizar este estudio.

4.2.1.10. *Empuje sobre barandillas.*

En el elemento superior de las barandillas se considerará la actuación de un esfuerzo horizontal perpendicular a dicho elemento e igual a 150 kp/m. La actuación de dicho esfuerzo será simultánea a la de la sobrecarga uniforme de 400 kp/m² definida en 4.2.1.1 y 4.2.1.2.

La altura sobre el paseo en que considere actuando dicho esfuerzo será la del elemento superior de la barandilla, salvo que dicha altura sea superior a 1,5 m en cuyo caso se considerará este valor de 1,5 como altura máxima de actuación.

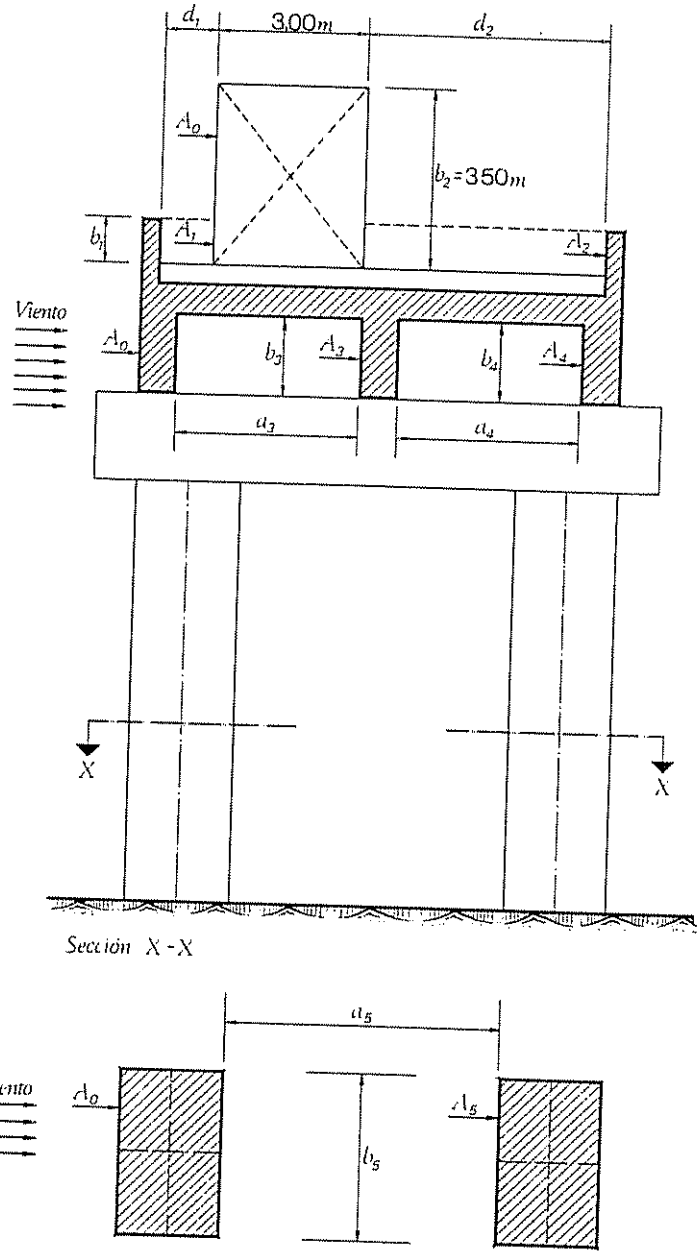

d_1
3,00m
d_2
A_0
b_2=3,50m
b_1
A_1
A_2
Viento
A_0
b_3
A_3
b_4
A_4
a_3
a_4
X
X
Sección X - X
a_5
Viento
A_0
A_5
b_5

Fig. 4.2.3.1

4.2.2. *Sobrecargas fijas de uso.*

Deberá considerarse, en su caso, la posible actuación de otras sobrecargas, tales como las debidas a conducciones de agua, saneamiento, gas, electricidad, etc.

4.2.3. *Sobrecargas climáticas.*

4.2.3.1. *Viento.*

a) La acción del viento podrá asimilarse, en general, a una carga estática horizontal obtenida según se indica más adelante.

En aquellos casos en que la acción del viento pueda originar fenómenos vibratorios importantes (puentes colgantes, pilones esbeltos de gran altura, etc.) el proyectista justificará los métodos de cálculo y estudios especiales que permitan prever la respuesta de la estructura a estos efectos.

Las normas que se indican a continuación se refieren exclusivamente a puentes cuya altura máxima de rasante sobre el terreno no sea mayor de 100 m o no supere los 80 m sobre el nivel superior de cimientos. Caso de sobrepasar estos límites, el proyectista justificará convenientemente los valores de las presiones producidas por el viento, así como los estudios especiales que sea oportuno realizar.

Por otra parte y siempre que esté justificado por estudios, ensayos aerodinámicos o experiencias en obras de idénticas características, el proyectista podrá adoptar valores o expresiones distintos de los indicados en esta Instrucción para tener en cuenta posibles reducciones del empuje del viento por formas aerodinámicas especiales de los elementos de la construcción.

b) El empuje horizontal debido al viento se obtendrá aplicando la presión indicada en b.1) a las superficies sobre las que actúe proyectadas sobre un plano vertical normal a la dirección del mismo, teniendo en cuenta lo indicado en b.2).

La dirección del viento se escogerá de forma que se obtengan los efectos más desfavorables sobre el elemento en estudio. Como simplificación, será suficiente comprobar la resistencia y estabilidad del mencionado elemento en las hipótesis del viento según dos direcciones perpendiculares normales a los ejes principales de su sección transversal. En cualquier caso, deberá siempre considerarse la hipótesis de viento normal al eje longitudinal del puente.

b.1) Valores de la presión ejercida por el viento.

b.1.1) La presión básica horizontal f_w ejercida por el viento sobre un elemento cualquiera será:

$$f_w = 154\,(2 - 0{,}7\,\lambda)$$

en la que:

f_w presión básica horizontal en kp/m².
λ coeficiente adimensional con el siguiente valor:

$$\lambda = \frac{A_n}{A_{tot}}$$

A_n superficie neta, o real, que el elemento presenta al viento.
A_{tot} superficie bruta, o total, encerrada por el contorno externo; o sea, la que el mismo elemento presentaría al viento si se obturasen todos sus huecos.

b.1.2) Para todas aquellas situaciones de la construcción que puedan considerarse como transitorias (periodos de construcción de las obras, situaciones de tramos abiertos en puentes móviles, etc.), las presiones de viento sobre elementos de la construcción podrán reducirse al 70 % de los valores indicados en b.1.1, teniendo en cuenta, por otra parte, las prescripciones especificadas en 5.

b.2) Valores de los empujes producidos por el viento.

El empuje producido por el viento sobre una superficie elemental será igual a:

$$W = f_w \cdot A$$

en la que:

W *empuje sobre la superficie elemental considerada.*
f_w *presión básica horizontal definida en b.1).*
A $A_o + \Sigma \Psi_i A_i$.
A_o *valor de la superficie neta, o real, total expuesta al viento según se proyecta en un plano normal a la dirección del mismo.*
A_i *valor neto de las superficies sobre las que pudiendo actuar el viento, quedan ocultas (protegidas por* A_o*) en la proyección considerada.*
Ψ_i *coeficiente adimensional, cuyo valor se tomará de la siguiente tabla:*

a_i/b_i	$\leqslant 1$	$1 < a_i/b_i < 5$	$\geqslant 5$
Ψ_i	$1 - 1{,}2\,\lambda$	$1 - \lambda\,(1{,}5 - 0{,}3\,a_i/b_i)$	1

λ *valor definido en b.1.1) con* $\lambda \geqslant 2/3$.
a_i *distancia en horizontal entre los elementos considerados al definir* A_i.
b_i *anchura o dimensión más pequeña de las superficies que ocultan a* A_i.

Caso de existir parapetos o barras, la superficie de los mismos deberá considerarse como parte integrante del tablero. Las barandillas se considerarán como un parapeto de 0,5 m de altura.

La sección real del tren, en la hipótesis de tramo cargado, se sustituirá a efectos de empuje de viento, por un rectángulo de 3,5 m de altura sobre el nivel superior de carril por 3 m de ancho.

c) Combinación de acciones debidas al viento y a los trenes tipo.

Pueden existir elementos para los que sea más desfavorable la actuación simultánea de un valor máximo de viento con una carga mínima, debida al tren tipo.

A efectos de combinación de dichas acciones bastaría considerar, salvo estudios más detallados, para cada tipo de ancho de vía las dos hipótesis siguientes:

Caso de vía RENFE.

Hipótesis I. Se tomará el valor máximo de presión debida al viento con una sobrecarga uniforme que no podrá ser inferior a 1,5 t/m.

Hipótesis II. Se tomará un valor máximo de presión de viento equivalente a 130 kp/m² con una sobrecarga uniforme que no podrá ser inferior a 1 t/m.

Caso de vía métrica.

Hipótesis III. Se tomará el valor máximo de presión debida al viento con una sobrecarga uniforme que no podrá ser inferior a 2,5 t/m.

Hipótesis IV. Se tomará un valor máximo de presión de viento equivalente a 80 kp/m² con una sobrecarga uniforme que no podrá ser inferior a 1 t/m.

4.2.3.2. *Nieve.*

Salvo en casos excepcionales no se tendrá en cuenta el efecto de nieve.

4.2.4. *Sobrecargas debidas al agua.*

La acción hidrostática se valorará a partir de un peso específico del agua igual a un kilopondio por decímetro cúbico (1 kp/dm³).

En el caso de elementos sumergidos se considerará la subpresión con el mismo peso específico.

El empuje debido a corrientes de agua y arrastres se calcula con la expresión siguiente:

$$F_{ep} = \lambda_s \cdot v^2 \cdot A$$

F_{ep} empuje en kp.
v velocidad media del agua en m/seg.
λ_s coeficiente de forma de la superficie sobre la que actúa el empuje.
A área de la superficie sumergida proyectada sobre un plano perpendicular a la corriente en m².

4.2.5. *Sobrecargas del terreno.*

El empuje del terreno en magnitud y dirección se determinará de acuerdo con las características del relleno empleado pero en ningún caso será inferior al equivalente del empuje hidrostático de un fluido de peso específico igual a 0,50 t/m³.

Cuando las sobrecargas actúen a una distancia medida en horizontal desde la parte superior de la estructura igual o menor a la mitad de su altura, deberá añadirse para el cálculo del empuje una sobrecarga de 3 t/m².

En su caso, deberán tenerse en cuenta los empujes locales debidos a la actuación de un eje de los trenes tipos A o C, según los casos de vía RENFE o métrica.

4.2.6. *Sobrecargas accidentales. Choques.*

Las acciones debidas a choques son de carácter extraordinario, por lo que deberá adoptarse los coeficientes de mayoración y minoración establecidos en las Bases de Cálculo.

4.2.6.1. *Choque de vehículos de carretera contra el puente.*

El choque de un vehículo que circule por carretera con un estribo o pila de puente de ferrocarril se asimilará a la actuación de una carga estática cuya resultante se encuentre situada a 1,20 m sobre la superficie del pa-

vimento e igual en valor a 100 t en la dirección del tráfico y a 50 t en sentido perpendicular a la dirección indicada. Esta carga podrá considerarse aplicada sobre una superficie o zona de choque no mayor de 2 m de ancho por 2 m de altura.

No será necesario considerar la actuación simultánea de ambos esfuerzos.

La acción del choque en los elementos no afectados directamente requerirán, en cada caso, el estudio oportuno.

Podrá no considerarse la acción de choque cuando se disponga una protección adecuada o el elemento se encuentre a una distancia del borde de la calzada superior a 10 m.

4.2.6.2. *Choque de embarcaciones contra el puente.*

En cada caso concreto se realizarán los estudios precisos para determinar las acciones a que pueda dar lugar la colisión de una embarcación con los elementos de la estructura.

4.3. *Acciones indirectas.*

4.3.1. *Pretensado.*

Las acciones debidas a pretensado se valorarán, en su caso, teniendo en cuenta la forma de introducción de las mismas y la posibilidad de deformación de la estructura.

4.3.2. *Reológicas.*

4.3.2.1 *Esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia del hormigón.*

La deformación debida a fluencia bajo carga podrá considerarse proporcional a la deformación elástica instantánea y del orden del doble al triple de esta última.

De una forma más precisa, la deformación por fluencia varía a lo largo del tiempo y podrá calcularse según se indica en las Instrucciones correspondientes.

4.3.2.2. *Esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón.*

La deformación final del hormigón en valores unitarios debida a retracción oscila entre $1,5 \times 10^{-4}$ y $4,0 \times 10^{-4}$ y depende de numerosos factores entre los que predomina el medio ambiente; corresponde el primer valor a zonas húmedas y el último a zonas muy secas y desérticas.

De una forma más precisa, la deformación en el tiempo debida a retracción podrá calcularse según se indique en las instrucciones correspondientes.

4.3.3. *Térmicas.*

Los efectos de los cambios de temperatura se deducirán a partir de los criterios que se dan en 4.3.3.1, 4.3.3.2 y 4.3.3.3, considerando para el coeficiente de dilatación lineal los siguientes valores:

Elementos de hormigón: 10^{-5}
Elementos de acero: $1,2 \cdot 10^{-5}$

4.3.3.1. *Elementos metálicos.*

Para el estudio de los efectos térmicos, se considerará una variación de la temperatura de $\pm$ 35° C sobre la temperatura media anual total.

En aquellos casos en los que alguna de sus partes pueda estar sometida a la acción directa del sol será necesario considerar salvo justificación especial una diferencia de temperatura entre la parte más caliente y la más

fría de 15° C, sin modificación de la temperatura media. Estos efectos se superpondrán a los de variación de la temperatura.

Asimismo, en aquellos casos en que, por estar protegidos de forma diferente, puedan existir dos elementos que se calienten o se enfríen de manera distinta se supondrá una diferencia de temperatura entre ambos de 15° C, sin modificación de la temperatura media.

4.3.3.2. Elementos de hormigón.

Para el estudio de los efectos térmicos se considerará una variación térmica, en más y en menos, no menor de la dada en grados centígrados por la expresión.

$$\pm\ [20 - (0{,}75\sqrt{h})] \leqslant 0$$

$h \leqslant$ espesor ficticio del elemento considerado en centímetros.

El espesor ficticio (h) viene definido por:

$$h = \frac{A}{u/2}$$

A área de la sección de la pieza.

u perímetro de la misma sección.

En elementos superficiales, el espesor ficticio h coincide sensiblemente con su espesor real.

En elementos enterrados podrá incluirse en su espesor el correspondiente a la capa de tierras que lo aísla del exterior.

Si la estructura está formada por elementos de distinto espesor se admitirá, para simplificar los cálculos, una tolerancia de $\pm$ 5° C en los valores resultantes.

En aquellos elementos en que alguna de sus partes pueda estar sometida a la acción directa del sol será necesario considerar una diferencia de temperatura entre la parte más caliente y la más fría de 10° C.

Quedará a juicio del proyectista la elección del gradiente térmico correspondiente. Podrá admitirse, en general, un gradiente constante. Cuando el proyectista así lo justifique, podrá prescindirse del estudio de los efectos producidos por el gradiente térmico.

En aquellas estructuras formadas por elementos en diferentes condiciones de exposición a la acción solar será necesario considerar un calentamiento diferencial de 5° C entre estos elementos.

4.3.3.3. Elementos mixtos.

Para el estudio de los efectos térmicos se considerarán a partir de una temperatura en el montaje que en general se supondrá de 15° C, las variaciones térmicas que se indican en el siguiente cuadro:

	Hormigón	Acero
Calentamiento	$+ 20 - 0{,}75\sqrt{h}$	+ 35° C
Enfriamiento	$- 20 + 0{,}75\sqrt{h}$	— 35° C

h espesor ficticio en cm.

El gradiente térmico entre el punto más frío y el más caliente será el que el proyectista estime más ajustado a la realidad.

4.3.4. *Por asientos.*

Los asientos que deban considerarse en el cálculo de estructuras hiperestáticas se deducirán del estudio geotécnico correspondiente teniendo en cuenta el tipo de cimentación y las cargas transmitidas al terreno. Se considerará además la entrada en acción de las mismas según el proceso constructivo, especialmente cuando la estructura pase por una fase isostática inicial.

Al realizar el cálculo de los esfuerzos hiperestáticos que han de ir apareciendo se tendrá en cuenta la evolución por fluencia tanto de las deformaciones del terreno como las de la propia estructura.

4.3.5 *Sísmicas.*

Las acciones sísmicas se considerarán en la forma que determinan las Instrucciones correspondientes.

4.4. *Acciones durante la construcción*

Se tendrán en cuenta todas aquellas acciones que puedan producirse en las distintas fases de ejecución de la obra y que den lugar a solicitaciones superiores o de distinto signo a las previstas para la obra en servicio, así como las que pueda imponer un estado de solicitaciones en la estructura de carácter temporal o permanente.

Estas acciones pueden ser debidas a sobrecargas temporales de personas, maquinaria o materiales, modificaciones de esquemas estructurales o de apoyos, montaje o formas de ejecución, etc

En cada caso se analizará la importancia de tales acciones, y en consecuencia, se aplicará un coeficiente de seguridad que puede ser distinto de los utilizados para la obra en servicio.

Merecerán especial atención además todas aquellas posibles situaciones en que exista el riesgo de pérdida de equilibrio o puedan producir fenómenos de inestabilidad

4.5. *Otras acciones.*

4.5.1. *Dispositivos de apoyo.*

La resistencia que oponen los dispositivos de apoyo al movimiento de las partes sustentadas se valorarán considerando las características de aquéllos.

5. *BASES DE CALCULO*

5.1. *Generalidades.*

Las diferentes comprobaciones o estados límites que hay que analizar, tanto en relación con la seguridad de la construcción y de cada uno de sus elementos frente al agotamiento o colapso de la misma (estados límites últimos), como en relación con las condiciones que ésta deba cumplir, en situación de servicio (estados límites de servicio), así como los coeficientes de ponderación que correspondan en cada caso, se ajustarán a lo que respecto a este tema se indique en las Instrucciones vigentes, de acuerdo con las hipótesis de carga indicadas en 5.3.

5.2. *Acciones de cálculo*

Las acciones de cálculo se obtendrán a partir de las acciones características definidas en 4, afectadas de los coeficientes de ponderación correspondientes según los criterios indicados en 5.2.1 y 5.2.2.

Cuando corresponda, las sobrecargas variables de uso deberán multiplicarse por el coeficiente de impacto definido en 4.2.1.4.

5.2.1. *Estados límites últimos.*

— *Cargas permanentes:*

Si su efecto es desfavorable, se tomarán con el valor mayorado aplicado simultáneamente a todas las acciones del mismo origen que actúen sobre la estructura.

Si su efecto es favorable, se tomarán con valor minorado, aplicado simultáneamente a todas las acciones del mismo origen que actúen sobre la estructura.

— *Cargas que pueden actuar o dejar de hacerlo:*

Si su efecto es desfavorable se tomarán con valor mayorado.

Si su efecto es favorable se tomarán con valor nulo. Los valores de los coeficientes de mayoración y de minoración a que se hace referencia en los párrafos anteriores, se ajustarán a los indicados en las normas correspondientes, según sea el material constitutivo de la estructura.

5.2.2. *Estados límites de servicio.*

Para cualquier tipo de acción se tomará el valor característico.

5.3 *Hipótesis de carga.*

Se considerarán las tres hipótesis de carga formadas por las combinaciones de acciones que a continuación se indican y se elegirán la que, en cada caso resulte más desfavorable. En cada hipótesis deberán tenerse en cuenta solamente aquellas acciones cuya actuación simultánea sea compatible.

Hipótesis I.

— *Acciones permanentes.*
— *Sobrecargas y acciones indirectas, excepto viento y acciones sísmicas.*

Hipótesis II.

— *Acciones permanentes.*
— *Sobrecargas y acciones indirectas, excepto acciones sísmicas. En esta hipótesis, para el establecimiento de los valores ponderados, se considerará el valor del coeficiente de mayoración correspondiente reducido en un 10 %.*

Hipótesis III.

— *Acciones con los valores característicos que fije la Norma Sismorresistente.*

Los coeficientes de ponderación aplicables a esta hipótesis se ajustarán a lo establecido en la citada Norma Sismorresistente.

5.4. *Fases de ejecución.*

Será necesario comprobar la situación de la estructura en fases de ejecución, pudiendo en este caso, rebajarse los coeficientes de ponderación de acciones siempre que aquellos sean superiores a 1,25 en la proporción que el proyectista estime oportuno, sin bajar de dicho valor. Sin embargo, la comprobación de la estabilidad estática en fases de ejecución, se realizará siempre con el coeficiente de ponderación sin reducir.

5.5. *Acciones excepcionales.*

Las acciones excepcionales, tales como huracanes, choques de vehículos, explosiones, etc., u otras de carácter normal pero cuyos valores, difícilmente previsibles, superan fuertemente a los normalizados, no se tendrán en cuenta en los cálculos, generalmente. Si, por excepción, se estima necesario considerar alguna de ellas, podrá prescindirse en tales casos, para el estudio de los estados límites últimos, del coeficiente de mayoración de acciones y adoptar, para los de minoración de resistencias, valores próximos a la unidad. Para los estados límites de servicio, bastará comprobar que, una vez retirada la acción excepcional considerada, los posibles efectos remanentes derivados de su actuación no representan impedimento alguno para que el comportamiento posterior de la estructura sea el previsto para la misma antes de haber sufrido la actuación de aquella carga extraordinaria, muy en particular en todo aquello relativo a las condiciones funcionales y de durabilidad.

6. *PRUEBAS DE CARGA*

Se distinguirán dos clases de pruebas de carga en puentes:

a) De recepción de obra nueva.
b) De control de la obra en servicio.

Todo puente deberá ser sometido a las pruebas de recepción antes de su puesta en servicio.

Estas pruebas serán estáticas y dinámicas en todos los casos. En el Proyecto se incluirá un Anejo a la Memoria en el que se describirán y justificarán las distintas fases de la prueba de carga, elementos que se deberán comprobar y esfuerzos que éstos han de soportar que en ningún caso superarán a los deducidos en los cálculos, por aplicación del tren de cargas de la presente Instrucción. Se especificará además, el tipo de convoy ferroviario previsto para las pruebas y su velocidad en la prueba dinámica.

Para las pruebas de control de la obra en servicio se observarán las siguientes prescripciones.

1) En todos los puentes, cualquiera que sea la luz y el material de que estén realizados, se harán inspecciones visuales de periodicidad anual. En ellas se observará el estado de los aparatos o elementos de apoyo, la conservación de los materiales integrantes del puente y en general la situación externa de la estructura. Como resultado de tales inspecciones se formularán partes justificativos con descripción de los pormenores citados.

2) En los puentes metálicos de luz mayor de 12 m se realizarán además cada 15 años, pruebas estáticas y dinámicas análogas a la de recepción de obra nueva anteriormente descritas. Si en algún puente metálico de menor luz de la citada, los resultados del parte derivado de la inspección visual fueran de tal índole que hicieran temer por la seguridad de la estructura, se realizarán asimismo en dicho puente las citadas pruebas.

3) En los puentes de fábrica, con independencia de su luz, no serán precisas pruebas de carga de control de obras en servicio de carácter periódico. Tan solo, cuando los resultados del parte derivado de la inspección visual hicieran temer por la seguridad de la estructura, se realizarán las pruebas estáticas y dinámicas análogas a las de recepción de obra nueva.

COMENTARIOS

1. *AMBITO DE APLICACION*

Dentro del concepto de obras asimilables están incluidas las de viaductos, pequeñas obras de fábrica y de acompañamiento. Como orientación para los ferrocarriles de vía de ancho internacional (1.435 mm) se indica que existen Recomendaciones de la Unión Internacional de Chemins de fer (UIC) al respecto, que pueden emplearse, en cuanto se refieren a las sobrecargas móviles de uso, mientras no existan disposiciones españolas para este ancho de vía.

2. *UNIDADES*

3. *CARACTERISTICAS GEOMETRICAS*

Las dimensiones específicas en el articulado tienen un carácter de mínimas.

4. *ACCIONES*

4.1. *Acciones permanentes.*

Para la clasificación de las acciones se siguen los criterios establecidos en la Instrucción de Hormigón EH-73.

Se incluye una lista de pesos específicos de los materiales comúnmente empleados en obras de fábrica y metálicas.

Los valores correspondientes al hormigón, tanto en masa como armado y pretensado, son valores medios. Por esta razón se indica que deben aceptarse con carácter general, y justificarse en aquellas estructuras en que sus características de capacidad y resistencia e incluso cuantía de armaduras dan lugar a pesos específicos distintos.

4.1.1. *Peso propio.*

4.1.2. *Cargas muertas.*

Se supone que las cargas muertas enumeradas, por definición, no son resistentes en el sentido estructural.

Para el peso de la vía RENFE puede tomarse con suficiente aproximación los valores de 450 kp/m cuando la traviesa sea de hormigón y de 270 kp/m cuando sea de madera.

Para el peso de la vía métrica dichos valores pueden ser respectivamente de 430 kp/m y de 190 kp/m.

4.2. *Sobrecargas.*

4.2.1. *Sobrecargas móviles de uso.*

4.2.1.1. *Tren de cargas para vía RENFE.*

Las cargas reales que actuarán sobre la plataforma se sustituyen por un sistema de sobrecargas ficticias de expresión sencilla.

Como casos posibles a considerar, a modo de ejemplo, cabe citar el descrito en la fig. 4.2.1.1 (Comentarios).

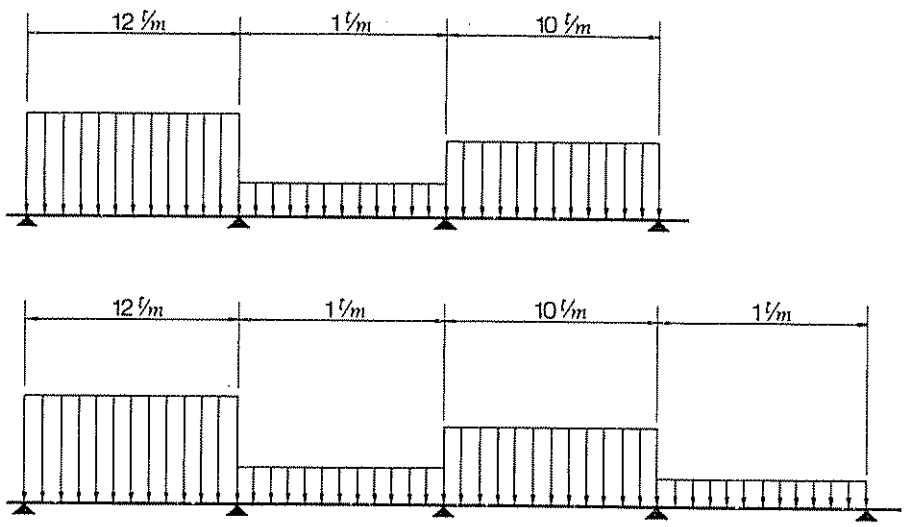


Fig. 4.2.1.1 (Comentarios)

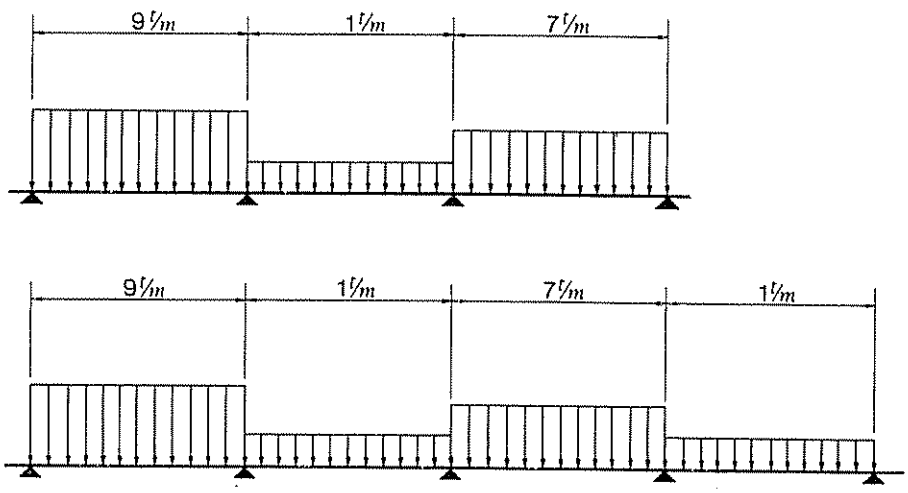


Fig. 4.2.1.2 (Comentarios)

En aquellos puentes que tengan más de una vía deberán preverse las combinaciones de los casos anteriores que resulten más desfavorables.

Aunque como se ha dicho es de aplicación general si procede (o sea, si su aplicación conduce a resultados más desfavorables) el tren tipo A será de aplicación determinante en algunos casos como, por ejemplo, en los de tramos de pequeña luz en el caso de reparto transversal y en el dimensionamiento de largueros y viguetas de puentes metálicos.

En el tren B la sobrecarga de 12 t/m responde a la existencia de la locomotora; la de 10 t/m a la de los vagones cargados y la de 1 t/m a la de los vagones descargados.

4.2.1.2. *Tren de cargas de vía métrica.*

Las cargas reales que actuarán sobre la plataforma se sustituyen por un sistema de sobrecargas ficticias de expresión sencilla.

Como casos posibles a considerar, a modo, por ejemplo, cabe citar el descrito en la fig. 4.2.1.2 (Comentarios).

En el tren D la sobrecarga de 9 t/m responde a la existencia de la locomotora; la de 7 t/m a la de los vagones cargados y la de 1 t/m a la de los vagones descargados.

En aquellos puentes que tengan más de una vía deberán preverse las combinaciones de los casos anteriores que resulten más desfavorables.

4.2.1.3. *Reparto local de cargas*

En el problema de reparto local de cargas influyen numerosos factores, entre los que pueden destacarse la propia tipología de la estructura, situación relativa de las cargas, sustentación del tablero y superestructura de la vía. Por esta razón en el articulado se recoge una simplificación que, dada la situación de los estudios en curso, resulta suficientemente sancionada por la experiencia.

No obstante, en los casos de tablero de hormigón de sección en π pueden aplicarse los criterios siguientes:

Las acciones reales se sustituirán por dos cargas rectangulares equivalentes en la forma que indican las figuras 4.2.1.3a (Comentarios) y 4.2.1.3b (Comentarios) correspondientes a los casos de posición centrada y excéntrica de la vía, respectivamente.

En el caso que el eje de la vía coincida con el eje del tablero, las dos cargas rectangulares citadas tendrán el mismo ancho de valor igual a:

$$b = 2\,(L_t/2 - X_s) + 2\,h_1 \operatorname{cotg} 75^\circ$$

(Véanse las fig. 4.2.1.3a [Comentarios] y 4.2.1.3b [Comentarios].)

En el caso contrario, las dos cargas rectangulares tendrán los siguientes anchos:

$$b_1 = 2\,(L_t/2 - X_{s1}) + 2\,h_1 \operatorname{cotg} 75^\circ$$

$$b_2 = 2\,(L_t/2 - X_{s2}) + 2\,h_1 \operatorname{cotg} 75^\circ$$

Fórmulas en las que se tiene:

b *anchura, en cm, de cualquiera de las dos cargas equivalentes en el caso de vía centrada.*

b_1 y b_2 *anchura, en cm, de las dos cargas equivalentes en el caso de vía excéntrica.*

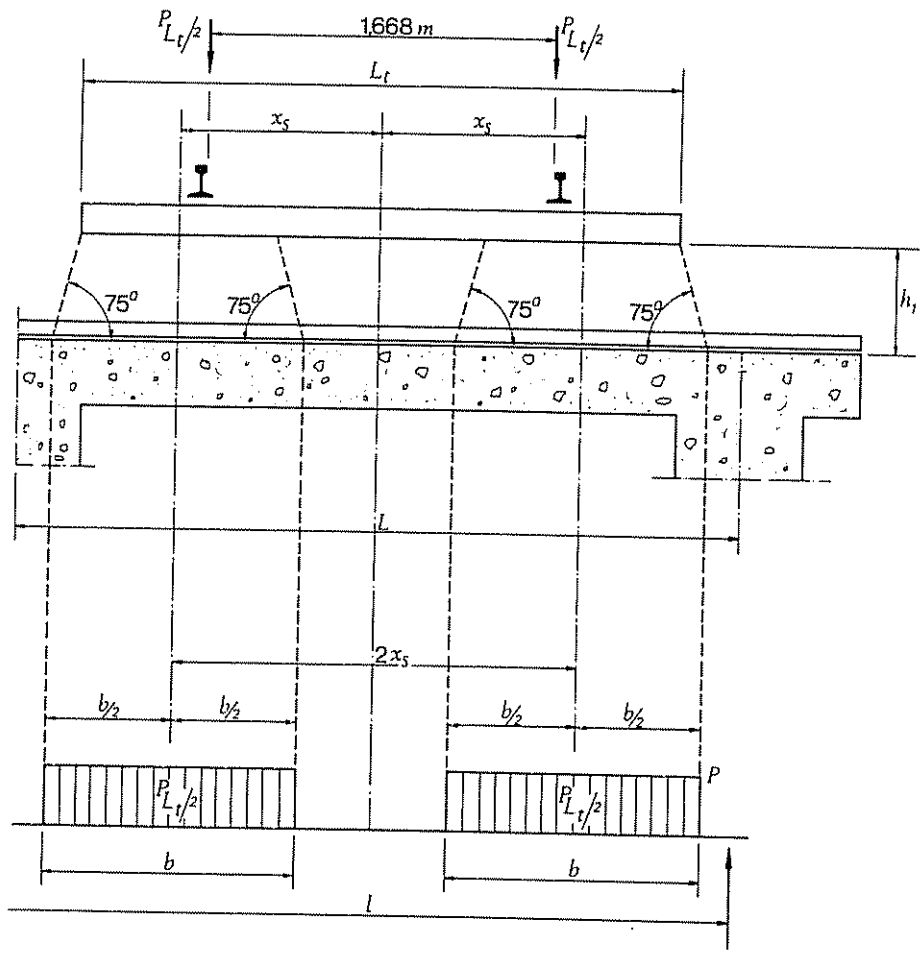


Fig. 4.2.1.3a (Comentarios)

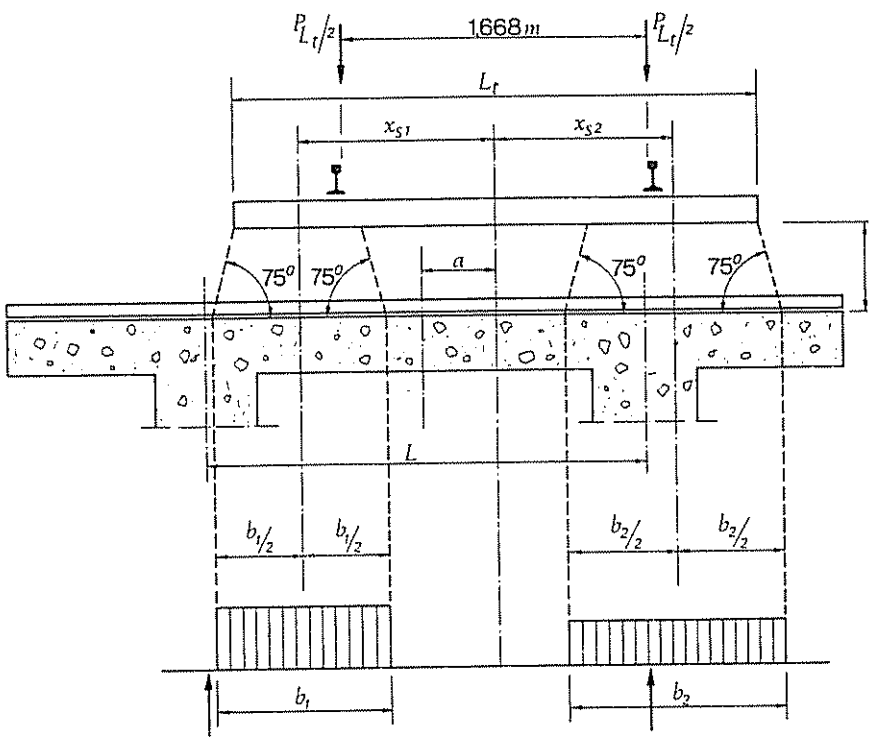


Fig. 4.2.1.3b (Comentarios)

L_t *longitud, en cm, de la traviesa.*
X_s *distancia, en cm, del centro de gravedad de la carga rectangular al eje de la vía, según la figura 4.2.1 3a (Comentarios) en el caso de vía centrada.*
X_{s1} y X_{s2} *distancia, en cm, del centro de gravedad de las cargas rectangulares al eje de la vía, según la figura 4.2.1 3b (Comentarios) en el caso de vía excéntrica.*
h_1 *altura, en cm, entre la cara inferior de la traviesa y la superior de la losa.*
a *excentricidad, en cm, de la traviesa.*

Para estimar la distancia del centro de gravedad de la carga rectangular al eje de la vía, en el caso de vía centrada (esto es, X_s), se adoptarán los siguientes valores en función de la distancia L entre ejes de nervios de apoyo (supuesto espesor de balasto bajo traviesa, de 30 cm).

Para L = 170 cm $X_s = 85$ *cm*
Para L = 200 cm $X_s = 90$ *cm.*
Para L = 250 cm $X_s = 93$ *cm.*
Para L = 300 cm $X_s = 95$ *cm.*

Para distancias L intermedias, puede interpolarse linealmente entre los valores expresados.

En el caso de vía excéntrica, las distancias X_{s1} y X_{s2} se estimarán en la forma siguiente:

I) Para el cálculo de la zona comprendida entre los nervios:

$$X_{s1} = X_s - \frac{a}{50}(X_s - X'_s) \text{ para } 170 \text{ cm} \leqslant L \leqslant 250 \text{ cm}$$

$$X_{s1} = X_s \text{ para } 250 \text{ cm} \leqslant L \leqslant 300 \text{ cm}$$

$$X_{s2} = X_s - \frac{a}{50}(X_s - X''_s) \text{ para } 170 \text{ cm} \leqslant L \leqslant 300 \text{ cm}$$

Los valores X'_s y X''_s se tomarán de entre los siguientes:

Para L = 170 cm	$X'_s = 80$ *cm*	$X''_s = 70$ *cm.*
Para L = 200 cm	$X'_s = 85$ *cm*	$X''_s = 75$ *cm.*
Para L = 250 cm	$X'_s = 85$ *cm*	$X''_s = 80$ *cm.*
Para L = 300 cm	$X'_s = 85$ *cm*	$X''_s = 85$ *cm.*

II) Para el cálculo de la zona de la losa fuera de los nervios (en voladizo):

$X_{s2} = X_s$ *para 170 cm* $\leqslant L \leqslant$ *300 cm.*

4.2.1.4. *Impacto.*

En la fórmula que se propone para luces superiores a 6 m intervienen los tres parámetros fundamentales de que depende el coeficiente de impacto:

v *velocidad de paso del tren.*
L *luz del elemento en estudio.*
T *período fundamental de vibración del elemento cargado.*

Coeficiente de impacto en puentes de un vano simplemente apoyado (flecha máxima L/1000) para ferrocarriles.

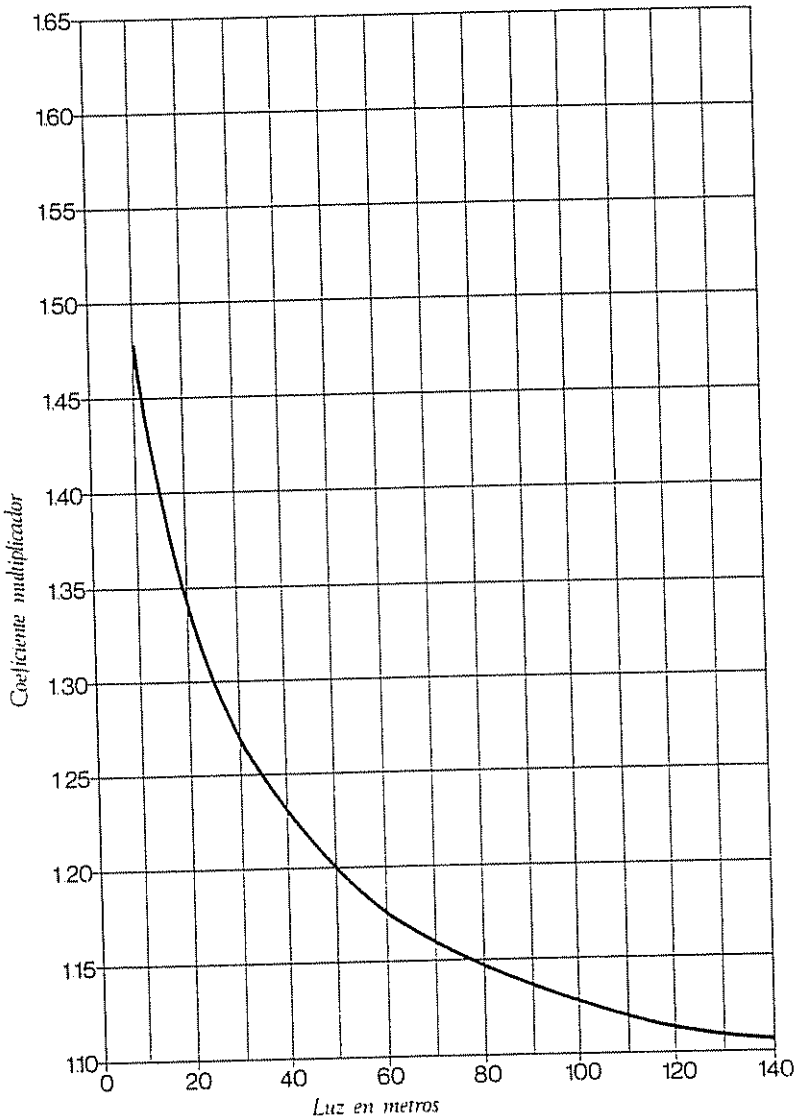


Fig. 4.2.1.4 (Comentarios)

Se ha preferido mantener todos los términos de la fórmula que, de este modo, permite analizar la situación real.

Su fijación se ha conseguido mediante un estudio estadístico, tanto de los resultados de los ensayos como de los parámetros significativos para los mismos. De todos modos más que representar el fenómeno físico supone una cota inalcanzada de ensayos reales con puentes en buenas condiciones de funcionamiento.

Tradicionalmente se ha utilizado la luz como única variable independiente. Queda clara, sin embargo, la necesidad de introducir la frecuencia, característica del sistema estructural empleado, para no coartar la libertad del proyectista con soluciones esterotipadas.

Respecto a la velocidad, siempre se puede quedar del lado de la seguridad empleando un valor máximo. Sin embargo, dada la especialización de líneas a que se tiende, creemos interesante mantener dicha variable en la fórmula con un valor máximo de 200 km/h.

A efectos de simplificación operativa, en las vigas simplemente apoyadas, se puede utilizar el gráfico de la figura 4.2.1.4 (Comentarios) preparado para $v = 200$ km/h y período correspondiente a una flecha en el centro de una milésima de la luz. Se trata de sustituir el empleo de la fórmula incluida en el texto 4.2.1.4, apartado 2.° a), por su representación gráfica.

4.2.1.5. *Reducción de sobrecarga en puentes de vías múltiples.*

Responde este artículo a la posibilidad de disminuir la sobrecarga teórica teniendo en cuenta la pequeña probabilidad de coincidencia de varios tipos de sobrecarga.

El proyectista deberá estudiar las distintas combinaciones de estas cargas en todas las situaciones posibles.

4.2.1.6. *Frenado y arranque.*

4.2.1.7. *Fuerza centrífuga*

4.2.1.8. *Efecto de lazo*

4.2.1.9. *Ripado.*

4.2.1.10. *Empuje sobre barandillas.*

El esfuerzo sobre barandillas se debe principalmente al empuje que podría producirse por la aglomeración de personas y de ahí su simultaneidad con la sobrecarga uniforme sobre paseos.

En el caso de paseos de poca anchura, tales como los de servicio, dicho esfuerzo podría lógicamente disminuirse; pero por sencillez y escasa repercusión en la estructura se ha preferido mantener invariable este esfuerzo en relación con el ancho del paseo.

4.2.2. *Sobrecargas fijas de uso.*

En ocasiones es obligado prever otras sobrecargas de uso tales como las indicadas.

La magnitud y posición de estas acciones es muy variable, por lo que en realidad solo se recuerda la posibilidad de actuación de las mismas, que en general, tendrán carácter de sobrecargas.

4.2.3. *Sobrecargas climáticas.*

4.2.3.1. *Viento.*

a) En caso de que el puente esté situado próximo al mar se supondrá para estimar la acción del viento que el nivel del terreno es el que corresponde a la bajamar viva equinoccial.

Para puentes situados en alta montaña o en lugares de altura considerable sobre el nivel del mar el proyectista deberá estudiar y justificar la acción del viento en dicho lugar sin aplicar los criterios expuestos.

En general, los coeficientes y valores dados corresponden sensiblemente a presiones ejercidas sobre elementos rectangulares de superficies planas perpendiculares a la dirección del empuje del viento.

Por esta razón, se autoriza al proyectista a emplear otros valores cuando la forma de la superficie difiera sensiblemente de las citadas

b) Se define una presión básica horizontal, general para todos los elementos de la estructura (tablero, pilas, etc.) cuyo valor mínimo es de 200 kp/m².

Para el cálculo del empuje, se tienen en cuenta las superficies expuestas al viento y las que quedan ocultas, éstas afectadas de un coeficiente que depende de la relación de distancias entre las superficies y su dimensión transversal, así como el valor del coeficiente λ definido al valorar la presión del viento sobre el elemento o parte de la estructura en estudio.

c) Cuando se considera la actuación simultánea de los trenes tipo y del viento se hace preciso limitar los empujes y las cargas para tener en cuenta el posible vuelco del tren.

Con objeto de simplificar los cálculos a la vista de todas las posibles combinaciones de valores de empujes de viento y cargas del tren tipo, se estima suficiente, salvo casos especiales en los que puede realizarse un estudio más detallado, tener en cuenta solo las dos hipótesis del articulado: la primera con el valor máximo de empuje de viento y una sobrecarga uniforme debida al tren, que no puede ser inferior al valor indicado, y la segunda con la sobrecarga uniforme mínima del tren y el máximo viento compatible con la citada sobrecarga.

4.2.3.2. *Nieve.*

4.2.4. *Sobrecargas debidas al agua.*

Se consideran las tres causas más frecuentes de acciones debidas al agua:

a) Presión hidrostática de agua en reposo, como puede ser el caso de una pila hueca sumergida cuyas paredes estén sometidas a dicha presión.

b) Subpresión. acción a tener en cuenta en los elementos o partes de la obra que puedan estar sumergidos.

Este fenómeno puede ser importante en la comprobación de la estabilidad del total o parte de la obra.

c) Empuje debido a corrientes de agua y arrastres, o acción combinada de la presión hidrodinámica y de otros materiales sueltos que pueden actuar sobre partes de la obra; por ejemplo, sobre las pilas.

En los casos enumerados a continuación, los valores de λ_s a adoptar en la fórmula del empuje son los siguientes:

Superficie en ángulo $< 30°$	$\lambda_s = 27$
Superficie circular	$\lambda_s = 35$
Superficie con esquinas en ángulo recto	$\lambda_s = 73$

4.2.5. *Sobrecargas del terreno.*

Los empujes del terreno deberán reducirse mediante el drenaje adecuado y completo de los materiales de relleno que soporte la estructura de contención. Este drenaje podrá realizarse por medio de drenes de piedra partida, grava, tuberías del hormigón poroso u otros materiales de eficacia comprobada.

4.2.6. *Sobrecargas accidentales. Choques.*

La posibilidad de choque contra un elemento de la estructura y los graves daños que pueden ocasionarse obligan a la consideración de estas acciones. En todo caso son acciones de carácter accidental, por lo que debe tenerse en cuenta una disminución sensible del coeficiente de seguridad, según se indica en 5.5.

4.2.6.1. *Choque de vehículos de carretera contra el puente.*

Se refiere al posible choque de vehículos contra elementos estructurales, principalmente pilas, como es el caso de un cruce de puente de ferrocarril sobre carretera.

Los esfuerzos indicados equivalen en cierta forma a las acciones dinámicas reales del choque directo de un vehículo relativamente pesado directamente contra el elemento considerado y es, por tanto, válido solo para dicho elemento. Su repercusión en otras zonas de la estructura, tales como el cimiento de una pila, requiere una consideración particular en cada caso que depende del cimiento y del tipo de terreno en que se encuentre.

Tanto como la resistencia del conjunto, interesa una disposición adecuada de los elementos estructurales para resistir la acción local de dichos esfuerzos.

El número de accidentes disminuye notablemente a medida que es mayor la separación de un obstáculo a la calzada por donde discurre el tráfico. A una distancia de 10 m la probabilidad de accidente es casi nula.

Puede considerarse como protección adecuada la que ofrecen las barreras flexibles, situadas a distancia superior a 1 m del elemento estructural, las barreras de tipo rígido de hormigón, o la existencia de grandes cunetas, entre otras.

4.2.6.2. *Choque de embarcaciones contra el puente.*

El caso de posible choque de embarcaciones resulta de una gran variedad y no es posible indicar valores generales de las acciones que pueden producirse.

En la mayoría de los casos habrá que considerar la necesidad de disponer defensas que impidan o reduzcan el efecto de la posible colisión.

La importancia económica de la estructura y la intensidad y magnitud de la navegación, así como las condiciones meteorológicas del emplazamiento serán factores a tener en cuenta en las medidas a adoptar.

4.3. *Acciones indirectas.*

4.3.1. *Pretensado.*

Se recuerdan aquí las acciones debidas al pretensado, denominación general que incluye los distintos tipos de pretensado ordinario por alambre y cables, aplicación de gatos o cargas provisionales, modificaciones de apoyos, empleo de cementos expansivos, etc., cuya característica general es la introducción de deformaciones en la estructura.

4.3.2. *Reológicas.*

4.3.2.1. *Esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia del hormigón.*

Los esfuerzos debidos a deformaciones por fluencia bajo carga pueden ser particularmente importantes en las estructuras de hormigón pretensado, dependiendo su valor de numerosos factores y variando con el tiempo.

4.3.2.2. *Esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón*

Los esfuerzos debidos a deformaciones por retracción del hormigón pueden ser particularmente importantes en aquellas partes de la estructura cuyo libre movimiento esté impedido o coartado de alguna manera.

4.3.3. *Térmicas.*

El coeficiente 10^{-6} es aplicable a elementos estructurales de hormigón armado o pretensado en conjunto, sin que sea necesario tomar $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ para las armaduras.

4.3.3.1 *Elementos metálicos.*

La variación de temperatura debida a la acción directa del sol puede suponerse lineal, debido a la gran conductibilidad térmica del acero. El efecto sobre una pieza recta isostática, por ejemplo, es el de darle una curvatura constante, sin variación de la longitud de la fibra media.

Se da el caso de elementos protegidos de forma diferente; por ejemplo, en un arco atirantado en el que el tirante esté por debajo de una losa.

4.3.3.2. *Elementos de hormigón.*

La consideración de diferentes temperaturas en elementos de una misma estructura con diferente exposición a la acción solar se refiere, por ejemplo, al caso de un arco atirantado cuyo tirante de hormigón, al igual que el arco, esté protegido del soleamiento. En este caso hay que estudiar los efectos de un incremento uniforme de temperatura media del arco de 5° C. respecto a la del tirante.

Si, por otra parte, ambos elementos son de espesores muy diferentes, la temperatura media de ambos diferirá según lo indicado.

4.3.3.3. *Elementos mixtos.*

El valor del espesor ficticio se ha definido en 4.3.3.2.

Si no se hace un estudio detallado del gradiente térmico real, podrá suponerse para el mismo el indicado en la figura 4.3.3.3 (Comentarios) que es el que produce efectos más desfavorables.

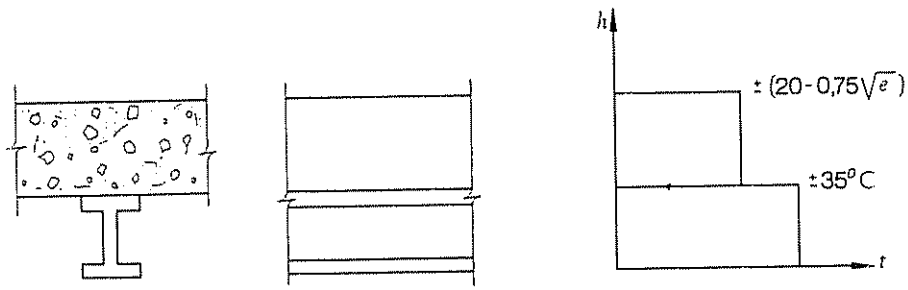


Fig. 4.3.3.3 (Comentarios)

4.3.4. *Por asientos.*

Se considera especialmente el caso de estructuras hiperestáticas por ser el de mayor interés desde el punto de vista resistente.

En general, el cálculo de los posibles movimientos del terreno deberá hacerse considerando las características propias del mismo y el modo en que se transmiten las acciones. Dichos movimientos no suelen introducir acciones importantes o alterar el valor de las existentes en las estructuras isostáticas, aunque pueden llegar a ocasionar, por ejemplo, desnivelaciones o faltas de continuidad que en el aspecto resistente no es necesario considerar.

4.3.5. *Sísmicas.*

4.4. *Acciones durante la construcción.*

4.5. *Otras acciones.*

4.5.1. *Dispositivos de apoyo.*

Se recuerda la necesidad del conocimiento de las características de los dispositivos de apoyo para la correcta valoración de los esfuerzos a que puede dar lugar el empleo de tales dispositivos. En el caso, por ejemplo, de dispositivos de apoyo móviles, los esfuerzos debidos a rozamiento podrán obtenerse a partir de la resultante de las cargas permanentes multiplicándolas por un coeficiente cuyos valores pueden aproximarse a los siguientes:

Apoyos de rodillos	0,03
Apoyos de teflón	0,03
Apoyos deslizantes de acero-acero engrasados	0,20

Se supone siempre, al aceptar los valores de dichos coeficientes o los que, con las debidas garantías, suministran los fabricantes, una correcta ejecución y protección de los dispositivos de apoyo.

5. *BASES DE CALCULO*

El criterio de combinación de acciones se hará en la idea de posibilidad de actuación simultánea de las diferentes cargas actuantes. Se recuerda que, para la hipótesis II, el cálculo se desarrollará teniendo en cuenta los efectos de la fuerza centrífuga y frenado correspondientes al tren de cargas.

Las comprobaciones a realizar cuando se estudien los efectos de acciones excepcionales en relación con los estados límites de servicio serán diferentes según sea el material constitutivo de la estructura. Por ejemplo, si el material es hormigón, será necesario comprobar, a efectos del estado límite de fisuración controlada, que al desaparecer la acción excepcional considerada, la fisuración remanente producida no entraña dificultades de tipo funcional o peligro para la durabilidad de la construcción. En el caso de estructuras metálicas, habrá que considerar, principalmente, los efectos originados por las posibles deformaciones remanentes en el comportamiento futuro de la estructura.

6. *PRUEBAS DE CARGA*

El objeto de las pruebas de carga es controlar la adecuada concepción y la buena ejecución de las obras mediante el examen de su comportamiento bajo las cargas de explotación.

Al redactar el proyecto se tiene conocimiento exacto de las partes de la obra solicitadas de manera más desfavorable. Debe ser entonces cuando el proyectista fijará la composición aproximada del tren de cargas para las pruebas, su posición en las diferentes fases de la misma, las medidas a efectuar y los resultados esperados.

3. Piezas sometidas a compresión

3.1. Clases de piezas

3.2. Espesores mínimos de las piezas comprimidas

3.3. Piezas simples de directriz recta sometidas a compresión

3.4. Pandeo de arcos

3.5. Pandeo espacial

3.6. Compresión excéntrica

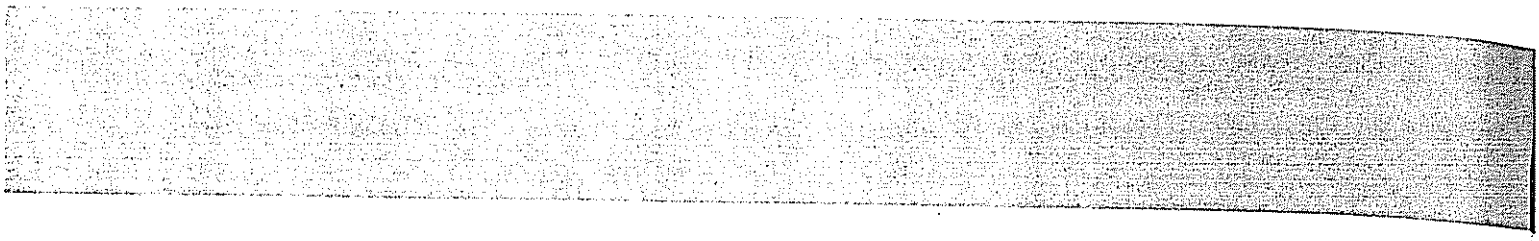
3.7. Piezas compuestas de directriz recta, sometidas a compresión

Tablas:

3.8. Magnitudes características de la torsión

3.9. Solicitaciones de agotamiento

Apéndice I. Longitud de pandeo en pórticos con pilares de sección variable por escalones



3. PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESION

En este capítulo se estudian las piezas o barras sometidas a compresión. El capítulo consta de dos partes:

La primera es una exposición teórica que sigue en líneas generales la Norma Básica MV-103, comentando o ampliando el contenido de sus artículos, habida cuenta que la Norma se limita a las estructuras de edificación y el carácter forzosamente más general que se pretende dar al Prontuario.

En la segunda parte se recogen una serie de tablas, que pueden ser útiles al proyectista en los casos prácticos. Las tablas se adaptan a las prescripciones de la Norma y por tanto están basadas en el cálculo en agotamiento partiendo de valores ponderados de las acciones.

Intercalados en el texto se recogen una serie de ejemplos de aplicación tanto de la teoría expuesta en la primera parte, como de las tablas que componen la segunda parte.

3.1 CLASES DE PIEZAS

La Norma Básica MV-103 establece la diferenciación entre piezas simples y compuestas en los artículos 3.1.1 y 3.1.2, que transcribimos [1]:

> 3.1.1. *Piezas simples.*
>
> *Son las piezas constituidas por:*
>
> *a) Un solo perfil.*
>
> *b) Perfiles y/o chapas yuxtapuestas (figura 3.1), unidos entre sí mediante roblones o tornillos, a distancias* s *que cumplan las condiciones (Norma MV-104, artículo 2.2):*
>
> $$s \leqslant 8\,a \qquad\qquad s \leqslant 15\,e$$
>
> *siendo* a *el diámetro del agujero y* e *el mínimo espesor de las piezas unidas; o mediante sol-*

[1] Las figuras insertas en la Norma se reproducen en [3.1] y [3.2].

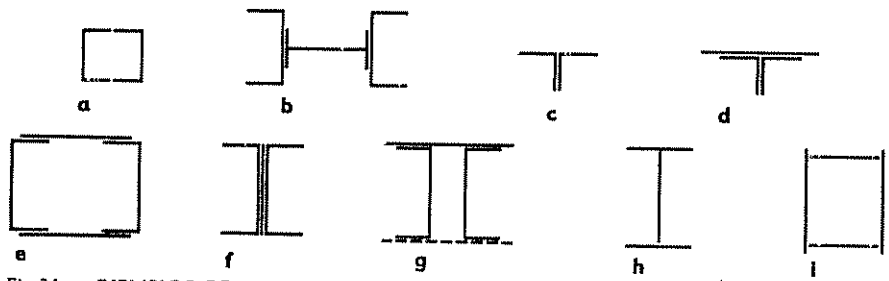


Fig.3.1 *EJEMPLOS DE PIEZAS SIMPLES CONSTRUIDAS POR PERFILES Y / O CHAPAS YUXTAPUESTAS*

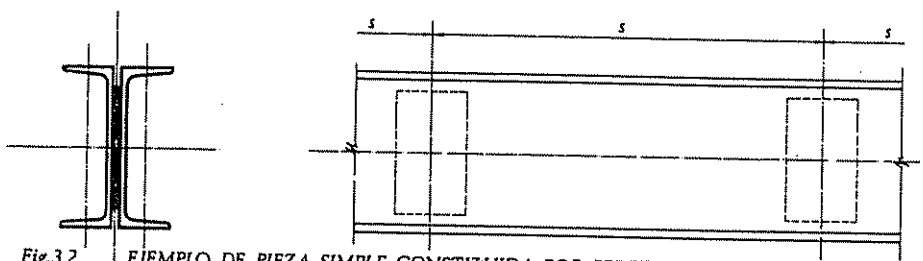


Fig.3.2 *EJEMPLO DE PIEZA SIMPLE CONSTITUIDA POR PERFILES Y FORRO DISCONTINUO DE CHAPA*

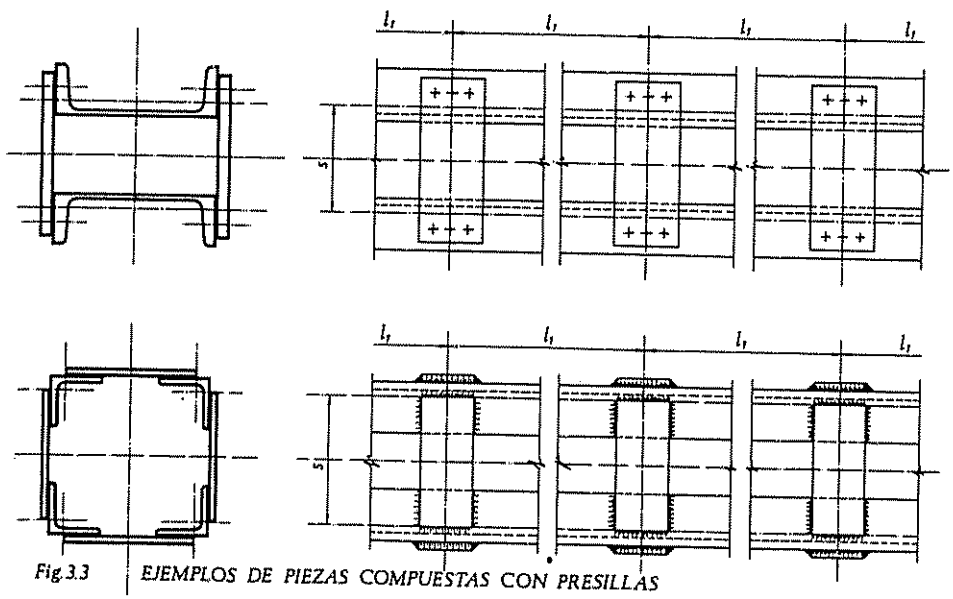
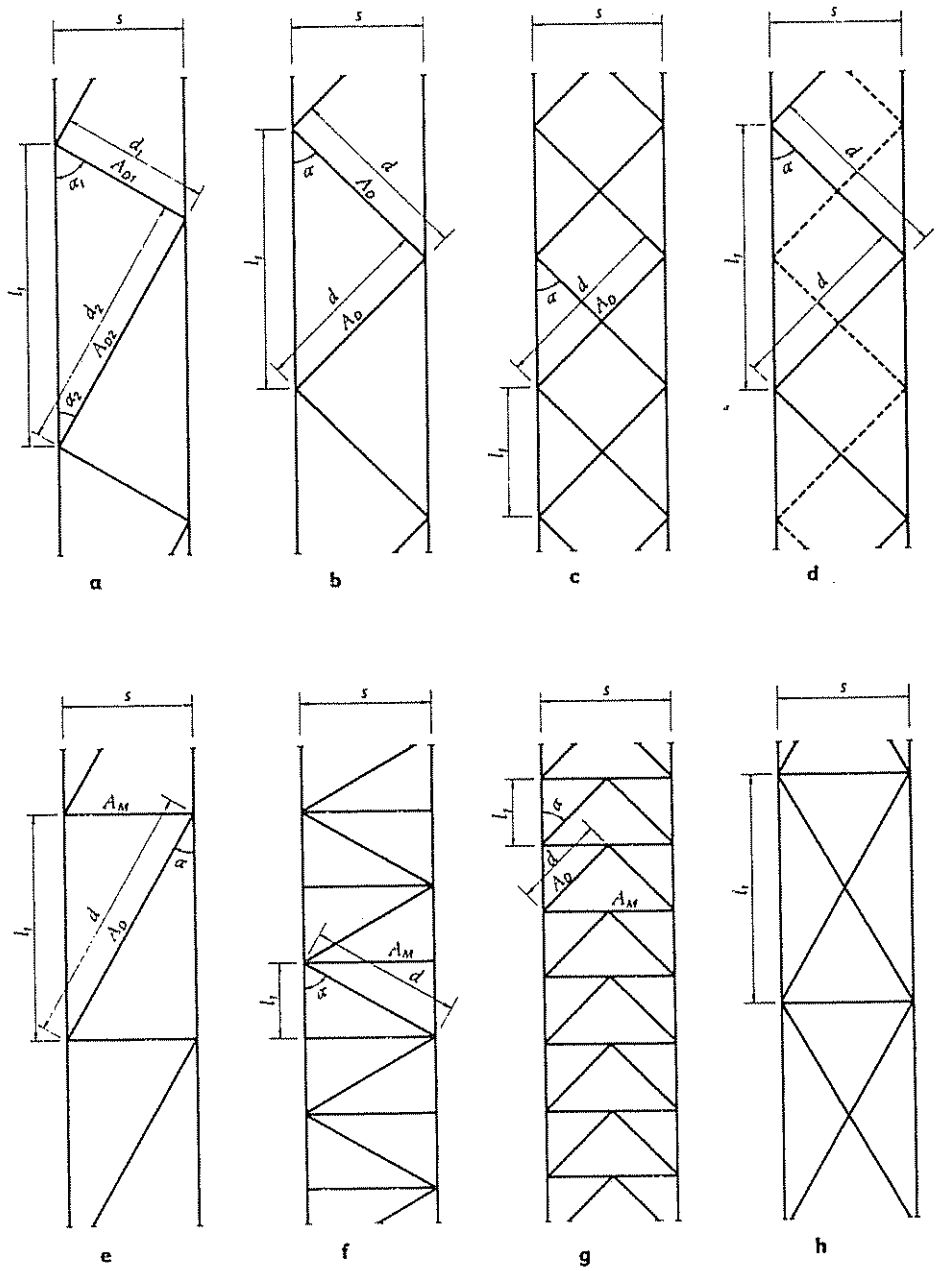


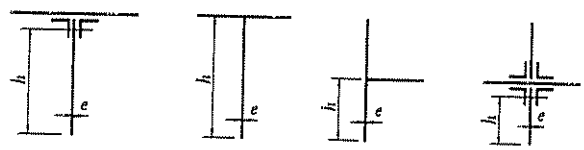
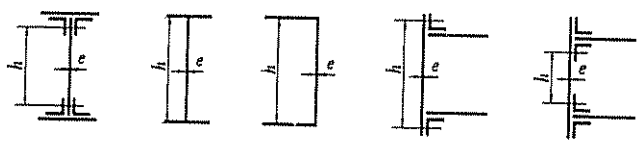
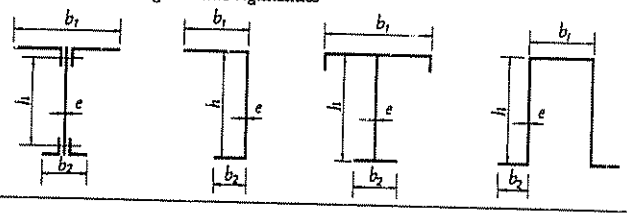
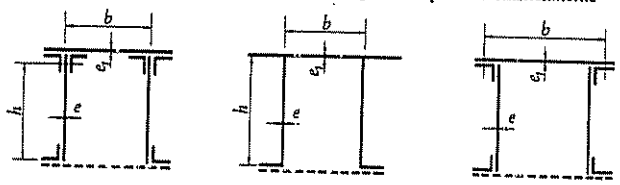
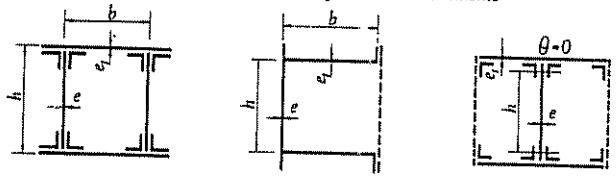
Fig.3.3 *EJEMPLOS DE PIEZAS COMPUESTAS CON PRESILLAS*

[3.1]



[3.2]

LIMITE DE ESPESOR EN PIEZAS COMPRIMIDAS

Elementos planos de las piezas	*Coeficiente η para piezas de esbeltez mecánica λ*	
1 Con un borde no rigidizado 	$\lambda \leq 75$	15
	$\lambda > 75$	$0{,}2\lambda$
2 Con dos bordes igualmente rigidizados 	$\lambda \leq 75$	45
	$\lambda > 75$	$0{,}6\lambda$
3 Con dos bordes desigualmente rigidizados 	$\lambda \leq 75$	$15 + 30\sqrt{\frac{b_2}{b_1}}$
	$\lambda > 75$	$(0{,}2 + 0{,}4\sqrt{\frac{b_2}{b_1}})\,\lambda$
4 En secciones cajón, con un borde arriostrado y otro empotrado elásticamente 	$\lambda \leq 75$	$52{,}5 - 7{,}5\theta^2$ siendo $\theta = \frac{b e}{h e_1} \geq 1$
	$\lambda > 75$	$(0{,}7 - 0{,}1\,\theta^2)\lambda$ siendo $\theta = \frac{b e}{h e_1} \geq 1$
5. En secciones cajón, con ambos bordes empotrados elásticamente 	$\lambda \leq 75$	$60 - 15\,\theta^2$ siendo $\theta = \frac{b e}{h e_1} \geq 1$
	$\lambda > 75$	$(0{,}8 - 0{,}2\,\theta^2)\lambda$ siendo $\theta = \frac{b e}{h e_1} \geq 1$

[3.3]

dadura continua, o discontinua a separaciones s *cumpliendo la condición (Norma MV-104. artículo 3 3 2):*

$$s \leqslant 15\,e \qquad\qquad s \leqslant 300 \text{ mm}$$

c) *Perfiles con forro discontinuo de chapa (figura 3.2) con uniones mediante roblones, tornillos o soldadura, a distancias* s *que cumplan la condición:*

$$s \leqslant 15\,i$$

siendo i *el radio de giro mínimo de los perfiles.*

3.1.2. *Piezas compuestas.*

Son las piezas constituidas por dos o más cordones longitudinales enlazados entre sí

Cada cordón tendrá la constitución de una pieza simple. Los elementos de enlace pueden ser:

PRESILLAS, o sea, chapas o perfiles, resistentes a flexión y con unión rígida a los cordones (figura 3.3).

CELOSÍA, o sea, red triangular formada por diagonales o montantes y diagonales. Los principales esquemas de las piezas con celosía se describen en la figura 3.4

3.2. ESPESORES MINIMOS DE LAS PIEZAS COMPRIMIDAS

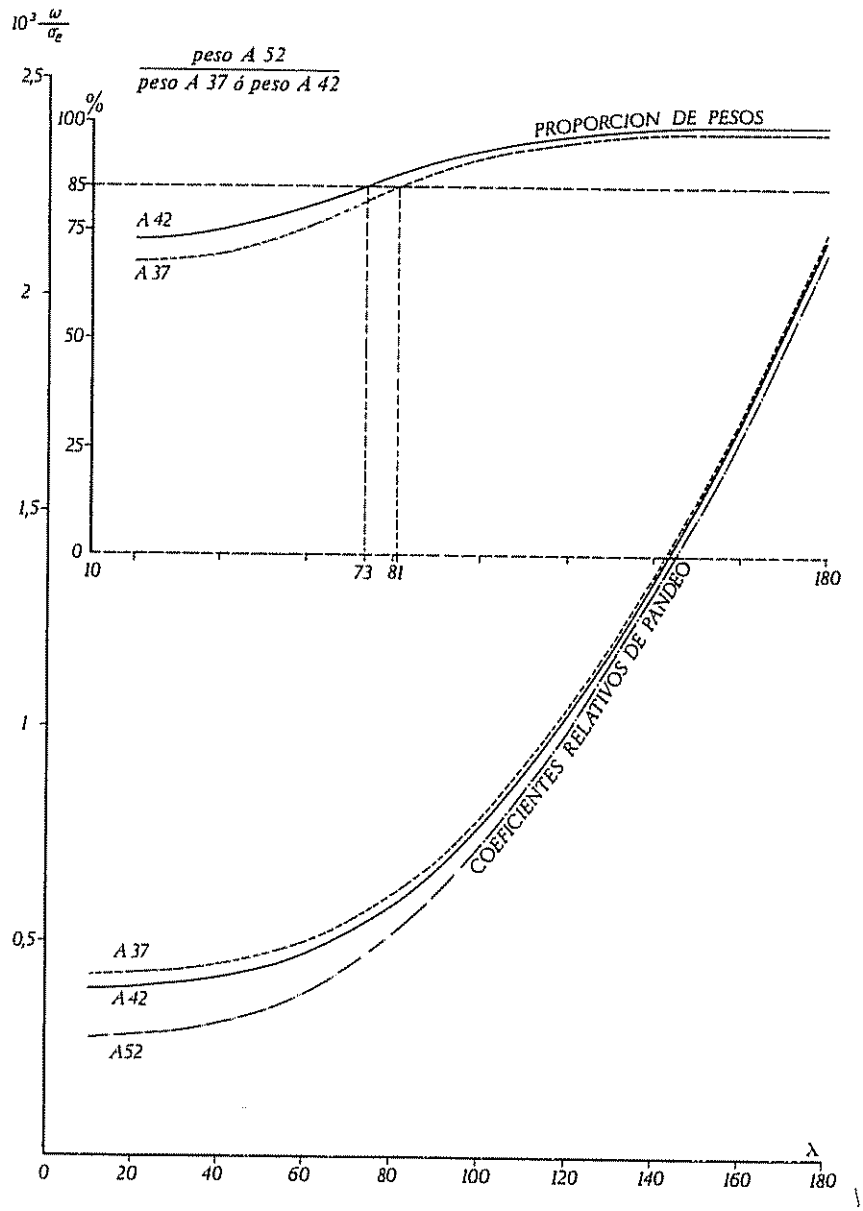
Independientemente del pandeo de la pieza como conjunto es preciso evitar el pandeo local de los elementos integrantes de la sección (alma, alas...). Para ello la Norma Básica MV-103 fija unos límites de espesor para los elementos planos constituyentes, según la fórmula:

$$\frac{h}{e} \leqslant \eta \sqrt{\frac{2\,400}{\sigma_u}}$$

σ_u Resistencia de cálculo del acero, definida en el artículo 2.7 de la Norma Básica MV-103.

η Coeficiente cuyos valores figuran en [3.3].

INFLUENCIA DEL TIPO DE ACERO EN EL PANDEO



[3.4]

Si los elementos planos constituyentes de la sección cumplen la condición anterior, no es preciso hacer ninguna comprobación de pandeo local. Todos los perfiles laminados actualmente cumplen con esta condición [1] y por tanto, no es necesaria su comprobación.

3.3. PIEZAS SIMPLES DE DIRECTRIZ RECTA SOMETIDAS A COMPRESION

El cálculo de una pieza recta sometida a compresión se realiza partiendo del caso fundamental correspondiente a la barra biarticulada de sección simple y constante, sometida a compresión centrada por dos cargas de dirección invariable que actúan en sus extremos, los cuales tienen impedidos sus corrimientos en dirección perpendicular a la directriz. La pieza tiene además una sección con la suficiente rigidez torsional, para que no sea de temer el pandeo por torsión.

En este caso fundamental el esfuerzo normal ponderado N^* se sustituye por un esfuerzo normal ficticio $N^*\omega$, reduciéndose la comprobación de la pieza a la verificación de la condición

$$\frac{N^*\omega}{A} \leqslant \sigma_u$$

siendo A la sección bruta de la pieza.

El valor de $\omega = \frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}}$, es función de la esbeltez mecánica de la pieza y para su determinación experimental se parte de ciertas hipótesis básicas.

La tabla de valores de la Norma DIN 4114 parte del concepto de excentricidad inevitable. Con ello el problema de bifurcación de equilibrio se convierte en uno de resistencia, definiéndose el agotamiento de la sección cuando se verifica una plastificación parcial determinada, función de la esbeltez. La Norma Básica MV-103 ha adoptado los valores ω de la Instrucción francesa, su deducción, según el método DUTHEIL, parte de la hipótesis de defectos del material, cuya consideración se introduce mediante una curvatura inicial. Los valores de ω de ambas tablas, son muy análogos. Solo en la zona de esbelteces entre 100 y 130, existe una pequeña discrepancia entre los valores correspondientes.

---

[1] Esta afirmación es cierta para todas las series de perfiles normalizados en aceros A 37 y A 42. Para el acero A52 no la cumplen los valores altos (IPE 360 a IPE 600) de la serie IPE, ni el perfil HEA 600, así como los angulares aligerados según la Norma UNE 36-531-72.

COEFICIENTES DE PANDEO DEL ACERO

Tipo de acero	λ	Coeficiente ω de pandeo, función de la esbeltez $\lambda = \frac{l_k}{i}$									
		λ +									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 37	20	1 01	1 02	1 02	1 02	1 02	1 02	1 02	1 03	1 03	1 03
	30	1,03	1 04	1 04	1 04	1 05	1 05	1 05	1 06	1 06	1 06
	40	1 07	1 07	1 08	1 08	1 08	1 09	1 09	1 10	1 10	1 11
	50	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18
	60	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29
	70	1,30	1,31	1,33	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44
	80	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63
	90	1,65	1,67	1,70	1,72	1,74	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87
	100	1,89	1,92	1,95	1,97	2,00	2,03	2,06	2,09	2,12	2,15
	110	2,18	2,21	2,24	2,27	2,30	2,33	2,37	2,40	2,43	2,47
	120	2,50	2,53	2,57	2,60	2,64	2,68	2,71	2,75	2,78	2,82
	130	2,86	2,90	2,94	2,97	3,01	3,05	3,09	3,13	3,17	3,21
	140	3,25	3,29	3,33	3,38	3,42	3,46	3,50	3,55	3,59	3,63
	150	3,68	3,72	3,77	3,81	3,86	3,90	3,95	4,00	4,04	4,09
	160	4,14	4,18	4,23	4,28	4,33	4,38	4,43	4,48	4,53	4,58
	170	4,63	4,68	4,73	4,78	4,83	4,88	4,94	4,99	5,04	5,09
	180	5,15	5,20	5,26	5,31	5,36	5,42	5,48	5,53	5,59	5,64
	190	5,70	5,76	5,81	5,87	5,93	5,99	6,05	6,11	6,16	6,22
	200	6,28	6,34	6,40	6,46	6,53	6,59	6,65	6,71	6,77	6,84
	210	6,90	6,96	7,03	7,09	7,15	7,22	7,28	7,35	7,41	7,48
	220	7,54	7,61	7,67	7,74	7,81	7,88	7,94	8,01	8,08	8,15
	230	8,22	8,29	8,36	8,43	8,49	8,57	8,64	8,71	8,78	8,85
	240	8,92	8,99	9,07	9,14	9,21	9,29	9,36	9,43	9,51	9,58
	250	9,66									
A 42	20	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04
	30	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
	40	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12
	50	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21
	60	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31	1,33
	70	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44	1,46	1,47	1,49
	80	1,51	1,53	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71
	90	1,74	1,76	1,79	1,81	1,84	1,86	1,89	1,92	1,95	1,98
	100	2,01	2,03	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,29
	110	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,49	2,53	2,56	2,60	2,64
	120	2,67	2,71	2,75	2,79	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02
	130	3,06	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,32	3,36	3,40	3,45
	140	3,49	3,54	3,58	3,63	3,67	3,72	3,77	3,81	3,86	3,91
	150	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20	4,25	4,30	4,35	4,40
	160	4,45	4,51	4,56	4,61	4,66	4,72	4,77	4,82	4,88	4,93
	170	4,99	5,04	5,10	5,15	5,21	5,26	5,32	5,38	5,44	5,49
	180	5,55	5,61	5,67	5,73	5,79	5,85	5,91	5,97	6,03	6,09
	190	6,15	6,21	6,27	6,34	6,40	6,46	6,53	6,59	6,65	6,72
	200	6,78	6,85	6,91	6,98	7,05	7,11	7,18	7,25	7,31	7,38
	210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,72	7,79	7,86	7,93	8,01	8,08
	220	8,15	8,22	8,29	8,36	8,44	8,51	8,58	8,66	8,73	8,80
	230	8,88	8,95	9,03	9,11	9,18	9,26	9,33	9,41	9,49	9,57
	240	9,64	9,72	9,80	9,88	9,96	10,04	10,12	10,20	10,28	10,36
	250	10,44									
A 52	20	1 02	1,02	1 03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05
	30	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10	1,10
	40	1 11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19
	50	1,20	1,22	1,23	1,24	1,25	1,27	1,28	1,30	1,31	1,33
	60	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,54
	70	1,56	1,59	1,61	1,64	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81
	80	1,84	1,87	1,90	1,94	1,97	2,01	2,04	2,08	2,11	2,15
	90	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54
	100	2,59	2,63	2,67	2,72	2,76	2,81	2,85	2,90	2,95	2,99
	110	3,04	3,09	3,14	3,19	3,24	3,29	3,34	3,39	3,44	3,49
	120	3,55	3,60	3,65	3,71	3,76	3,82	3,87	3,93	3,98	4,04
	130	4,10	4,16	4,22	4,27	4,33	4,39	4,45	4,52	4,58	4,64
	140	4,70	4,76	4,83	4,89	4,95	5,02	5,08	5,15	5,22	5,28
	150	5,35	5,42	5,48	5,55	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97
	160	6,04	6,12	6,19	6,26	6,34	6,41	6,48	6,56	6,63	6,71
	170	6,79	6,86	6,94	7,02	7,09	7,17	7,25	7,33	7,41	7,49
	180	7,57	7,65	7,73	7,82	7,90	7,98	8,07	8,15	8,24	8,32
	190	8,40	8,49	8,58	8,66	8,75	8,84	8,93	9,02	9,10	9,19
	200	9,28	9,37	9,47	9,56	9,65	9,74	9,83	9,92	10,02	10,11
	210	10,21	10,30	10,40	10,49	10,59	10,69	10,78	10,88	10,98	11,08
	220	11,18	11,27	11,38	11,48	11,57	11,68	11,78	11,88	11,98	12,09
	230	12,19	12,29	12,40	12,50	12,61	12,72	12,82	12,93	13,03	13,14
	240	13,25	13,36	13,47	13,58	13,69	13,80	13,91	14,02	14,13	14,25
	250	14,36									

[3.5]

El valor ω para el caso fundamental, repetimos, depende solo de la curva tensiones-deformaciones del material y de la esbeltez mecánica de la pieza [1], o sea, de la longitud real y del radio de giro mínimo.

Se plantea entonces el problema de la conveniencia del tipo de acero a emplear en piezas comprimidas. Dentro del dominio elástico la carga crítica de la pieza depende de la magnitud y características de la carga y del módulo de elasticidad E del acero y es teóricamente independiente del límite elástico del mismo [2]. En el dominio plástico el estudio se realiza sustituyendo el módulo de elasticidad por el módulo tangente, que depende de la curva tensión-deformación del acero. Para ilustrar estas consideraciones se ha representado en [3.4] la relación ω/σ_e en función de la esbeltez λ de la pieza biarticulada del caso fundamental para los tres tipos de acero A 37, A 42 y A 52.

La sección y, por consiguiente, el peso de la pieza es proporcional a ω/σ_e y, por tanto, el gráfico superior muestra que con esbelteces elevadas no se obtiene ninguna economía en peso con el empleo de aceros de mayor resistencia. Su empleo, en condiciones normales de mercado, solo sería recomendable con economías de al menos un 15 %, que vemos corresponde en la comparación de los aceros A 37 y A 52 a una esbeltez de $\lambda = 81$ y a $\lambda = 73$ si se comparan los aceros A 42 y A 52.

Para el estudio de los casos reales, que difieren del fundamental por alteración de alguna de las hipótesis básicas, se introducen coeficientes correctores que afectan a la longitud de la pieza, a los valores de sus términos de sección o a la esbeltez de la misma.

3.3.1. Piezas de sección constante. Longitud y coeficiente de pandeo.

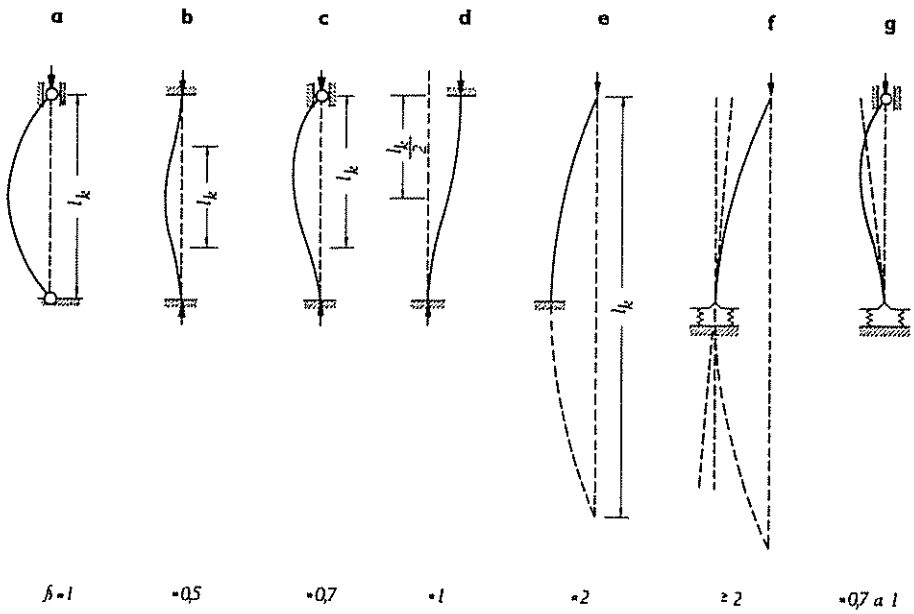
El cálculo a pandeo de estas barras se limita a la verificación de la expresión:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leqslant \sigma_u$$

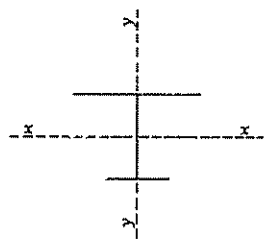
---

[1] Definida en el apartado 3.5.1 de la Norma Básica MV-103.

[2] En el pandeo euleriano $P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{l^2}$ esta afirmación es rigurosamente cierta, no lo es si se utilizan los coeficientes ω, deducidos según la Norma DIN o según DUTHEIL. Sin embargo, la influencia del límite elástico es muy pequeña.



NOTACION



Cuando se estudia el pandeo en el plano y-y (deformada contenida en dicho plano) se utilizan los valores

i_x ; $l_x = \beta_x \, l$; $\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}$ y w_x

Para el pandeo en el plano x-x, los valores correspondientes son:

$i_y \quad l_y \quad \beta_y \quad \lambda_y \quad w_y$

[3.6]

σ_u Resistencia de cálculo del acero.

A Area de la sección bruta de la pieza.

ω Coeficiente de pandeo, función del tipo de acero y de la esbeltez mecánica de la pieza. Los valores en función de la misma se dan en [3.5].

$\lambda = \frac{l_k}{i}$ = Esbeltez mecánica de la pieza.

i Radio de giro de la sección bruto de la pieza respecto al eje de inercia considerado.

l_k Longitud de pandeo, que se determina y define a continuación para diversos casos reales.

La longitud de pandeo se define como la longitud de la pieza prismática del caso fundamental que tiene la misma carga crítica que la pieza real considerada y viene dada por la expresión $l_k = \beta\, l$.

El valor de β en los casos reales depende de las condiciones de vinculación de los extremos de la barra y de la ley de variación de las compresiones a lo largo de su directriz.

3.3 1 1. *Piezas de sección constante con extremos empotrados elásticamente.*

Para las piezas de sección constante sometidas a compresión centrada y uniforme, la Norma Básica MV-103 especifica en su sección 3.4 1 los coeficientes β en función de las condiciones de apoyo en los extremos.

Los casos *a* hasta *e* definidos en la Norma Básica MV-103 se ilustran en [3.6], en la que además se han representado los esquemas *f* y *g* como ejemplos de barras comprimidas con empotramiento elástico. En estos últimos casos el coeficiente de pandeo depende del grado de empotramiento, pero queda entre los límites expresados en la figura.

Existen diversos estudios teóricos para considerar la longitud de pandeo equivalente con condiciones cualesquiera. de vinculación elástica en los apoyos. En la práctica el caso más interesante es el grado de empotramiento elástico, permaneciendo los apoyos inmovilizados respecto a los desplazamientos perpendiculares a la directriz.

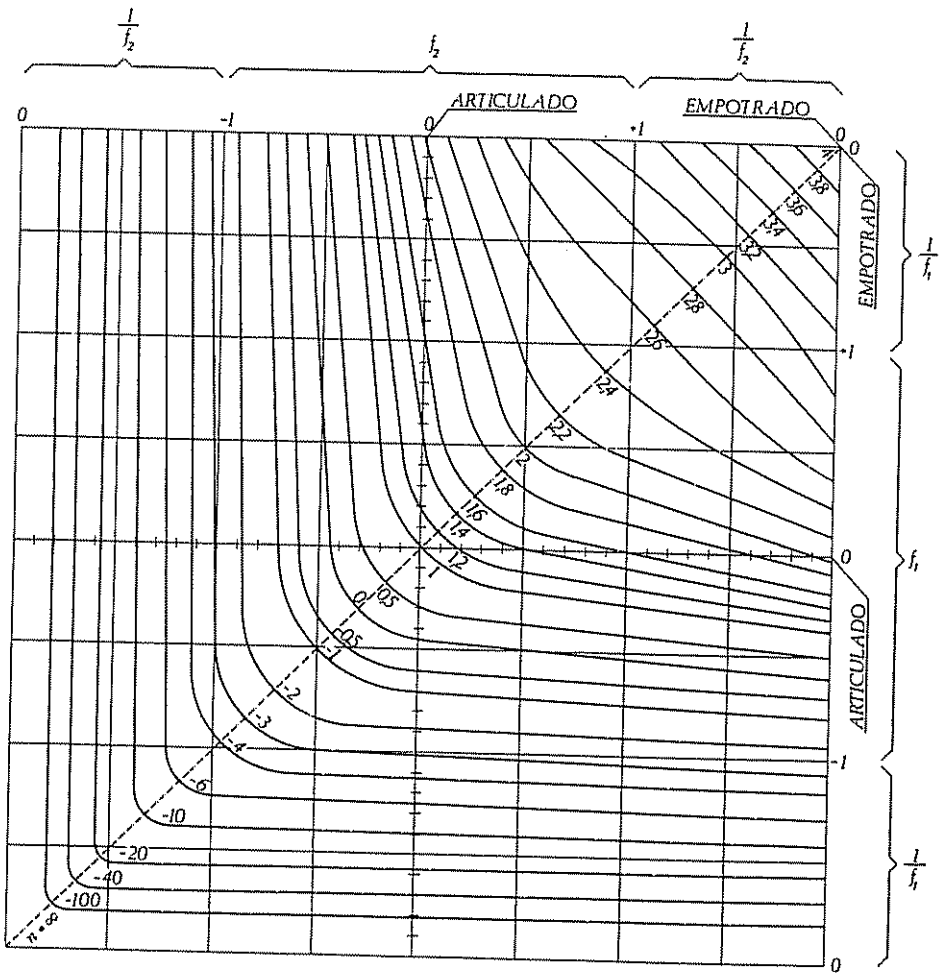
Según el trabajo de DONNELL [1], para una barra apoyada en sus dos extremos con empotramiento variable, puede aplicarse [3.7].

Para su aplicación se ha definido el coeficiente de empotramiento elástico (en cada extremo):

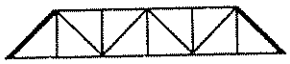
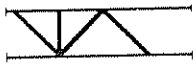
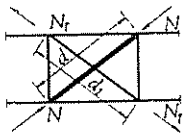
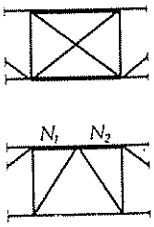
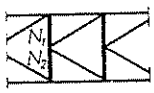
$$f_l = \frac{l}{6{,}5\ \mathrm{E\,I}\ \theta}$$

---

[1] H. DONNELL. *H. Reissner Anniversary Volume*, pp. 183-196.



[3.7]

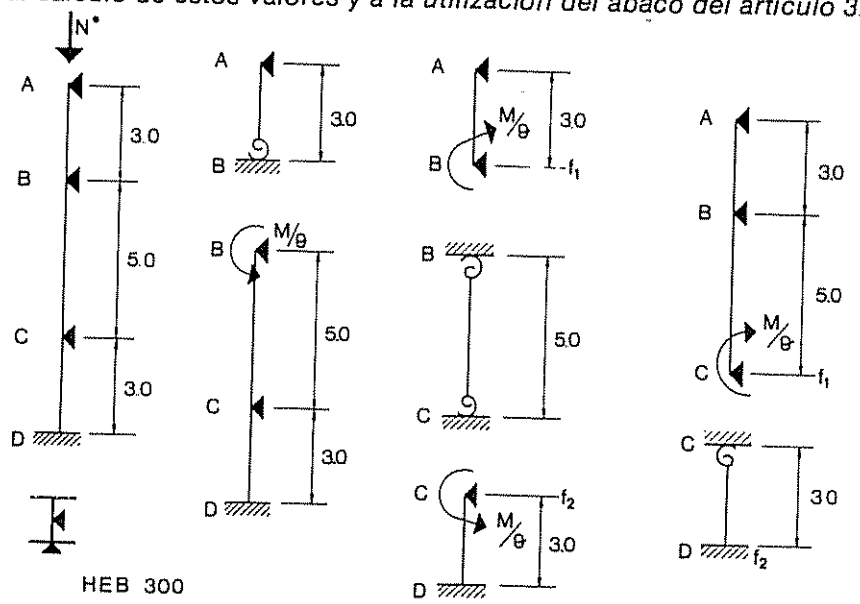
	BARRAS DE ESTRUCTURAS TRIANGULADAS			
	ESQUEMAS		Para pandeo en el plano de la estructura β	Para pandeo en el plano perpendicular al de la estructura
1		Cordón comprimido	1	1
2		Diagonales extremas	1	1
3		Montantes y diagonales	0,8	1
4		Barra que cruza con otra con condiciones de unión	Se considera el punto de cruce como fijo	Cuando la otra diagonal está sometida a tracción $\sqrt{1-0{,}75\frac{N_t}{N}\frac{d}{d_t}} \leq 0{,}5$
5		Cordón con nudo intermedio no inmovilizado con esfuerzos N_1 y N_2 ($N_1 > N_2$) (Se calcula con N_1)	—	$0{,}75 + 0{,}25\frac{N_2}{N_1}$
6		Montantes con esfuerzos (N_1 y N_2) ($N_1 > N_2$) (Se calcula con N_1)	—	$0{,}75 + 0{,}25\frac{N_2}{N_1} \not< 0.5$

(3 8)

[3.8]

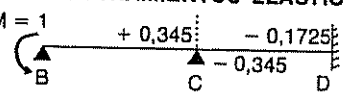
3.3 11. EJEMPLO DE APLICACION

En el caso del pilar con apoyos intermedios, esquematizado, la consideración de los empotramientos elásticos, que proporciona la continuidad, puede reducir las longitudes de pandeo a considerar para el cálculo de cada uno de los tramos parciales.
El empotramiento elástico de cada tramo lo proporciona la deformabilidad de los tramos contiguos, y se mide por el valor M/Θ. El problema se reduce, pues, al cálculo de estos valores y a la utilización del ábaco del artículo 3.311.



CALCULO DE EMPOTRAMIENTOS ELASTICOS:

BARRA AB: Extremo B



$$EI\Theta_B = \frac{L_{BC}(2 - 0{,}345)}{6}$$

$$f_2 = \frac{L_{AC}}{6{,}5\,\dfrac{L_{BC}(2 - 0{,}345)}{6}} = 0{,}3347 \qquad f_1 = 0$$

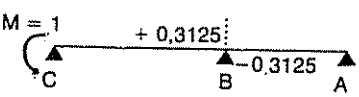
y del ábaco se obtiene:

$$n = 1{,}34 \qquad \beta = \frac{1}{\sqrt{n}} = 0{,}864$$

BARRA BC: Extremo B $EI\Theta_B = \dfrac{L_{AB}}{3}$ Extremo C $EI\Theta_C = \dfrac{L_{CD}}{4}$

$$f_1 = \frac{L_{BC}}{6{,}5\,\dfrac{L_{AB}}{3}} = 0{,}764 \qquad f_2 = \frac{L_{BC}}{6{,}5\,\dfrac{L_{CD}}{4}} = 1{,}026 \qquad n = 2{,}407 \qquad \beta = \frac{1}{\sqrt{n}} = 0{,}645$$

BARRA CD: Extremo C



$$EI\Theta_C = \frac{L_{CB}(2 - 0{,}3125)}{6}$$

$$n = 2{,}64 \qquad \beta = \frac{1}{\sqrt{2{,}64}} = 0{,}615$$

$$f_1 = \frac{L_{CD}}{6{,}5\,\dfrac{L_{CB}(2 - 0{,}3125)}{6}} = 0{,}328$$

$$f_2 = 0$$

siendo:

l Longitud de la barra.

I Momento de inercia respecto al eje principal de la sección transversal, perpendicular al plano de empotramiento que se estudia.

θ Giro del extremo correspondiente bajo la acción de un momento unidad, situado en el mismo extremo.

Este coeficiente toma valores positivos cuando las ligazones exteriores se oponen a la rotación de la barra y valores negativos cuando el giro θ_i de una extremidad tiene por efecto producir en esta extremidad un momento que tiende a incrementar este giro.

Del ábaco se obtiene el valor n a insertar en la fórmula

$$N_{cr} = \frac{n\pi^2 E I}{l^2} = n N_{Euler}$$

Para poder lograr una representación gráfica, entre ± 1 y $\pm \infty$ se usan en el ábaco las variables $1/f_1$ y $1/f_2$, correspondientes respectivamente a los dos extremos de la barra.

Prácticamente los mismos resultados se obtienen aplicando —con las mismas definiciones— la fórmula:

$$n = \frac{1 + 2{,}9\,(f_1 + f_2) + 7{,}2 f_1 f_2}{1 + 1{,}4\,(f_1 + f_2) + 1{,}8 f_1 f_2}$$

Véase ejemplo de aplicación en la página 198.

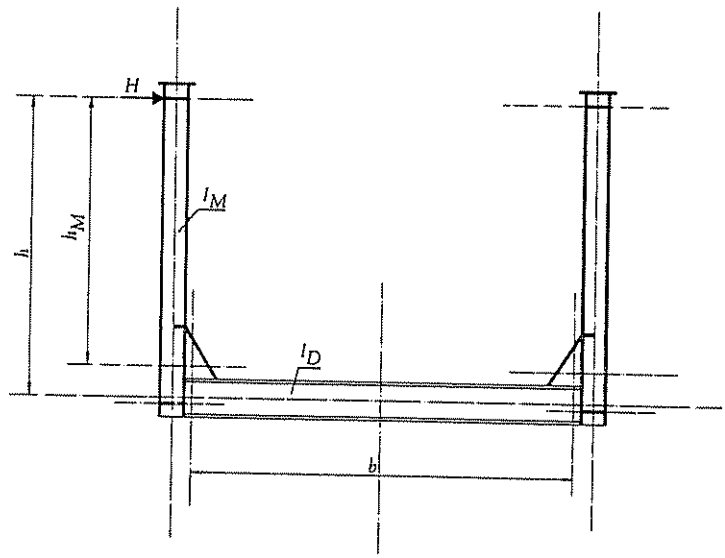
3.3 1 2. *Estructuras trianguladas.*

Para la aplicación de los coeficientes β en las barras de estructuras trianguladas, resumimos en [3.8] las definiciones de la Norma Básica MV-103.

3.3 1 3. *Cordones comprimidos no arriostrados de vigas de celosía.*

En 3.3 1 2 se supone que los nudos de las triangulaciones están inmovilizados para desplazamientos perpendiculares al plano de la celosía.

Sin embargo, existen casos en que esta inmovilización no es posible, como concretamente ocurre en los puentes de tablero inferior [3.10]. En ellos es solución frecuente crear con dos montantes opuestos y la viga correspondiente del tablero un pórtico invertido [3.9] que por la rigidez del empotramiento opone una coacción al desplazamiento transversal de los nudos del cordón superior de la celosía. El estudio de los coeficientes de pandeo de las barras que forman este cordón superior es pues el del pandeo de una barra some-



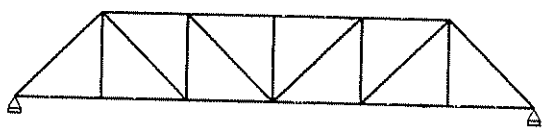
h = altura entre los c.d.g. del cordón superior y del dintel

h_M = altura entre los c.d.g. de la cartela y del cordón superior.

b = distancia entre los centros de gravedad de las cartelas

[3.9]

a



[3.10]

tida a compresión con apoyos elásticos intermedios. La compresión de cada una de las barras individuales es distinta y por tanto en general sus secciones también lo serán. A continuación recopilamos el método descrito en las Normas E.M. 62 y DIN 4114. El método está basado en los estudios teóricos de CHWALLA y SCHIBLER y requiere algunas condiciones para su aplicación.

Se supone que cada una de las barras parciales están trabajando a una misma tensión (inferior a la resistencia de cálculo del acero) y que por tanto podemos expresarla en la forma $\alpha\,\sigma_u$ $(\alpha < 1)$.

También suponemos que los coeficientes β_{yi} que afectan a la longitud de pandeo de cada barra de longitud l_i son tales que su media aritmética es igual o superior a 1,2. (Es pues una condición comprobatoria, ya que los valores de β_{yi}, coeficientes que afectan a la longitud para el pandeo perpendicular al plano de la celosía, no son conocidos.)

Las condiciones impuestas son pues:

$$\frac{A_1}{N^*_1\,\omega_1} = \frac{A_2}{N^*_2\,\omega_2} = \cdots \frac{An}{N^*_n\,\omega_n} = \frac{1}{\alpha\,\sigma_u}$$

$$\beta_{ym} = \frac{\Sigma\,\beta_{yi}}{n} \not< 1{,}2$$

siendo:

N^*_i Fuerza de compresión que actúa en la barra B_i.
ω_i Coeficiente de pandeo de B_i (fuera del plano de la celosía).
A_i Sección de la barra B_i.

Las barras B_i pueden considerarse afectadas con los coeficientes β_{yi} supuestos, si la rigidez transversal de los apoyos intermedios H_i, es mayor o igual a la rigidez transversal ideal, H_o, cuyo valor es, según la fórmula de ENGESSER:

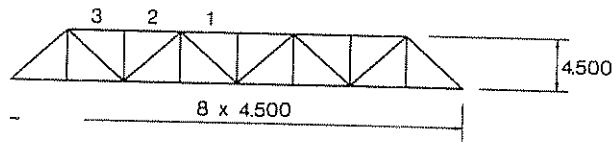
$$H_o = \frac{2{,}5\,N^*_{i,máx}}{\beta^2_{ym}\,l_{i,mín}}$$

Definiendo la rigidez transversal H_o como la fuerza necesaria para lograr en el apoyo un corrimiento transversal unitario.

El conjunto de estas ecuaciones permite comprobar la seguridad contra el pandeo lateral si la estructura está ya dimensionada, o bien dimensionarla en función de las

3.313. EJEMPLO DE APLICACION

La viga principal de un puente de tablero inferior, tiene la forma y dimensiones, que se indican en el esquema:



Para el caso de carga considerado como más desfavorable, se han obtenido los esfuerzos axiles y dimensionado las barras. Los resultados se resumen en el siguiente cuadro, con la notación del texto:

N_1^* (t)	N_2^* (t)	N_3^* (t)	A_1 (cm²)	A_2 (cm²)	A_3 (cm²)	b (cm)	h (cm)	I_M (cm⁴)	I_D (cm⁴)	h_M (cm)
530	483	400	305	305	285	560	450	25.166	519.000	370

Se trata de comprobar el pandeo del cordón superior comprimido. Este caso corresponde al de extremos firmemente inmovilizados.

En la fórmula $\omega_i = \frac{A_i}{N_i^*} \alpha \sigma_u$, damos a α un valor 0,8 y calculamos los valores de ω_y y los valores de β_{y_i} correspondientes por la fórmula:

$$\beta_{y_i} = \frac{\lambda_{y_i}}{l_i} \sqrt{\frac{I_{y_i}}{A_i}}$$

ω_1	ω_2	ω_3	λy_1	λy_2	λy_3	β_{y_1}	β_{y_2}	β_{y_3}	βM
1,10	1,21	1,27	47	62	58	1,15	1,52	1,50	1,39

1.ª Condición:

$$\beta_M = \frac{1,15 + 1,52 + 1,50}{3} = 1,39 > 1,20$$

2.ª Condición:

Rigidez transversal ideal $H_o = \frac{2,5 \times N_i \text{ máx}}{\beta^2_{ym} \times l_i \text{ mín}} = 1,52$ t/cm

Rigidez transversal ideal de cada uno de los pórticos transversales formados

$$H_i = \frac{E}{\frac{h_M^3}{3I_M} + \frac{h^2 b}{2I_D}} = \frac{2.100}{\frac{370^3}{3 \times 25.166} + \frac{450^2 \times 560}{2 \times 519\,000}} = 2,69 \text{ t/cm}$$

$H_i > H_o$; no pandea el cordón superior

cargas, en combinación con el cálculo de resistencia y de pandeo en su plano de la estructura triangulada de que se trate.

Supongamos que hemos hecho el cálculo de la celosía en su plano y por tanto conocemos para cada barra sus términos de sección y el esfuerzo N^*_i solicitante.

Fijamos de antemano un valor para $\alpha < 1$ (si fijamos para α un valor muy próximo a la unidad necesitaremos una gran rigidez en el pórtico invertido de coacción, y viceversa, si hacemos trabajar las barras a tensiones menores, o sea, si escogemos α pequeño, precisaremos de menor rigidez en el pórtico).

Fijado α, calculamos:

$$\omega_i = \frac{A_i}{N^*_i} \alpha \sigma_u$$

A este valor de ω_i corresponde según el acero utilizado, un valor de λ_{yi} y a este un valor de β_{yi} dado por la fórmula:

$$\beta_{yi} = \frac{\lambda_{yi}}{l_i} \sqrt{\frac{I_{yi}}{A_i}}$$

l_i Longitud real de la barra B_i.

Conocidos los valores β_{yi}, se calcula

$$\beta_{ym} = \frac{\Sigma\ \beta_{yi}}{n}$$

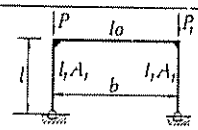
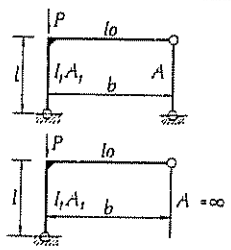
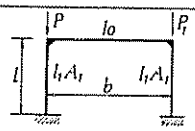
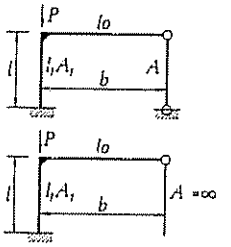
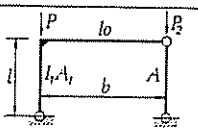
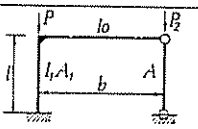
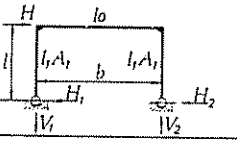
Si este valor es igual o mayor que 1,2, podemos obtener la rigidez transversal ideal por la mencionada fórmula de ENGESSER:

$$H_o = \frac{2{,}5\ N^*_{i,máx}}{\beta^2_{ym}\ l_{i,mín}}$$

Ahora es preciso comprobar que la rigidez transversal H_i de cada uno de los pórticos es igual o mayor que H_o.

Para el cálculo de los valores de H_i se distinguen dos casos:

a) Los extremos del cordón están firmemente inmovilizados [3.10a].

CASO		FORMA DEL PORTICO	COEFICIENTE f	MAGNITUDES AUXILIARES
1	a		$\sqrt{0{,}5(1+m)\left[4+1{,}4(c+6s)+0{,}02(c+6s)^2\right]}$	$m=\frac{P_1}{P}\geq 1$ $c=\frac{I_t\,b}{I_o\,l}\geq 10$ $s=\frac{4}{b^2}\frac{I_t}{A_t}\geq 0{,}2$
	b		$\sqrt{4+1{,}4(c+6s)+0{,}02(c+6s)^2}$	$c=\frac{2I_t\,b}{I_o\,l}\geq 10$ $s=\frac{I_t}{b^2}\left(\frac{1}{A}+\frac{1}{A_t}\right)\geq 0{,}2$
	c		$\sqrt{0{,}5(1+m)\left[1+0{,}35(c+6s)-0{,}017(c+6s)^2\right]}$	$m=\frac{P_1}{P}\geq 1$ $c=\frac{I_t\,b}{I_o\,l}\geq 10$ $s=\frac{4}{b^2}\frac{I_t}{A_t}\geq 0{,}2$
	d		$\sqrt{1+0{,}35(c+6s)-0{,}017(c+6s)^2}$	$c=\frac{2I_t\,b}{I_o\,l}\geq 10$ $s=\frac{I_t}{b^2}\left(\frac{1}{A}+\frac{1}{A_t}\right)\geq 0{,}2$
	e		$\sqrt{1+0{,}96n}\ \sqrt{4+1{,}4(c+6s)+0{,}02(c+6s)^2}$	$n=\frac{P_2}{P}\geq 2$ $c=\frac{2I_t\,b}{I_o\,l}\geq 10$ $s=\frac{I_t}{b^2}\left(\frac{1}{A}+\frac{1}{A_t}\right)\geq 0{,}2$
	f		$\sqrt{1+0{,}86n}\ \sqrt{1+0{,}35(c+6s)-0{,}017(c+6s)^2}$	
	g		$\sqrt{0{,}5(1+m)}\ \sqrt{4+1{,}4(c+6s)+0{,}02(c+6s)}$	*Se tomará como esfuerzo de compresión el valor de* V_2 $m=1$

[3.11]

En este caso, H_t, inversa del recorrido horizontal que origina una fuerza horizontal unitaria aplicada en los extremos del pórtico invertido, puede calcularse aproximadamente por la expresión:

$$H_t = \frac{1}{v} = \frac{E}{\frac{h^3 M}{3 I_M} + \frac{h^2 b}{2 I_D}}$$

Con el significado que se indica en [3.9] y en las que se toman los valores medios de I_D y I_M, en cada dintel y montante.

b) Los extremos del cordón no están firmemente inmovilizados, existiendo montantes extremos [3.10b].

Se calcula la rigidez tanto de los montantes intermedios H_1, como la de los montantes extremos H_2, por medio de la fórmula aproximada anterior.

Las condiciones a cumplir son:

$H_1 \geqslant C_1 H_o$ para cada pórtico intermedio.

$H_2 \geqslant C_2 H_o$ para el pórtico extremo.

Los coeficientes C_1 y C_2 están ligados por la relación adimensional:

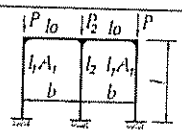
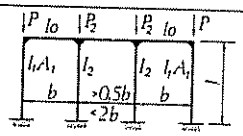
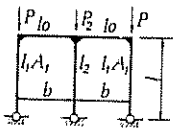
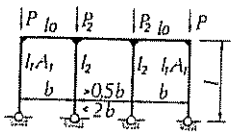
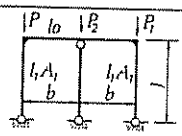
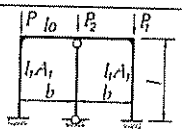
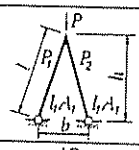
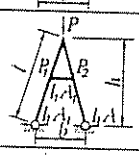
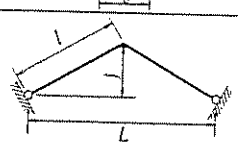
$$C_2 = \frac{0{,}6\, C_1 - 0{,}36}{C_1 - 1}\, \beta_m$$

que nos dice que para un valor determinado de β_{ym} cuanto más rígido son los pórticos intermedios tanto más flexibles pueden ser los extremos y viceversa [1].

Para el dimensionado de los pórticos transversales, puede partirse, según la Norma DIN de unos valores de C_1 comprendidos entre 1,1 y 1,5 y determinar el valor de C_2 correspondiente.

---

1 Siempre que se trate de valores correspondientes a la rama más positiva de la hipérbola que representa la fórmula. Esta condición matemática es evidente desde el punto de vista físico.

CASO		FORMA DEL PORTICO	COEFICIENTE β		MAGNITUDES AUXILIARES
2	a		En los soportes extremos: $\frac{1+0,4cn}{1+0,2cn}\sqrt{\frac{2+p}{2+t}} \geq 3$ En el soporte intermedio: $\frac{1+0,4cn}{1+0,2cn}\sqrt{\frac{2+p}{2+t}}\sqrt{\frac{t}{p}} \geq 3$		$cn = c+\frac{9}{4}s$ $p = \frac{P_2}{P}$ $t = \frac{I_2}{I_1}$ $c = \frac{I_1 b}{l_0 h} \geq 10$ $s = \frac{4\,I_1}{b^2 A_1} \geq 0,2$
	b		En los soportes extremos: $\frac{1+0,4cn}{1+0,2cn}\sqrt{\frac{1+p}{1+t}} \geq 3$ En los soportes intermedios: $\frac{1+0,4cn}{1+0,2cn}\sqrt{\frac{1+p}{1+t}}\sqrt{\frac{t}{p}} \geq 3$		
	c	 	Como en 2a y 2b Sustituyendo $\frac{1+0,4\,cn}{1+0,2\,cn}$ por $\frac{6+1,2cn}{3+0,1cn}$ Límite de validez $\beta \geq 6$		$cn = c+\frac{9}{4}s$ $p = \frac{P_2}{P}$ $t = \frac{I_2}{I_1}$ $c = \frac{I_1 b}{l_0 l} \geq 10$ $s = \frac{4\,I_1}{b^2 A_1} \geq 0,2$
	d		$\sqrt{0,5(1+m)}\sqrt{4+1,4(c+6s)+0,02(c+6s)^2}\Big/\sqrt{1+0,48\,n}$		$m = \frac{P_1}{P} \geq 1$ $c = \frac{I_1 b}{l_0 l} \geq 10$ $s = \frac{4\,I_1}{b^2 A_1} \geq 0,2$ $n = \frac{P_2}{P} \leq 2$
	e		$\sqrt{0,5(1+m)}\sqrt{1+0,35(c+6s)-0,017(c+6s)^2}\Big/\sqrt{1+0,4\,n}$		
3	a		$0,80+0,05(1+\frac{P_2}{P_1})^2$	$0,3h \leq b \leq 0,5l$	Para P vertical $\frac{P_2}{P_1} = +1$ Para P horizontal $\frac{P_2}{P_1} = -1$
	b		$0,44+0,12(1+\frac{P_2}{P_1})-0,03(1+\frac{P_2}{P_1})^2$		
	c		$\beta = 1$ Validez $0,05 \leq \frac{f}{L} \leq 0,2$		Se tomará como valor del esfuerzo de compresión el correspondiente al cuarto de la luz

[3.11]

Este es el procedimiento habitual, es decir de una estructura calculada en su plano y comprobada al pandeo fuera de su plano, pero también podría procederse en forma contraria.

Para ello fijado un valor de $\beta_{ym} \leqslant 1{,}2$ arbitrario, dimensionaríamos los montantes y vigas de piso de manera que su rigidez transversal fuese adecuada ($H_i \geqslant H_o$).

Después atribuiríamos a cada barra una β_{yi} arbitraria con tal de que su media aritmética fuese β_{ym}. Fijado un α, fijaríamos por tanteos para cada barra de sección correspondiente con tal que se cumpliesen las dos condiciones

$$\beta_{yi} = \frac{\lambda_{yi}}{l_i}\sqrt{\frac{I_{yi}}{A_i}} \quad \text{y} \quad \omega_i = \frac{A_i}{N_i}\alpha\,\sigma_u$$

El procedimiento primero comprobatorio es más aconsejable.

Véase ejemplo de aplicación en la página 202.

3.3 1 4. *Estructuras porticadas.*

La determinación de la longitud de pandeo $l_k = \beta l$ para soportes de estructuras porticadas de una altura, se refleja en [3.11] tomadas de la Norma Básica MV-103, debiendo tenerse en cuenta que se supone que los nudos del pórtico tienen libertad de giros y corrimientos dentro del plano del pórtico y que están impedidos los corrimientos en dirección perpendicular a ese plano.

En el caso de pórticos planos que no coincidan con los tipos de la tabla precedente, puede recurrirse al método de PUWEIN-SAHMEL [1] para determinar la longitud de pandeo de los soportes [2].

Este método está basado en la similitud de las deformaciones que se producen en un pórtico, cuando se excede la carga de pandeo en una pequeña cantidad y la que produce una carga horizontal unitaria a la altura del dintel [3.12]. Igualando los trabajos de deformación de P_k y $H = 1$, con un desplazamiento horizontal f para ambos casos.

$$P_k\,\mu\,\frac{f^2}{h} = \frac{1}{2}\,1\,f$$

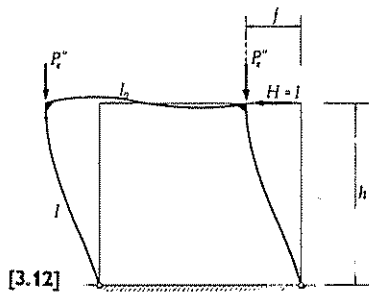
$$P_k f = \frac{h}{2\,\mu} = k$$

$$P_k = \frac{k}{f}$$

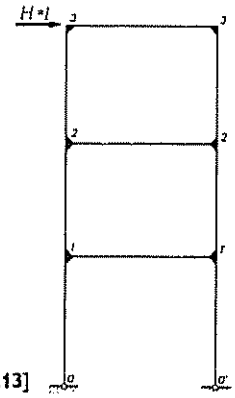
---

1 PAUL SAHMEL, Duisburg-Neudorf, publicado en *Der Stahlbau*. Abril, 1955.

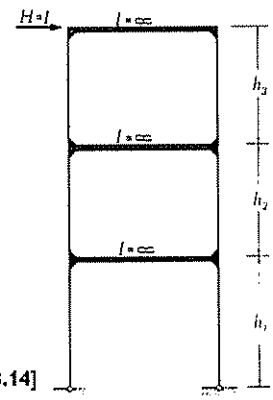
2 Para pórticos de naves industriales con pilares de sección variable, ver **Apéndice I**, de este capítulo.



[3.12]



[3.13]

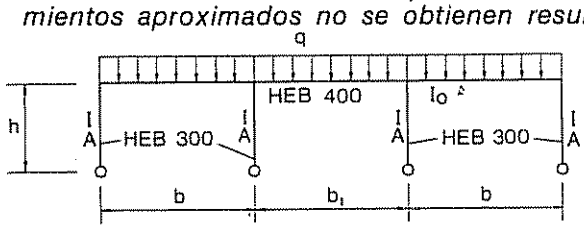


[3.14]

3.314. EJEMPLO DE APLICACION

Se trata de calcular los coeficientes β, *de los pilares de la estructura aporticada esquematizada.*

Se utilizarán los tres métodos que se citan en el texto, por tratarse de procedimientos aproximados no se obtienen resultados coincidentes.



$h = 5{,}00$ m, $b = b_1 = 5{,}00$ m
$I = 25.170$ cm^4, $A = 149$ cm^2
$I_o = 57.680$ cm^4, $q = 15$ t/m

a) Aplicación de la tabla [3.11]

Reacción en pilar extremo P = 36,0 t

Reacción en pilar intermedio P = 82,5 t

$p = 2{,}75$ $t = 1$ $c = 0{,}436$ $s = 0{,}0027$ $c_n = 0.442$

Soportes extremos $\beta = 2.94$

Soportes intermedios $\beta = 1{,}77$

b) Con el método de Sahmel

$I_o = 57.680$ cm^4 $I = 25.170$ cm^4

Desplazamiento horizontal producido por una fuerza unidad a la altura del dintel, con inercia reales para los dinteles:

$$f_1 = 2{,}4 \times 10^{-1}$$

Desplazamiento horizontal con dinteles de inercia infinita:

$I_o = \infty$ $I = 25.170$ cm^4 $f_{1E} = 1{,}9 \times 10^{-1}$ $l_K = l_{KE}\sqrt{\frac{f_1}{f_{1E}}} = 2h\sqrt{\frac{2{,}4}{1{,}9}}$

Soportes extremos $\beta = 2\sqrt{\frac{2{,}4}{1{,}9}} = 2{,}25$ Soportes intermedios $\beta = 2\sqrt{\frac{2{,}4}{1{,}9}} = 2{,}25$

c) Con las tablas [3.15] y [3.16] del Artículo 3.315

Pilares extremos: $k = 0$, $k_2 = 0{,}696$, $\beta = 2.16$

Pilares intermedios: $k = 0$, $k_2 = 0{,}820$, $\beta = 2.09$

μ es un factor de corrección que depende de la forma de la elástica de flexión y es casi invariable con las dimensiones generales de la estructura y, por tanto, puede determinarse en un caso singular, por ejemplo, en el caso anterior cuando se considera infinitamente rígido el dintel. En este caso especial $l_{kE} = 2h$ y llamando a la carga de pandeo P_E y el desplazamiento horizontal f_E se tiene:

$$P_E = \frac{k}{f_e} \qquad P_k = P_E \frac{f_E}{f}$$

$$\pi^2 \frac{E\,I}{l^2_k} = \pi^2 \frac{E\,I}{l^2_{k,E}} \qquad \frac{f_E}{f}$$

y, por tanto:

$$l_k = l_{k,E} \sqrt{\frac{f}{f_E}}$$

en el caso [3.13] y [3.14]

para los pilares 1-2 y 2-3

$$l_{k,E} = h \qquad l_k = h \sqrt{\frac{f}{f_E}}$$

para el pilar 0-1

$$l_{k,E} = 2h \qquad l_k = 2h \sqrt{\frac{f}{f_E}}$$

Se calcularán los desplazamientos de los nudos 1, 2 y 3 en los dos casos de dinteles de inercia real y de inercia infinita, y se obtendría:

$$l_k\,(0,1) = l_{k,E}\,(0,1) \sqrt{\frac{f_1}{f_{E_1}}} = 2h \sqrt{\frac{f_1}{f_{E_1}}}$$

$$l_k\,(1,2) = l_{k,E}\,(1,2) \sqrt{\frac{f_2}{f_{E_2}}} = h \sqrt{\frac{f_2}{f_{E_2}}}$$

$$l_k\,(2,3) = l_{k,E}\,(2,3) \sqrt{\frac{f_2}{f_{E_2}}} = h \sqrt{\frac{f_3}{f_{E_3}}}$$

El punto de aplicación de H debe ser el que produzca mayores desplazamientos horizontales, lo que en pórticos de varios pisos equivale a que la fuerza ficticia H actúe en el dintel superior.

En el caso de pórtico empotrado, las fórmulas anteriores serían las mismas pero con $l_{k,E}\,(0,1) = h$.

Véase ejemplo de aplicación en la página 208.

3.3.1.5. *Pilares de edificios.*

Para el caso de pilares de edificios prescribe la Norma Básica MV-103 lo que sigue, en su sección 3.4.4.[1], véase ejemplo de aplicación en la página 214.

---

[1] Las tablas insertas en la Norma se reproducen en [3.15] y [3.16].

COEFICIENTE β PARA PILARES DE ESTRUCTURAS CON RECUADROS ARRIOSTRADOS

Grado de empotramiento en el nudo inferior k_1	Coeficiente β, siendo el grado de empotramiento en el nudo superior k_2										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1,00	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,81	0,78	0,74	0,70
0,1	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,86	0,83	0,80	0,76	0,72	0,69
0,2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,78	0,75	0,71	0,67
0,3	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,73	0,69	0,66
0,4	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,64
0,5	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,72	0,69	0,65	0,63
0,6	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,63	0,61
0,7	0,81	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59
0,8	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,58	0,56
0,9	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,53
1	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,58	0,56	0,53	0,50

[3.15]

COEFICIENTE β_2 PARA PILARES DE ESTRUCTURAS SIN RECUADROS ARRIOSTRADOS

Grado de empotramiento en el nudo inferior k_1	Coeficiente β, siendo el grado de empotramiento en el nudo superior k_2										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	—	4,92	3,23	2,78	2,53	2,37	2,24	2,17	2,10	2,04	2,00
0,1	4,29	2,89	2,39	2,15	1,98	1,88	1,80	1,74	1,69	1,66	1,62
0,2	3,23	2,39	2,05	1,85	1,78	1,64	1,58	1,53	1,49	1,46	1,43
0,3	2,78	2,15	1,85	1,69	1,56	1,52	1,44	1,40	1,36	1,33	1,31
0,4	2,53	1,98	1,73	1,56	1,48	1,41	1,35	1,31	1,28	1,24	1,22
0,5	2,37	1,80	1,64	1,52	1,41	1,31	1,29	1,24	1,21	1,18	1,15
0,6	2,24	1,80	1,58	1,44	1,35	1,29	1,24	1,20	1,16	1,14	1,11
0,7	2,17	1,74	1,53	1,40	1,31	1,24	1,20	1,16	1,12	1,10	1,02
0,8	2,10	1,69	1,49	1,36	1,23	1,21	1,16	1,12	1,09	1,07	1,05
0,9	2,04	1,66	1,46	1,33	1,24	1,18	1,14	1,10	1,07	1,04	1,02
1	2,00	1,62	1,43	1,31	1,22	1,16	1,11	1,08	1,05	1,02	1,00

[3.16]

En una estructura de edificación, constituida por vigas y pilares, se toma como longitud l de un pilar la distancia entre el supradós de los dos forjados consecutivos, o la distancia entre el apoyo de la base en el cimiento y el supradós del primer forjado.

En el extremo superior o inferior de un pilar, con unión rígida al nudo, se define como grado de empotramiento k del pilar en el plano de un pórtico el valor:

$$k = \frac{\frac{I_v}{l_v} + \frac{I_w}{l_w}}{\frac{I}{l} + \frac{I_p}{l_p} + \frac{I_v}{l_v} + \frac{I_w}{l_w}}$$

siendo:

I *Momento de inercia del pilar.*

l *Longitud del pilar.*

I_p, l_p *Momentos de inercia del pilar superior o inferior en el nudo.*

I_v, l_v *Momentos de inercia de la viga izquierda, si está unida rígidamente.*

I_w, l_w *Momentos de inercia de la viga derecha, si está unida rígidamente.*

no incluyendo en la expresión de k los términos de las vigas o pilares que no existen, o no están rígidamente unidos. En un pilar es $k = 0$ si la unión del extremo considerado al nudo no es rígida o si enlaza a una rótula en la cimentación, y $k = 1$ si se empotra en la cimentación.

En una estructura de nudos no rígidos con recuadros arriostrados, por triangulaciones o por macizado con muros, según el artículo 2.1.1, se tomará para sus pilares:

$$\beta = 1$$

y si tiene algunos nudos rígidos, el coeficiente β de un pilar cuyo grado de empotramiento en el nudo inferior sea k_1, y en el nudo superior k_2 puede calcularse por la expresión:

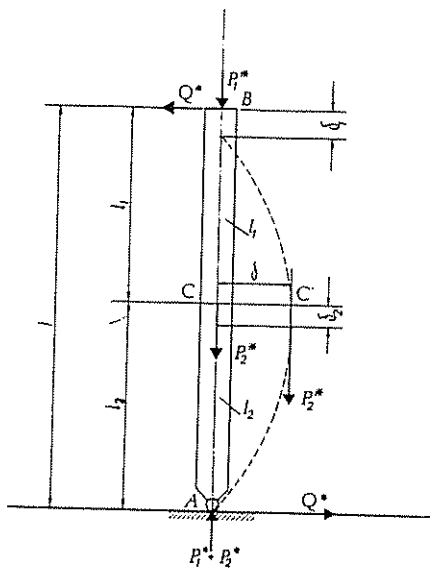
$$\beta = \frac{3 - 1{,}6\,(k_1 + k_2) + 0{,}84\,k_1\,k_2}{3 - (k_1 + k_2) + 0{,}28\,k_1\,k_2}$$

cuyos valores se dan en la tabla 3.3.

En una estructura sin recuadros arriostrados, por triangulaciones o por macizado con muros, cuya estabilidad se confíe a pórticos con nudos rígidos, en estos pórticos el coeficiente β de un pilar, cuyo grado de empotramiento en el nudo inferior sea k_1 y en el superior k_2, puede calcularse por la expresión:

$$\beta = \sqrt{\frac{1{,}6 + 2{,}4\,(k_1 + k_2) + 1{,}1\,k_1\,k_2}{(k_1 + k_2) + 5{,}5\,k_1\,k_2}}$$

cuyos valores se expresan en la tabla 3.4. Para los restantes pilares se tomará $\beta = 1$.



[3.17]

VALOR DE l_r PARA $l_1 = l_2$

n \ m	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	3,00
1,00	1,00	0,95	0,91	0,89	0,87	0,82
1,25	1,06	1,005	0,97	0,94	0,915	—
1,50	1,12	1,06	1,02	0,99	0,96	—
1,75	1,18	1,11	1,07	1,04	1,005	—
2,00	1,24	1,16	1,12	1,08	1,05	—

$$m = \frac{P_1^* + P_2^*}{P_1^*} \qquad n = \frac{l_2}{l_1}$$

[3.18]

3 3 1 6. *Pandeo de piezas sometidas a varias fuerzas de compresión.*

En la práctica es frecuente el caso de barras comprimidas por fuerzas aplicadas no solo en sus extremos sino también en algún punto intermedio. El problema puede acometerse mediante el estudio de la elástica de deformación.

Por este procedimiento, en el caso representado en [3 17], TIMOSHENKO llega a la expresión:

$$(P_1 + P_2)_{cr} = \frac{\pi^2 E I_2}{l^2_r}$$

en la cual l_r es la longitud reducida de la barra y que para el caso particular de $l_1 = l_2$ puede obtenerse de [3.18].

Con este procedimiento la complicación aumenta con el número de cargas intermedias haciendo su aplicación de gran dificultad práctica.

Caso de varias fuerzas intermedias, en piezas de sección constante.

Se puede estudiar este problema con una buena aproximación, basándose en el método energético.

Sea el caso de una columna con dos cargas P^*_1 y P^*_2 aplicadas en puntos cualesquiera de su directriz. Supongamos conocida la deformada $y = f(x)$ en el pandeo.

El trabajo producido por las dos fuerzas P^*_1 y P^*_2 en el curso del pandeo es $T = P^*_1 \delta_1 (y) + P^*_2 \delta_2 (y)$ en donde $\delta_1 (y)$ y $\delta_2 (y)$ son los desplazamientos verticales de los puntos de aplicación de P^*_1 y P^*_2.

Si se admite que las fuerzas P^*_1 y P^*_2 crecen proporcionalmente la una a la otra de manera que la relación:

$$P^*_2/P^*_1$$

conserve un valor constante, se puede escribir:

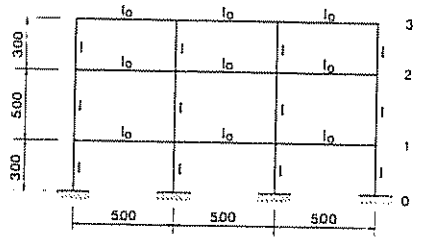
$$T = P^*_1 \left[\delta_1 (y) + \frac{P^*_2}{P^*_1} \delta_2 (y) \right]$$

La columna estará en equilibrio indiferente; es decir, pandeará, cuando este trabajo sea igual a la energía potencial de deformación U de la columna:

$$U = T = P^*_1 \left[\delta_1 (y) + \frac{P^*_2}{P^*_1} \delta_2 (y) \right]$$

3.315. EJEMPLO DE APLICACION

Calcular los coeficientes β de los pilares de la estructura de nudos rígidos del esquema, de acuerdo con las tablas del Artículo 3.315, en las dos hipótesis siguientes:



a) Nudos con posibilidad de desplazamientos horizontales.
b) Nudos indesplazables.

$I = 25.170\ cm^4$
$I_o = 57.680\ cm^4$

a)

Pilares extremos:

Tramo 0-1 $K_1 = 1$ $\quad K_2 = \dfrac{\frac{57.680}{5}}{\frac{25.170}{3} + \frac{25.170}{5} + \frac{57.680}{5}} = 0,465$ $\quad \beta = 1,18$

Tramo 1-2 $K_1 = 0,465$ $\quad K_2 = 0,465$ $\quad \beta = 1,38$

Tramo 2-3 $K_1 = 0,465$ $\quad K_2 = \dfrac{\frac{57.680}{5}}{\frac{25.170}{3} + \frac{57.680}{5}} = 0,58$ $\quad \beta = 1,32$

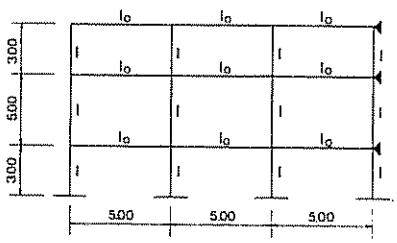
Pilares centrales:

Tramo 0-1 $K_1 = 1$ $\quad K_2 = \dfrac{\frac{57.680}{5} + \frac{57.680}{5}}{\frac{25.170}{3} + \frac{25.170}{5} + \frac{57.680}{5} + \frac{57.680}{5}} = 0,87$ $\quad \beta = 1,03$

Tramo 1-2 $K_1 = 0,87$ $\quad K_2 = 0,87$ $\quad \beta = 1,06$

Tramo 2-3 $K_1 = 0,87$ $\quad K_2 = \dfrac{\frac{57.680}{5} + \frac{57.680}{5}}{\frac{25.170}{3} + \frac{57.680}{5} + \frac{57.680}{5}} = 0,73$ $\quad \beta = 1,10$

b)



Pilares extremos:

Tramo 0-1
$K_1 = 1$ $K_2 = 0,465$ $\beta = 0,63$
Tramo 1-2
$K_1 = 0,465$ $K_2 = 0,465$ $\beta = 0,81$
Tramo 2-3
$K_1 = 0,465$ $K_2 = 0,58$ $\beta = 0,76$

Pilares centrales:

Tramo 0-1
$K_1 = 1$ $K_2 = 0,87$ $\beta = 0,54$
Tramo 1-2
$K_1 = 0,87$ $K_2 = 0,87$ $\beta = 0,58$
Tramo 2-3
$K_1 = 0,87$ $K_2 = 0,73$ $\beta = 0,61$

de donde se deduce que el valor crítico de la carga P^*_1 cuando actúen conjuntamente P^*_1 y P^*_2 es:

$$P_{1cr} = \frac{U(y)}{\delta_1(y) + \frac{P_{2,cr}}{P_{1,cr}}\delta_2(y)} \qquad (a)$$

Si se supone que P^*_1 actúa sola, el valor crítico de esta carga viene dado por $U = T = P^*_1 \delta_1(y)$ de donde se deduce:

$$P_{1,cr} = \frac{U(y_1)}{\delta_1(y_1)}$$

Esta fórmula implica que se conoce la deformada de pandeo correspondiente $y_1 = f_1(x)$ y que las cantidades U y δ_1 se calculan mediante esta deformada.

Si se calculan U y δ_1 mediante la deformada de pandeo $y = f(x)$ (la de la columna cargada con P^*_1 y P^*_2), la relación:

$$\frac{U(y)}{\delta_1(y)}$$

da un valor por exceso (teorema de Rayleigh) de la carga $P_{1,cr,s}$ de manera que se puede escribir:

$$P_{1,cr,s} \leqslant \frac{U(y)}{\delta_1(y)} \qquad (b)$$

Por un razonamiento idéntico se puede demostrar que la carga crítica de la columna cargada sólo con P^*_2 cumple

$$P_{2,cr,s} \leqslant \frac{U(y)}{\delta_2(y)} \qquad (c)$$

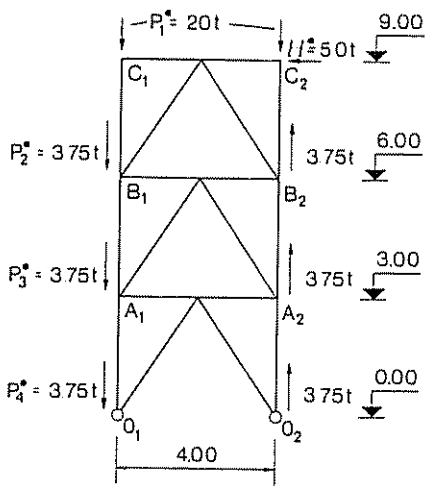
la ecuación (a) se puede escribir de la forma:

$$P_{1,cr}\frac{\delta_1(y)}{U(y)} + P_{2,cr}\frac{\delta_2(y)}{U(y)} = 1 \qquad (d)$$

Teniendo en cuenta (b) y (c), la ecuación (d) queda de la forma:

$$\frac{P_{1,cr}}{P_{1,cr,s}} + \frac{P_{2,cr}}{P_{2,cr,s}} \geqslant 1$$

3.3 1 6. EJEMPLO DE APLICACION



Se trata de calcular el pandeo de un pilar con cargas en puntos intermedios.
Las cargas originales son las $P_1^* = 20$ t en los puntos C_1 y C_2 y $H^* = 5{,}0$ t en el punto C_2.
Esta fuerza de 5,0 t da origen a P_2^*, P_3^* y P_4^* en los puntos O_1, A_1 y B_1.
La estructura constituye una biela en el sentido perpendicular al del dibujo.

Según la tabla 3 6

$a_1 = \frac{20}{31{,}25} = 0{,}64 \quad l_1/l = 0 \quad \beta = 1 \quad \beta^2 = 1$

$a_2 = \frac{3{,}75}{31{,}25} = 0{,}12 \quad l_2/l = 0{,}33 \quad \beta = 0{,}72 \quad \beta^2 = 0{,}51$

$a_3 = \frac{3{,}75}{31{,}25} = 0{,}12 \quad l_3/l = 0{,}66 \quad \beta = 0{,}69 \quad \beta^2 = 0{,}47$

$a_4 = \frac{3{,}75}{31{,}25} = 0{,}12 \quad l_4/l = 1 \quad \beta = 0 \quad \beta^2 = 0$

$$\beta = \sqrt{\Sigma a_i \beta_i^2} = \sqrt{0{,}64 \times 1{,}00 + 0{,}12 \times 0{,}51 + 0{,}12 \times 0{,}47 + 0{,}12 \times 0} = 0{,}87$$

Suponemos el pilar HEB140

$$i_x = 5{,}93 \quad i_y = 3{,}58 \quad A = 43 \text{ cm}^2 \quad \lambda_x = 900 \times 0{,}87 = 783 \quad \frac{\lambda_x}{i_x} = 132 \quad \omega_x = 3{,}15$$

$$P_1^* + P_2^* + P_3^* + P_4^* = 31{,}25 \text{ t}$$

$$\sigma_x^* = \frac{31{,}25 \times 10^3 \times 3{,}15}{43} = 2\,289 \text{ kg/cm}^2 < 2.600 \text{ kg/cm}^2$$

Pandeo en el plano de dibujo: $\lambda_y = 300$; $\frac{\lambda_y}{i_y} = \frac{300}{3{,}58} = 83{,}79 \quad \omega_y = 1{,}66 \quad \omega_y < \omega_x$

Si hubiéramos tomado $\beta = 1$ para HEB140 $\quad \lambda_x = 900 \quad \frac{\lambda_x}{i_x} = 151 \quad \omega_x = 4{,}0$

$$\sigma^* = \frac{31{,}25 \times 10^3 \times 4{,}0}{43} = 2\,906 \text{ kg/cm}^2 > 2.600 \text{ kg/cm}^2$$

No valdría el perfil

El error cometido será tanto menor cuanto más aproximadas sean las deformadas de la columna cargada con $P^*_{1,s}$ sola, y con $P^*_{2,s}$ sola, a la deformada, cuando actúan P^*_1 y P^*_2 conjuntamente; por tanto, aproximadamente tendremos:

$$\frac{P_{1,cr}}{P_{1,cr,s}} + \frac{P_{2,cr}}{P_{2,cr,s}} = 1 \qquad \text{(e)}$$

Se generaliza este razonamiento para el caso de actuación simultánea de varias fuerzas $P^*_1, P^*_2 \cdots P^*_n$.

Supongamos que estas n fuerzas crecen según una misma proporción y que sean $P_{1,cr,s}, P_{2,cr,s} \cdots P_{n,cr,s}$ los valores críticos de las fuerzas que producen inestabilidad cuando cada una de ellas actúa aisladamente.

Admitiendo estas condiciones, la combinación $(P_{1,cr}, P_{2,cr} \cdots P_{n,cr})$ que produce la inestabilidad actuando conjuntamente están relacionadas por la condición aproximada:

$$\frac{P_{1,cr}}{P_{1,cr,s}} + \frac{P_{2,cr}}{P_{2,cr,s}} + \cdots + \frac{P_{n,cr}}{P_{n,cr,s}} = 1 \qquad \text{(f)}$$

El error que se obtiene es tanto menor cuanto más semejantes sean las n deformadas de pandeo.

En el caso de una barra recta sometida a varias fuerzas axiles, se puede transformar esta relación introduciendo el concepto de longitud de pandeo en una forma más cómoda y como las fuerzas crecen proporcionalmente

$$a_i = \frac{P_{i,cr}}{\Sigma P_{i,cr}} \qquad \text{(h)}$$

Designando por $l_1, l_2 \cdots l_n$ las longitudes de pandeo de la barra cargada con una fuerza $P^*_{1,s}, P^*_{2,s} \cdots P^*_{n,s}$ independientemente, es decir:

$$P^*_{1,cr,s} = \frac{\pi^2 E I}{l^2_1} \qquad P^*_{2,cr,s} = \frac{\pi^2 E I}{l^2_2} \qquad \text{(g)}$$

Dividiendo los dos miembros de (f) por $\Sigma P_{i,cr}$ e introduciendo los valores $a_1, a_2 \cdots a_n$, o sea, las intensidades relativas de las fuerzas que intervienen:

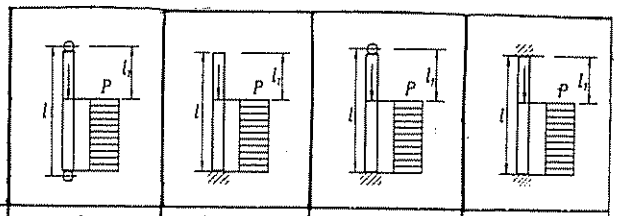
$$a_1 = \frac{P^*_1}{\Sigma P^*_i} \qquad a_2 = \frac{P^*_2}{\Sigma P^*_i} \cdots a_n = \frac{P^*_n}{\Sigma P^*_i} \qquad \text{(h)}$$

sustituyendo en (f) los valores de $P_{i,cr,s}$ y $P_{1,cr}$ obtenidos de (g) y (h), se tiene:

$$\frac{a_1 \Sigma P^*_{i,cr}}{\frac{\pi^2 E I}{l^2_1}} + \frac{a_2 \Sigma P^*_{i,cr}}{\frac{\pi^2 E I}{l^2_2}} + \cdots + \frac{a_n \Sigma P^*_{i,cr}}{\frac{\pi^2 E I}{l^2_n}} = 1 \qquad \text{(i)}$$

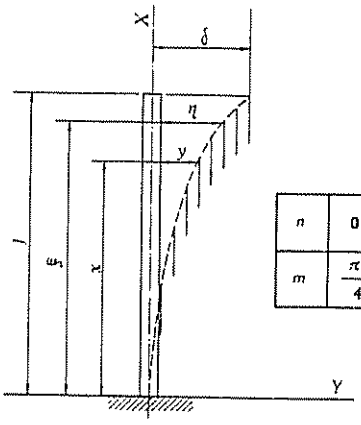
TABLA 3.6

PIEZAS CON UNA CARGA PUNTUAL INTERMEDIA



$\frac{l_1}{l}$	pieza biarticulada		pieza libre y empotrada		pieza apoyada y empotrada		pieza biempotrada	
	β	β^2	β	β^2	β	β^2	β	β^2
0.0	1.000	1.000	2.00	4.000	0.699	0.4896	0.500	0.2500
0.1	0.898	0.805	1.80	3.240	0.605	0.3662	0.494	0.2446
0.2	0.505	0.649	1.60	2.560	0.533	0.2850	0.471	0.2219
0.3	0.741	0.549	1.40	1.960	0.481	0.2319	0.430	0.1851
0.4	0.711	0.506	1.200	1.440	0.458	0.2101	0.387	0.1502
0.5	0.707	0.500	1.000	1.000	0.456	0.2085	0.364	0.1326
0.6	0.703	0.494	0.800	0.640	0.440	0.1942	0.362	0.1311
0.7	0.671	0.451	0.600	0.360	0.392	0.1543	0.340	0.1159
0.8	0.592	0.351	0.400	0.160	0.306	0.0938	0.279	0.0781
0.9	0.440	0.194	0.200	0.040	0.175	0.0310	0.168	0.0285
1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000

[3.19]



[3.20]

n	0	0.25	0.50	0.75	1.0	2.0	3.0	3.18	4.0	5.0	10.0
m	$\frac{\pi^2}{4}$	2.28	2.08	1.91	1.72	0.96	0.15	0.00	—0.60	—1.56	—6.95

[3.21]

y teniendo en cuenta que la longitud de pandeo l_k de la barra cargada con las n fuerzas, viene dada por:

$$\frac{\pi^2 E I}{l^2_k} = \Sigma P_{i,cr}$$

la expresión (i) se transforma en:

$$a_1\left(\frac{l_1}{l_k}\right)^2 + a_2\left(\frac{l_2}{l_k}\right)^2 + \cdots + a_n\left(\frac{l_n}{l_k}\right)^2 = 1 \qquad \text{(j)}$$

y como

$$l_k = \beta_k l, \qquad l_1 = \beta_1 l \quad \cdots \quad l_n = \beta_n l$$

se llega a la expresión:

$$\Sigma\, a_i\, \beta^2_i = \beta^2_k$$

que nos da el coeficiente de pandeo de una pieza cargada con n fuerzas puntuales en función de los n coeficientes de pandeo correspondientes a la actuación de cada fuerza aisladamente [1].

En el artículo 3.4.6 [2] de la Norma Básica MV-103 se recogen los dos casos tratados anteriormente, es decir, el de una fuerza actuando en un punto intermedio y el de n fuerzas puntuales:

En el caso de compresión por la actuación de una carga puntual actuando en un punto intermedio de la pieza, la longitud de pandeo se calculará mediante la expresión:

$$l_k = \beta \cdot l$$

obteniéndose β de la tabla 3.6 en función de la vinculación de la pieza en sus extremos y de la relación l_1/l que define la posición de la carga.

En el caso de actuación de n cargas puntuales P_i, la longitud de pandeo l_k de la pieza viene dada por:

$$l_k = \beta \cdot l$$

siendo:

$$\beta = \sqrt{\sum_1^n a_i\, \beta^2_i}$$

$$a_i = \frac{P_i}{\sum_1^n P_i}$$

y β_i el coeficiente correspondiente a P_i, como si actuase aisladamente.

En la tabla 3.6 se recogen los valores de β y β^2 en función de la vinculación de la pieza y de la relación l_1/l que define la posición de la carga puntual.

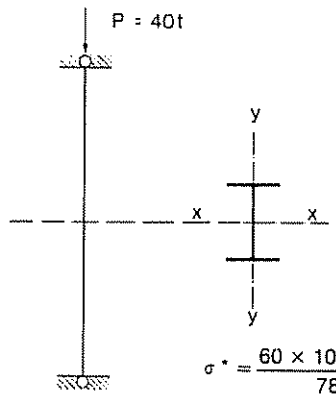
El cálculo de la pieza se hará considerando el máximo esfuerzo normal ponderado que actúa sobre ella.

Véase ejemplo de aplicación en la página 216.

[1] TIMOSHENKO, *Teoría de la estabilidad elástica* y MASSONNET, CECM, *Notes techniques*.

[2] Las tablas insertas en la Norma, se reproducen en [3.19].

3.3 2 1. EJEMPLO DE APLICACION



Calcular el perfil necesario de una barra de 12,80 m de longitud, sometida a una carga vertical, según su eje, de 40,0 t. Los extremos de la barra son articulados y fijos. La barra tiene impedido el pandeo en el plano X-X.

1 ° Dada la compresión de $P^* = 1{,}5 \times 40 = 60$ t, intentamos dimensionar un perfil HEB 200:

$I_{xx} = 5.696$ cm⁴ $A = 78{,}1$ cm² $i_x = 8{,}54$ cm $\beta = 1$

$$\lambda = \frac{1.280}{8{,}54} = 149{,}88 \quad \omega = 3{,}68$$

$$\sigma^* = \frac{60 \times 10^3 \times 3{,}68}{78{,}1} = 2.827 \text{ kg/cm}^2$$; el perfil HEB 200 no es admisible

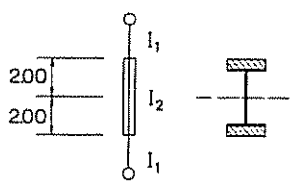
Solución 1. HEB 220

$I_{xx} = 8.091$ cm⁴ $i_x = 9{,}43$ cm $A = 91{,}0$ cm² $\lambda_x = \frac{1.280}{9{,}43} = 135{,}73$ $\omega_x = 3{,}05$

$$\sigma^* = \frac{60 \times 10^3 \times 3{,}05}{91{,}0} = 2\,010 \text{ kg/cm}^2$$

Solución 2. HEB 200 + 2 # 200 15 (ver figura)

Procedimiento *a)*



$I_z = 5\,690 + 2 \times 20 \times 1{,}5 \times 10{,}75^2 = 12\,623$ cm⁴

P_{cr} para este perfil $P_{cr} = \frac{M \times E \times I_z}{l^2}$

de las tablas [3 23 c] conocidos los valores:

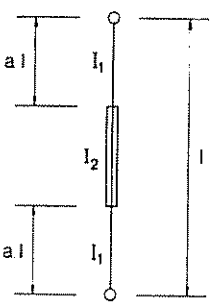
$$\frac{I_1}{I_2} = 0{,}45 \quad \frac{a}{l} = 0{,}31 \quad M = 6{,}35$$

$$P_{cr} = \frac{6{,}35 \times 2{,}1 \times 10^6 \times 12.623}{1\,280^2} = 102.739 \text{ kg}$$

$P^* < P_{cr}$; el perfil es válido.

Procedimiento *b)*

Otro procedimiento de cálculo para este perfil lo constituye el calcular el radio de giro equivalente



$$i = \sqrt{\frac{c \times I \text{ máx}}{A_m}} \qquad A_m = 96{,}85 \text{ cm}^2$$

$al = 6{,}4 - 2 = 4{,}4$ $\quad a = \frac{4{,}4}{12{,}8} = 0{,}34$

$$v = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = \sqrt{\frac{5.690}{12.623}} = 0{,}67$$

de las tablas [3.29] con $a = 0{,}34$ y $v = 0{,}67$ se deduce el valor de $c = 0{,}7$

$$i = \sqrt{\frac{0{,}7 \times 12.623}{96{,}85}} = 9{,}88 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{1.280}{9{,}88} = 129 \qquad \omega = 2{,}82$$

$$\sigma^* = \frac{60 \times 10^3 \times 2{,}82}{78{,}1} = 2.166 \text{ kg/cm}^2$$

El perfil resulta válido

3.3.1.7. *Piezas de sección constante, sometidas a compresión variable por efecto de cargas axiales repartidas a lo largo de la directriz.*

Cuando las piezas axiles se reparten de una manera continua a lo largo de la pieza, la ecuación diferencial de la curva elástica de la barra deformada no es una ecuación diferencial de coeficientes constantes y su solución debe realizarse por medio de series o recurrirse a métodos aproximados, tales como el basado en consideraciones energéticas, partiendo de una curva de deformación «apriorística».

Partiendo del método energético se llega a los resultados tabulados en la Norma Básica MV-103 y que reproducimos más adelante. No obstante tomamos de TIMOSHENKO los resultados del estudio de una pieza sometida a carga axil uniforme, empotrada en su extremo inferior y libre en el superior [3.20].

El valor de la carga crítica es:

$$(ql)_{cr} = \frac{\pi^2 \, E \, I}{(1{,}122 \, l)^2}$$

El caso de la misma barra sometida a dos fuerzas de compresión en sus extremos además de la uniforme q repartida conduce a que el valor de la carga crítica es:

$$P_{cr} = \frac{m \, E \, I}{l^2}$$

Los valores de m en función de la relación

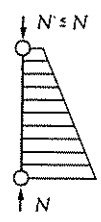
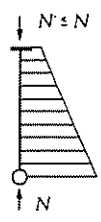
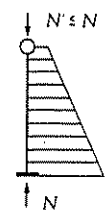
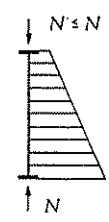
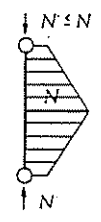
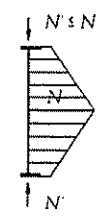
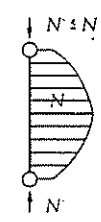
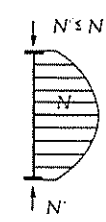
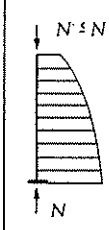
$$n = \frac{ql}{\dfrac{\pi^2 \, E \, I}{4 \, l^2}}$$

se dan en la tabla [3.21] y debe verificarse $P^* \leqslant P_{cr}$, siendo P^* la carga que actúa en los extremos; el efecto de la carga uniforme es el de rebajar el valor de P_{cr}.

Una buena aproximación para tener en cuenta la carga uniforme (que puede ser el peso propio) se obtiene sustituyendo la carga uniforme por una fuerza de valor 0,3 ql aplicada en los extremos de la barra.

Cuando la carga uniforme es superior a la dada por $(ql)_{cr}$, P_{cr} se hace negativa; en estos casos es preciso para impedir el pandeo, aplicar a la barra una fuerza de tracción.

PIEZAS CON ESFUERZO NORMAL VARIABLE

	Coeficiente $\beta = \sqrt{\frac{1 + CN'/N}{K}}$ según el caso:				
C K	0,88 1,88	0,51 3,09	1,65 5,42	0,95 7,72	2,18 3,18
$\frac{N'}{N}$					
0 0,1 0,2 0,3	0,729 0,761 0,792 0,818	0,569 0,582 0,596 0,610	0,423 0,462 0,495 0,524	0,359 0,376 0,392 0,407	1,122 1,238 1,346 1,440
0,4 0,5 0,6	0,846 0,875 0,901	0,625 0,636 0,648	0,553 0,579 0,605	0,421 0,434 0,449	1,532 1,620 1,704
0,7 0,8 0,9 1	0,927 0,950 0,975 1,000	0,663 0,675 0,687 0,700	0,629 0,654 0,676 0,700	0,462 0,474 0,488 0,500	1,784 1,856 1,928 2,000
C K	2,18 3,18	0,93 7,72	1,09 2,09	0,35 5,40	1,09 2,09
$\frac{N'}{N}$					
0 0,1 0,2 0,3	0,561 0,619 0,675 0,720	0,359 0,376 0,392 0,407	0,692 0,728 0,764 0,797	0,430 0,436 0,445 0,451	1,384 1,456 1,528 1,594
0,4 0,5 0,6	0,766 0,810 0,852	0,421 0,434 0,449	0,830 0,858 0,838	0,459 0,465 0,473	1,660 1,716 1,776
0,7 0,8 0,9 1	0,892 0,928 0,964 1,000	0,462 0,474 0,488 0,500	0,917 0,946 0,973 1,000	0,479 0,486 0,492 0,500	1,834 1,892 1,946 2,000

[3.22]

Los valores críticos para la barra biarticulada se obtienen, como en el caso anterior, considerando que la luz de esta es 2 *l*, y utilizando las fórmulas y tablas anteriores.

Para otros casos de distribución de carga, transcribimos el artículo 3 4 5 de la Norma Básica MV-103 [1]:

> *En una pieza solicitada por un esfuerzo normal de compresión variable en forma lineal o parabólica a lo largo de su directriz, el coeficiente β se tomará de la tabla 3 5.*
>
> *El cálculo de la pieza se hará considerando el máximo esfuerzo normal ponderado $N^*_{máx}$ que actúa sobre ella. Para que sea aplicable este procedimiento abreviado es necesario que el esfuerzo normal conserve invariable su dirección durante el pandeo. Esta condición puede, en general, darse por satisfecha en el estudio simplificado del pandeo, fuera del plano de la viga, de los cordones comprimidos de vigas y ménsulas de alma llena que no estén arriostrados transversalmente*

3.3 2. **Piezas de sección variable.**

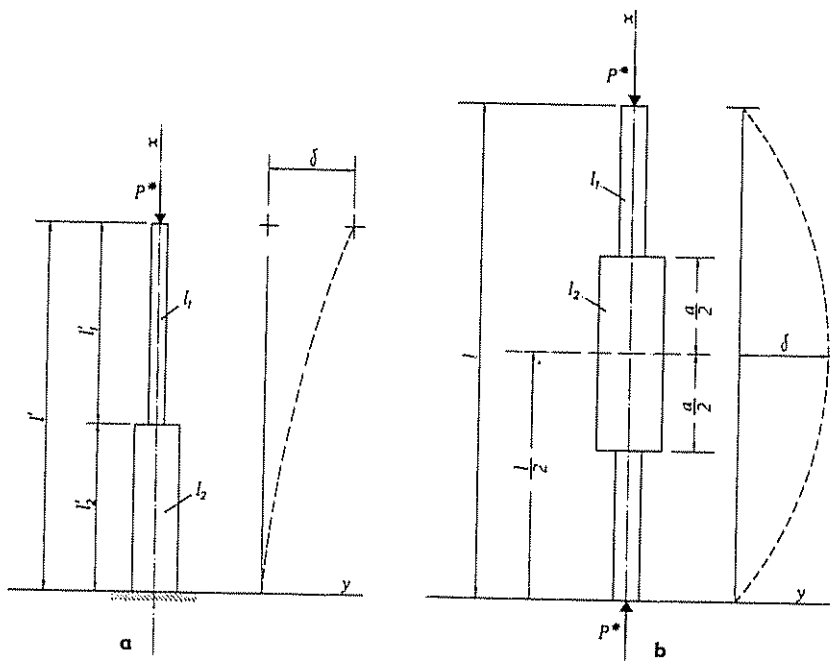
La pieza de sección uniforme, cuando por su esbeltez tenga carácter predominante en su dimensionado el fenómeno del pandeo, no es, al menos teóricamente, la más económica para soportar los esfuerzos de compresión. En el caso, por ejemplo, de una barra biarticulada sometida a compresión por dos fuerzas axiles, puede incrementarse la estabilidad distribuyendo el peso de manera que se aumente la sección en el centro a costa de las de los extremos. Esta consideración conduce al estudio de la barra comprimida de sección variable, bien siguiendo una determinada ley de variación de inercia, o bien, como es frecuente en la construcción metálica, según una ley en la que el cambio de sección y por consiguiente de inercia, se haga por escalones mediante la incorporación de platabandas.

3.3 2 1. *Piezas con cambio brusco de inercia, sometidas a compresión constante.*

Nos referimos al estudio de los casos que se esquematizan en [3.23 a] y [3.23 b]. Si se examinan las deformadas, se deduce que ambos casos se refieren a uno mismo, pues la carga crítica del caso (a) es la misma que la del caso (b) cuando:

$$l' = \frac{l}{2} \quad \text{y} \quad l'_2 = \frac{a}{2}$$

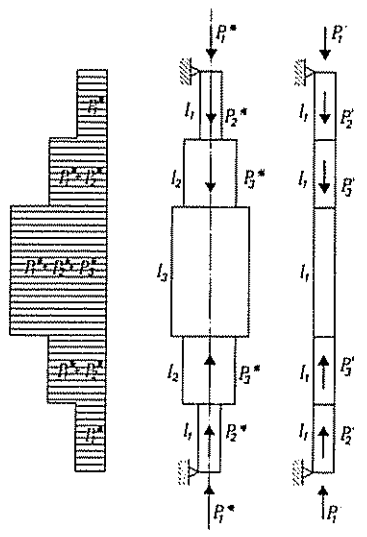
[1] La tabla inserta en la Norma, se reproduce en [3 22].



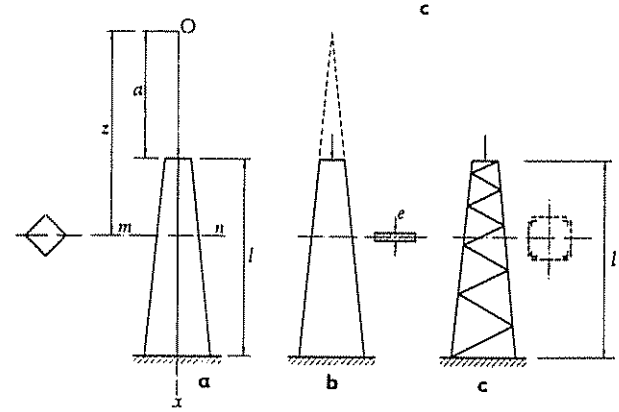
[3.23]

l_1/l_2 \ a/l	0,2	0,4	0,6	0,8
0,01	0,15	0,27	0,60	2,26
0,1	1,47	2,40	4,50	8,59
0,2	4,80	4,22	6,69	9,33
0,4	5,09	6,68	8,51	9,67
0,6	6,98	8,19	9,24	9,78
0,8	8,55	9,18	9,63	9,84

c



[3.24]



[3.25]

La obtención de la carga crítica P_{cr} se obtiene mediante el establecimiento de la elástica de deformación, lo que conduce a una ecuación transcendente.

El valor de la carga crítica para el caso (b) viene dado por la expresión:

$$P_{cr} = \frac{m\,E\,I_2}{l^2}$$

El valor de m en función de las relaciones a/l y I_1/I_2 se da en [3.23c] [1].

Se debe cumplir $P^* \leqslant P_{cr}$

Véase ejemplo de aplicación en la página 220.

3.3.2.2. *Piezas de momento de inercia variable, sometidas a compresión por fuerzas aisladas a distintos niveles.*

En un tramo cualquiera la ecuación diferencial de deformación es:

$$\frac{d^2y}{dz^2} = -\frac{M^*_i}{E\,I_i} = -\frac{N^*_i\,y_i}{E\,I_i}$$

Siendo N_i el esfuerzo de compresión en ese tramo.

En esta ecuación interviene sólo la relación N^*_i/I_i y, por tanto, podrían modificarse ambos valores, sin que variase la deformada de la pieza, y por tanto la carga crítica, siempre que su cociente permanezca constante.

Puede entonces estudiarse una pieza de inercia constante I, y que tenga la misma carga crítica, si está cargada con unas fuerzas ficticias N'_i convenientemente elegidas para que se cumpla en todos los tramos:

$$\frac{N^*_i}{I_i} = \frac{N'_i}{I}$$

Los valores que deben darse a dichas fuerzas ficticias son, refiriéndonos a la notación de [3.24]:

$$P'_1 = P^*_1$$

$$P'_2 = \frac{P^*_1 + P^*_2}{I_2}\,I_1 - P^*_1$$

$$P'_3 = \frac{P^*_1 + P^*_2 + P^*_3}{I_3}\,I_1 - \frac{P^*_1 + P^*_2}{I_2}\,I_1$$

y así sucesivamente en el caso de mayor número de tramos.

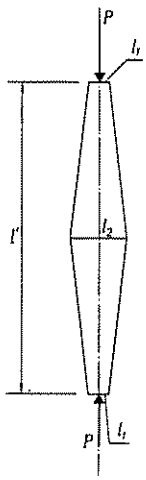
Véase ejemplo de aplicación en la página 234.

---

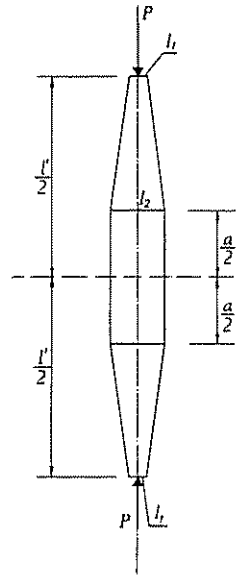
[1] TIMOSHENKO, *Teoría de la estabilidad elástica*. Ediar, S. A. Editores. Buenos Aires, 1961.

I_1/I_2		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
n = 2	m	0,250	1,350	1,593	1,763	1,904	2,023	2,128	2,223	2,311	2,392	2,467
n = 4	m		0,1202	1,505	1,710	1,870	2,002	2,116	2,217	2,308	2,391	2,467

[3.25d]



[3.26]



[3.28]

I_1/I_2	n	a/l = 0	0,2	0,4	0,6	0,8
0,1	1	6,48	7,58	8,63	9,46	9,32
	2	5,40	6,67	8,08	9,25	9,79
	3	5,01	6,32	7,84	9,14	9,77
	4	4,81	6,11	7,68	9,08	9,77
0,2	1	7,01	7,99	8,91	9,63	9,82
	2	6,37	7,49	8,61	9,44	9,81
	3	6,14	7,31	8,49	9,39	9,81
	4	6,02	7,20	8,42	9,38	9,80
0,4	1	7,37	8,59	9,19	9,70	9,84
	2	7,61	8,42	9,15	9,63	9,84
	3	7,52	8,38	9,12	9,62	9,84
	4	7,48	8,33	9,10	9,62	9,84
0,6	1	8,61	9,12	9,55	9,76	9,85
	2	8,51	9,04	9,48	9,74	9,85
	3	8,50	9,02	9,46	9,74	9,85
	4	8,47	9,01	9,45	9,74	9,85
0,8	1	9,27	9,54	9,69	9,83	9,86
	2	9,24	9,69	9,69	9,82	9,86
	3	9,23	9,50	9,69	9,81	9,86
	4	9,23	9,49	9,69	9,81	9,86

[3.27]

3.3.2.3. *Piezas con variación gradual de inercia, sometidas a compresión constante.*

En la citada obra de TIMOSHENKO se refiere al estudio hecho por A. N. DINNIK [1] para el caso de piezas, cuya extremidad inferior está empotrada y la superior libre [3.25a] y en las cuales la inercia varía según una ley:

$$I_x = I_1 \left(\frac{z}{a}\right)^n$$

siendo I_1 el valor de la inercia en el extremo libre.

Dando distintos valores a n, la variación de inercia corresponde a diferentes tipos de piezas, así para $n = 1$ corresponde el de [3.25b], para $n = 2$ el de [3.25c] y para $n = 4$ corresponde a una pieza de forma de pirámide o tronco de pirámide maciza, de sección cuadrada.

El valor de la carga crítica viene igualmente dado por la expresión:

$$P_{cr} = \frac{m\,E\,I_2}{l^2}$$

siendo I_2 la inercia de la sección empotrada.

En [3.25d] se recogen los valores de m correspondientes a $n = 2$ y $n = 4$.

El caso de [3.26] equivale al estudiado haciendo $l = \frac{l'}{2}$, es decir, que la P_{cr} en una barra biarticulada es la misma que en la barra empotrada con un extremo libre de mitad de longitud.

En [3.27] se recoge el caso de una barra con un tramo central de inercia constante y en cuyos tramos extremos la variación de inercia siga la ley de los casos anteriores [3.28].

3.3.2.4. *Piezas biarticuladas, de sección variable, sometidas a compresión constante.*

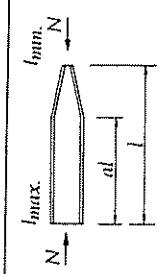
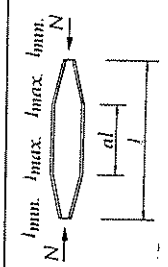
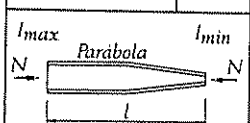
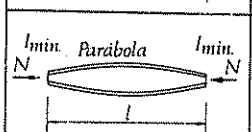
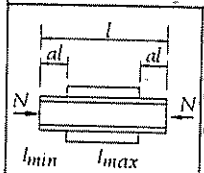
Para ellas son de aplicación el artículo 3.5.4 de la Norma Básica MV-103 que transcribimos [2]:

---

[1] A. N. DINNIK, *Iswestia Gornogo Instituta*. Ekaterinoslav, 1914 y *Westnik-Ingenerow*, Moscú, 1916.

[2] La tabla inserta en la Norma, se reproduce en [3.29].

PIEZAS DE SECCION VARIABLE

Variación de la sección	α \ ν	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	0	0,121	0,220	0,316	0,412	0,509	0,606	0,703	0,801	0,900	1,000
	0,1	0,140	0,247	0,348	0,447	0,502	0,636	0,729	0,820	0,911	1,000
	0,2	0,166	0,284	0,391	0,490	0,585	0,675	0,761	0,844	0,923	1,000
	0,3	0,203	0,333	0,446	0,547	0,639	0,722	0,800	0,871	0,938	1,000
	0,4	0,257	0,403	0,521	0,620	0,705	0,779	0,844	0,902	0,953	1,000
	0,5	0,340	0,502	0,620	0,711	0,784	0,843	0,892	0,933	0,969	1,000
	0,6	0,477	0,641	0,745	0,815	0,867	0,906	0,936	0,961	0,982	1,000
	0,7	0,697	0,814	0,875	0,913	0,938	0,957	0,971	0,983	0,992	1,000
	0,8	0,922	0,951	0,966	0,976	0,983	0,988	0,992	0,995	0,998	1,000
	ν 0,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0	0,259	0,389	0,493	0,583	0,665	0,740	0,810	0,877	0,940	1,000
	0,1	0,308	0,448	0,555	0,643	0,719	0,786	0,846	0,902	0,953	1,000
	0,2	0,371	0,520	0,625	0,707	0,775	0,832	0,881	0,925	0,965	1,000
	0,3	0,453	0,605	0,703	0,775	0,830	0,867	0,914	0,947	0,975	1,000
	0,4	0,558	0,702	0,784	0,841	0,883	0,915	0,942	0,965	0,934	1,000
	0,5	0,686	0,801	0,861	0,900	0,927	0,948	0,965	0,979	9,990	1,000
	0,6	0,819	0,890	0,925	0,946	0,962	0,973	0,982	0,989	0,995	1,000
	0,7	0,925	0,954	0,968	0,978	0,984	0,989	0,992	0,966	0,998	1,000
	0,8	0,982	0,988	0,992	0,994	0,996	0,997	0,998	0,999	0,999	1,000
	0,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
		0,273	0,402	0,506	0,595	0,676	0,749	0,817	0,882	0,942	1,000
		0,536	0,652	0,728	0,786	0,834	0,875	0,911	0,943	0,943	1,000
	0,1	0,221	0,626	0,846	0,924	0,958	0,976	0,986	0,993	0,997	1,000
	0,2	0,060	0,220	0,421	0,605	0,743	0,837	0,902	0,946	0,977	1,000
	0,3	0,027	0,105	0,221	0,359	0,502	0,635	0,753	0,852	0,933	1,000
	0,4	0,016	0,061	0,134	0,231	0,345	0,472	0,606	0,741	0,873	1,000
	0,5	0,010	0,040	0,090	0,160	0,250	0,360	0,490	0,640	0,810	1,000

(1) La variación lineal o parabólica se refiere al canto de la pieza y no a su momento de inercia.
Pueden interpolarse valores intermedios linealmente

[3.29]

Piezas de sección variable.

La esbeltez mecánica de una pieza de sección variable, se calculará tomando como valor del radio de giro el siguiente:

$$i = \sqrt{\frac{c\ I_{máx}}{A_m}}$$

siendo:

$I_{máx}$ *Momento de inercia máximo respecto al eje normal al plano de pandeo considerado*

$A_m = \int_0^L \frac{A_x\, d_x}{L}$ *Valor medio a lo largo de la pieza, de la sección bruta*

c *Coeficiente función de los parámetros α y ν, cuyos valores vienen recogidos en la tabla 3.1.*

Este apartado es únicamente aplicable a piezas biarticuladas.

3.4. PANDEO DE ARCOS

La Norma Básica MV-103 no recoge el pandeo de arcos, ni el de anillos y piezas curvas en general, por no ser de uso frecuente en la edificación.

A continuación recogemos algunos casos interesantes de pandeo de arcos, tomados de la «Nota Técnica B-54» de la C. E. C. M. redactada por MASSONET, de la Norma DIN 4114, y de la obra de TIMOSHENKO, *Teoría de la Estabilidad Elástica*.

3.4.1. Arco circular de inercia constante, comprimido radialmente.

Los valores de la presión crítica son de acuerdo con la notación de [3.30]:

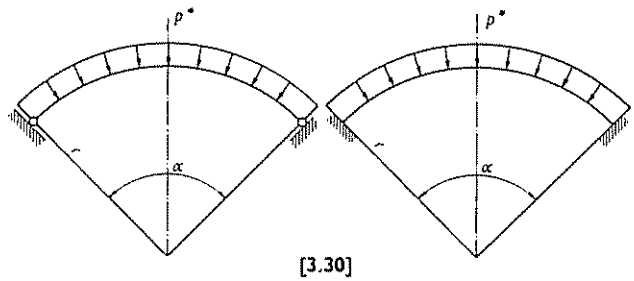
Arco articulado en los extremos:

$$p_{cr} = \frac{E\,I}{r^3}\left[4\left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^2 - 1\right]$$

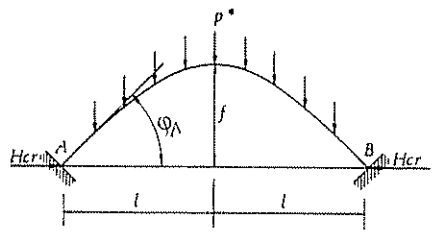
Arco biempotrado:

$$p_{cr} = \frac{E\,I}{r^3}\left[9\left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^2 - 1\right]$$

siendo E I la rigidez a flexión en el plano del arco y estando expresado α en radianes.



[3.30]



[3.31]

Tipo de arco	Deformada de pandeo	ψ_o	K
Arco parabólico biempotrado, $l \cos \varphi = l_o$	antimétrica simétrica	20,19 33,22	1 1
Arco parabólico biempotrado, ley de variación de la inercia según STRASSNER	antimétrica simétrica	$20{,}19\ \frac{2{,}3}{1 + 1{,}3\ n}$ $33{,}22\ \frac{2{,}1}{1 + 1{,}1\ n}$	1 1
Arco con 2 rótulas $l = l_o$	antimétrica simétrica	9,87 21,96	2,9 2,6
Arco con 2 rótulas $l \cos \varphi = l_o$	antimétrica simétrica	9,87 21,96	1,8 1,4

[3.32]

f/l	0	0,2	0,4	0,6	0,8
ψ	20,19	10,95	15,80	11,97	8,70

[3.33]

3.4.2. Arcos cargados con fuerzas verticales.

En la hipótesis de que las fuerzas se conserven verticales, BERGESTROM ha obtenido como valor de empuje crítico, para el pandeo en su plano de un arco simétrico:

$$H_{cr} = \frac{\psi E I}{l^2}$$

Siendo:

E I Rigidez a flexión en el plano del arco
l Semiluz del arco [3.31].

El coeficiente ψ varía con la flecha según la ley:

$$\psi = \frac{\psi_o}{1 + K \frac{f^2}{l^2}}$$

Los valores de ψ_o y K se dan para algunos tipos de arcos en [3.32].

En los arcos de STRASSNER la inversa de la proyección vertical de la inercia de cada sección varía linealmente de $\frac{1}{I_o}$ en la clave, a $\frac{1}{I_A \cos \varphi_A}$ en arranques, siendo I_A el momento de inercia de la sección en arranques y φ_A el ángulo de la tangente a la directriz en el arranque del arco con la horizontal.

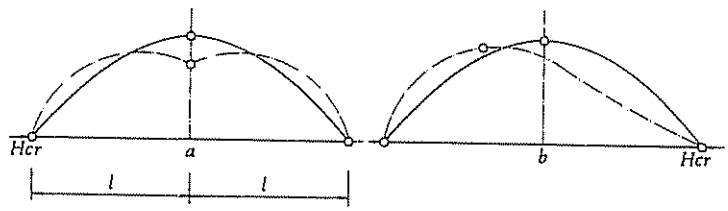
La variación de inercias está pues definida por el parámetro:

$$n = \frac{I_o}{I_A \cos \psi_A}$$

Para el arco parabólico biempotrado de inercia constante, STÜSSI da para ψ los valores de [3.33].

Para los arcos biarticulados y biempotrados la forma de pandeo más desfavorable es la antimétrica.

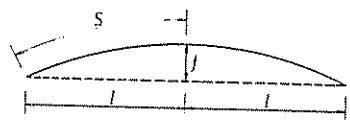
En los arcos de tres articulaciones, puede ser más desfavorable el pandeo con deformación simétrica [3.34] especialmente para valores de f/l pequeños.



[3.34]

Ley de variación de la inercia	f/l	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	Autores
$I = I_0$	//	7,45	7,13	6,23	5,05 (4,95)	3,85 (3,40)	—	STÜSSI
$I\cos\varphi = I_0$	//	7,42	7,35	6,93	6,35 (6,28)	5,65 (4,85)	4,95 (3,75)	DISCHINGER

[3.35]



	f/2l =	0,05	0,2	0,3	0,4	0,5
Arco de tres articulaciones	β =	1,20	1,16	1,13	1,19	1,25
Arco de dos articulaciones	β =	1,00	1,06	1,13	1,19	1,25
Arco biempotrado	β =	0,70	0,72	0,74	0,75	0,75

[3.36]

	f/2l =	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
I_y = constante	β_1 =	0,50	0,54	0,65	0,82	1,07
$I_y \cos\varphi$ = constante	β_1 =	0,50	0,52	0,59	0,71	0,86

[3.37]

En [3.35] se recogen los valores de ψ que, para un arco de directriz parabólica de tres articulaciones, han sido determinados por STÜSSI y DISCHINGER [1].

En todos estos casos deberá comprobarse que los valores ponderados, bien sea de las presiones o de los empujes en arranques, se conservan inferiores a los críticos.

3.4 3. Fórmulas aproximadas de la Norma DIN 4114.

Los resultados rigurosos expuestos anteriormente no se aplican más que a ciertos tipos particulares de arcos. Cuando sea necesario resolver un problema que no corresponda a algunos de estos casos, puede recurrirse a las fórmulas aproximadas de la Norma DIN 4114, basadas en la extrapolación a cualquier tipo de arco simétrico de las fórmulas obtenidas para el arco parabólico de sección constante.

Para el pandeo en el plano del arco, cuando este trabaja solo a compresión (arco antifunicular de las cargas) deberá verificarse:

$$\frac{\omega\, N^*_v}{A} \leqslant \sigma_u$$

N^*_v Valor ponderado de la compresión en el cuarto de la luz.
ω Coeficiente correspondiente a λ_x

$$\lambda_x = \beta \frac{s}{i_x}$$

Siendo:

s Semilongitud del arco.
β Coeficiente tomado de [3.36], en cuya tabla puede interpolarse para hallar valores intermedios.

Cuando exista compresión y flexión en el plano de la directriz (arco no antifunicular de las cargas) se realizarán las comprobaciones que para compresión compuesta con pandeo en el plano de la directriz se indican más adelante, con el valor de ω, deducido anteriormente para los arcos antifuniculares.

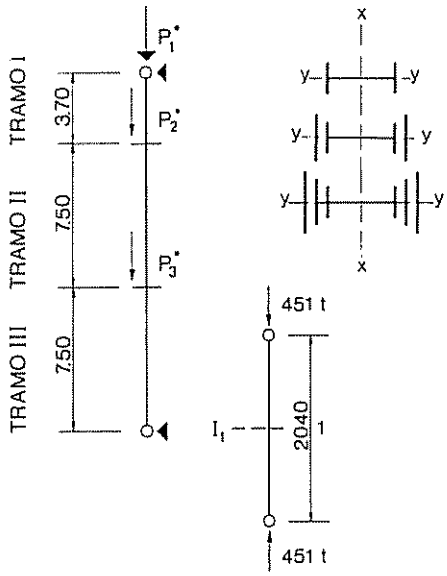
Para el pandeo fuera de su plano y a falta de una investigación más rigurosa en la que se incluyese el efecto de torsión puede realizarse la comprobación:

$$\omega_y \frac{N^*_v}{A} \leqslant \sigma_u$$

---

[1] Los valores entre paréntesis corresponden a la deformación antimétrica [3.34b].

3.322. EJEMPLO DE APLICACION



Comprobar el pilar esquematizado, con secciones variables por tramos y sometido a compresión (caso de fuerzas intermedias). Se supone que el pandeo en el plano X-X está impedido.
Acero A42, $\sigma_u = 2.600$ kg/cm².
Valores de fuerzas ponderados.

IPE 600	A = 254 cm² $I_{xx} = 139.000$ cm⁴ = I_I $i_{xx} = 23,4$ cm	$P_1^* = 660$ t
IPE 600 + 2 # 25 240	A = 374 cm² $I_{xx} = 256.249$ cm⁴ = I_{II} $i_{xx} = 26,17$ cm	$P_2^* = 312$ t
IPE 600 + 2▭25 240 + 2▭25 260	A = 504 cm² $I_{xx} = 404.394$ cm⁴ = I_{III} $i_{xx} = 28,32$ cm	$P_3^* = 338$ t

Se realizan las siguientes comprobaciones:

1.° Comprobación de tensiones en cada tramo
2.° Combrobación de la estabilidad en el plano Y-Y

1.° Tramo I $\sigma^* = \dfrac{660}{254} = 2,598$ t/cm² Tramo II $\sigma^* = \dfrac{660 + 312}{374} = 2,599$ t/cm²

Tramo III $\sigma^* = \dfrac{660 + 312 + 338}{504} = 2,599$ t/cm²

2.° Comprobación de la estabilidad por el procedimiento de fuerzas ficticias:

$$P_1' = P_1 = 660 \text{ t} \; ; \; P_2' = \frac{P_1 + P_2}{I_2} I_1 - P_1 = \frac{660 + 312}{256.249} 139.000 - 660 = -132,75 \text{ t}$$

$$P_3' = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{I_3} I_1 - \frac{P_1 + P_2}{I_2} I_1 = \frac{660 + 312 + 338}{404.394} 139.000 - \frac{660 + 312}{256.249} 139.000$$

$$P_3' = -77 \text{ t}$$

Según el artículo 3.316 se obtiene, con la ayuda de la tabla [3.15]:

$$\frac{l_1}{l} = \frac{0}{18,70} = 0 \qquad \beta_1^2 = 1 \qquad \alpha_1 = \frac{660}{660 - 132 - 77} = \frac{660}{451} = 1,46$$

$$\frac{l_2}{l} = \frac{3,7}{18,70} = 0,2 \qquad \beta_2^2 = 0,649 \qquad a_2 = \frac{-132}{451} = -0,29$$

$$\frac{l_3}{l} = \frac{11,2}{18,7} = 0,6 \qquad \beta_3^2 = 0,494 \qquad a_3 = \frac{-77}{451} = -0,17$$

$$\beta = \sqrt{1,50 \times 1 - 0,29 \times 0,649 - 0,17 \times 0,494} = 1,09$$

$l = 18,70$ m $\qquad l_K = 1,09 \times 18,70 = 20,40$ m

A efectos de estabilidad, la fuerza estudiada equivale a:

La compresión crítica en este caso es:

$$P_{cr} = \frac{\pi EI}{(\beta l)^2} = 692 \text{ t} > 451 \text{ t}$$

con el mismo significado para N^*_v indicado anteriormente y ω_y el correspondiente a la esbeltez:

$$\lambda_y = \beta_1 \beta_2 \frac{2l}{i_y}$$

siendo:

- l Semiluz del arco.
- β_1 Coeficiente que se obtiene de [3.37], en caso de un arco parabólico cuyas secciones de arranque que tengan impedido el giro alrededor de la tangente a la directriz, y solicitado por cargas verticales uniformemente repartidas.
- I_y Momento de inercia de la sección transversal para el pandeo normal al plano del arco.
- φ Angulo de la tangente a la directriz con la horizontal.
- β_2 Coeficiente que se tomará igual a la unidad si las cargas permanecen fijas durante el pandeo. Si en un arco con tablero suspendido las péndolas transmiten una parte $\alpha \cdot Q^*$ de la carga total Q^*, que actúa sobre el arco y se inclinan durante el pandeo del mismo, deberá calcularse con el valor de $\beta_2 = 1 - 0{,}35\,\alpha$. En un puente en arco con tablero superior es $\beta_2 > 1$, cuando las palizadas puedan inclinarse durante el pandeo, inclinación que no pueden impedir los arriostramientos transversales de aquéllas. En este caso, si de la carga total Q^* del arco, la parte $\alpha \cdot Q^*$ es transmitida por las palizadas, y el tablero, rígidamente enlazado en sentido transversal a la clave del arco, no está inmovilizado lateralmente en los estribos, debe tomarse $\beta_2 = 1 + 0{,}45\,\alpha$ únicamente para la influencia de las cargas verticales.

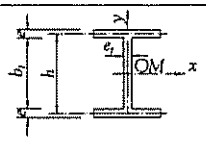
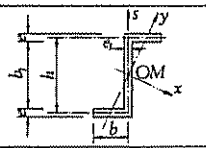
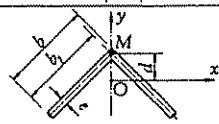
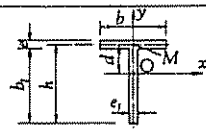
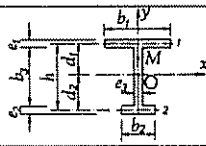
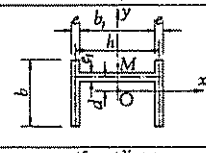
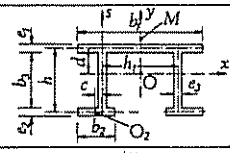
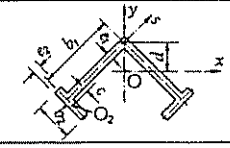
3.5. PANDEO ESPACIAL

En el caso fundamental se suponía a la barra dotada de la suficiente rigidez torsional para que no fuera previsible su pandeo con torsión. En este caso el pandeo es un fenómeno de inestabilidad plana, con flexión de la barra en el plano del pandeo.

En barras de pequeña rigidez a la torsión como suelen ser las de sección abierta de paredes delgadas, es preciso también considerar la posible inestabilidad espacial de la barra, en la que interviene el fenómeno de torsión. Se distingue el pandeo por torsión pura y el más general de pandeo por flexión y torsión.

En el estudio de estos fenómenos intervienen algunas características geométricas y magnitudes, que relacionamos a continuación:

CARACTERISTICAS DE TORSION DE ALGUNAS SECCIONES

	I_T I_A	Coordenadas del centro de esfuerzos cortantes M	Módulo de torsión I_T cm^4	Módulo de alabeo I_A cm^6
1		$x_0 = 0$ $y_0 = 0$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$	$\approx I_y \frac{h^2}{4}$
2		$x_0 = 0$ $y_0 = 0$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$	$I_s \frac{h^2}{4}$
3		$x_0 = 0$ $y_0 = d$	$\frac{2b_1e^3}{3}$	$\frac{b_1^3e^3}{18}$
4		$x_0 = 0$ $y_0 = d$	$\frac{be^3 + b_1e_1^3}{3}$	$\frac{b^3e^3}{144} + \frac{h^3e_1^3}{36}$
5		$x_0 = 0$ $y_0 = \frac{d_2I_{2y} - d_1I_{1y}}{I_{1y} + I_{2y}}$	$\frac{b_1e_1^3 + b_2e_2^3 + b_3e_3^3}{3}$	$\frac{I_{1y}\, I_{2y}}{I_{1y} + I_{2y}} h^2$
6		$x_0 = 0$ $y_0 = d\left(1 + \frac{h^2A}{4I_y}\right)$	$\frac{2be^3 + b_1e_1^3}{3}$	$\left[I_x + d^2A\left(1 - \frac{h^2A}{4I_y}\right)\right]\frac{h^2}{4}$
7		$x_0 = 0$ $y_0 = d\left(1 + \frac{h_1^2A}{4I_y}\right) - 2h\frac{I_{2s}}{I_y}$	$\frac{b_1e_1^3 + 2b_2e_2^3 + 2b_3e_3^3}{3}$	$\left[I_x + d^2A\left(1 - \frac{h_1^2A}{4I_y}\right)\right]\frac{h^2}{4} + 2(I_{2s} - b_1cA_2)h^2 + \frac{I_{2s}}{I_y} h\int_1^2 h_1^2 dA - 4\frac{I_{2s}^2}{I_y} h^2$
8		$x_0 = 0$ $y_0 = d + \sqrt{2}\left(cb_1^2\frac{A_2}{I_y} - b_1\frac{I_{2s}}{I_y}\right)$	$\frac{2b_1e_1^3 + 2b_2e_2^3}{3}$	$I_y(2d^2 - y_0^2) + 2I_{2s}b_1(b_1 - 2d) + 4dI_1^2cA_2$

Centro de esfuerzos cortantes: Punto de paso de la resultante de las tensiones tangenciales que se originan en una sección como consecuencia de la actuación de una solicitación cortante exterior

Centro de torsión: Es el centro de rotación de la sección cuando está sometida a torsión pura.

Módulo de torsión I_T: Módulo que tiene las dimensiones de un momento de inercia. En una sección formada por un conjunto de rectángulos estrechos:

$$I_T = \frac{1}{3} \Sigma\, b_i\, e^3_i$$

siendo:

b_i y e_i Anchura y espesor, respectivamente, de los distintos rectángulos en que puede considerarse descompuesta la sección.

Módulo de alabeo I_A: Magnitud auxiliar, con las dimensiones de una longitud elevada a la sexta potencia, que multiplicada por E aparece como coeficiente en la ecuación diferencial de la torsión alabeada.

Radio de giro polar i_o: Magnitud con las dimensiones de una longitud cuya expresión es:

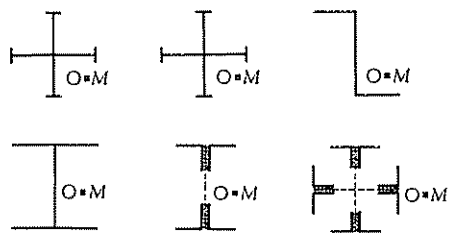
$$i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

Radio de torsión i_T: También llamado radio de giro a la torsión, es una magnitud auxiliar, con las dimensiones de una longitud que aparece al plantear la ecuación de equilibrio de una barra torsionada bajo la acción de una carga axil. Su expresión es:

$$i_T = \sqrt{\frac{I_A}{I_y}\left[\frac{\beta\, l}{\beta_o\, d_o}\right]^2 + 0{,}039\,(\beta\, l)^2\,\frac{I_T}{I_y}}$$

siendo:

I_A Módulo de alabeo de la sección referido al centro de esfuerzos cortantes.
I_T Módulo de torsión.
I_y Momento de inercia de la sección con respecto al eje principal que lo tenga menor.
l Longitud de la pieza.
β Coeficiente que mide la coacción a la flexión en los extremos de la pieza; $\beta = 1$ significa apoyo articulado; $\beta = 0{,}5$, apoyo perfectamente empotrado.
β_o Coeficiente que mide la coacción al alabeo en los extremos de la pieza; $\beta_o = 1$ corresponde a un alabeo libre de las secciones extremas; $\beta_o = 0{,}5$ a un alabeo totalmente impedido en las mismas.
d_o Distancia, medida en el plano, entre centros de gravedad de los roblones, tornillos o cordones de soldadura de los extremos normales de la pieza; con suficiente aproximación en la práctica puede tomarse $d_o = 0{,}8\, l$.



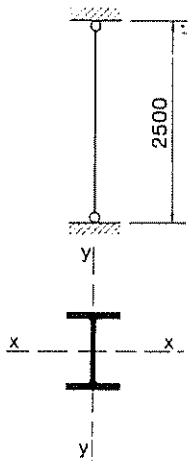
[3.39]

3.5 1. EJEMPLO DE APLICACION

Calcular la estabilidad máxima de un pilar (HEA 280), de 250 cm de longitud, con apoyos articulados, pero que permitan el libre alabeo de las secciones extremas del pilar.

El pilar tiene dos posibilidades de pandeo: por flexión o por torsión pura

Pandeo por flexión se producirá en el plano x-x ($i_y < i_x$)



$i_x = 11{,}9$ cm de I.1 4
$i_y = 7{,}0$ cm de I.1 4
$\beta = 1$, apoyos articulados

$$\lambda_y = \frac{\beta l}{i_y} = \frac{1 \times 250}{7.0} = 35{,}71$$

Pandeo por torsión pura, se producirá si $i_o > i_T$

$i_o = 13{,}8$ cm de II 3.8.4
$\beta_o = 1$, apoyos con posibilidad de alabeo libre
$i_T = 13{,}71$ cm de II 3.8.4
$13{,}8 > 13{,}71$
la esbeltez del pilar, será:

$$\lambda_T = \frac{\beta l}{i_y} \frac{i_o}{i_T} = \frac{1 \times 250}{7{,}0} \frac{13{,}8}{13{,}71} = 35{,}94$$

valor aproximadamente igual a λ_y, que confirma, que para los perfiles laminados, doblemente simétricos, no es precisa la comprobación del pandeo por torsión pura

En [3.38] (reproducción de la tabla 3.8 de la Norma Básica MV-103) se dan las fórmulas generales para la obtención de estos valores en algunas secciones, y en la segunda parte de este capítulo se dan los valores de estas constantes para las series de perfiles laminados y los valores de los radios de torsión en función de la luz para distintas combinaciones de valores de β y β_o

3.5.1. Pandeo por torsión pura de barras comprimidas axilmente.

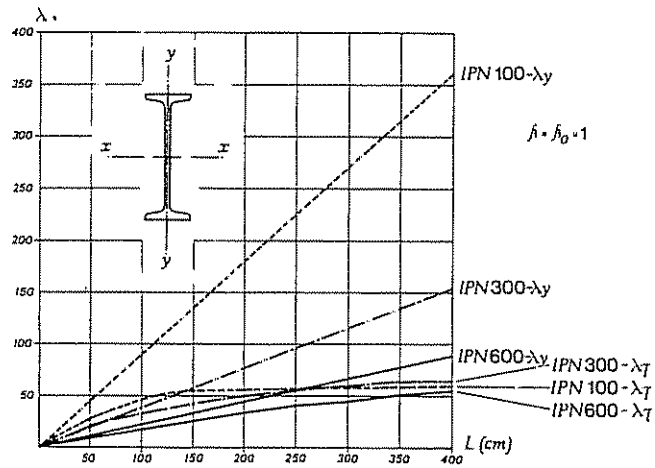
Una barra sometida a compresión centrada no puede pandear por torsión pura más que si su eje baricéntrico coincide con su eje de torsión (lugar geométrico de los centros de torsión), circunstancia que se da en las barras cuyas secciones rectas tienen dos ejes de simetría, o de antimetría [3.39].

Es también condición para que se produzca, que la carga crítica correspondiente sea inferior a la carga crítica de pandeo plano o sea por flexión. Esto no tiene lugar más que en barras de sección abierta y pared delgada con muy débil rigidez torsional.

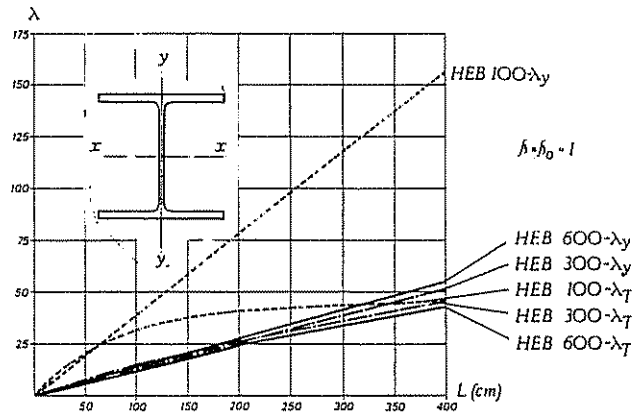
El fenómeno tiene lugar porque en una barra comprimida disminuye la rigidez torsional (por el contrario ésta aumenta si la barra está sometida a tracción).

La cuantificación de este fenómeno se recoge en el artículo 3.5.5.2 de la Norma Básica MV-103, que dice:

> 3.5.5.2 *Piezas simples con sección abierta de pequeño espesor con doble simetría o simetría puntual.*
>
> *En piezas simples con sección abierta de pequeño espesor con simetría doble o puntual, el centro de esfuerzos cortantes coincide con el baricentro (casos 1 y 2 de la tabla 3.8). En ellas puede presentarse un pandeo por torsión pura cuando se cumple que:*
>
> $$i_o > i_T$$
>
> *siendo i_o el radio de giro polar.*
>
> $$i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$
>
> *En este caso la esbeltez de la pieza se tomará:*
>
> $$\lambda_T = \frac{\beta l}{i_y} \frac{i_o}{i_T}$$
>
> *siendo i_y el radio de giro de la sección respecto al eje principal de inercia que lo tenga menor*


λ
400
350
300
250
200
150
100
50
y
x
x
y
IPN 100-λy
IPN300-λy
IPN600-λy
IPN 300 - λT
IPN 100 - λT
IPN600 - λT
L (cm)
50
100
150
200
250
300
350
400

a


λ
175
150
125
100
75
50
25
y
x
x
y
HEB 100-λy
HEB 600-λy
HEB 300-λy
HEB 100-λT
HEB 300-λT
HEB 600-λT
L (cm)
50
100
150
200
250
300
350
400

b

[3.40]

En los perfiles laminados IPN, IPE, HEA, HEB y HEM no es preciso esta comprobación, pues siempre es determinante el pandeo por flexión, sea cual sea el valor que se adopte para β_o. Como ejemplo de ello en [3.40] representamos la relación entre las esbelteces λ_y (esbeltez máxima de flexión) y λ_T (esbeltez ideal de torsión), para diversos perfiles.

Véase ejemplo de aplicación en la página 238.

3.5 2. **Pandeo por flexión y torsión de barras comprimidas axilmente.**

Se puede presentar en barras asimétricas o simplemente simétricas. En ellas el centro de gravedad de la sección no coincide con el centro de esfuerzos cortantes.

Limitándonos al caso de secciones con un eje de simetría y suponiendo que éste sea el eje y-y el análisis matemático del fenómeno demuestra que la barra puede pandear por flexión en el plano y-y o pandear por flexión acompañada de torsión en el plano x-x.

De una manera simple se puede ver que el pandeo por flexión en el plano x-x va siempre acompañado de torsión.

Supongamos un perfil UPN simplemente apoyado en sus extremos, cuyo pandeo en el plano y-y está impedido y sometido a una compresión P_{cr} [3.41].

Al deformarse en el plano x-x y considerando un elemento de longitud dz, se ve que los esfuerzos $\sigma\, d\,\Omega$ actuando sobre las secciones deformadas de la barra tienen una componente horizontal pdz, siendo $p = \int \sigma \cos\alpha\, d\,\Omega$ aplicada en el centro de gravedad G de la sección y como este no coincide con el centro de esfuerzos cortantes S, se producen un par elemental de torsión $p\, y_0\, dz$. Estos pares repartidos a lo largo de la directriz someten a la pieza a torsión, deformándola consecuentemente.

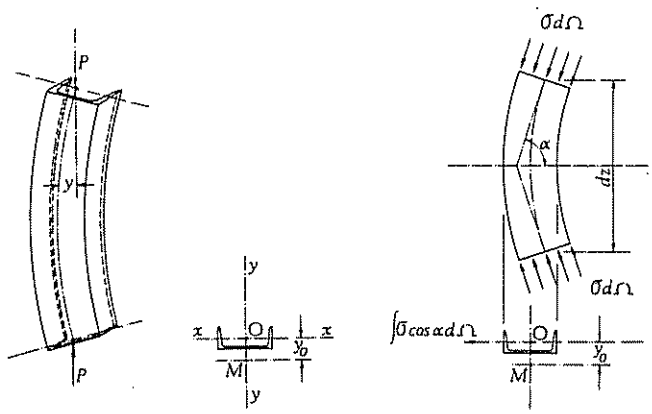
El fenómeno tiene mayor o menor importancia según que la distancia entre los centros de gravedad y esfuerzos cortantes sea mayor o menor.

Para las secciones corrientes su importancia es máxima en las UPN, disminuye en las simples T, es todavía menor en las dobles T de alas de distinta sección o longitud y desaparece en las dobles T de alas iguales (perfil con doble simetría). En [3.42] se representan los valores de la esbeltez torsional y la de flexión para algunas secciones de este tipo.

Para el cálculo de piezas de estas coracterísticas (con un solo eje de simetría) la Norma Básica MV-103 dice en su artículo 3.5.5.3 [1], para el cálculo de la esbeltez ideal λ_T:

---

[1] La tabla que inserta la Norma, se reproduce en [3.38].


P
y
P
y
x
O
x
y_0
M
y
$\sigma d\Omega$
α
dz
$\sigma d\Omega$
$\int \sigma \cos\alpha d\Omega$
O
y_0
M

[3.41]

La esbeltez de la pieza viene dada por:

$$\lambda_T = \frac{\beta\, l}{i_y} \sqrt{\frac{i_T^2 + i_A^2}{2\, i_T^2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\, i_T^2 \left| i_o^2 + 0{,}093 \left(\frac{\beta^2}{\beta_o^2} - 1 \right) y_o^2 \right|}{(i_T^2 + i_A^2)^2}} \right]}$$

siendo:

y_o *Ordenada del centro de esfuerzos cortantes referida al baricentro (tabla 3.8)*

$i_A = \sqrt{i_o^2 + y_o^2}$ *Radio de giro polar referido al centro de esfuerzos cortantes*

En estas piezas se tomará como eje y-y el de simetría.

Para el cálculo de λ_T puede utilizarse [3.44-3.45-3.46-3.47-3.48-3.49], que se incluyen a continuación [1], válidos para las secciones dibujadas en [3.43].

En los perfiles laminados la relación de espesores de alas y almas no son, en general, los estudiados, sin embargo, también para ellos pueden utilizarse los ábacos con suficiente exactitud. Los valores obtenidos pueden diferir de los reales, concretamente en el caso del perfil UPN laminado los valores de α pueden ser notablemente superiores a los reales (ver ejemplo en la página 246).

Para su empleo es preciso determinar los coeficientes:

$$\psi = \frac{\beta}{\beta_o} \text{ (con la significación ya expresada)}$$

$$\alpha = \frac{b}{h_a}$$

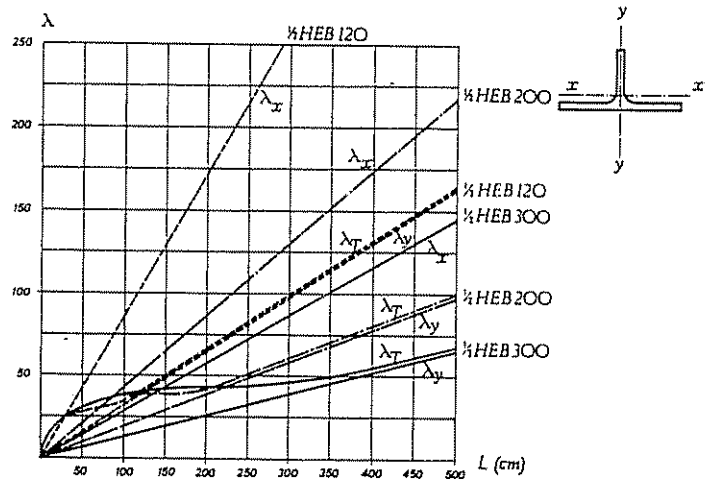
$$\varkappa = \frac{\beta\ \ l\ \ e}{h_a^2}$$

Como valor de β se tomará $\beta = \beta_y$, ya que se trata del pandeo en el plano x-x y su valor de λ_y lo obtenemos aproximadamente por medio de [3.44], donde hallamos el K_t correspondiente a cada sección, y después λ_y por la fórmula:

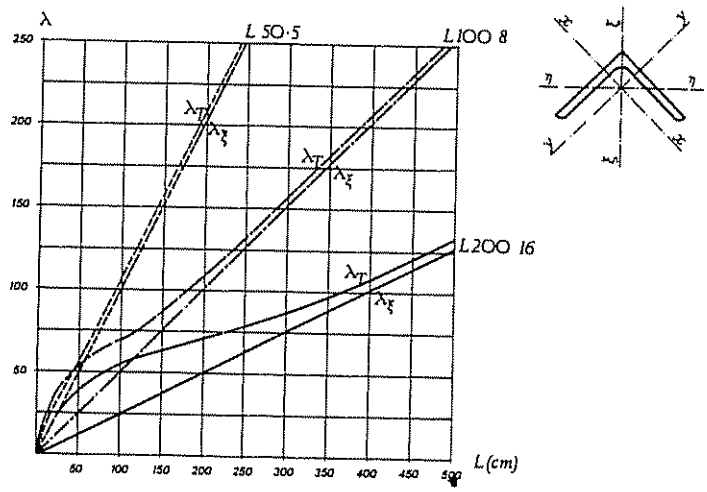
$$\lambda_y = \frac{\beta_y\, l}{h_a} K_t$$

Para la sección S2 el valor de K_t independiente de α y con valor $K_t = 2{,}45$

[1] K. KLOPPEL y R. ACHARDT. *Der Stahlbau*, Berlín, enero 1952.


λ
½HEB 120
½HEB 200
½HEB 120
½HEB 300
½HEB 200
½HEB 300
L (cm)
y
x
x
y

a


λ
L 50·5
L 100 8
L 200 16
L(cm)
η
η
ξ
ξ

b

[3.42]

El valor de λ_T se obtiene por medio de la relación $\frac{\lambda_T}{\lambda_y}$ que a su vez la obtenemos de los ábacos [3.45] para secciones tipo S1, de los [3.46] para las secciones S2, del [3.47] para las S3, del [3.48] para las S4 y de los [3.49] para las S5.

De los ábacos también puede obtenerse el valor de λ_x de cada sección (por medio de la curva $\beta_x = \beta_y$), que nos da la relación $\frac{\lambda_x}{\lambda_y}$ cuando $\beta_x = \beta_y$. Si $\beta_x \neq \beta_y$ el valor de $\frac{\lambda_x}{\lambda_y}$ será el obtenido por los ábacos multiplicado por el cociente $\frac{\beta_x}{\beta_y}$.

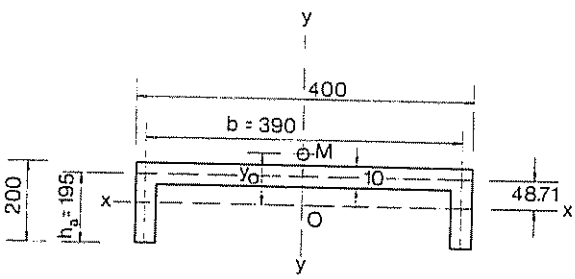
Para las secciones S3 y S4 la influencia del alabeo de la sección es despreciable y, por tanto, no se consideran distintos valores de ψ.

En la sección S2 no influye el coeficiente de forma α y los ábacos [3.46] se reducen a dos curvas ($\psi = 1$, $\psi = 2$), con abcisas $\varkappa$. La curva $\beta_x = \beta_y$ pasa a ser un punto y por tanto $\frac{\lambda_x}{\lambda_y}$ constante e igual a 2,0.

En todos los ábacos hay valores de $\varkappa$ que determinan curvas que no cortan a la curva «$\beta_x = \beta_y$», y esto nos indica que cualquiera que sea el valor de α siempre $\lambda_T > \lambda_x$ y se producirá siempre pandeo de torsión.

En las zonas por debajo de la curva «$\beta_x = \beta_y$» (representadas con trazos en los ábacos) se presenta el pandeo por flexión en el plano y-y (λ_x determinante) antes que el pandeo por flexión y torsión.

3.5 2. EJEMPLO DE APLICACION



Calcular la esbeltez máxima de una barra, formada por

1□400 · 10 y 2□195 · 10

según el esquema, de 475 cm de longitud con apoyos articulados y que permitan el libre alabeo de las secciones extremas de la barra.

La barra tiene dos posibilidades de pandeo: por flexión en el plano de simetría o por flexión y torsión en otro cualquier plano. El cálculo de las esbelteces correspondientes, se puede hacer por los dos siguientes métodos:

1.° Artículo 3.553 de la Norma Básica MV-103

Los valores necesarios para su aplicación son:

$A = 78\ cm^2$ $I_x = 3\,092\ cm^4$ $I_y = 19\,783\ cm^4$ $I_T = 26\ cm^4$ (según 3.38)
$I_A = 831\,051\ cm^6$ (según 3.38) $y_o = 12,12$ cm (según 3.38) $i_x = 6,29$ cm $i_y = 15,92$ cm
$i_o = 17,11$ cm $i_T = 7,81$ cm (según fórmula en 3,52) $i_A = 20,96$ cm $\beta = \beta_o = 1$

aplicados estos valores a la fórmula de λ_T (en 3,52), se obtiene:

$$\lambda_T = 90,51$$

el valor de la esbeltez para el pandeo, según el plano Y-Y, será:

$$\lambda_x = 75,51$$

2.° Abacos de KLOPPEL y ACHARDT, [3.43] a [3.49] Reducen considerablemente las operaciones necesarias:

$\beta = \beta_o = 1$ $\Psi = \beta/\beta_o = 1,0$ $\alpha = \dfrac{390}{195} = 2,0$ $x = \dfrac{1 \times 4.750 \times 10}{195^2} = 1,24$

de [3.45] $\dfrac{\lambda_T}{\lambda_y} = 3,2$ en la curva de $x = 1,24$

$\dfrac{\lambda_x}{\lambda_y} = 2,54$ en la curva $\beta_x = \beta_y$

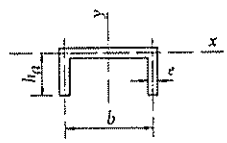
de [3.44] $K_i = 1,2$ $\lambda_y = \dfrac{475}{19,5}\,1,2 = 29,23$

deduciendo entonces, para

$\lambda_T = 3,2 \times 29,23$ $\lambda_T = 93,53$
$\lambda_x = 2,54 \times 29,23$ $\lambda_x = 74,24$

como se puede apreciar, la aproximación es suficiente

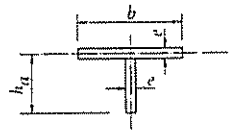
SECCION S1



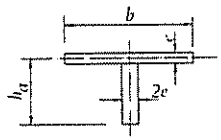
SECCION S2



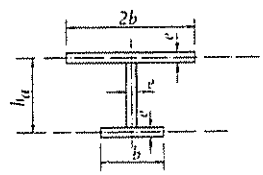
SECCION S3



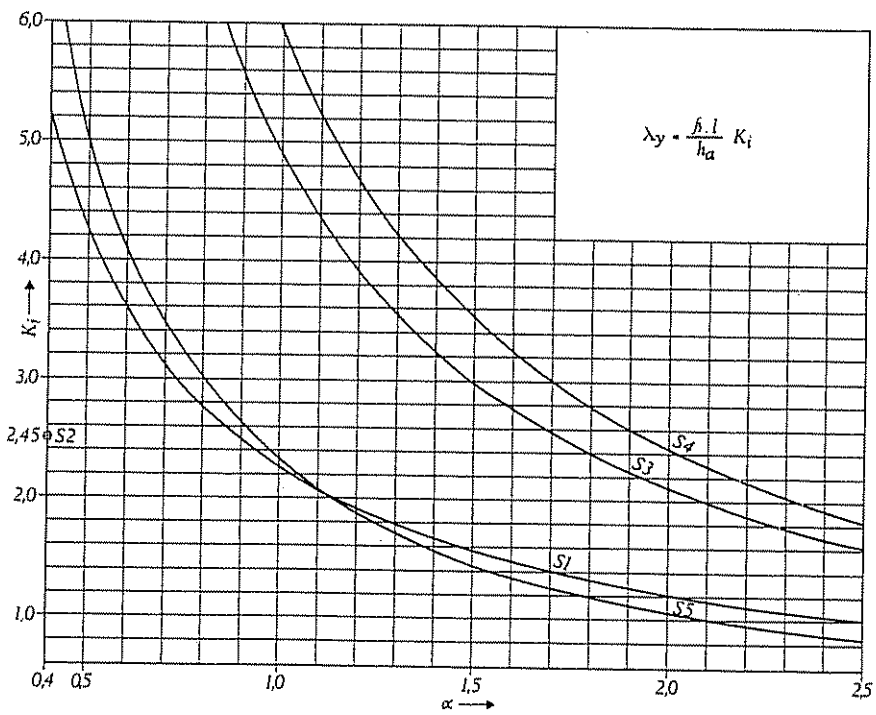
SECCION S4



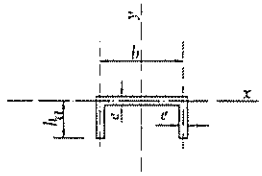
SECCION S5



[3.43]


6,0
5,0
4,0
3,0
2,45
2,0
1,0
K_i
S2
S4
S3
S1
S5
0,4
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
α
$\lambda_y = \frac{\beta . l}{h_a} K_i$

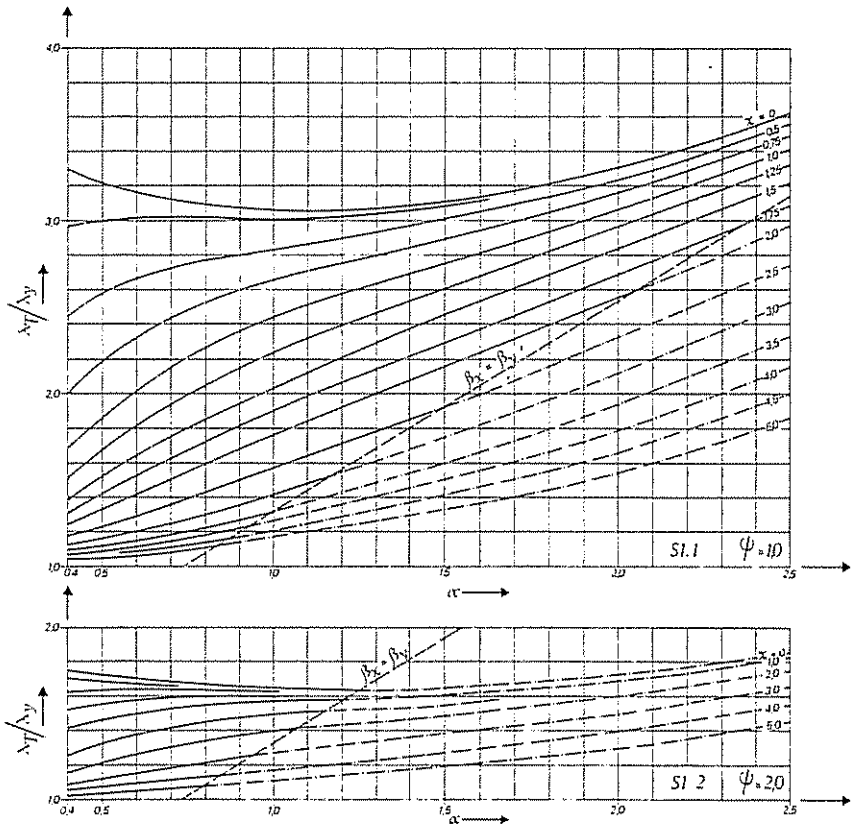
[3.44]



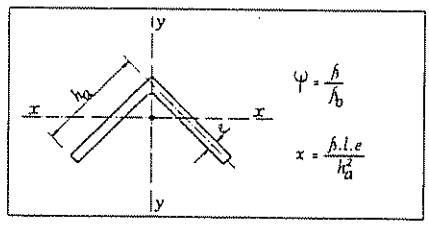
$$\psi = \frac{\beta}{\beta_0}$$

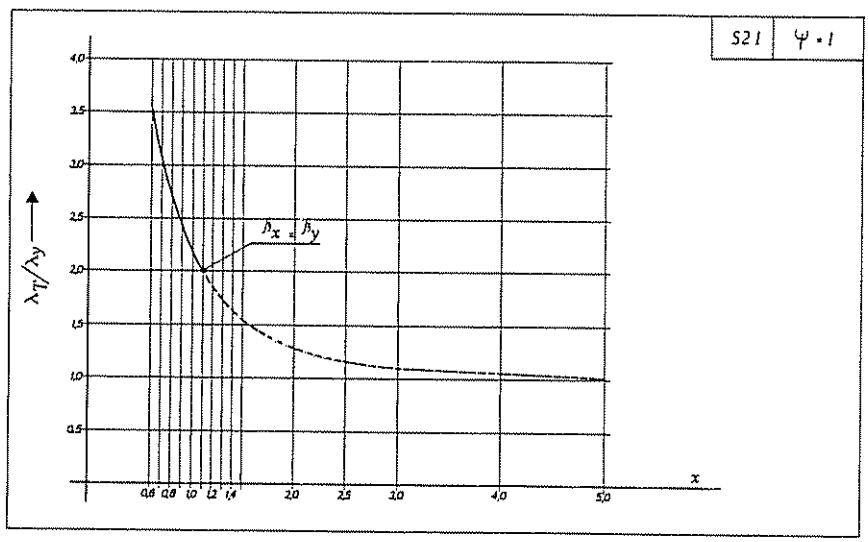
$$\alpha = \frac{l_0}{h_a}$$

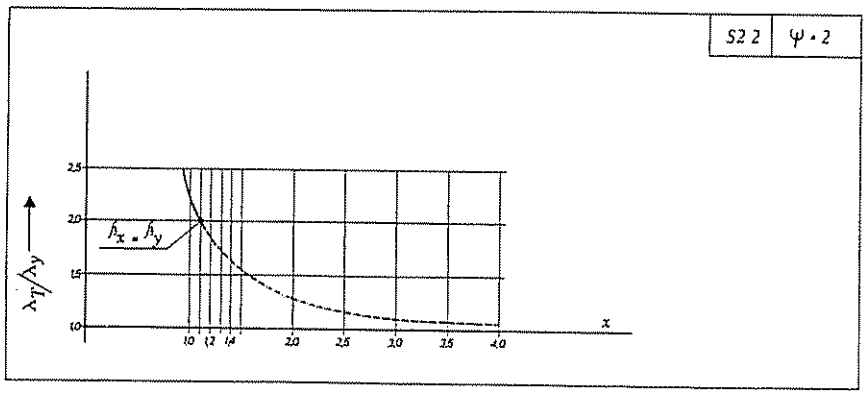
$$x = \frac{\beta . l . e}{h_a^2}$$



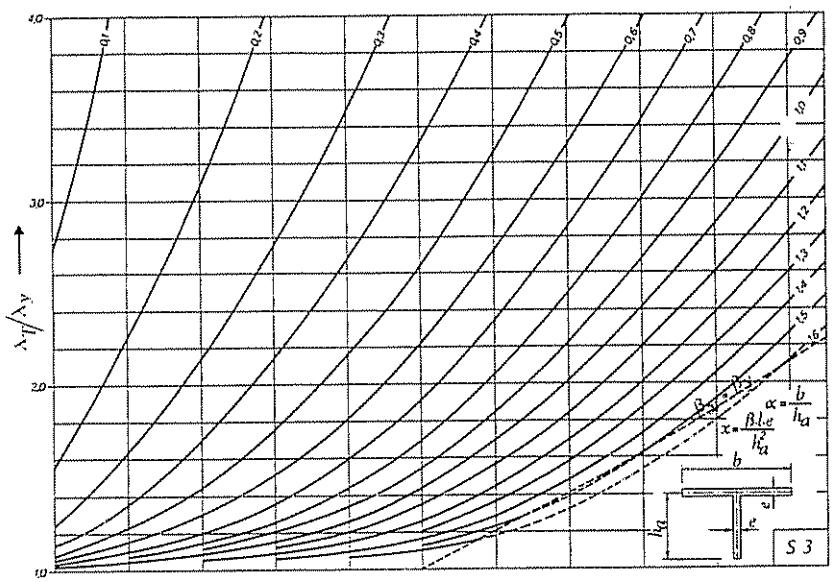
[3.45]


y
x
x
y
h_0
$\psi = \frac{h}{h_0}$
$x = \frac{h.l.e}{h_0^2}$


S21
ψ = 1
λ_η/λ_y
$\beta_x = \beta_y$
x
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,8 0,9 1,0 1,2 1,4 2,0 2,5 3,0 4,0 5,0

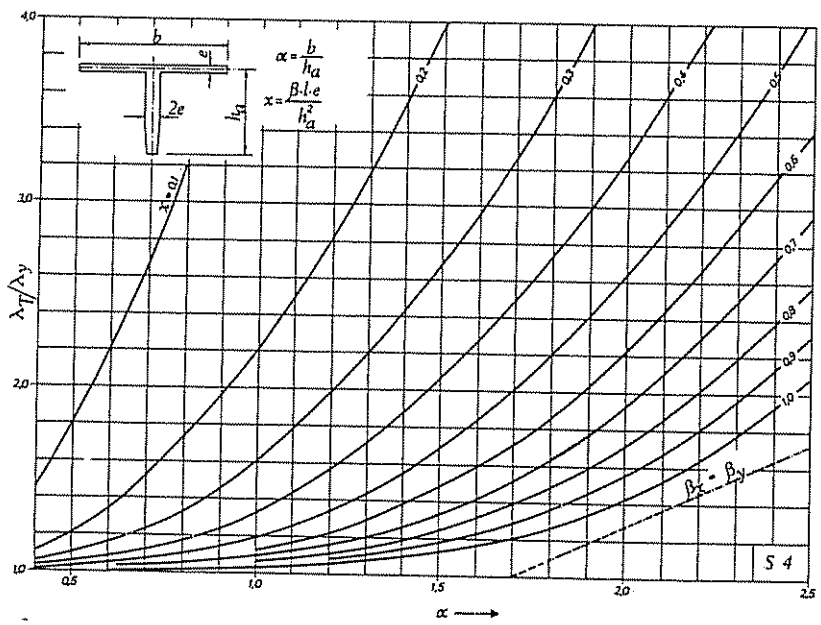

S2 2
ψ = 2
λ_η/λ_y
$\beta_x = \beta_y$
x
2,5
2,0
1,5
1,0
1,0 1,2 1,4 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0

[3.46]



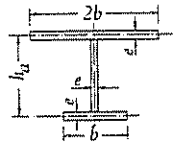
ESTE GRAFICO ES VALIDO PARA CUALQUIER VALOR DE ψ

[3.47]



ESTE GRAFICO ES VALIDO PARA CUALQUIER VALOR DE ψ.

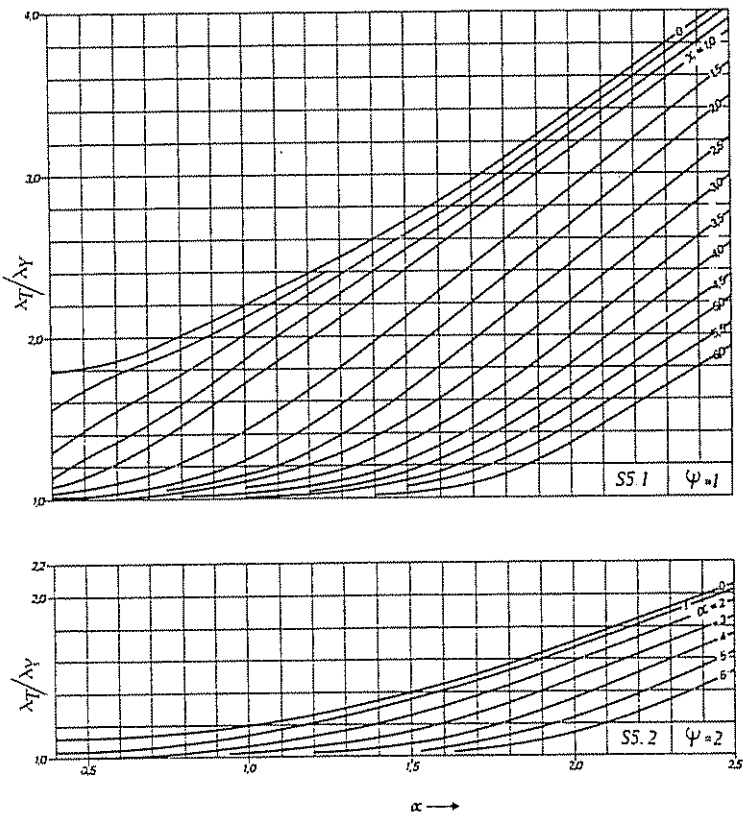
[3.48]



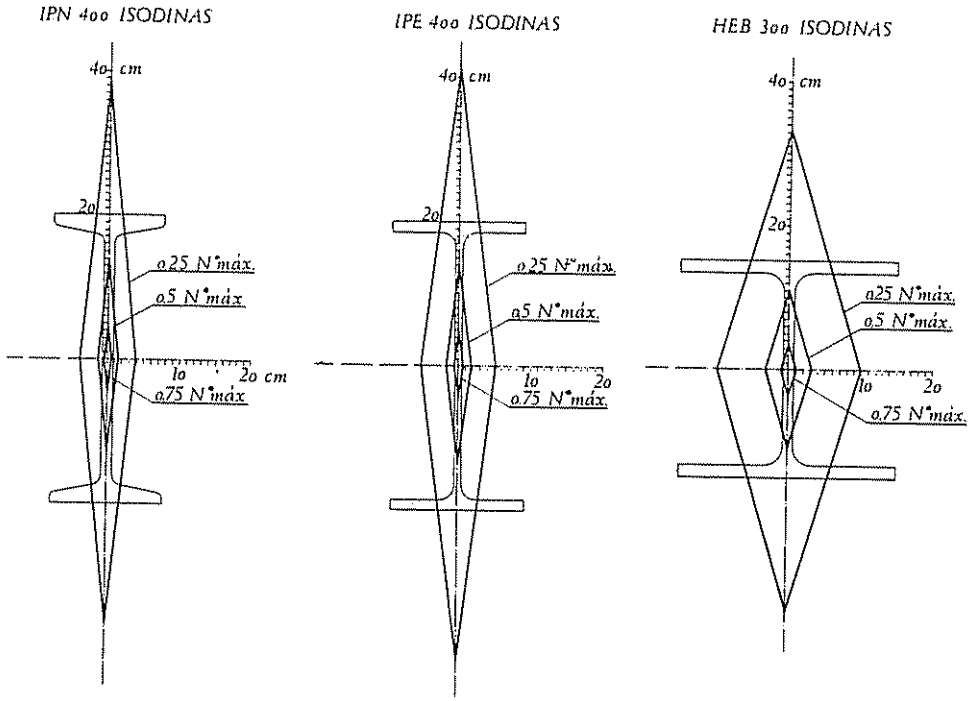
$$\psi = \frac{f_1}{f_0}$$

$$\alpha = \frac{b}{h_a}$$

$$x = \frac{f_1 . l . e}{h_a^2}$$



[3.49]


IPN 400 ISODINAS
40 cm
20
0,25 N*máx.
0,5 N*máx.
10
20 cm
0,75 N*máx.
IPE 400 ISODINAS
40 cm
20
0,25 N*máx.
0,5 N*máx.
10
20
0,75 N*máx.
HEB 300 ISODINAS
40 cm
20
0,25 N*máx.
0,5 N*máx.
10
20
0,75 N*máx.

[3.50]

3.6. COMPRESION EXCENTRICA

Una pieza está sometida a compresión excéntrica, cuando estando sometida a compresión por dos fuerzas iguales y opuestas actuando en sus extremos, la línea de actuación de estas fuerzas no coincide con el eje baricéntrico de la pieza. También pueden considerarse sometidas a compresión excéntrica las piezas con compresión axial, cuando simultáneamente están solicitadas a flexión con una ley de momentos flectores constante o variable a lo largo de su directriz. Se presentan distintos casos:

Piezas sin posibilidad de pandeo. (3.6.1).

Piezas de sección de simetría sencilla y con la fuerza de compresión contenida en el plano de simetría. (3.6.2).

Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al de simetría. (3.6.2.1).

Con posibilidad de pandeo en cualquier plano. (3.6.2.2).

Piezas de sección con doble simetría solicitadas por una fuerza de compresión contenida en uno de los planos de simetría. (3.6.3).

Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al que contiene la fuerza de compresión. (3.6.3.1).

Con posibilidad de pandeo en cualquier plano. (3.6.3.2).

Piezas de sección con doble simetría solicitadas por una fuerza de compresión no contenida en un plano de simetría. (3.6.4).

Sin posibilidad de pandeo en uno de los planos de simetría. (3.6.4.1).

Con posibilidad de pandeo en cualquier plano. (3.6.4.2).

Caso general. (3.6.5).

3.6.1. Piezas sin posibilidad de pandeo.

La comprobación se reduce a un simple cálculo para averiguar la tensión máxima según la fórmula de la flexión compuesta sin coeficiente de pandeo, o sea, lo que en la Norma Básica MV-103 se especifica como comprobación de resistencia:

Comprobación de resistencia:
En las barras de sección constantes solicitadas a compresión excéntricas se verificará:

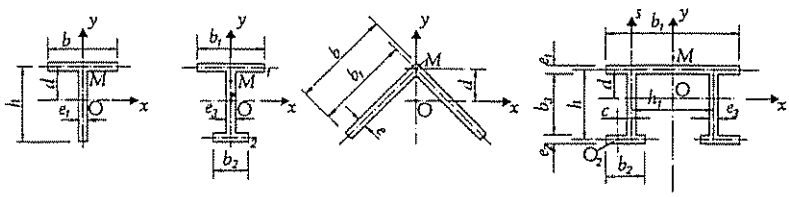
$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*_x\, y}{I_x} + \frac{M^*_y\, x}{I_y} \leqslant \sigma_u$$

siendo:

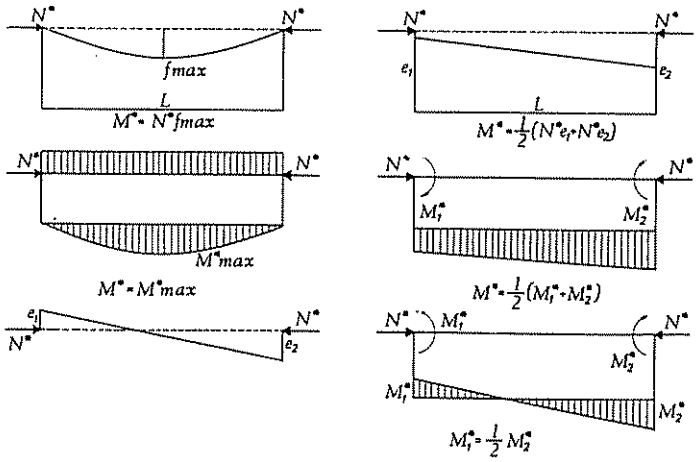
N^* *Esfuerzo normal ponderado*
M^*_x y M^*_y *Momentos flectores ponderados.*

En este caso, la resistencia a la compresión excéntrica de un perfil dado es solo función de la situación del punto de aplicación de la carga. Fácilmente se deduce que los puntos en que se puede aplicar igual carga de agotamiento se hallan sobre una recta en cada cuadrante de los ejes principales [3.50]. En el caso de perfiles de doble simetría forman, por lo tanto, un rombo con punto medio en el baricentro.

PIEZAS DE SIMETRIA SENCILLA



[3.51]



[3.52]

En las figuras se ilustra la situación correspondiente a algunos perfiles típicos, indicando la carga de agotamiento por compresión excéntrica en relación a la de agotamiento para compresión centrada (sin flexión).

3.6.2. Piezas de sección de simetría sencilla y con la fuerza de compresión contenida en el plano de simetría.

3.6.2.1. *Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al de simetría.*

Para este caso [3.51] prescribe la Norma Básica MV-103, en su apartado 3.9.2 [1], que además de las comprobaciones de resistencia, se realicen las siguientes comprobaciones:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + 0{,}9\,\frac{M^*}{W_c} < \sigma_u$$

Si el centro de gravedad se encuentra más próximo al borde comprimido que al traccionado se comprobará además:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + \frac{300 + 2\lambda}{1.000}\,\frac{M^*}{W_t} < \sigma_u$$

A	*Area de la sección*
λ	*Esbeltez mecánica en el plano del momento.*
ω	*Coeficiente de pandeo correspondiente a dicha esbeltez.*
$W_t\ W_c$	*Módulos resistentes de la sección relativos a los bordes en compresión y en tracción, respectivamente.*
$N^*\ M^*$	*Esfuerzo normal ponderado y momento flector ponderado (ambos siempre en valor absoluto).*

Si el momento flector es variable a lo largo de la pieza, se tomará para M^* el valor máximo, a no ser que este máximo se presente en uno de los extremos de la pieza y ambos extremos tengan impedidos sus movimientos en el plano de la flexión, en cuyo caso se tomará como valor de M^* la semisuma de los momentos que actúan en cada extremo, sin son del mismo signo; o, la mitad del momento máximo, si lo tienen distinto (véase figura 3.9).

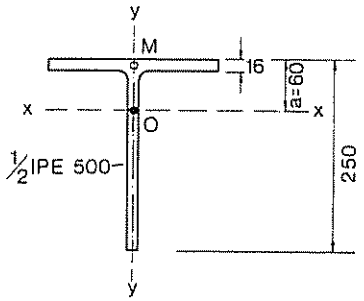
Las fórmulas indicadas, que figuran también en varias Instrucciones extranjeras, están basadas en la fórmula general

$$C_1 \frac{N}{A} + C_2 \frac{M}{W} \leqslant \sigma_{límite}$$

---

[1] La figura que inserta la Norma, se reproduce en [3.52].

3.622. EJEMPLO DE APLICACION



Realizar las comprobaciones necesarias en una barra (½ IPE 500) sometida a una fuerza de compresión N = 80 t contenida en su plano de simetría y a una distancia a = + 60mm del centro de gravedad. La barra tiene una longitud de 4,00 m con sus extremos articulados y con alabeo libre en los mismos. Acero A 42.*

Siguiendo el artículo 3.62 debemos hacer las siguientes comprobaciones:

A_1) Comprobación de resistencia. Artículo 3.61

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{80}{57,8} + \frac{80 \times 6}{3\,260/6} = 1,38 + 0,88 = 2,26\ t/cm^2 < \sigma_u$$

A_2) Comprobación del pandeo por flexión en el plano Y-Y. Artículo 3.621

$$i_x = 7,52\ cm \quad \lambda_x = 53 \quad \omega_x = 1,15 \qquad \sigma^* = \frac{N^* \omega_x}{A} + 0,9\ \frac{M^*}{W_c} = 1,58 + 0,79 = 2,37\ t/cm^2$$

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega_x}{A} + \frac{300 + 2\lambda}{1.000}\ \frac{M^*}{W_t} = 1,38 \times 1,15 + 0,4 \times 2,79 = 2,69\ t/cm^2 > \sigma_u$$

A_3) Comprobación en el plano X-X. Artículo 3.622

$$i_y = 4,31\ cm \quad \lambda_y = 92,80 \quad \omega_y = 1,81; \qquad \sigma^* = \frac{N^* \omega_y}{A} = \frac{80 \times 1,81}{57,8} = 2,49\ t/cm^2 < \sigma_u$$

A_3') Comprobación del pandeo por flexión y torsión. Artículo 3.622. Para el cálculo de λ_T, según la fórmula correspondiente, pág. 261, debemos calcular antes:

$$I_T = \frac{be^3 + b_1 e_1^3}{3} = 35,58\ cm^4$$

$$I_A = \frac{b^3 l^3}{144} + \frac{h e_1^3}{36} = 645,33\ cm^6 \quad \Big\} \text{ tabla [3.38]}$$

$$r_x = \frac{1}{I_x}\left[y_o I_y + bed^3 + \frac{e_1}{4} d^4 \right] = 3,14\ cm$$

$$i_T = \sqrt{\frac{I_A}{I_y}\left(\frac{\beta l}{\beta_o d_o}\right) + 0,039\,(\beta l)^2 \frac{I_T}{I_y}} = 14,42\ cm; \quad i_o = \sqrt{i_x^2 + i_y^2} = 8,66\ cm$$

$$i_A = \sqrt{i_o^2 + y_o^2} = 10,10\ cm \qquad \beta = \beta_o = 1$$

sustituyendo estos valores en

$$\lambda_T = \frac{l_K}{i_y} \times \sqrt{\frac{i_T^2 + i_A^2 + a(r_x - 2y_o)}{2i_T^2}\left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4i_T^2\,[i_o^2 + a(r_x - a)]}{[i_T^2 + i_A^2 + a(r_x - 2y_o)]^2}}\right]}$$

$$\lambda_T = \frac{400}{4,31} \times 1,002 = 92,99 \quad \omega = 1,81 \quad \sigma^* = \frac{80}{57,8} \times 1,81 = 2,49\ t/cm^2 < \sigma_u$$

El resultado es casi análogo al de A_3), porque la posición de N* es muy próxima al centro de esfuerzos cortantes

B) Comprobación aproximada. Artículo 3.622

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega_y}{A} + \frac{M^*}{W_c} = \frac{80 \times 1,81}{57,8} + \frac{80 \times 6,0}{3\,260/6,0} = 3,37\ t/cm^2 > \sigma_u$$

como se puede apreciar, es demasiado conservadora

que para $C_1 = C_2 = 1$ nos da la justificación de tensión elemental de acuerdo con la teoría de primer orden. Con esta fórmula general se puede efectuar una justificación de segundo orden, tomando como hace DISCHINGER [1]

$$C_1 = 1 \quad y \quad C_2 = \frac{\nu + \delta}{\nu - 1} + \frac{\delta_1}{\nu}$$

siendo υ coeficiente de seguridad ideal contra el pandeo.

δ y δ_1, parámetros ligados a la forma de aplicación del momento, o en general de las fuerzas no axiles, y a las condiciones de empotramiento en los extremos.

Según propuesta de HERBER [2] puede establecerse un estado «seudo-carga admisible» con

$$C_2 = \theta \left(\frac{\nu + \delta}{\nu - 1} + \frac{\delta_1}{\nu} \right)$$

introduciendo un coeficiente de plastificación θ, que depende del perfil y de la posición de la fuerza excéntrica solicitante. Con objeto de simplificar el cálculo y como consecuencia de los estudios de CHWALLA y KLOPPER se fijaron los coeficientes que figuran en las Instrucciones de cálculo y en las que se combina la solución de barras comprimidas teóricamente en el centro de gravedad con la solución del problema de tensiones en la teoría de primer grado.

3.6.2.2. *Con posibilidad de pandeo en cualquier plano.*

En el caso de que la pieza pueda pandear en un plano perpendicular al de simetría que contiene la carga, además de las comprobaciones de resistencia y de pandeo por flexión en el plano de simetría, apartado 3.6.2.1, debe comprobarse, en primer lugar, el pandeo por flexión en el plano perpendicular al de simetría (plano x-x) por compresión axil, es decir:

$$\sigma^* = \frac{\omega_y \, N^*}{A} \leqslant \sigma_u$$

ω_y calculada con λ_y, para el caso de que el punto de aplicación de la pieza coincida; o sea, muy próximo al centro de esfuerzos cortantes.

También es preciso calcular el pandeo con flexión y torsión, cuya comprobación equivale a la verificación de:

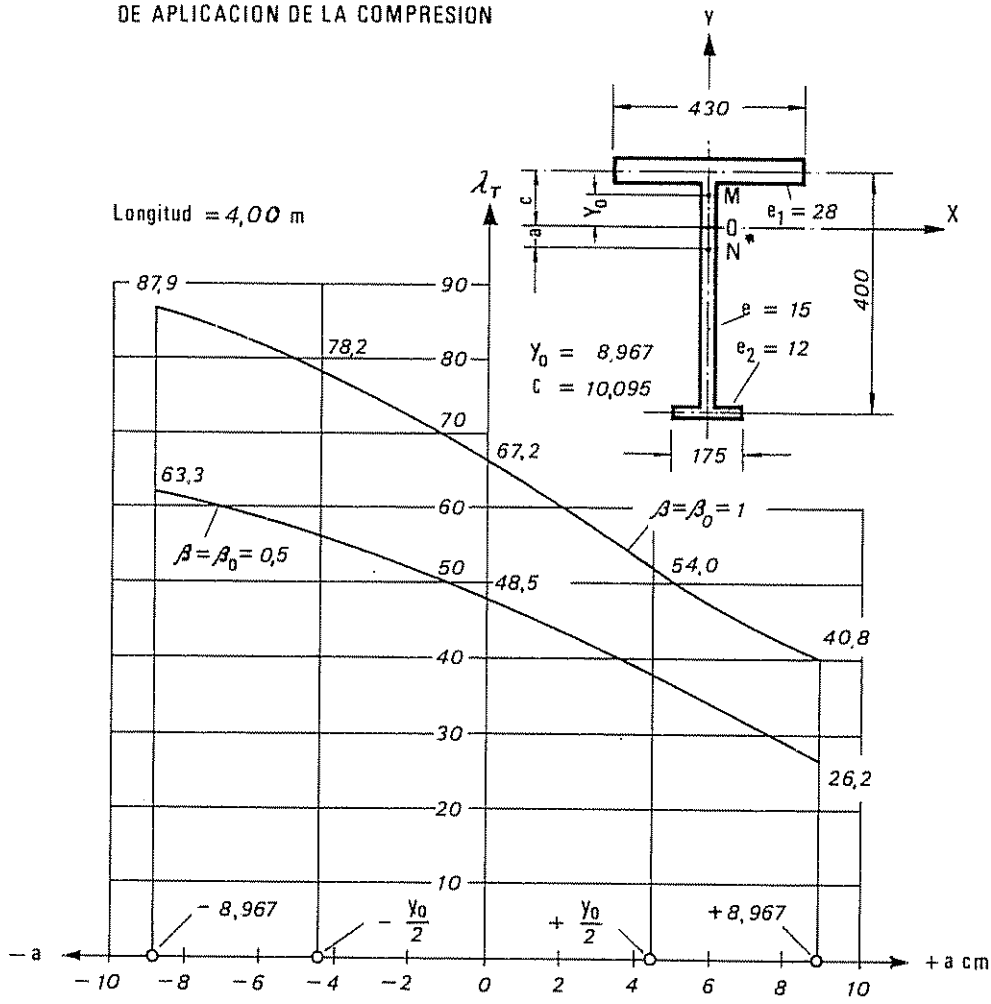
$$\sigma^* = \frac{\omega_T \, N^*}{A} \leqslant \sigma_u$$

---

[1] DISCHINGER, F., *Verformung und Kriechen des Betons bei Bogenbrücken*. Bauingenieur, 1937.

[2] HERBER, K. H., *Vereinfachte einheitliche Berechnung von Knickproblemen für Stab mit Stäbe Lagerung und Rahmentragwerke*. Bautechnik 1965.

INFLUENCIA DE LA SITUACION DEL PUNTO
DE APLICACION DE LA COMPRESION



[3.53]

ω_T calculada con λ_T según la Norma Básica MV-103, en el artículo 3.9.4.1 [1]:

$$\lambda_T = \frac{l_k}{i_y}\sqrt{\frac{i_T^2 + i_A^2 + a(r_x - 2y_o)}{2\,i_T^2}\left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4\,i_T^2\left[i_0^2 + a(r_x - a) + 0{,}093\left(\frac{\beta^2}{\beta_0^2} - 1\right)(a - y_o)^2\right]}{[i_T^2 + i_A^2 + a(r_x - 2y_o)]^2}}\right]}$$

debiendo elegirse en la segunda raíz el signo que dé el mayor valor real para λ_T, *y además:*

$$r_x = \int \frac{y\,(x^2 + y^2)\,dA}{I_x}$$

a *excentricidad de la compresión, pudiendo ser* r_x *y* a *positivos o negativos.*
Se tomará como eje Y *el de simetría que contiene a la carga.*
En las secciones con centro de simetría: $r_x = 0$.
En las secciones 4 y 5 de la tabla 3.8:

$$r_x = \frac{1}{I_x}\left[y_o\,I_y + b_1\,e_1\,d_1^3 - b_2\,e_2\,d_2^3 + \frac{e_3}{4}(d_1^4 - d_2^4)\right]$$

En la sección 6 de la tabla 3.8:

$$r_x = \frac{1}{I_x}\left[d\,(b_3\,e_3\,d^2 + I_{3y}) + (2\,d - b_1)\,I_{1y} + \frac{e_1}{2}\,[d^4 - (b_1 - d)^4]\right]$$

pudiendo ser a, y_o *y* r_x *positivos o negativos.*

La fórmula anterior es el resultado de resolver para el *caso particular* de simetría que nos ocupa, el sistema de ecuaciones diferenciales:

$$E\,I_x\,\frac{d^4\,v}{dz^4} = -\int \frac{d^2\,v}{dz^2}\,\sigma\,dA$$

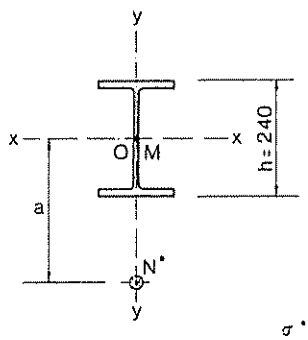
$$E\,I_y\,\frac{d^4\,u}{dz^4} = -\int \frac{d^2\,u}{dz^2}\,\sigma\,dA$$

$$-E\,I_A\,\frac{d^4\,\theta}{dz^4} + G\,I_T\,\frac{d\,\theta}{dz} = -\int\left[\frac{d^2\,u}{dz^2}(y - y_o) - \frac{d^2\,v}{dz^2}\,x\right]\sigma\,dA$$

que expresan el equilibrio elástico de la barra, bajo una deformación caracterizada por el ángulo de giro θ de la sección y de los corrimientos u y v en cada punto de la misma.

[1] La tabla que inserta la Norma, se reproduce en [3.38].

3.632. EJEMPLO DE APLICACION



Realizar las comprobaciones necesarias en una barra, (HEB 240), sometida a una fuerza de compresión N = 40 t contenida en el plano Y-Y y a una distancia a = 48 cm. La barra tiene una longitud de 6,00 m, con sus extremos articulados y con posibilidad de alabeo libre en los mismos. Acero A-42.*

El artículo 3.63 nos marca los pasos a seguir.

A_1) Comprobación de resistencia Artículo 3.61

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_{xx}} = \frac{40}{106} + \frac{40\times48}{938} = 0,38 + 2,05 = 2,43\ t/cm^2 < \sigma_u$$

A_2) Comprobación del pandeo por flexión en el plano Y-Y Artículo 3.621

$$i_x = 10,3\ cm \quad \lambda_x = 58 \quad \omega_x = 1,20$$

$$\sigma^* = \frac{N^*\omega_x}{A} + 0,9\,\frac{M^*}{W} = 1,20 \times 0,38 + 0,9 \times 2,05 = 0,46 + 1,85 = 2,31\ t/cm^2 < \sigma_u$$

A_3) Comprobación del pandeo por flexión, en el plano X-X, por compresión axil. Artículo 3.622

$$i_y = 6,08\ cm \quad \lambda_y = 98,68 \quad \omega_y = 1,98$$

$$\sigma^* = \frac{N^*\omega_y}{A} = \frac{40 \times 1,98}{106} = 0,75\ t/cm^2 < \sigma_u$$

A_4) Comprobación del pandeo por flexión y torsión. Artículo 3.632. Para el cálculo de λ_T, podemos hacerlo directamente por la fórmula correspondiente, pág. 263, o por los ábacos [3.55].

Cálculo directo:

$$\left.\begin{array}{l} i_o = 12,0\ cm \\ i_T = 20,74\ cm \end{array}\right\} \text{ de 3.83, págs. 294 y 295}$$

$$\lambda_T = \frac{l_K}{i_y}\alpha_T;\ \alpha_T = \frac{1}{\sqrt{2}\ i_T} \times \sqrt{i_T^2 + i_o^2 + \sqrt{(i_T^2 - i_o^2)^2 + 4i_T^2 \cdot e^2 \cdot h^2}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2} \times 20,74} \times \sqrt{20,74^2 + 12,0^2 + \sqrt{(20,74^2 - 12,0^2)^2 + 4 \times 20,74^2 \times 2^2 \times 24^2}} = 1,73$$

$$\lambda_T = \frac{600}{6,08} \times 1,73 = 171$$

Cálculo según los ábacos [3.55]

$$e = \frac{a}{h} = \frac{48}{24} = 2$$

en la familia de curvas de e = 2, la intersección de la abcisa l = 6,00 m con la curva HEB 240, da $\alpha_T = 1,73$

$$\lambda_T = 171$$

$$\lambda_T = 171;\ \omega = 5,04;\ \sigma^* = \frac{40}{106} \times 5,04 = 1,90\ t/cm^2 < \sigma_u$$

Esta comprobación es mucho más desfavorable que la A_3, puesto que esta correspondería al caso de $\alpha_T = 1$.

B) Comprobación aproximada. Artículo 3.622

$$\sigma^* = \frac{N^*\omega_y}{A} + \frac{M^*}{W_x} = \frac{40 \times 1,98}{106} + \frac{40 \times 48}{938} = 0,38 \times 1,98 + 2,05 = 2,80\ t/cm^2 > \sigma_u$$

Esta comprobación puede ser decisiva y su importancia depende tanto de la excentricidad de la carga como de su posición relativa con relación al centro de esfuerzos cortantes.

En [3.53] se ilustra la variación de λ_T con relación a la excentricidad a para una doble T asimétrica, de 4,00 m de longitud. La fórmula que la Norma Básica MV-103 indica cómo de seguridad suficiente en la mayoría de los casos, puede en algunos, de piezas con secciones de muy débil rigidez torsional, desde luego no usuales, resultar optimista con relación a la comprobación rigurosa.

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + \frac{M^*}{W_c} \leqslant \sigma_u$$

siendo ω el coeficiente de pandeo obtenido considerando el radio de giro mínimo de la sección.

Véase ejemplo de aplicación en la página 262.

3.6 3. Piezas de sección con doble simetría, solicitadas por una fuerza de compresión contenida en uno de los planos de simetría.

3.6 3 1. *Sin posibilidad de pandeo en el plano normal al que contiene la fuerza de compresión.*

La comprobación es idéntica a la del caso 3.6 2 1.

3.6 3 2. *Con posibilidad de pandeo en cualquier plano.*

Es preciso hacer las mismas comprobaciones que en el caso 3.6 2 2.

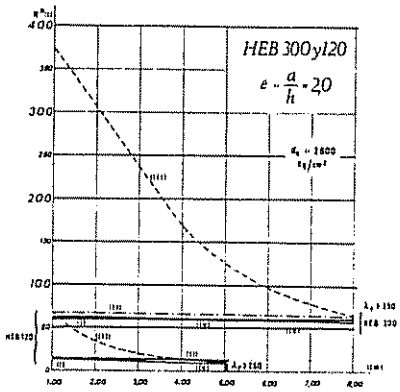
Para el pandeo por flexión y torsión la fórmula que da el valor de λ_T se simplifica notablemente reduciéndose a:

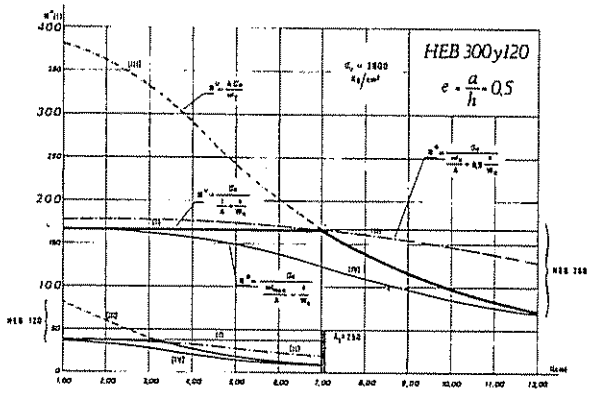
$$\lambda_T = \frac{l_k}{\sqrt{2}\, i_y\, i_T} \sqrt{i_T^2 + i_o^2 + \sqrt{(i_T^2 - i_o^2)^2 + 4\, i_T^2\, e^2\, h^2}} = \alpha_T\, \lambda_y$$

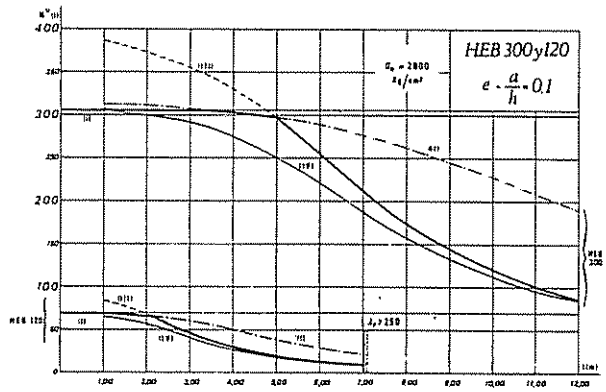
donde

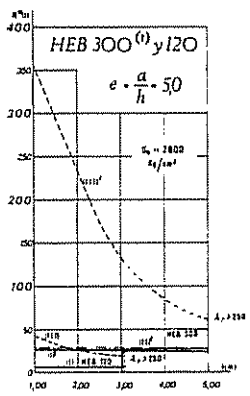
$$\lambda_y = \frac{l_k}{i_y}$$

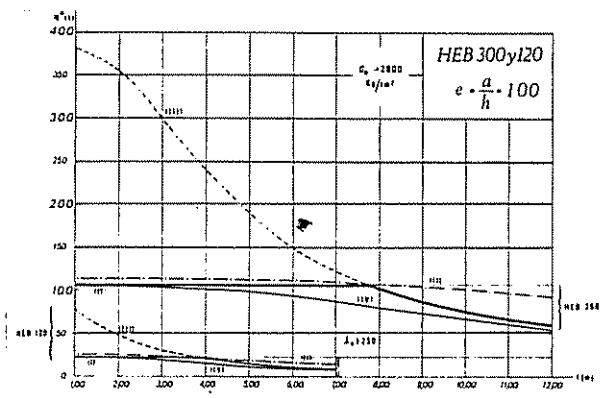
$$\alpha_T = \frac{1}{\sqrt{2}\, i_T} \sqrt{i_T^2 + i_o^2 + \sqrt{(i_T^2 - i_o^2)^2 + 4\, i_T^2\, e^2\, h^2}}$$


HEB 300 y 120
$e = \frac{a}{h} = 2,0$


HEB 300 y 120
$e = \frac{a}{h} = 0,5$


HEB 300 y 120
$e = \frac{a}{h} = 0,1$


HEB 300 (1) y 120
$e = \frac{a}{h} = 5,0$


HEB 300 y 120
$e = \frac{a}{h} = 100$

[3.54]

En [3.54] se expresan las variaciónes de la carga de agotamiento en función de la luz y de la esbeltez relativa $e = \frac{a}{h}$ para algunos perfiles doblemente simétricos teniendo en cuenta las comprobaciones de este apartado. Puede observarse la importancia del pandeo con flexión y torsión que para los mayores valores de l es determinante.

La curva (IV) correspondiente a la fórmula de la Norma Básica MV-103

$$\frac{N^* \omega}{A} + \frac{M^*}{W_c} \leqslant \sigma_u$$

es, desde luego, envolvente del lado de la seguridad, pero en algunos casos es demasiado conservadora.

Para facilitar la aplicación de la fórmula, se incluyen unos ábacos [3.55] que para los perfiles HEB, HEA y HEM, los más utilizados como columnas, da los valores de α_T en función de l longitud real de la columna y para distintos valores de la excentricidad relativa de la fuerza de compresión (excentricidad relativa $= \frac{\text{e absoluta}}{\text{altura del perfil}}$). Los ábacos están obtenidos para $\beta = \beta_o = 1$, pudiendo utilizarse para otros valores $\beta = \beta_o$, teniendo en cuenta el valor de β correspondiente para la obtención de λ_K.

Véase ejemplo de aplicación en la página 262.

3.6 4. Piezas de sección con doble simetría, solicitadas por una fuerza de compresión no contenida en un plano de simetría.

3.6 4 1. *Sin posibilidad de pandeo en uno de los planos de simetría.*

En este caso además de la comprobación por resistencia, para comprobar el pandeo por flexión se utiliza la fórmula:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + 0{,}9\left(\frac{M^*_x}{W_x} + \frac{M^*_y}{W_y}\right)$$

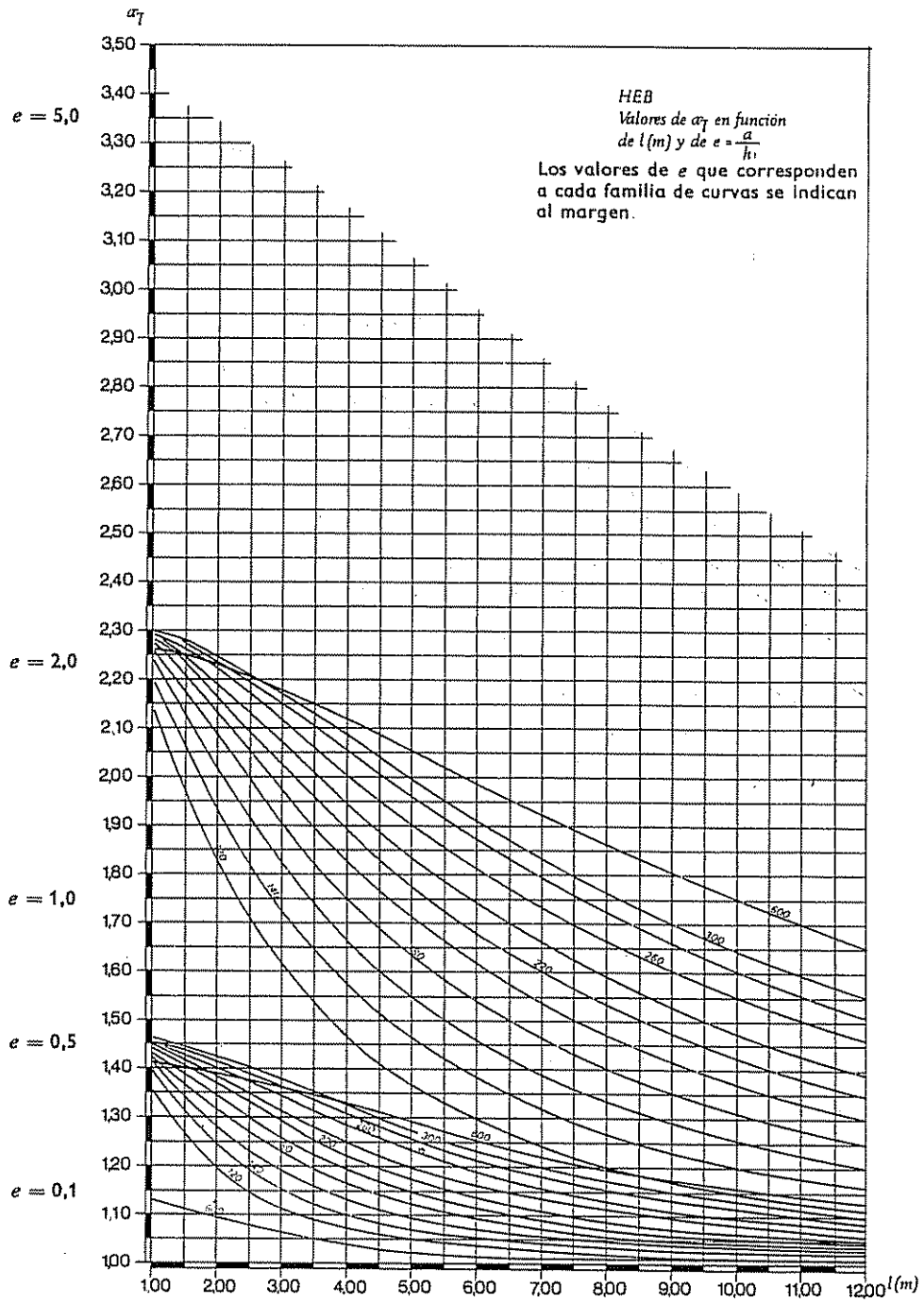
$\omega = \omega_x$ para pandeo en el plano y-y.
$\omega = \omega_y$ para pandeo en el plano x-x.

3.6 4 2. *Con posibilidad de pandeo en cualquier plano.*

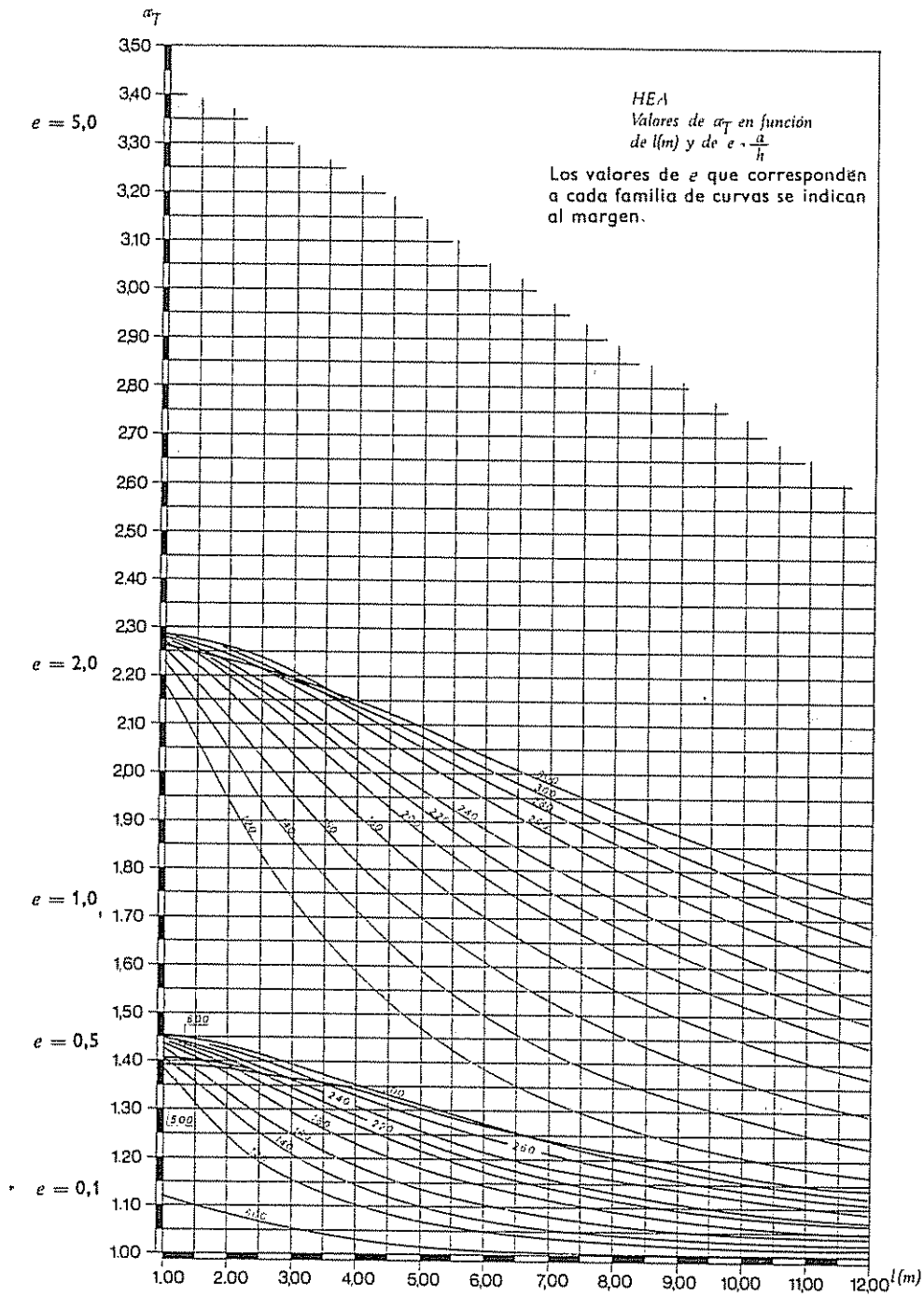
En este caso, además de la comprobación de 3.6 4 1, para los dos planos de simetría, indica la Norma Básica MV-103 la fórmula:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + \left(\frac{M^*_x}{W_x} + \frac{M^*_y}{W_y}\right) < \sigma_u$$

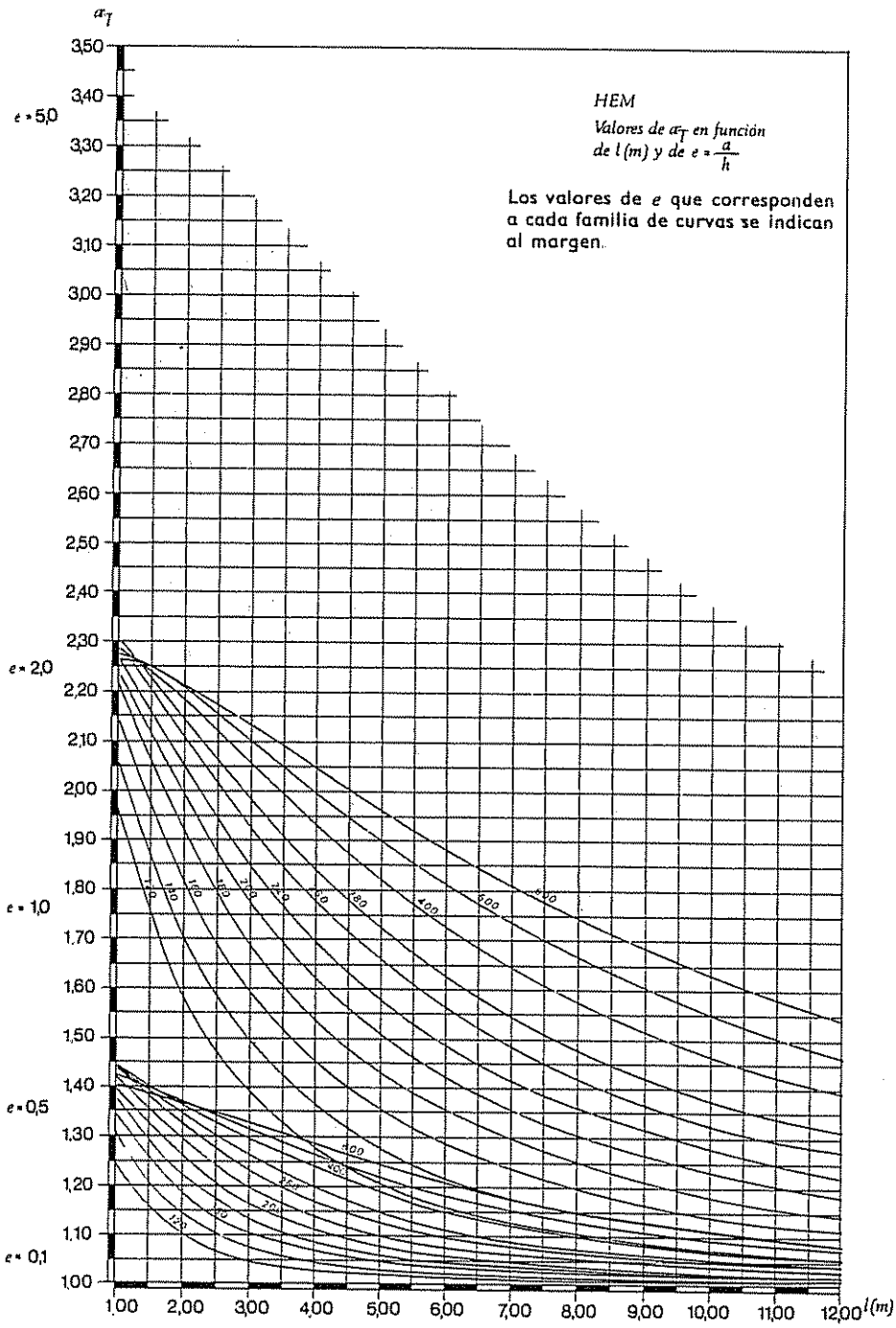
El coeficiente ω debe obtenerse en función de la mayor de las dos esbelteces λ_x, λ_y


α_T
3,50
3,40
3,30
3,20
3,10
3,00
2,90
2,80
2,70
2,60
2,50
2,40
2,30
2,20
2,10
2,00
1,90
1,80
1,70
1,60
1,50
1,40
1,30
1,20
1,10
1,00
$e = 5,0$
$e = 2,0$
$e = 1,0$
$e = 0,5$
$e = 0,1$
HEB
Valores de α_T en función de l (m) y de $e = \frac{a}{h}$
Los valores de e que corresponden a cada familia de curvas se indican al margen.
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
11,00
12,00
l (m)

[3.55a]


α_T
3,50
3,40
3,30
3,20
3,10
3,00
2,90
2,80
2,70
2,60
2,50
2,40
2,30
2,20
2,10
2,00
1,90
1,80
1,70
1,60
1,50
1,40
1,30
1,20
1,10
1,00
$e = 5,0$
$e = 2,0$
$e = 1,0$
$e = 0,5$
$e = 0,1$
HEA
Valores de α_T en función de l(m) y de $e = \frac{a}{h}$
Los valores de e que corresponden a cada familia de curvas se indican al margen.
1.00
2.00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
11,00
12,00
l(m)

[3.55b]


α_T
3,50
3,40
3,30
3,20
3,10
3,00
2,90
2,80
2,70
2,60
2,50
2,40
2,30
2,20
2,10
2,00
1,90
1,80
1,70
1,60
1,50
1,40
1,30
1,20
1,10
1,00
e = 5,0
e = 2,0
e = 1,0
e = 0,5
e = 0,1
1,00 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 l(m)
HEM
Valores de α_T en función de l (m) y de $e = \frac{a}{h}$
Los valores de e que corresponden a cada familia de curvas se indican al margen.

[3.55c]

que por las consideraciones anteriores, para los perfiles en doble T usuales, puede ser envolvente de la comprobación por flexión y torsión.

Si se quisiera hacer la comprobación rigurosa del posible pandeo por flexión y torsión, habría que recurrir a algunos de los siguientes métodos de cálculo:

a) Plantear las ecuaciones diferenciales de la elástica, y buscar sus posibles (funciones-solución) distinta de $u = v = 0 = 0$, en forma semejante a la mencionada para la deducción de la expresión de la esbeltez ideal en el caso de compresión en el plano de simetría.

b) Determinar, para una solicitación prefijada, las deformaciones de flexión. Fijar en función de estas los momentos secundarios de torsión y de flexión. Calcular las nuevas deformaciones. Repetir este proceso hasta poder asegurar si existe convergencia o divergencia. En el segundo caso hay pandeo, mientras que en el primero, la carga es inferior a la de agotamiento.

Ambos métodos citados requieren un cálculo muy prolijo.

3.6 5. **Caso general.**

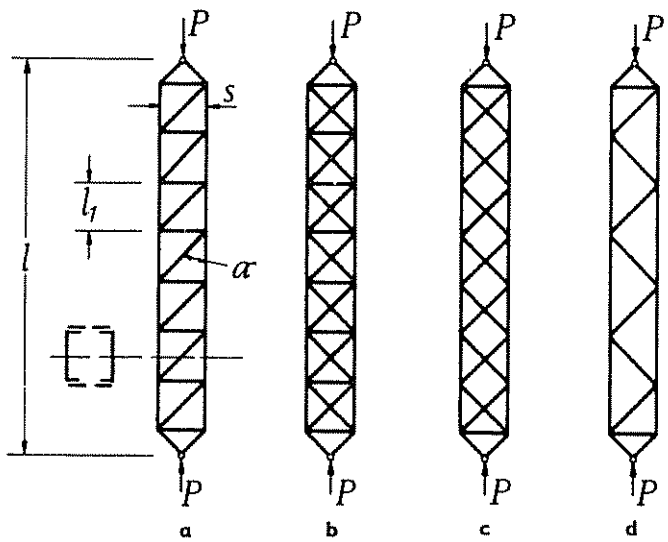
Compresión excéntrica en perfiles asimétricos.

El empleo de perfiles completamente asimétricos es poco frecuente en las construcciones metálicas. En todo caso, hay que efectuar las mismas comprobaciones de tensiones y aplicar los mismos métodos teóricos de cálculo que para los problemas de compresión excéntrica fuera del plano principal en perfiles de simetría simple.

3.7. PIEZAS COMPUESTAS DE DIRECTRIZ RECTA SOMETIDAS A COMPRESION

En el artículo 3.1 se ha transcrito de la Norma Básica MV-103 la definición de piezas compuestas, como complemento imprescindible, reproducimos de la Norma Básica MV-103, las condiciones a cumplir por los elementos de enlace de las piezas compuestas:

> 3.1 3. *Elementos de enlace de una pieza compuesta.*
>
> *Los enlaces se dispondrán de modo que cumplan las condiciones a) a e) de este apartado. En casos especiales, y justificándolo, puede no cumplirse alguna condición.*
>
> *a) El número de tramos en que se divida la pieza será igual o mayor que 3. Siempre que sea posible, la longitud l_1 de los tramos será constante en toda la pieza.*



[3.56]

b) La longitud de todo tramo cumplirá la condición:

$$l_1 \leqslant 50i$$

siendo i el radio de giro mínimo del cordón.

c) La disposición y dimensiones de los enlaces se mantendrán constantes en toda la pieza. Se exceptúan las piezas con cambios bruscos en la sección transversal.

d) En las piezas con celosía se rcomienda que el ángulo de las diagonales con el eje de la pieza esté comprendido entre 30° y 60°.

e) En los extremos de toda pieza compuesta, con presillas o con celosía, se dispondrán presillas, o cartelas de nudo, unidas a cada cordón rígidamente, con no menos de tres roblones, o tornillos, del mínimo diámetro autorizado (Norma MV-104, Tabla 2.1) o con soldadura de resistencia equivalente.

No se emplearán celosías con diagonales dobles y montantes (figura 3.4 h), o con otras disposiciones internamente hiperestáticas, a menos que se determinen los esfuerzos en las barras de la celosía estudiando la deformación a flexión de la pieza compuesta.

En el estudio del pandeo de las piezas compuestas es preciso resolver dos cuestiones. La primera, el cálculo de la carga crítica de una pieza determinada, y la segunda, el dimensionamiento de los elementos de arriostramiento para que su resistencia sea por lo menos igual al del conjunto de la pieza.

El valor de la carga crítica depende de la forma y espaciamiento de los elementos constituyentes de la celosía.

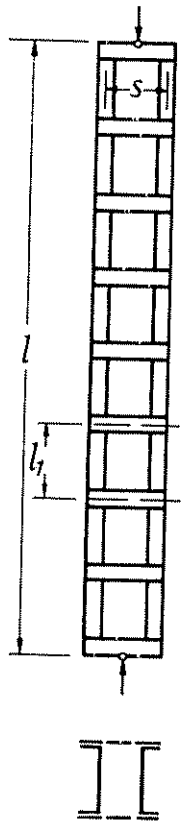
Las piezas compuestas, formadas por dos o más perfiles enlazados entre sí mediante una celosía triangular o presillas, sometidas a compresión pandean con valores críticos menores que las piezas de alma llena de la misma esbeltez y con sección transversal de la misma área.

Al establecer la fórmula de EULER, se desprecian las deformaciones debidas al esfuerzo cortante, que son en general pequeñas frente a las originadas por el momento flector. La fórmula corregida introduciendo la acción del esfuerzo cortante tiene la forma:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{l^2} \quad \frac{1}{1 + \frac{E I}{G A} \times \frac{\pi^2}{l^2}}$$

siendo:

A Area de la pieza.
G Módulo de elasticidad transversal.



[3.57]

El factor de corrección

$$\frac{1}{1+\dfrac{E\,I}{G\,A}\,\dfrac{\pi^2}{l^2}}=\frac{1}{1+K}$$

es muy próximo a la unidad y por tanto despreciable en las piezas de alma llena, pero no así en las piezas compuestas.

TIMOSHENKO ha estudiado este problema y obtenido el valor de K para los distintos tipos de arriostramiento, los representados en [3.56].

Los valores de K correspondientes son:

tipo a $$K=\frac{\pi^2\,E\,I}{l^2}\left(\frac{1}{A_D\,E\,\operatorname{sen}^2\alpha\cos\alpha}+\frac{s}{l_1\,A_M\,E}\right)$$

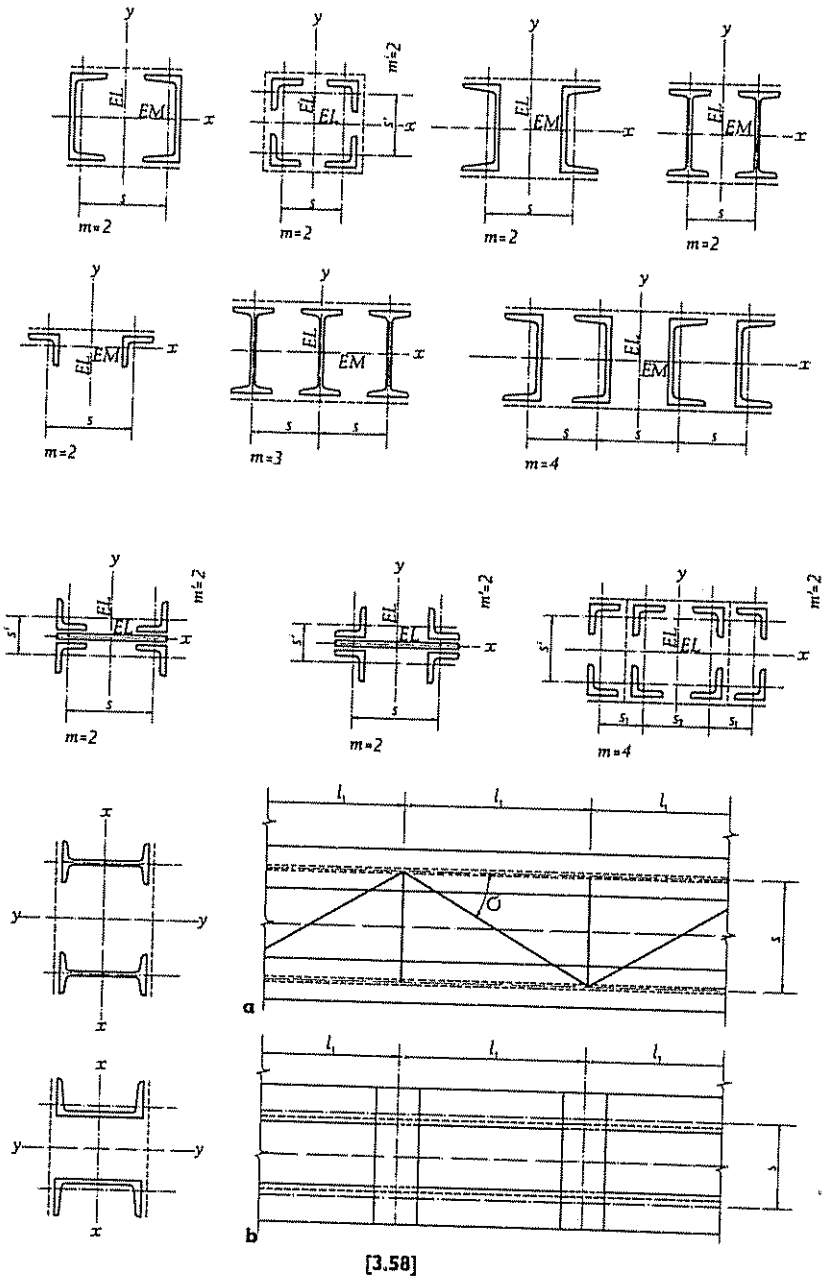
tipo b, tipo c $$K=\frac{\pi^2\,E\,I}{l^2}\;\frac{1}{2\,A_D\,E\,\operatorname{sen}^2\alpha\cos\alpha}$$

tipo d $$K=\frac{\pi^2\,E\,I}{l^2}\;\frac{1}{A_D\,E\,\operatorname{sen}^2\alpha\cos\alpha}$$

siendo:

- I Momento de inercia de la sección transversal de la pieza $I=2\,I_c+\dfrac{A_c\,s^2}{2}$
- I_c Momento de inercia de la sección de cada cordón respecto de su eje de gravedad, paralelo al eje de flexión.
- A_c Area de la sección transversal de cada perfil vertical.
- A_D Suma de las áreas de la sección transversal de dos diagonales, una en cada cara de la columna.
- A_M Suma de las áreas de la sección transversal de dos montantes en caras opuestas.

Es interesante observar que si las áreas A_D y A_M son muy pequeñas comparadas con A_c, K toma valores considerables que hace que el factor de corrección $\dfrac{1}{1+K}$ pueda llegar a valores apreciablemente menores que la unidad. La pieza compuesta en tales casos es más débil que una pieza simple con el mismo valor EI.



[3.58]

Si la pieza compuesta contiene sólo montantes [3.57]

$$K = \frac{\pi^2 E I}{l^2}\left(\frac{l_1 s}{12 E I_M} + \frac{l_1^2}{24 E I_c}\right)$$

siendo I_M el momento de inercia de la sección transversal del montante respecto a un eje que pasa por su centro de gravedad y paralelo al eje de flexión.

Se observa que cuando la rigidez de flexión de los montantes es pequeña (EI_M) el valor de K es grande, que hace el factor de corrección $\frac{1}{1+K}$ de la carga crítica de Euler, menor de la unidad.

Se ha de completar el estudio del pandeo de la pieza compuesta, con el correspondiente a cada tramo de la pieza compuesta según 3.312.

Procedimiento de la Norma Básica MV-103

Las fórmulas que se indican en la Norma Básica MV-103 son las mismas que utiliza la DIN 4114, y están basadas en la aplicación de los métodos energéticos en la resolución de los problemas de pandeo.

Transcribimos a continuación los artículos correspondientes de la Norma:

3.5.2. *Esbeltez mecánica de una pieza compuesta.*

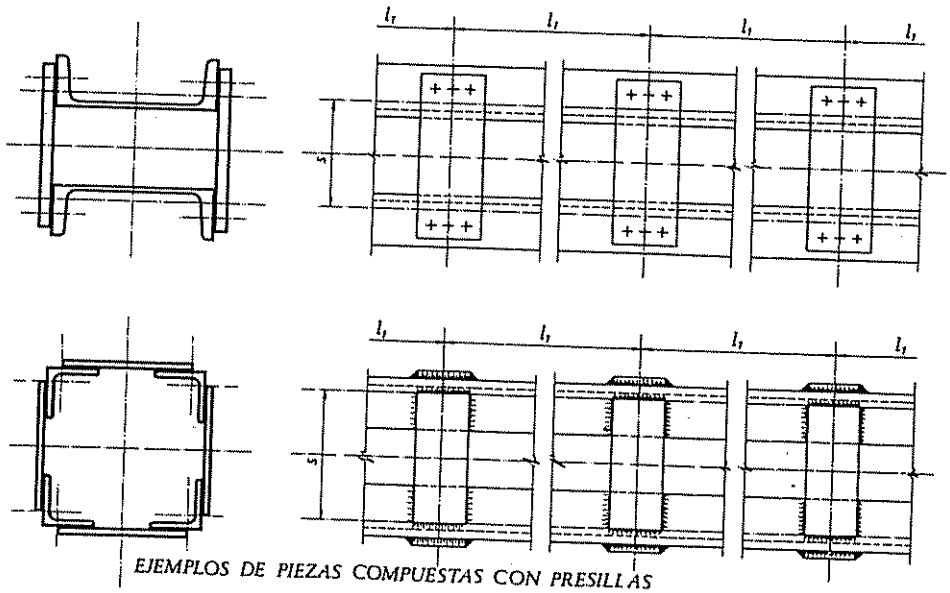
En las piezas compuestas se denomina eje de inercia material, al que pasa por el baricentro de las secciones de todos los perfiles simples que forman la pieza. Al eje que no cumple esta condición se le denomina eje de inercia libre (figura 3.7) [1].
La esbeltez mecánica de una pieza compuesta en un plano perpendicular a un eje de inercia material, es el valor

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

siendo:

l_k *Longitud de pandeo en el plano considerado, determinada según el artículo 3.4.*
i *Radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia material considerado*

[1] La figura inserta en la Norma se reproduce en [3.58]



EJEMPLOS DE PIEZAS COMPUESTAS CON PRESILLAS

[3.59]

Esbeltez mecánica ideal λ_i *de una pieza compuesta, en un plano perpendicular a un eje de inercia libre, es el valor*

$$\lambda_i = \sqrt{\left(\frac{l_k}{i}\right)^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2}$$

siendo:

l_k *Longitud de pandeo de la pieza en el plano considerado.*
i *Radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia libre considerado*
m *Número de perfiles simples cortados por el plano de pandeo considerado.*
λ_1 *Esbeltez complementaria calculada según se indica en el artículo 3.5 3.*

3.5 3. *Esbeltez complementaria.*

La esbeltez complementaria λ_i *en una pieza compuesta, se calcula, en función del tipo de enlace, mediante las expresiones siguientes:*

Presillas (figura 3.3) [1]

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{i_1}$$

Diagonales desiguales (figura 3.4 a) [2]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{n\, l_1\, s^2}\left(\frac{d_1^3}{A_{D1}} + \frac{d_2^3}{A_{D2}}\right)}$$

Diagonales iguales (figura 3.4 b) [2]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{2A}{n A_D}\ \frac{d^3}{l_1\, s^2}}$$

Diagonales dobles unidas (figura 3.4 c) [2]

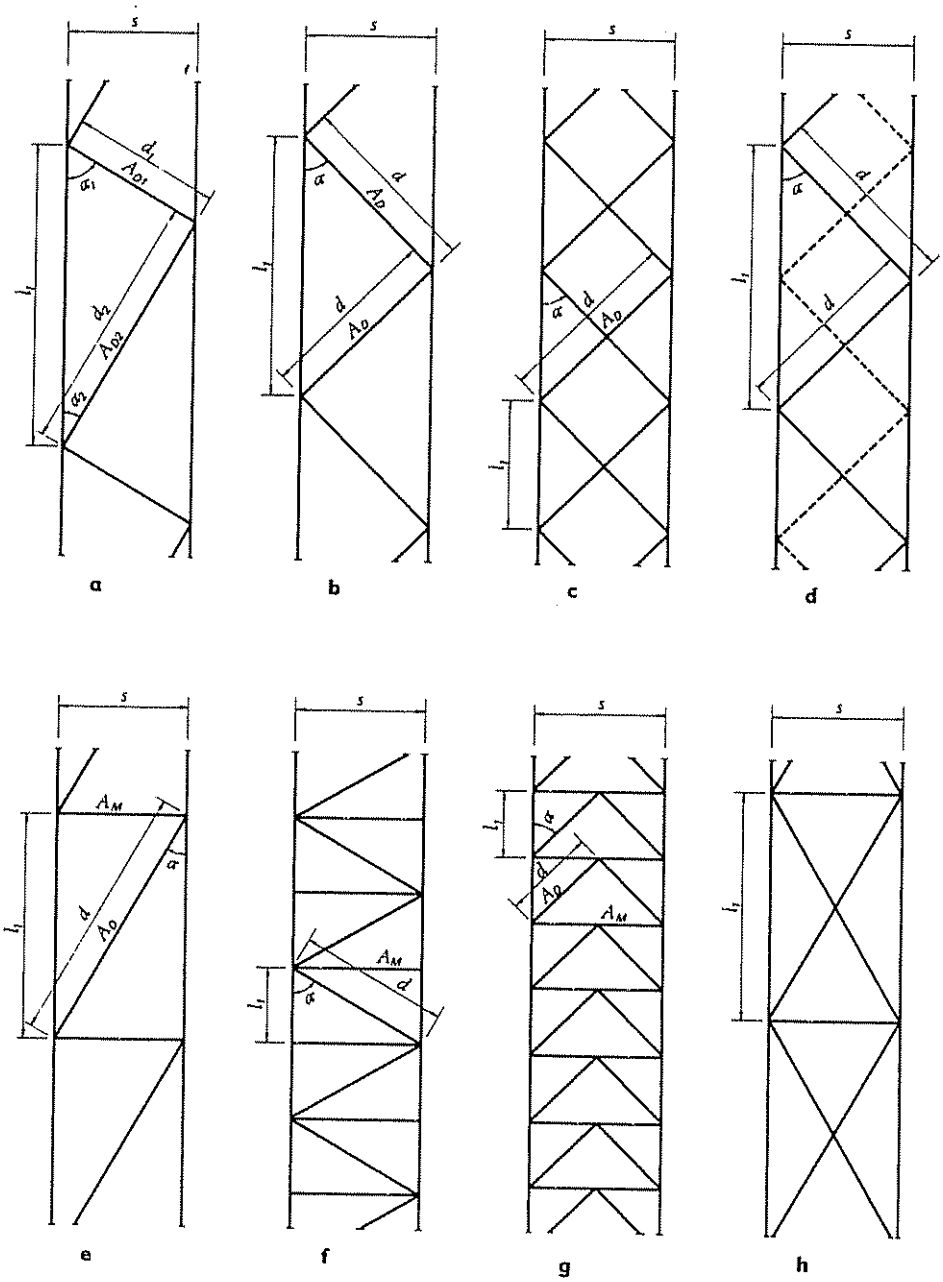
$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2n A_D}\ \frac{d^3}{l_1\, s^2}}$$

Dos celosías de diagonales contrapuestas (figura 3.4 d) [2]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{A_D}\ \frac{d^3}{l_1\, s^2}}$$

---

1 La figura inserta en la Norma se reproduce en [3.59]
2 La figura inserta en la Norma se reproduce en [3.60]



[3.60]

Montantes y diagonales (figura 3.4 e) [1]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{n\, l_1\, s^2} \left(\frac{d^3}{A_D} + \frac{s^3}{A_M} \right)}$$

Montantes sueltos y diagonales (figura 3.4 f) [1]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{n\, A_D} \frac{d^3}{l_1\, s^2}}$$

Montantes y jabalcones (figura 3.4 g) [1]

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{2\, n\, l\, s^2} \left(\frac{d^3}{A_D} + \frac{s^3}{A_M} \right)}$$

siendo:

l_1	*Máxima luz parcial del cordón.*
i_1	*Radio de giro mínimo del cordón.*
A	*Area de la sección bruta del total de los cordones.*
A_D, A_{D_1} y A_{D_2}	*Area de la sección bruta de una diagonal.*
A_M	*Area de la sección bruta de un montante.*
d, d_1 y d_2	*Longitud de una diagonal.*

Cuando las piezas están sometidas a compresión centrada, para el cálculo a pandeo se ha de verificar:

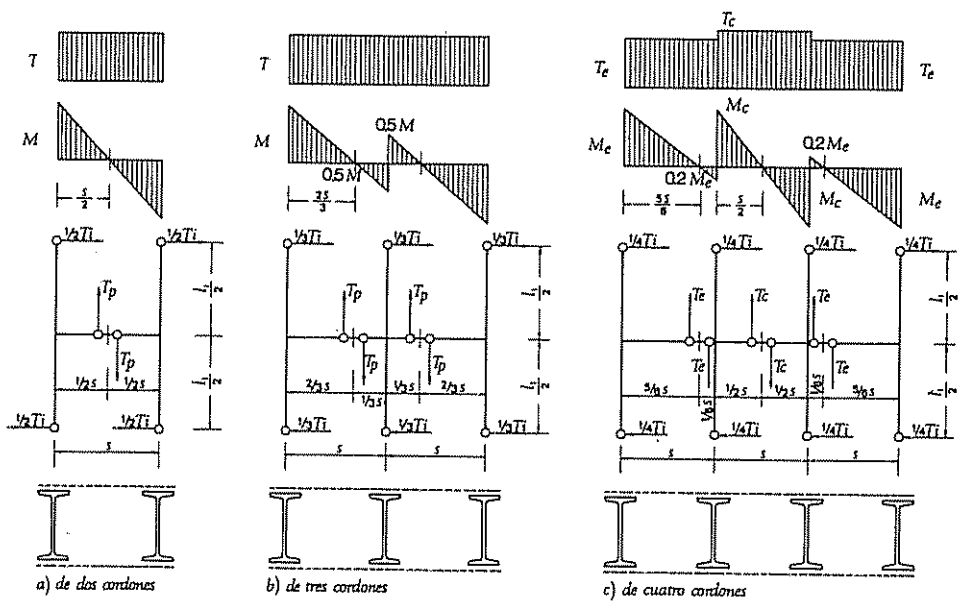
$$\sigma^* = \frac{N^*\ \omega}{A} \leqslant \sigma_u$$

siendo:

σ_u Resistencia de cálculo del acero.
N^* Esfuerzo normal ponderado de compresión.
A Area de la sección bruta de la pieza.
ω Coeficiente de pandeo, función de la esbeltez antes calculada y del tipo de acero.

El cálculo de los enlaces en las piezas compuestas sometidas a compresión centrada, se realiza de modo que estos puedan resistir las solicitaciones que en ellos provoca un

[1] La figura inserta en la Norma se reproduce en [3.60]



a) de dos cordones b) de tres cordones c) de cuatro cordones

[3.61]

esfuerzo cortante ideal ponderado T_i. Véase ejemplo de aplicación en la página 282. En la Norma Básica MV-103 se detalla los valores de T_i para enlaces con presillas y enlaces con celosía. Los transcribimos a continuación [1]:

3.8.1. *Cálculo del enlace con presillas*

En una pieza compuesta enlazada con presillas (figura 3.3) siendo:

s *Separación entre ejes de cordones consecutivos.*
l_1 *Longitud de tramo, en los cordones.*
i_1 *Radio de giro mínimo de los cordones.*
n *Número de planos y presillas iguales.*
A *Area de la sección bruta total de los perfiles principales.*

El esfuerzo cortante T_i *viene dado por*

$$T_i = \frac{A\,\sigma_u}{80}\eta$$

siendo:

$$\eta = \frac{s}{20 i_1} \not< 1$$

El esfuerzo cortante T_i *origina en las presillas una solicitación de flexión, con esfuerzo cortante* T_p *y momento flector* M_p *que, según los casos, tiene la distribución indicada en la figura 3.8 y cuyos valores son:*

Piezas de dos cordones:

$$T_p = \frac{T_i\, l_1}{n\, s} \qquad M_p = \frac{T_i\, l_1}{2\, n}$$

Piezas de tres cordones:

$$T_p = 0{,}5\,\frac{T_i\, l_1}{n\, s} \qquad M_p = \frac{T_i\, l_1}{3\, n}$$

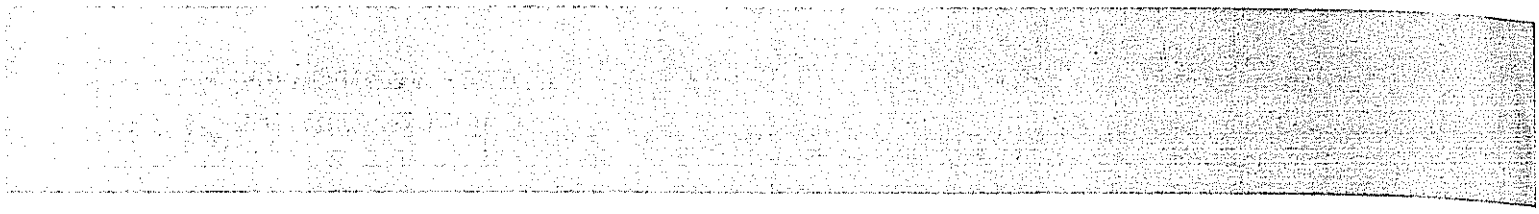
Piezas de cuatro cordones:

Presillas extremas: $$T_p = 0{,}3\,\frac{T_i\, l_1}{n\, s} \qquad M_p = \frac{T_i\, l_1}{4\, n}$$

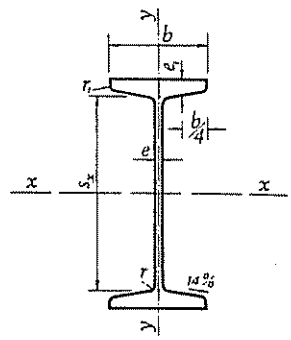
Presillas centrales: $$T_p = 0{,}4\,\frac{T_i\, l_1}{n\, s} \qquad M_p = \frac{T_i\, l_1}{5\, n}$$

Las presillas, y su unión a los cordones, se dimensionan para resistir estos momentos flectores y esfuerzos cortantes.

[1] Las figuras insertas en la Norma se reproducen en [3.58] y [3.61]



3.8 Magnitudes características de la torsión



Magnitudes características de la torsión. Un perfil I PN

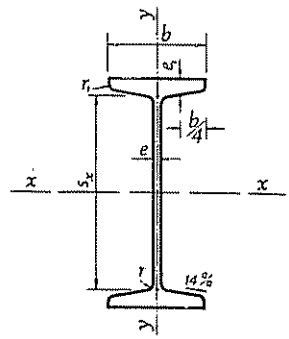
IPN	I_T cm^4	I_A cm^6	i_z cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	0,71	87,5	3,20	0,91	3,32	7,61 9,98 4,99	10,62 12,43 6,21	13,78 15,22 7,61	17,00 18,18 9,09	20,25 21,25 10,62	23,52 24,39 12,19	26,80 27,56 13,78	30,08 30,77 15,38
100	1,31	268	4,01	1,07	4,15	7,99 11,39 5,69	10,77 13,49 6,74	13,76 15,98 7,99	16,84 18,69 9,34	19,97 21,55 10,77	23,12 24,51 12,25	26,30 27,53 13,76	29,49 30,59 15,29
120	2,23	685	4,81	1,23	4,96	8,50 12,95 6,47	11,08 14,78 7,39	13,91 17,00 8,50	16,87 19,50 9,75	19,89 22,17 11,08	22,96 24,95 12,48	26,05 27,83 13,91	29,17 30,76 15,38
140	3,56	1.540	5,61	1,40	5,78	9,12 14,64 7,32	11,51 16,24 8,12	14,19 18,24 9,12	17,03 20,53 10,26	19,96 23,02 11,51	22,95 25,65 12,82	25,97 28,39 14,19	29,02 31,20 15,60
160	5,40	3.138	6,40	1,55	6,59	9,79 16,37 8,18	12,00 17,77 8,89	14,53 19,58 9,79	17,26 21,68 10,84	20,09 24,00 12,00	23,00 26,47 13,23	25,95 29,07 14,53	28,93 31,76 15,88
180	7,89	5.924	7,20	1,71	7,40	10,52 18,14 9,07	12,57 19,40 9,70	14,97 21,04 10,52	17,59 22,97 11,48	20,33 25,14 12,57	23,16 27,47 13,74	26,04 29,95 14,97	28,97 32,52 16,26
200	11,2	10.520	8,00	1,87	8,22	11,28 19,92 9,96	13,18 21,06 10,53	15.46 22,56 11,28	17,97 24,35 12,17	20,63 26,37 13,18	23,39 28,58 14,29	26,21 30,93 15,46	29,08 33,40 16,70
220	15,3	17.760	8,80	2,02	9,03	12,10 21,80 10,90	13,87 22,83 11,41	16,03 24,20 12,10	18,43 25,86 12,93	21,00 27,74 13,87	23,68 29,82 14,91	26,43 32,06 16,03	29,24 34,41 17,20
240	20,6	28.730	9,59	2,20	9,84	11,41 23,58 11,79	14,55 24,53 12,26	16,59 25,79 12,89	18,90 27,33 13,66	21,38 29,10 14,55	23,98 31,07 15,53	26,67 33,19 16,59	29,43 35,44 17,72
260	27,5	44.070	10,4	2,32	10,6	13,79 25,48 12,74	15,38 26,37 13,19	17,37 27,58 13,79	19,64 29,06 14,53	22,09 30,77 15,38	24,68 32,68 16,34	27,36 34,75 17,37	30,11 36,96 18,48
280	36,4	64.580	11,1	2,45	11,4	14,71 27,36 13,68	16,28 28,23 14,11	18,26 29,42 14,71	20,52 30,87 15,43	22,98 32,56 16,28	25,59 34,45 17,22	28,30 36,51 18,26	31,09 38,72 19,36

3.8.1

Términos de sección correspondiente a la torsión $\left\{ \begin{array}{ll} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{array} \right.$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													IPN
0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
38	36,68	39,98	43,28	46,59	49,90	53,21	56,52	59,83	63,14	66,45	73,07	79,70	
00	37,24	40,50	43,76	47,04	50,31	53,60	56,88	60,17	63,47	66,76	73,36	79,96	80
00	18,62	20,25	21,88	23,52	25,15	26,80	28,44	30,08	31,73	33,38	36,68	39,98	
69	35,89	39,10	42,32	45,54	48,76	51,98	55,20	58,43	61,65	64,88	71-33	77,79	
68	36,80	39,94	43,09	46,25	49,43	52,61	55,79	58,99	62,18	65,38	71,79	78,21	100
84	18,40	19,97	21,54	23,12	24,71	26,30	27,89	29,49	31,09	32,69	35,89	39,10	
29	35,43	38,57	41,72	44,87	48,03	51,19	54,35	57,51	60,68	63,85	70,18	76,53	
74	36,75	39,79	42,85	45,93	49,01	52,11	55,22	58,34	61,46	64,59	70,86	77,15	120
87	18,37	19,89	21,42	22,96	24,50	26,05	27,61	29,17	30,73	32,29	35,43	38,57	
09	35,17	38,25	41,35	44,45	47,56	50,67	53,79	56,90	60,02	63,15	69,40	75,65	
07	36,98	39,93	42,91	45,91	48,92	51,95	54,99	58,05	61,11	64,18	70,33	76,51	140
03	18,49	19,96	21,45	22,95	24,46	25,97	27,49	29,02	30,55	32,09	35,17	38,25	
93	34,95	37,99	41,03	44,09	47,14	50,21	53,28	56,35	59,43	62,51	68,67	74,84	
52	37,33	40,19	43,08	46,00	48,94	51,89	54,87	57,86	60,86	63,87	69,91	75,98	160
26	18,66	20,09	21,54	23,00	24,47	25,95	27,43	28,93	30,43	31,93	34,95	37,99	
92	34,89	37,88	40,89	43,90	46,92	49,95	52,98	56,02	59,06	62,11	68,21	74,31	
18	37,90	40,67	43,48	46,32	49,19	52,09	55,00	57,94	60,88	63,84	69,79	75,77	180
59	18,95	20,33	21,74	23,16	24,59	26,04	27,50	28,97	30,44	31,92	34,89	37,88	
98	34,91	37,86	40,83	43,80	46,79	49,79	52,79	55,80	58,81	61,83	67,87	73,93	
95	38,58	41,27	44,01	46,78	49,59	52,43	55,29	58,16	61,06	63,97	69,83	75,73	200
97	19,29	20,63	22,00	23,39	24,79	26,21	27,64	29,08	30,53	31,98	34,91	37,86	
10	34,98	37,89	40,81	43,75	46,70	48,66	52,63	55,61	58,59	61,58	67,57	73,57	
86	39,40	42,00	44,66	47,36	50,10	52,87	55,67	58,49	61,34	64,20	69,96	75,77	220
43	19,70	21,00	22,33	23,68	25,05	26,43	27,83	29,24	30,67	32,10	34,98	37,89	
23	35,06	37,93	40,81	43,71	46,63	49,56	52,50	55,44	58,40	61,36	67,29	73,24	
80	40,24	42,76	45,34	47,97	50,64	53,35	56,09	58,86	61,65	64,46	70,13	75,86	240
90	20,12	21,38	22,67	23,98	25,32	26,67	28,04	29,43	30,82	32,23	35,06	37,93	
92	35,77	38,64	41,55	44,47	47,41	50,36	53,32	56,29	59,27	62,26	68,25	74,26	
28	41,69	44,18	46,74	49,36	52,02	54,73	57,46	60,23	63,03	65,84	71,54	77,29	260
64	20,84	22,09	23,37	24,68	26,01	27,36	28,73	30,11	31,51	32,92	35,77	38,64	
94	36,84	39,76	42,72	45,69	48,69	51,70	54,72	57,76	60,80	63,85	69,97	76,11	
04	43,46	45,97	48,55	51,19	53,88	56,61	59,39	62,19	65,03	67,89	73,67	79,53	280
52	21,73	22,98	24,27	25,59	26,94	28,30	29,69	31,09	32,51	33,94	36,84	39,76	

3.8.1



Magnitudes características de la torsión. Un perfil I PN

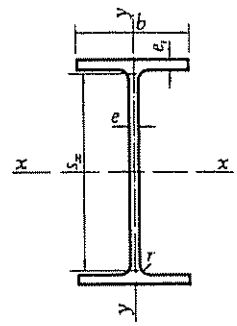
IPN	I_T cm^4	I_A cm^6	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
300	46,7	91.850	11,9	2,56	12,2	15,66 29,24 14,62	17,16 30,09 15,04	19,11 31,24 15,62	21,35 32,66 16,33	23,81 34,32 17,16	26,42 36,18 18,09	29,15 38,22 19,11	31,96 40,40 20,20
320	59,7	128.800	12,7	2,67	13,0	16,55 31,14 15,57	18,06 31,97 15,99	19,99 33,10 16,55	22,23 34,50 17.25	24,69 36,13 18,06	27,31 37,97 18,98	30,05 39,99 19,99	32,88 42,16 21,08
340	74,3	176.300	13,5	2,80	13,8	17,45 33,00 16,50	18,92 33,80 16,90	20,82 34,90 17,45	23,02 36,26 18,13	25,46 37,85 18,92	28,07 39,66 19,83	30,81 41,64 20,82	33,64 43,78 21,89
360	94,2	240.100	14,2	2,90	14,5	18,39 34,91 17,45	19,86 35,70 17,85	21,75 36,79 18,39	23,96 38,14 19,07	26,41 39,72 19,86	29,04 41,52 20,76	31,81 43,50 21,75	34,68 45,64 22,82
380	115	318.700	15,0	3,02	15,3	19,31 36,79 18,39	20,74 37,56 18,78	22,60 38,62 19,31	24,78 39,93 19,96	27,21 41,49 20,74	29,83 43,25 21,62	32,60 45,20 22,60	35,47 47,31 23,65
400	140	419.600	15,7	3,13	16,0	20,21 38,65 19,32	21,62 39,40 19,70	23,45 40,43 20,21	25,61 41,72 20,86	28,02 43,24 21,62	30,63 44,98 22,49	33,38 46,90 23,45	36,26 48,99 24,49
450	220	791.100	17,7	3,43	18,0	22,51 43,34 21,67	23,85 44,05 22,02	25,60 45,02 22,51	27,69 46,25 23,12	30,06 47,70 23,85	32,63 49,36 24,68	35,36 51,21 25,60	38,23 53,23 26,61
500	329	1.403.000	19,6	3,72	19,9	24,84 48,11 24,05	26,11 48,77 24,38	27,79 49,69 24,84	29,81 50,85 25,42	32,11 52,23 26,11	34,63 53,82 26,91	37,33 55,59 27,79	40,16 57,53 28,76
550	472	2.389.000	21,6	4,02	22,0	27,15 52,82 26,41	28,34 53,44 26,72	29,92 54,30 27,15	31,84 55,38 27,69	34,04 56,68 38,34	36,47 58,17 29,08	39,09 59,85 29,92	41,86 61,69 30,84
600	667	3.821.000	23,4	4,30	23,8	29,56 57,69 28,84	30,71 58,29 29,14	32,26 59,12 29,56	34,15 60,17 30,08	36,32 61,43 40,71	38,73 62,89 31,44	41,34 64,52 32,26	44,11 66,33 33,16

3.8.1

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros												IPN
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9, 0	9,5	10,0	11,0	12,0	
37,75	40,71	43,70	46,71	49,75	52,80	55,86	58,94	62,03	65,13	71,34	77,58	
45,12	47,62	50,20	52,85	55,55	58,30	61,09	63,91	66,77	69,66	75,50	81,42	300
22,56	23,81	25,10	26,42	27,77	29,15	30,54	31,96	33,38	34,83	37,75	40,71	
38,74	41,74	44,77	47,83	50,91	54,00	57,12	60,25	63,38	66,53	72,85	79,20	
46,87	49,38	51,96	54,62	57,34	60,11	62,92	65,77	68,66	71,57	77,48	83,48	320
23,43	24,69	25,98	27,31	28,67	30,05	31,46	32,88	34,33	35,78	38,74	41,74	
39,52	42,53	45,58	48,66	51,76	54,89	58,03	61,18	64,35	67,53	73,91	80,32	
48,44	50,93	53,50	56,15	58,86	61,62	64,44	67,29	70,18	73,11	79,04	85,07	340
24,22	25,46	26,75	28,07	29,43	30,81	32,22	33,64	35,09	36,55	39,52	42,53	
40,64	43,70	46,80	49,94	53,10	56,28	59,48	62,70	65,93	69,17	75,68	82,22	
50,32	52,82	55,42	58,09	60,83	63,62	66,47	69,36	72,30	75,26	81,29	87,41	360
25,16	26,41	27,71	29,04	30,41	31,81	33,23	34,68	36,15	37,63	40,64	43,70	
41,45	44,52	47,64	50,80	53,98	57,19	60,41	63,66	66,92	70,19	76,76	83,37	
51,95	54,43	57,01	59,67	62,41	65,20	68,05	70,94	73,88	76,86	82,90	89,05	380
25,97	27,21	28,50	29,83	31,20	32,60	34,02	35,47	36,94	38,43	41,45	44,52	
42,25	45,34	48,48	51,65	54,85	58,08	61,33	64,60	67,89	71,19	77,82	84,49	
53,57	56,04	58,61	61,26	63,98	66,77	69,62	72,52	75,46	78,44	84,51	90,69	400
26,79	28,02	29,30	30,63	31,99	33,38	34,81	36,26	37,73	39,22	42,25	45,34	
44,24	47,35	50,52	53,73	56,98	60,26	63,56	66,89	70,23	73,59	80,36	87,17	
57,70	60,12	62,64	65,26	67,96	70,73	73,56	80,92	79,40	82,39	88,48	94,71	450
28,85	30,06	31,32	32,63	33,98	35,36	36,78	38,23	39,70	41,19	44,24	47,35	
46,16	49,27	52,45	55,68	58,95	62,26	65,60	68,96	72,35	75,76	82,62	89,53	
61,87	64,23	66,70	69,26	71,92	74,66	77,46	80,33	83,26	86,24	92,32	98,55	500
30,93	32,11	33,35	34,63	35,96	37,33	38,73	40,16	41,63	43,11	46,16	49,27	
47,75	50,82	53,97	57,17	60,42	63,72	67,04	70,40	73,78	77,19	84,06	90,99	
65,83	68,09	70,47	72,95	75,53	78,19	80,92	83,72	86,59	89,51	95,50	101,65	550
32,91	34,04	35,23	36,47	37,76	39,09	40,46	41,86	43,29	44,75	47,75	50,82	
50,03	53,13	56,31	59,56	62,86	66,20	69,58	73,00	76,46	79,92	86,93	94,01	
70,41	72,65	75,00	77,47	80,03	82,69	85,42	88,23	91,10	94,03	100,06	106,27	600
35,20	36,32	37,50	38,73	40,01	41,34	42,71	44,11	45,55	47,01	50,03	53,13	

3.8.1



Magnitudes características de la torsión. Un perfil IPE

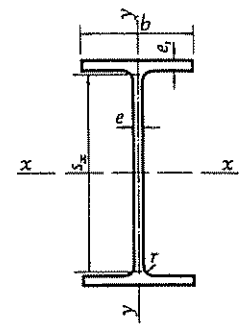
IPE	I_T cm^4	I_A cm^6	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	0,559	118	3,24	1,05	3,41	6,29 9,01 4,50	8,46 10,64 5,32	10,79 12,58 6,29	13,20 14,70 7,35	15,65 16,93 8,46	18,12 19,23 9,62	20,61 21,59 10,79	23,10 23,99 11,99
100	0,883	351	4,07	1,24	4,25	6,61 10,48 5,24	8,41 11,70 5,85	10,42 13,22 6,61	12,54 14,95 7,47	14,73 16,82 8.41	16,95 18,80 9,40	19,19 20,85 10,42	21,46 22,95 11,47
120	1,37	890	4,90	1,45	5,11	7,17 12,15 6,07	8,69 13,11 6,55	10,45 14,34 7,17	12,35 15,78 7,89	14,34 17,38 8,69	16,38 19,10 9,55	18,45 20,90 10,45	20,56 22,78 11,39
140	2,04	1.981	5,74	1,65	5,97	7,86 13,93 6,96	9,16 14,70 7,35	10,72 15,72 7,86	12,44 16,94 8,47	14,26 18,32 9,16	16,16 19,83 9,91	18,10 21,44 10,72	20,07 23,13 11,56
160	2,82	3.959	6,58	1,84	6,83	8,60 15,74 7,87	9,70 16,37 8,18	11,06 17,21 8,60	12,59 18,23 9,11	14,24 19,41 9,70	15,97 20,71 10,35	17,76 22,12 11,06	19,59 23,62 11,81
180	3,92	7.431	7,42	2,05	7,70	9,41 17,59 8,79	10,37 18,12 9,06	11,58 18,83 9,41	12,96 19,72 9,86	14,48 20,74 10,37	16,09 21,90 10,95	17,77 23,16 11,58	19,49 24,51 12,25
200	5,17	12.990	8,26	2,24	8,56	10,28 19,49 9,74	11,11 19,94 9,97	12,17 20,56 10,28	13,42 21,32 10,66	14,80 22,22 11,11	16,29 23,23 11,61	17,85 24,35 12,17	19,46 25,56 12,78
220	7,09	22.670	9,11	2,48	9,44	11,13 21,35 10,67	11,87 21,74 10,87	12,82 22,27 11,13	13,96 22,94 11,47	15,23 23,74 11,87	16,60 24,64 12,32	18,06 25,65 12,82	19,58 26,74 13,37
240	9,28	37.390	9,97	2,69	10,3	12,01 23,22 11,61	12,66 23,56 11,78	13,51 24,03 12,01	14,53 24,62 12,31	15,69 25,32 12,66	16,96 26,12 13,06	18,31 27,02 13,51	19,74 28,01 14,00
270	11,9	70.580	11,2	3,02	11,6	13,38 26,13 13,06	13,88 26,40 13,20	14,56 26,76 13,38	15,39 27,22 13,61	16,35 27,77 13,88	17,41 28,41 14,20	18,57 29,13 14,56	19,79 29,93 14,96

3.8.2

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													IPE
,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
,61	28,11	30,63	33,14	35,66	38,18	40,71	43,23	45,75	48,28	50,81	55,86	60,92	80
,41	28,85	31,30	33,77	36,24	38,73	41,21	43,71	46,21	48,71	51,22	56,23	61,26	
,20	14,42	15,65	16,88	18,12	19,36	20,61	21,85	23,10	24,35	25,61	28,11	30,63	
,73	26,02	28,31	30,61	32,91	35,21	37,52	39,83	42,14	44,46	46,77	51,40	56,04	100
,09	27,26	29,46	31,67	33,90	36,14	38,39	40,65	42,92	45,19	47,47	52,04	56,63	
,54	13,63	14,73	15,83	16,95	18,07	19,19	20,32	21,46	22,60	23,73	26,02	28,31	
,67	24,81	26,95	29,10	31,26	33,42	35,59	37,75	39,93	42,10	44,28	48,64	53,00	120
,71	26,68	28,88	30,71	32,76	34,83	36,91	39,01	41,12	43,23	45,35	49,62	53,90	
,35	13,34	14,34	15,35	16,38	17,41	18,45	19,50	20,56	21,61	22,67	24,81	26,95	
,07	24,08	26,11	28,15	30,20	32,26	34,32	36,39	38,46	40,53	42,61	46,77	50,94	140
,88	26,69	28,53	30,41	32,32	34,25	36,20	38,16	40,14	42,13	44,14	48,17	52,23	
,44	13,34	14,26	15,20	16,16	17,12	18,10	19,08	20,07	21,06	22,07	24,08	26,11	
,46	23,34	25,25	27,17	29,10	31,04	32,99	34,94	36,90	38,87	40,84	44,79	48,75	160
,18	26,81	28,48	30,20	31,95	33,72	35,53	37,35	39,19	41,05	42,92	46,69	50,50	
,59	13,40	14,24	15,10	15,97	16,86	17,76	18,67	19,59	20,52	21,46	23,34	25,25	
,26	23,05	24,87	26,70	28,55	30,41	32,28	34,16	36,05	37,94	39,84	43,64	47,46	180
,93	27,42	28,96	30,55	32,18	33,84	35,53	37,25	38,99	40,74	42,52	46,10	49,73	
,96	13,71	14,48	15.27	16,09	16,92	17,77	18,62	19,49	20,37	21,26	23,05	24,87	
,13	22,82	24,54	26,29	28,05	29,83	31,62	33,42	35,23	37,05	38,87	42,53	46,21	200
,85	28,20	29,61	31,07	32,58	34,12	35,70	37,30	38,93	40,58	42,25	45,65	49,09	
,42	14,10	14,80	15,53	16,29	17,06	17,85	18,65	19,46	20,29	21,13	22,82	24,54	
,16	22,77	24,41	26,08	27,77	29,48	31,20	32,94	34,68	36,44	38,20	41,74	45,30	220
,92	29,16	30,46	31,81	33,21	34,65	36,13	37,64	39,17	40,73	42,32	45,54	48,83	
,96	14,58	15,23	15,90	16,60	17,32	18,06	18,82	19,58	20,36	21,16	22,77	24,41	
,21	22,74	24,29	25,88	27,49	29,12	30,77	32,44	34,11	35,80	37,49	40,91	44,34	240
,07	30,20	31,39	32,63	33,92	35,26	36,63	38,04	39,48	40,94	42,43	45,48	48,59	
,53	15,10	15,69	16,31	16,96	17,63	18,31	19,02	19,74	20,47	21,21	22,74	24,29	
,07	22,41	23,78	25,19	26,63	28,10	29,58	31,08	32,60	34,13	35,68	38,79	41,94	270
,79	31,72	32,71	33,75	34,83	35,96	37,14	38,34	39,58	40,85	42,15	44,82	47,57	
,39	15,86	16,35	16,87	17,41	17,89	18,57	19,17	19,79	20,42	21,07	22,41	23,78	

3.8.2



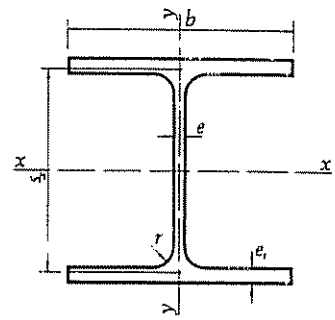
Magnitudes características de la torsión. Un perfil IPE

IPE	I_T cm⁴	I_A cm⁶	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
300	15,6	125.900	12,5	3,35	12,9	14,78 29,04 14,52	15,20 29,26 14,63	15,77 29,56 14,78	16,47 29,94 14,97	17,29 30,40 15,20	18,21 30,93 15,46	19,22 31,54 15,77	20,30 32,21 16,10
330	20,5	199.100	13,7	3,55	14,2	16,21 31,95 15,97	16,59 32,14 16,07	17,12 32,42 16,21	17,77 32,77 16,38	18,54 33,19 16,59	19,41 33,68 16,84	20,37 34,24 17,12	21,40 34,87 17,43
360	28,9	313.600	15,0	3,79	15,5	17,67 34,88 17,44	18,05 35,07 17,54	18,57 35,34 17,67	19,21 35,69 17,84	19,97 36,10 18,05	20,84 36,59 18,29	21,79 37,14 18,57	22,82 37,75 18,87
400	37,4	490.000	16,5	3,95	17,0	19,55 38,67 19,33	19,90 38,85 19,42	20,38 39,10 19,55	20,98 39,42 19,71	21,69 39,80 19,90	22,50 40,25 20,12	23,41 40,76 20,38	24,39 41,33 20,66
450	51,1	791.000	18,5	4,12	19,0	21,97 43,53 21,76	22,30 43,70 21,85	22,76 43,94 21,97	23,34 44,24 22,12	24,03 44,61 22,30	24,82 45,04 22,52	25,70 45,53 22,76	26,66 46,08 23,04
500	71,2	1.249.000	20,4	4,31	20,9	24,42 48,45 24,22	24,75 48,61 24,30	25,21 48,85 24,42	25,78 49,15 24,57	26,46 49,51 24,75	27,25 49,93 24,96	28,12 50,42 25,21	29,09 50,96 25,48
550	94,7	1.884.000	22,3	4,45	22,7	26,82 53,25 26,62	27,14 53,41 26,71	27,58 53,64 26,82	28,14 53,93 26,96	28,81 54,28 27,14	29,58 54,69 27,34	30,44 55,17 27,58	31,39 55,70 27,85
600	133	2.846.000	24,3	4,66	24,7	29,23 58,08 29,04	29,56 58,24 29,12	30,01 58,47 29,23	30,58 58,76 29,38	31,26 59,12 29,56	32,04 59,54 29,77	32,92 60,02 30,01	33,90 60,56 30,28

3.8.2

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													IPE
0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
45	22,65	23,89	25,18	26,49	27,84	29,20	30,59	32,00	33,42	34,86	37,77	40,73	
94	33,74	34,58	35,48	36,43	37,42	38,45	39,51	40,61	41,74	42,90	45,30	47,79	300
47	16,87	17,29	17,74	18,21	18,71	19,22	19,75	20,30	20,87	21,45	22,65	23,89	
50	23,65	24,85	26,10	27,38	28,69	30,03	31,39	32,77	34,18	35,59	38,47	41,39	
55	36,29	37,09	37,93	38,83	39,76	40,74	41,75	42,80	43,89	45,00	47,31	49,71	330
77	18,14	18,54	18,96	19,41	19,88	20,37	20,87	21,40	21,94	22,50	23,65	24,85	
92	25,08	26,30	27,55	28,85	30,18	31,54	32,93	34,34	35,77	37,21	40,16	43,15	
43	39,16	39,95	40,79	41,68	42,61	43,58	44,60	45,65	46,73	47,85	50,17	52,60	360
21	19,58	19,97	20,39	20,84	21,30	21,79	22,30	22,82	23,36	23,92	25,08	26,30	
44	26,56	27,73	28,95	30,21	31,50	32,83	34,19	35,58	36,99	38,42	41,33	44,29	
96	42,65	43,38	44,17	45,01	45,89	46,81	47,78	48,78	49,82	50,89	53,12	55,46	400
98	21,32	21,69	22,08	22,50	22,94	23,41	23,89	24,39	24,91	25,44	26,56	27,73	
70	28,80	29,96	31,17	32,43	33,73	35,07	36,44	37,83	39,26	40,70	43,66	46,68	
68	47,35	48,06	48,83	49,64	50,50	51,40	52,34	53,33	54,35	55,40	57,60	59,92	450
34	23,67	24,03	24,41	24,82	25,25	25,70	26,17	26,66	27,17	27,70	28,80	29,96	
13	31,24	32,41	33,64	34,92	36,24	37,60	39,00	40,43	41,88	43,37	46,40	49,51	
56	52,22	52,93	53,69	54,50	55,35	56,25	57,20	58,18	59,20	60,26	62,48	64,83	500
78	26,11	26,46	26,84	27,25	27,67	28,12	28,60	29,09	29,60	30,13	31,24	32,41	
42	33,52	34,69	35,91	37,19	38,51	39,88	41,29	42,73	44,20	45,70	48,77	51,93	
28	56,92	57,62	58,36	59,16	60,00	60,89	61,82	62,79	63,80	64,85	67,05	69,38	550
14	28,46	28,81	29,18	29,58	30,00	30,44	30,91	31,39	31,90	32,42	33,52	34,69	
95	36,08	37,28	38,54	39,86	41,23	42,64	44,10	45,59	47,12	48,67	51,87	55,16	
16	61,81	62,52	63,28	64,09	64,95	65,85	66,81	67,80	68,84	69,91	72,17	74,57	600
58	30,90	31,26	31,64	32,04	32,47	32,92	33,40	33,90	34,42	34,95	36,08	37,28	



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEB

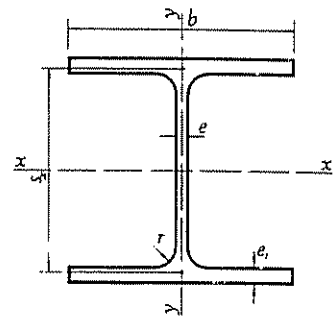
HEB	I_T cm^4	I_A cm^6	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
120	11,5	9.410	5,04	3,06	5,89	6,61 11,50 5,75	7,83 12,25 6,12	9,27 13,22 6,61	10,85 14,37 7,18	12,51 15,66 7,83	14,22 17,06 8,53	15,97 18,54 9,27	17,75 20,09 10,04
140	17,5	22.480	5,93	3,58	6,92	7,29 13,26 6,63	8,29 13,83 6,91	9,51 14,59 7,29	10,88 15,52 7,76	12,35 16,58 8,29	13,88 17,76 8,88	15,47 19,02 9,51	17,09 20,36 10,18
160	25,7	47.940	6,78	4,05	7,89	8,07 15,06 7,53	8,90 15,52 7,76	9,95 16,14 8,07	11,15 16,91 8,45	12,46 17,80 8,90	13,85 18,81 9,40	15,30 19,90 9,95	16,80 21,07 10,53
180	36,0	93.750	7,66	4,57	8,92	8,90 16,91 8,45	9,60 17,29 8,64	10,49 17,80 8,90	11,55 18,44 9,22	12,72 19,20 9,60	13,97 20,05 10,02	15,30 20,99 10,49	16,67 22,01 11,00
200	49,1	171.100	8,54	5,07	9,93	9,75 18,75 9,37	10,34 19,07 9,53	11,12 19,50 9,75	12,05 20,05 10,02	13,10 20,69 10,34	14,24 21,43 10,71	15,45 22,25 11,12	16,71 23,15 11,57
220	65,4	295.400	9,43	5,59	11,0	10,63 20,61 10,30	11,14 20,88 10,44	11,83 21,26 10,63	12,65 21,73 10,86	13,59 22,29 11,14	14,63 22,93 11,46	15,73 23,65 11,83	16,90 24,45 12,22
240	85,5	486.900	10,3	6,08	12,0	11,52 22,48 11,24	11,97 22,71 11,35	12,57 23,04 11,52	13,31 23,45 11,72	14,16 23,94 11,97	15,11 24,51 12,25	16,13 25,15 12,57	17,21 25,86 12,93
260	100	753.700	11,2	6,58	13,0	12,43 24,39 12,19	12,80 24,59 12,29	13,31 24,86 12,43	13,94 25,20 12,60	14,67 25,61 12,80	15,49 26,09 13,04	16,38 26,63 13,31	17,34 27,23 13,61
280	118	1.130.000	12,1	7,09	14,0	13,35 26,32 13,16	13,68 26,48 13,24	14,12 26,71 13,35	14,66 27,01 13,50	15,30 27,36 13,68	16,03 27,77 13,88	16,82 28,24 14,12	17,68 28,76 14,38

3.8.3

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEB
)	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
55	21,36	23,18	25,01	26,84	28,68	30,53	32,38	34,23	36,09	37,94	41,66	45,39	
70	23,34	25,02	26,72	28,45	30,19	31,95	33,72	35,50	37,29	39,09	42,71	46,36	120
35	11,67	12,51	13,36	14,22	15,09	15,97	16,86	17,75	18,65	19,55	21,36	23,18	
73	20,40	22,08	23,77	25,47	27,18	28,89	30,61	32,34	34,07	35,80	39,27	42,75	
76	23,21	24,70	26,22	27,77	29,35	30,94	32,55	34,18	35,82	37,57	40,80	44,16	140
38	11,60	12,35	13,11	13,88	14,67	15,47	16,27	17,09	17,91	18,73	20,40	22,08	
32	19,87	21,44	23,02	24,62	26,23	27,84	29,47	31,09	32,73	34,37	37,65	40,95	
30	23,59	24,93	26,30	27,71	29,15	30,61	32,09	33,60	35,11	26,64	39,74	42,88	160
15	11,79	12,46	13,15	13,85	14,57	15,30	16,04	16,80	17,55	18,32	19,87	21,44	
08	19,52	20,99	22,47	23,97	25,48	27,01	28,54	30,08	31,63	33,18	36,30	39,44	
10	24,24	25,44	26,68	27,95	29,26	30,60	31,96	33,34	34,74	36,16	39,05	41,98	180
55	12,12	12,72	13,34	13,97	14,63	15,30	15,98	16,67	17,37	18,08	19,52	20,99	
02	19,37	20,74	22,13	23,55	24,98	26,42	27,88	29,34	30,81	32,29	35,27	38,26	
11	25,13	26,20	27,32	28,48	29,67	30,90	32,15	33,43	34,73	36,05	38,73	41,48	200
05	12,56	13,10	13,66	14,24	14,83	15,45	16,07	16,71	17,36	18,02	19,37	20,74	
2	19,38	20,67	21,98	23,32	24,68	26,05	27,43	28,83	30,24	31,65	34,50	37,38	
11	26,22	27,19	28,20	29,26	30,35	31,47	32,63	33,81	35,02	36,25	38,76	41,34	220
55	13,11	13,59	14,10	14,63	15,17	15,73	16,31	16,90	17,51	18,12	19,38	20,67	
15	19,53	20,74	21,99	23,26	24,55	25,85	27,18	28,51	29,86	31,22	33,96	36,73	
33	27,46	28,33	29,26	30,22	31,23	32,26	33,33	34,43	35,56	36,70	39,06	41,49	240
11	13,73	14,16	14,63	15,11	15,61	16,13	16,66	17,21	17,78	18,35	19,53	20,74	
15	19,41	20,50	21,63	22,79	23,97	25,16	26,38	27,61	28,86	30,11	32,66	38,23	
38	28,59	29,34	30,14	30,98	31,86	32,77	33,71	34,69	35,69	36,71	38,82	41,01	260
04	14,29	14,67	15,07	15,49	15,93	16,38	16,85	17,34	17,84	18,35	19,41	20,50	
30	19,56	20,56	21,59	22,66	23,75	24,86	26,00	27,15	28,31	29,49	31,88	34,30	
13	29,95	30,61	31,32	32,06	32,84	33,65	34,50	35,37	36,27	37,20	39,12	41,12	280
56	14,97	15,30	15,66	16,03	16,42	16,82	17,25	17,68	18,13	18,60	19,56	20,56	

3.8.3



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEB

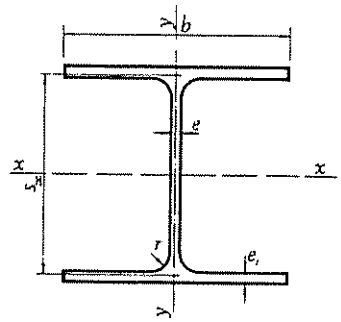
HEB	I_T cm^4	I_A cm^6	i_z cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
300	149	1.688.000	13,0	7,58	15,0	14,28 28,20 14,10	14,57 28,35 14,17	14,97 28,56 14,28	15,48 28,83 14,41	16,07 29,15 14,57	16,74 29,52 14,76	17,48 29,95 14,97	18,29 30,43 15,21
320	186	2.069.000	13,8	7,57	15,7	15,22 30,05 15,02	15,54 30,22 15,11	15,97 30,44 15,22	16,52 30,73 15,36	17,16 31,08 15,54	17,89 31,49 15,74	18,69 31,95 15,97	19,56 32,47 16,23
340	216	2.454.000	14,6	7,53	16,4	16,18 31,96 15,98	16,51 32,13 16,06	16,97 32,66 16,18	17,53 32,67 16,33	18,20 33,03 16,51	18,96 33,45 16,72	19,80 33,94 16,97	20,71 34,48 17,24
360	248	2.883.000	15,5	7,49	17,2	17,14 33,86 16,93	17,48 34,04 17,02	17,95 34,28 17,14	18,54 34,59 17,29	19,24 34,97 17,48	20,02 35,41 17,70	20,90 35,91 17,95	21,85 36,47 18,23
400	305	3.817.000	17,1	7,40	18,6	19,07 37,11 18,85	19,43 37,89 18,94	19,91 38,14 19,07	20,53 38,46 19,23	21,25 38,85 19,43	22,07 39,31 19,65	22,99 39,83 19,91	23,98 40,41 20,21
450	388	5.258.000	19,1	7,33	20,5	21,48 42,51 21,25	21,85 42,70 21,35	22,36 42,96 21,48	23,00 43,30 21,65	23,76 43,71 21,85	24,63 44,18 22,09	25,59 44,73 22,36	26,64 45,34 22,67
500	484	7.018.000	21,2	7,27	22,4	23,89 47,32 23,66	24,28 47,51 23,76	24,81 47,79 23,89	25,48 48,14 24,07	26,28 48,57 24,28	27,19 49,06 24,53	28,20 49,63 24,81	29,30 50,27 25,13
550	543	8.856.000	23,2	7,17	24,3	26,33 52,19 26,09	26,71 52,39 26,19	27,23 52,65 26,33	27,89 53,00 26,50	28,68 53,42 26,71	29,58 53,91 26,95	30,59 54,47 27,23	31,70 55,10 27,55
600	607	10.965.000	25,2	7,08	26,2	28,77 57,08 28,54	29,15 57,28 28,64	29,67 57,54 28,77	30,32 57,88 28,94	31,11 58,50 29,15	32,01 58,78 29,39	33,02 59,34 29,67	34,12 59,96 29,98

3.8.3

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEB
0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
15	20,06	21.01	22,00	23,01	24,06	25,13	26,22	27,33	28,45	29,59	31,91	34,27	
96	31,53	32,14	32,79	33,48	34,21	34,97	35,76	36,58	37,43	38,31	40,12	42,02	300
48	15,76	16,07	16,39	16,74	17,10	17,48	17,88	18,29	18,71	19,15	20,06	21,01	
49	21,48	22,50	23,57	24,67	25,79	26,95	28,12	29,32	30,53	31,76	34,26	36,80	
04	33,66	34,32	35,03	35.78	36,56	37,39	38,24	39,13	40,05	40,99	42,96	46,01	320
52	16,83	17,16	17,51	17,89	18,28	18,69	19,12	19,56	20,02	20,49	21,48	22,50	
69	22,72	23,79	24,91	26,06	27,24	28,45	29.68	30,94	32,21	33,50	36,12	38,79	
07	35,72	36,41	37,15	37,93	38,75	39,61	40,51	41,43	42,39	43,38	45,44	47,59	340
53	17,86	18,20	18,57	18,96	19,37	19,80	20,25	20,71	21,19	21,69	22,72	23,79	
36	23,93	25,05	26,21	27.41	28,65	29,91	31,20	32,51	33,84	35,18	37,92	40,71	
09	37,76	38,47	39,24	40,05	40,91	41,80	42,73	43,70	44,70	45,72	47,86	50,10	360
54	18,88	19,24	19,62	20,02	20,45	20,90	21,36	21,85	22,35	22,86	23,93	25,05	
05	26,17	27,35	28,58	29,85	31,16	32,50	33,86	35,26	36,67	38.10	41,02	43,99	
06	41,75	42,50	43,30	44,15	45,05	45,98	46,96	47,97	49.02	50,10	52,35	54,71	400
53	20,87	21,25	21,65	22,07	22,52	22,99	23,48	23,98	24,51	25,05	26,17	27,35	
77	28,96	30,22	31,53	32,88	34,27	35,70	37,16	38,65	40,17	41,71	44,84	48,04	
01	46,74	47,53	48,37	49,26	50,20	51,19	52,22	53,29	54,40	55,54	57,93	60,44	450
57	23,00	23,76	24,18	24,63	25,10	25,59	26,11	26,64	27,20	27,77	28,96	30,22	
49	31,75	33,08	34,46	35,90	37,38	38,90	40,45	42,04	43,65	45,29	48,64	52,05	
97	51,73	52,56	53.44	54,38	55,36	56,40	57,49	58,61	59,78	60,99	63,51	66,16	500
48	25,86	26,28	26,72	27,19	27,68	28,20	28,74	29,30	29,89	30,49	31,75	33,08	
39	34,15	35,49	36,89	38.34	39,84	41,39	42,97	44,59	46,24	47,91	51,34	54,85	
79	56,55	57,36	58,24	59,17	60,15	61,19	62,27	63,40	64,57	65.78	68,31	70,99	550
39	28,27	28,68	29,12	29,58	30,07	30,59	31,13	31,70	32,28	32,89	34,15	35,49	
32	36,60	37,95	39,36	40,83	42,36	43,93	45,54	47,19	48,88	50,59	54,10	57,70	
55	61,40	62,22	63,09	64,02	65,00	66,04	67,12	68,25	69,43	70,64	73,20	75,90	600
32	30,70	31,11	31,54	32,01	32,50	33,02	33,56	34,12	34,71	35,32	36,60	37,95	

3.8.3



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEA

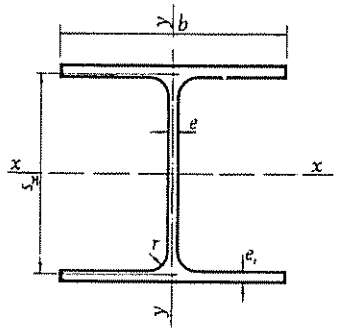
HEA	I_T cm⁴	I_A cm⁶	i_z cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
120	4,50	6.472	4,89	3,02	5,74	5,96 10,93 5,47	6,71 11,36 5,68	7,64 11,93 5,96	8,68 12,63 6,31	9,81 13,43 6,71	11,00 14,32 7,16	12,23 15,28 7,64	13,48 16,30 8,15
140	6,38	15.060	5,73	3,52	6,72	6,71 12,69 6,34	7,28 13,01 6,50	8,01 13,43 6,71	8,87 13,95 6,97	9,81 14,57 7,28	10,82 15,27 7,63	11,87 16,03 8,01	12,97 16,86 8,43
160	8,74	31.410	6,57	3,98	7,68	7,51 14,47 7,23	7,96 14,71 7,35	8,55 15,03 7,51	9,25 15,44 7,72	10,03 15,93 7,96	10,89 16,48 8,24	11,81 17,10 8,55	12,76 17,77 8,88
180	11,4	60.210	7,45	4,52	8,71	8,36 16,28 8,14	8,71 16,46 8,23	9,18 16,72 8,36	9,75 17,04 8,52	10,40 17,42 8,71	11,13 17,86 8,93	11,91 18,36 9,18	12,74 18,91 9,45
200	14,9	108.000	8,28	4,98	9,66	9,21 18,07 9,03	9,50 18,22 9,11	9,89 18,43 9,21	10,37 18,69 9,34	10,93 19,01 9,50	11,56 19,37 9,68	12,24 19,79 9,89	12,97 20,25 10,12
220	21,7	193.300	9,17	5,51	10,7	10,17 20,02 10,01	10,43 20,15 10,07	10,79 23,34 10,17	11,23 20,58 10,29	11,75 20,87 10,43	12,34 21,20 10,60	12,98 21,58 10,79	13,67 22,00 11,00
240	30,5	328.500	10,11	6,00	11,8	11,08 21,87 10,93	11,32 22,00 11,00	11,65 22,17 11,08	12,05 22,38 11,19	12,54 22,65 11,32	13,08 22,95 11,47	13,68 23,30 11,65	14,33 23,69 11,84
260	37,0	516.400	11,0	6,50	12,8	12,02 23,80 11,90	12,22 23,91 11,95	12,50 24,05 12,02	12,85 24,23 12,11	13,27 24,45 12,22	13,74 24,71 12,35	14,26 25,01 12,50	14,84 25,34 12,67
280	45,2	785.400	11,9	7,00	13,8	12,98 25,76 12,88	13,16 25,85 12,92	13,40 25,97 12,98	13,71 26,13 13,06	14,08 26,33 13,16	14,50 26,55 13,27	14,97 26,81 13,40	15,49 27,11 13,55

3.8.4

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0.5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
4,76	16,05	17,36	18,68	20,00	21,33	22,67	24,01	25,36	26,71	28,06	30,77	33,49	
7,37	18,49	19,63	20,81	22,00	23,22	24,46	25,71	26,97	28,24	29,52	32,11	34,72	120
3,68	9,24	9,81	10,40	11,00	11,61	12,23	12,85	13,48	14,12	14,76	16,05	17,36	
4,09	15,23	16,40	17,57	18,76	19,96	21,16	22,38	23,59	24,81	26,04	28,50	30,98	
7,74	18,66	19,62	20,61	21,64	22,68	23,75	24,83	25,94	27,05	28,18	30,47	32,80	140
3,87	9,33	9,81	10,30	10,82	11,34	11,87	12,42	12,97	13,52	14,09	15,23	16,40	
3,76	14,77	15,81	16,87	17,94	19,03	20,12	21,23	22,34	23,46	24,58	26,84	29,11	
3,50	19,27	20,07	20,92	21,79	22,69	23,62	24,57	25,53	26,52	27,51	29.55	31,63	160
9,25	9,63	10,03	10,46	10,89	11,34	11,81	12,28	12,76	13,26	13,76	14,77	15,81	
3,61	14,50	15,43	16,37	17,33	18,31	19,30	20,30	21,31	22,33	23,36	25,43	27,51	
9,50	20,14	20,81	21,52	22,26	23,03	23,83	24,65	25,48	26,34	27,22	29.01	30,86	180
9,75	10,07	10,40	10,76	11,13	11,51	11,91	12,32	12,74	13,17	13,61	14,50	15,43	
3,74	14,55	15,38	16,24	17,12	18,01	18,92	19,84	20,78	21,72	22,67	24,60	26,55	
0.75	21,29	21,87	22,48	23,12	23,79	24,49	25,21	25,95	26,71	27,49	29,10	30,77	200
0,37	10,64	10,93	11,24	11,56	11,89	12,24	12,60	12,97	13,35	13,74	14,55	15,38	
4,40	15,17	15,98	16,80	17,65	18,52	19,41	20,31	21,22	22,15	23,09	24,98	26,90	
2,47	22,97	23,51	24,08	24,68	25,31	25,96	26,64	27,35	28,07	28,81	30,35	31,96	220
1,23	11,48	11,75	12,04	12,34	12,65	12,98	13,32	13,67	14,03	14,40	15,17	15,98	
5,03	15,76	16,52	17,32	18,13	18,97	19,83	20,70	21,59	22,49	23,41	25,26	27,14	
4,11	24,58	25,07	25,60	26,16	26,75	27,37	28,01	28,67	29,35	30,06	31,52	33,05	240
2,05	12,29	12,54	12,80	13,08	13,37	13,68	14,00	14,33	14,67	15,03	15,76	16,52	
5,46	16,11	16,80	17,51	18,25	19,02	19,80	20,61	21,42	22,26	23,10	24,82	26,58	
5,71	26,11	26,54	26,99	27,48	28,00	28,53	29,10	29,68	30.29	30,92	32,22	33,60	260
2,85	13,05	13,27	13,50	13,74	14,00	14,26	14,55	14,84	15,14	15,46	16,11	16,80	
6,04	16,64	17,27	17,92	18,61	19,32	20,05	20,79	21,56	22,34	23,13	24,76	26,42	
7,43	27,78	28,16	28,57	29,00	29,46	29,95	30,45	30,98	31,53	32,09	33,28	34,54	280
3,71	13,89	14,08	14,28	14,50	14,73	14,97	15,22	15,49	15,76	16,04	16,64	17,27	

3.8.4



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEA

HEA	I_T cm⁴	I_A cm⁶	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
300	60,2	1.200.000	12,7	7,47	14,7	13,92 27,64 13,82	14,09 27,73 13,86	14,32 27,84 13,92	14,60 27,99 14,00	14,95 28,18 14,09	15,35 28,39 14,19	15,80 28,64 14,32	16,29 28,91 14,45
320	81,3	1.512.000	13,6	7,51	15,5	14,86 29,49 14,74	15,05 29,58 14,79	15,31 29,72 14,86	15,64 29,89 14,94	16,03 30,10 15,05	16,48 30,34 15,17	16,99 30,62 15,31	17,55 30,93 15,46
340	98,3	1.824.000	14,4	7,46	16,2	15,82 31,39 15,69	16,02 31,50 15,75	16,30 31,64 15,82	16,65 31,82 15,91	17,07 32,04 16,02	17,55 32,30 16,15	18,10 32,60 16,30	18,69 32,93 16,47
360	118	2.177.000	15,2	7,43	16,9	16,78 33,30 16,65	17,00 33,41 16,70	17,29 33,57 16,78	17,67 33,76 16,88	18,12 34,00 17,00	18,63 34,28 17,14	19,21 34,59 17,29	19,85 34,95 17,47
400	153	2.942.000	16,8	7,34	18,3	18,72 37,17 18,58	18,95 37,28 18,64	19,27 37,45 18,72	19,67 37,66 18,83	20,16 37,91 18,95	20,71 38,21 19,10	21,33 38,55 19,27	22,01 38,93 19,46
450	205	4.148.000	18,9	7,29	20,3	21,13 41,95 20,97	21,37 42,08 21,04	21,72 42,25 21,13	22,15 42,48 21,24	22,67 42,75 21,37	23,26 43,07 21,53	23,93 43,44 21,72	24,67 43,85 21,92
500	269	5.643.000	21,0	7,24	22,2	23,54 46,76 23,38	23,81 46,89 23,44	24,17 47,08 23,54	24,64 47,32 23,66	25,20 47,62 23,81	25,84 47,96 23,98	26,57 48,35 24,17	27,36 48,80 24,40
550	309	7.189.000	23,0	7,15	24,1	25,99 55,66 25,83	26,25 51,79 25,89	26,62 51,98 25,99	27,09 52,22 26,11	27,65 52,51 26,25	28,29 52,85 26,43	29,02 53,25 26,62	29,83 53,69 26,84
600	352	8.978.000	25,0	7,05	26,0	28,44 56,55 28,27	28,70 56,69 28,34	29,07 56,87 28,44	29,54 57,12 28,56	30,10 57,41 28,70	30,75 57,75 28,87	31,48 58,15 29,07	32,30 58,59 29,29

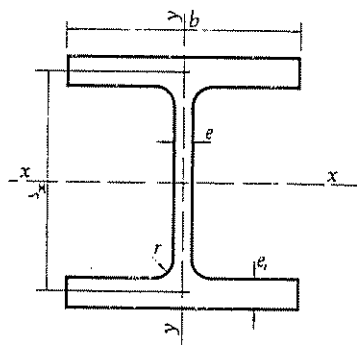
3.8.4

Términos de sección correspondiente a la torsión

$$\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
16,82	17,39	18,00	18,63	19,30	19,98	20,69	21,42	22,17	22,93	23,71	25,30	26.94	
29,21	29,55	29,91	30,29	30,70	31.14	31,60	32,08	32,59	33,11	33,65	34,79	36,00	300
14,60	14,77	14,95	15.14	15,35	15,57	15,80	16,04	16,29	16,55	16,82	17,39	18,00	
18,15	18,80	19,48	20,19	20,94	21,71	22,50	23,32	24,16	25,01	25,88	27,66	29,48	
31,28	31,66	32,07	32.51	32.97	33.47	33,99	34,53	35,10	35,70	36,31	37,60	38,96	320
15,64	15,83	16,03	16,25	16,48	16,73	16,99	17,27	17,55	17,85	18,15	18,80	19,48	
19,33	20,02	20,75	21,51	22.30	23,13	23,97	24,84	25,74	26,65	27,57	29,47	31,41	
33,30	33.71	34,14	34,61	35,11	35,64	36,20	36,78	37,39	38,02	28,67	40,05	41,50	340
16,65	16,85	17,07	17,30	17,55	17,82	18,10	18,39	18,69	19,01	19,33	20,02	20,75	
20,53	21,26	22,04	22,85	23,70	24,57	25,48	26,40	27,35	28,32	29,31	31,33	33,40	
35,34	35,77	36,24	36,74	37,27	37,83	38,43	39,05	39,70	40,37	41,07	42,53	44,08	360
17,67	17,88	18,12	18,37	18,63	18,91	19,21	19,52	19,85	20,18	20,53	21,26	22,04	
22,75	23,54	24,38	25,26	26,17	27,12	28.10	29,10	30,13	31,19	32,26	34,45	36,70	
39.35	39,82	40,32	40,85	41,42	42.03	42,67	43,34	44,03	44.76	45,51	47,09	48,77	400
19.67	19,91	20,16	20,42	20,71	21,01	21,33	21,67	22,01	22.38	22,75	23.54	24,38	
25.47	26,33	27,23	28,19	29,18	30,21	31,27	32,37	33,49	34,64	35,80	38.20	40,66	
44.30	44,80	45,34	45,92	46,53	47,19	47,87	48,60	49,35	50,14	50,95	52,66	54,47	450
22.15	22.40	22,67	22,96	23,26	23,59	23,93	24,30	24,67	25,07	25,47	26,33	27,23	
28,23	29,15	30,13	31,17	32,24	33,36	34,52	35,70	36,92	38,17	39,44	42,05	44,73	
49.29	49.82	50,40	51,03	51,69	52,40	53,14	53,92	54,73	55,58	56,46	58,31	60.27	500
24,64	24,91	25,20	25,51	25,84	26,20	26,57	26,96	27,36	27,79	28,23	29,15	30,13	
30,70	31,64	32,64	33,69	34.78	35,92	37,11	38,32	39,58	40,86	42,16	44,85	47,62	
54.18	54,72	55,30	55,93	56.59	57,30	58.05	58,84	59.66	60,52	61,41	63,28	65,28	550
27,09	27,36	27,65	27,96	28,29	28,65	29,02	29,42	29,83	30,26	30,70	31.64	32,64	
33,18	34,13	35,14	36,21	37,33	38,49	39,70	40.94	42,22	43,54	44,88	47,65	50,50	
59,08	59,62	60,20	60,83	61,50	62,22	62,97	63,77	64,60	65,46	66,36	68,26	70,28	600
29,54	29,81	30,10	30,41	30,75	31,11	31,48	31,88	32,30	32,73	33,18	34,13	35,14	

3.8.4



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEM

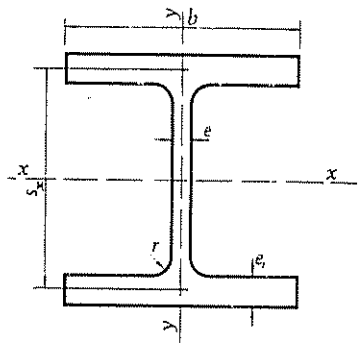
HEM	I_T cm^4	I_A cm^6	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
120	84,2	24.790	5,51	3,25	6,39	9,05 13,70 6,85	11,84 15,68 7,84	14,90 18,10 9,05	18,08 20,80 10,40	21,34 23,69 11,84	24,64 26,70 13,35	27,97 29,80 14,90	31,32 32,96 16,48
140	112	54.330	6,39	3,77	7,41	9,27 15,13 7,56	11,57 16,63 8,31	14,17 18,54 9,27	16,94 20,73 10,36	19,81 23,14 11,57	22,73 25,69 12,84	25,70 28,34 14,17	28,69 31,08 15,54
160	147	108.100	7,25	4,26	8,41	9,69 16,68 8,34	11,60 17,86 8,93	13,84 19,39 9,69	16,27 21,19 10,59	18,83 23,21 11,60	21,45 25,39 12,69	24,13 27,69 13,84	26,85 30,08 15,04
180	187	199.300	8,13	4,77	9,43	10,27 18,36 9,18	11,86 19,30 9,65	13,79 20,54 10,27	15,93 22,03 11,01	18,21 23,73 11,86	20,58 25,59 12,79	23,01 27,59 13,79	25,48 29,68 14,84
200	234	346.300	9,00	5,27	10,4	10,94 20,11 10,05	12,29 20,87 10,43	13,96 21,89 10,94	15,84 23,14 11,57	17,88 24,58 12,29	20,02 26,18 13,09	22,24 27,92 13,96	24,51 29,76 14,88
220	288	572.700	9,89	5,79	11,5	11,69 21,90 10,95	12,83 22,53 11,26	14,28 23,38 11,69	15,95 24,44 12,22	17,77 25,67 12,83	19,72 27,05 13,52	21,74 28,56 14,28	23,83 30,18 15,09
240	582	1.152.000	11,0	6,39	12,7	13,00 24,35 12,17	14,28 25,06 12,53	15,89 26,01 13,00	17,76 27,19 13,59	19,79 28,56 14,28	21,96 30,10 15,05	24,22 31,79 15,89	26,55 33,60 16,80
260	657	1.728.000	11,9	6,90	13,8	13,78 26,19 13,09	14,85 26,76 13,38	16,23 27,55 13,78	17,85 28,54 14,27	19,64 29,70 14,85	21,58 31,01 15,50	23,61 32,46 16,23	25,72 34,02 17,01
280	741	2.520.000	12,8	7,40	14,8	14,61 28,07 14,03	15,52 28,55 14,27	16,71 29,22 14,61	18,13 30,05 15,02	19,72 31,04 15,52	21,45 32,17 16,08	23,29 33,42 16,71	25,22 34,79 17,39

3.8.5

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0.5 \end{cases}$

i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
34,68	38,05	41,43	44,82	48,20	51.60	54,99	58,39	61,79	65,19	68,60	75,41	82,22	
36.17	39,42	42,69	45,98	49,29	52,61	55,95	59,29	62,64	66,00	69,37	76,11	82,87	120
18,08	19,71	21,34	22,99	24,64	26,30	27,97	29,64	31,32	33,00	34,68	38,05	41,43	
31,71	34,73	37,77	40,82	43,87	46,93	49,99	53,06	56,13	59,20	62,28	68,43	74,60	
33,89	36,73	39,62	42,53	45,47	48,43	51,40	54,39	57,39	60,40	63.42	69,47	75,55	140
16,94	18,36	19,81	21,26	22,73	24,21	25,70	27,19	28,69	30,20	31,71	34,73	37.77	
29,59	32,35	25,12	37,91	40,71	43,51	46,32	49.14	51,96	54,78	57,60	63,26	68,93	
32.55	35,08	37,66	40,27	42,91	45,58	48,27	50,98	53,70	56,44	59,18	64,70	70,25	160
16,27	17,54	18,83	20,13	21.45	22,79	24,13	25,49	26,85	28.22	29,59	32,35	35,12	
27,99	30,53	33,08	35,65	38,24	40,83	43,43	46,03	48,65	51,26	53,88	59,14	64,40	
31,87	34,11	36,42	38,77	41,15	43,57	46,02	48,49	50,97	53,48	55,99	61,06	66,17	180
15,93	17,05	18,21	19,38	20,58	21,78	23,01	24,24	25,48	26,74	27,99	30,53	33,08	
26,83	29,17	31,54	33,93	36,33	38,74	41,17	43,60	46,04	48,49	50,94	55,85	60,78	
31,69	33,70	35,77	37,89	40,05	42.26	44,49	46,75	49.03	51,34	53,66	58,35	63,08	200
15,84	16,85	17,88	18,94	20,02	21,13	22,24	23,37	24,51	25,67	26,83	29.17	31,54	
25,97	28,15	30,35	32,58	34,82	37,08	39,35	41.64	43,93	46,23	48,54	53,17	57,81	
31,90	33,69	35,55	37,47	39,44	41.45	43.49	45.57	47.67	49,80	51,95	56,30	60,70	220
15,95	16,84	17,77	18,73	19,72	20,72	21,74	22,78	23,83	24.90	25,97	28,15	30,35	
28,94	31,36	33,82	36.30	38,80	41,32	43,86	46,40	48,96	51,52	54,09	59,25	64,43	
35,52	37,52	39,59	41,73	43,93	46,17	48,45	50,77	53,11	55,48	57,88	62,73	67,64	240
17,76	18,76	19,79	20,86	21,96	23.08	24,22	25,38	26,55	27,74	28,94	31,36	32.82	
27,89	30,11	32,37	34,66	36,97	39,30	41,64	44,01	46,38	48,76	51,16	55,96	60,79	
35,69	37,45	39,29	41,19	43,16	45,17	47,23	49.32	51,45	53,61	55,79	60,23	64,74	260
17,85	18,72	19,64	20,60	21,58	22,58	23,61	24,66	25,72	26,80	27,89	30,11	32,37	
27,21	29,25	31,33	33,45	35,60	37,77	39,96	41,16	44,38	46,61	48,86	53,37	57,91	
36,26	37,81	39,45	41,15	42,91	44,73	46,59	48,50	50,44	52,42	54.42	58,50	62,67	280
18,13	18,90	19,72	20,57	21,45	22,36	23,29	24,25	25,22	26,21	27,31	29,25	31,33	

3.8.5



Magnitudes características de la torsión. Un perfil HEM

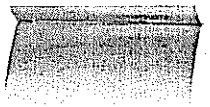
HEM	I_T cm⁴	I_A cm⁶	i_x cm	i_y cm	i_o cm	i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros							
						1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
300	1.307	4.386.000	14,0	8,00	16,1	15,88 30,50 15,25	16,88 31,03 15,52	18,19 31,77 15,88	19,75 32,68 16,34	21,50 33,77 16,88	23,40 35,01 17,50	25,42 36,39 18,19	27,53 37,90 18,95
320	1.405	5.004.000	14,8	7,95	16,8	16,78 32,30 16,15	17,78 32,83 16,41	19,10 33,56 16,78	20,67 34,48 17,24	22,45 35,57 17,78	24,38 36,82 18,41	26,43 38,21 19,10	28,58 39,73 19,86
340	1.410	5.585.000	15,6	7,90	17,5	17,64 34,07 17,03	18,60 34,58 17,29	19,87 35,28 17,64	21,39 36,16 18,08	23,11 37,20 18,60	25,00 38,40 19,20	27,01 39,74 19,87	29,12 41,21 20,60
360	1.411	6.137.000	16,3	7,83	18,1	18,50 35,85 17,92	19,43 36,34 17,18	20,66 37,01 18,50	22,14 37,86 18,93	23,83 38,87 19,43	25,68 40,03 20,01	27,66 41,33 20,66	29,75 42,76 21,38
400	1.419	7.410.000	17,9	7,70	19,5	20,29 39,51 19,75	21,15 39,96 19,98	22,30 40,58 20,29	23,70 41,36 20,68	25,31 42,31 21,15	27,08 43,39 21,69	29,00 44,61 22,30	31,02 45,95 22,97
450	1.433	9.252.000	19,8	7,59	21,2	22,52 44,07 22,03	23,31 44,48 22,24	24,37 45,04 22,52	25,67 45,76 22,88	27,17 46,62 23,31	28,85 47,61 23,80	30,67 48,74 24,37	32,61 49,98 24,99
500	1.443	11.187.000	21,7	7,46	21,9	24,77 48,64 24,32	25,50 49,01 24,50	26,49 49,54 24,77	27,71 50,20 25,10	29,13 51,00 25,50	30,72 51,93 25,96	32,47 52,98 26,49	34,34 54,14 27,07
550	1.457	13.516.000	23,6	7,35	24,7	27,11 53,39 26,69	27,78 53,74 26,87	28,70 54,22 27,11	29,84 54,83 27,41	31,18 55,57 27,78	32,69 56,43 28,21	34,35 57,41 28,70	36,13 58,50 29,25
600	1.468	15.908.000	25,6	7,22	26,6	29,46 58,16 29,08	30,10 58,48 29,24	30,96 58,93 29,46	32,04 59,50 29,75	33,31 60,20 30,10	34,75 61,00 30,50	36,34 61,92 30,96	38,06 62,95 31,47

3.8.5

Términos de sección correspondiente a la torsión $\begin{cases} \beta = 1 & \beta_o = 1 \\ \beta = 1 & \beta_o = 0{,}5 \\ \beta = 0{,}5 & \beta_o = 0{,}5 \end{cases}$

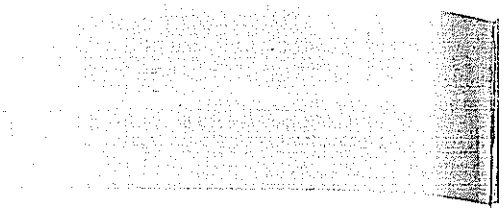
i_T, en centímetros, en función de l, expresada en metros													HEM
;,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
9,71	31,95	34,23	36,55	38,90	41,28	43,67	46,09	48.52	50.96	53,41	58,35	63,32	
9.51	41,22	43,01	44,88	46,81	48,80	50.85	52,94	55,06	57,23	59,42	63,90	68,46	300
9,75	30,61	21,50	33,44	23,40	24,40	25,42	26,47	27,53	28,61	29,71	31,95	34,23	
0,80	33,08	35,42	37,79	40,20	42.63	45,09	47,56	50,05	52,56	55,08	60,14	65,24	
1,35	43,08	44,90	46,79	48.76	50.78	52,86	54,99	57,16	59,36	61.60	66,17	70,84	320
0,67	21,54	22,45	23,39	24,38	25,39	26,43	27,49	28.58	29,68	30.80	33,08	35,42	
1.31	33,57	35,88	38,23	40,62	43,04	45,48	47,94	50,43	52.92	55,43	60.49	65,58	
2,78	44.46	46,23	48,08	50.00	51.98	54,02	56.11	58,25	60,42	62.63	67.15	71.77	340
1.39	22,23	23.11	24,04	25,00	25.99	27,01	28.05	29.12	30,21	31.31	33,57	35,88	
1,92	34,16	36,45	38,80	41,18	43.59	46.02	48,48	50.96	53,46	55,97	61.03	66,13	
4.29	45,93	47,67	49.48	51,37	53.32	55,33	57,39	59,50	61,65	63,84	68,32	72,91	360
2.14	22,96	23,83	24,74	25,68	26,66	27,66	28,69	29,75	30,82	31.92	34,16	36,45	
3.14	35,33	37,59	39,90	42,25	44,64	47,05	49,50	51,97	54.45	56,96	62,01	67,10	
7,41	48,97	50,62	52,36	54,17	56,05	57,99	60.00	62,05	64,14	66,28	70,67	75.18	400
3,70	24,48	25,31	26,18	27,08	28,02	29,00	30,00	31,02	32,07	33,14	35,33	37.59	
4.65	36,77	38.97	41.22	43.52	45,86	48,24	50,65	53.09	55,55	58,03	63,04	68,11	
1,34	52,79	54,34	55,98	57.70	59,49	61,34	63,25	65,22	67,24	69.30	73,55	77.94	450
5,67	26,39	27,17	27.99	28,85	29.74	30,67	31,62	32,61	33,62	34,65	36,77	38,97	
5,31	38,38	40,52	42,72	44.99	47,29	49,64	52.03	54,44	56,88	59,35	64.34	69.39	
5,42	66.79	58,26	59.81	61,45	63,16	64,94	66.78	68,68	70.63	72.63	76,76	81.04	500
7.71	28,39	29,13	29.91	30,72	31,58	32,47	33,39	34,34	35,31	36,31	38,38	40,52	
3.03	40.03	42,10	44,25	46,46	48,72	51.02	53.36	55,74	58,15	60,59	65,52	70.54	
9.69	60,98	62.36	63,83	65,38	67.00	68,70	70,45	72.27	74,15	76,07	80,06	84,21	550
9,84	30,49	31,18	31,91	32,69	33.50	34,35	35.22	36,13	37.07	38.03	40,03	42,10	
9,90	41,84	43,86	45,96	48,12	50.34	52,61	54,93	57,28	59,67	62.08	66,99	71.98	
4,08	65,30	66,62	68,08	69,50	71.05	72,68	74,37	76,13	77.94	79,80	83,68	87,72	600
2,04	32,65	33,31	34,01	34,75	35,52	36,34	37,18	38,06	38,97	39,90	41,84	43,86	

3.8.5



3.9 Solicitación de agotamiento

piezas sometidas a compresión



En las tablas del presente capítulo se han indicado los valores de la carga de agotamiento a compresión centrada en función de la longitud de pandeo, en piezas formadas por un perfil simple, o bien por ciertas combinaciones de éstos entre sí o con platabandas.

Concretamente se han tabulado las solicitaciones de agotamiento para todos aquellos perfiles simples y compuestos relacionados en el Tomo 2, que en la práctica puedan usarse razonablemente para elementos sometidos a solicitaciones en que predomina la compresión.

Además de las cargas de agotamiento, en la segunda columna de cada tabla figura el área de la sección transversal —como dato comparativo entre perfiles de series diferentes— y en la tercera, el producto de ese valor por la tensión de cálculo, es decir, la solicitación de agotamiento de compresión sin pandeo.

En el indice se resumen los casos estudiados.

Repetimos que las solicitaciones que se reflejan en las tablas son las de agotamiento, de acuerdo con la definición de este concepto en el apartado 2.6 de la Norma Básica MV-103, 1972. Por lo tanto, son las cargas ponderadas con los coeficientes especificados en la citada Norma las que deben considerarse como solicitaciones y éstas no han de ser superiores a las límites constituidas por los valores tabulados.

Las longitudes l_k que encabezan las columnas de las diversas tablas son las de pandeo de la barra; es decir, sus longitudes físicas multiplicadas por el coeficiente correspondiente.

Por ejemplo, en una pieza empotrada en un extremo y libre en el otro, habría que multiplicar por 2 la longitud real; si se tratase de una diagonal interior de una estructura triangulada, cuyo pandeo en el plano transversal está impedido por otras razones, habría de multiplicarse por 0,8; en el caso de un pilar de estructura sin recuadros arriostrados y con un grado de empotramiento de 0,3 en ambos extremos, el multiplicador sería 1,69, según la tabla del apartado 3.315.

Los intervalos de longitud de pandeo se han elegido de manera que permitan una utilización directa de la tabla, sin interpolaciones, para lograr la precisión normalmente requerida en trabajos de proyecto. En la mayoría de los casos es de 50 cm.

Siguiendo las especificaciones de la Norma Básica MV-103, no se han considerado los casos correspondientes a esbelteces superiores a 250. Se han destacado con sombreado las longitudes que signifiquen esbelteces comprendidas entre 200 y 250, que según la misma Norma sólo se deben emplear en elementos de importancia secundaria.

El cálculo se ha efectuado teniendo en cuenta en cada caso la esbeltez máxima y el correspondiente plano de pandeo (indicado en las tablas).

Cuando existan en la pieza considerada coacciones para el pandeo según el plano perpendicular al de inercia mínima, a distancias inferiores a las coacciones al pandeo con inercia máxima, será preciso hacer la comprobación de este último pandeo directamente; es decir, sin utilización de las tablas (ver ejemplo).

Se ha estudiado en todos los casos la posibilidad del pandeo por torsión pura, según el apartado 3.5.5.2 de la Norma, en las tablas se ha tenido en cuenta la reducción en la solicitación de agotamiento por ser el radio de giro polar mayor que el de torsión, en aquellos casos en que se cumple.

En los casos de los perfiles con sólo un plano de simetría, para el cálculo de la solicitación de agotamiento, también se ha tenido en cuenta el aumento de la esbeltez ideal —y la consiguiente reducción de la carga de agotamiento admisible— que se origina por la superposición de las tensiones producidas por torsión y flexión, al no coincidir el centro de gravedad con el de esfuerzos cortantes. En todos los casos en que el fenómeno torsión tiene influencia, se señalan en las tablas.

Condición indispensable para poder aplicar las tablas referentes a dos medios perfiles es que el conjunto pueda considerarse como simple desde el punto de vista del cálculo; es decir, que la distancia entre los ejes de las cartelas no exceda de 15 i_{min} (mínimo radio de giro del perfil componente) y que el ancho y el espesor de las mismas sean similares a las dimensiones análogas del ala.

Todas las tablas corresponden a casos de compresión centrada. La hipótesis de compresión excéntricas encierran demasiada variación para reflejar sus resultados en un cuadro de uso general. Sólo parecería razonable representar las solicitaciones de compresión excéntrica para los perfiles 1/2 IPN, 1/2 IPE y 1/2 H, con la carga actuando en las alas. Pero se da el hecho que las solicitaciones de agotamiento son entonces algo mayores, por el efecto que producen la flexión y torsión adicional en el supuesto de carga centrada. Por lo tanto, admitiendo un reducido margen de seguridad suplementaria, las tablas de los medios perfiles valen también para compresiones que actúen en la cara exterior del ala.

Perfiles empresillados

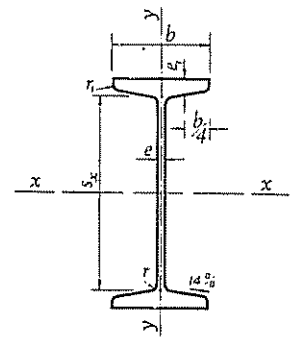
En las tablas de dos perfiles compuestos empresillados a distancias uniformes, el número sobre impreso en cada casilla indica la cantidad mínima de tramos entre presillas que debe existir en la barra compuesta, para satisfacer la condición del apartado *b* del punto 3.1.3 de la Norma Básica MV-103, 1972. En el caso de la barra compuesta de dos perfiles con igual esbeltez en ambos planos de simetría, la cantidad de presillas condiciona la separación entre los ejes de los dos perfiles componentes. Si n es el número de tramos entre presillas, i_x e i_y los radios de giro del perfil simple, la separación entre ejes s_1 es una función:

$$s_1 = f\,(n, i_x, i_y),$$

cuyos valores se reflejan en el cuadro auxiliar de la parte inferior de las correspondientes tablas.

Para determinados valores de n en algunos perfiles no resulta físicamente posible cumplir la condición de igual esbeltez en ambos planos (la función f da resultados imaginarios). También se prescinde de los valores s_1 excesivos en comparación con el radio de inercia mínimo, en cuyo caso exige la Norma la aplicación de un factor de mayoración para el dimensionado de la presilla (artículo 3.8.1 de la Norma Básica MV-103).

Las tablas aportan la información complementaria de dimensiones recomendadas para las presillas y los cordones de soldadura entre las presillas y los perfiles laminados. El dimensionamiento está basado en que también las presillas se construyan con el mismo acero que el perfil. De no cumplirse esta condición, conviene tomar presillas de igual planta y espesor inversamente proporcional a la tensión de cálculo. La soldadura está considerada como cordón longitudinal único completo, lo que exige que se vuelva en **U** en sus extremos, para no tener que descontar un trozo de la longitud útil en función de los cráteres de extremo. Cuando el material de las presillas tenga una resistencia de cálculo inferior a la del perfil, por supuesto también habría que recalcular el espesor de la soldadura.



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
100	10,6	25,44	3,0						
120	14,2	34,08	5,3	4,4	3,7				
140	18,3	43,92	8,6	7,3	6,1	5,3	4,5		
160	22,8	54,72	13,1	11,0	9,2	7,9	6,9	6,0	
180	27,9	66,96	19,1	16,0	13,7	11,7	10,2	9,0	7,9
200	33,5	80,40	26,7	22,6	19,4	16,6	14,5	12,7	11,2
220	39,6	95,04	36,0	30,8	26,2	22,7	19,9	17,3	15,4
240	46,1	110,64	48,1	41,3	35,8	30,8	27,1	23,6	21,0
260	53,4	128,16	60,5	51,9	45,4	39,4	34,5	30,3	27,1
280	61,1	146,64	75,2	65,5	57,1	49,4	43,4	38,5	34,3
300	69,1	165,84	90,1	79,3	69,1	60,3	53,0	47,4	42,0
320	77,8	186,72	107,3	94,8	83,4	72,7	64,4	57,5	50,7
340	86,8	208,32	127,8	113,2	99,7	87,9	77,7	69,2	61,6
360	97,1	233,04	148,4	131,7	118,3	104,0	92,1	82,6	73,5
380	107	256,80	170,1	153,8	137,3	121,1	108,4	97,3	87,3
400	118	283,20	195,3	175,9	158,2	141,6	126,4	113,3	101,9
450	147	352,80	263,3	243,3	221,9	199,3	180,9	164,1	147,0
500	180	432,00	342,9	317,6	293,9	271,7	248,3	225,0	203,8
550	213	511,20	422,5	399,4	373,1	347,8	321,5	297,2	270,5
600	254	609,60	516,6	495,6	468,9	438,6	414,7	383,4	354,4

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.1

piezas sometidas a compresión

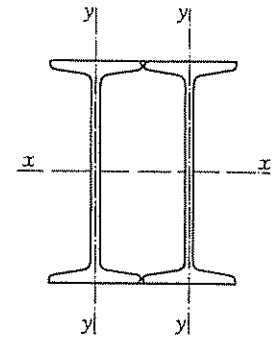


Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									IPN
,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									100
									120
									140
									160
									180
									200
8,9									220
12,3	10,0								240
16,8	13,8	11,5							260
21,6	17,6	14,7							280
27,4	22,5	18,8	15,8						300
33,6	27,7	23,0	19,5						320
40,8	33,8	28,1	23,7	20,4					340
49,8	40,9	34,4	29,1	24,9	21,6				360
59,8	49,3	40,9	34,7	29,8	25,9				380
70,7	58,0	48,8	41,3	35,6	30,7				400
82,8	68,4	57,3	48,7	41,8	36,3				450
121,7	100,8	85,2	72,3	61,9	54,0	41,9			500
170,8	143,5	120,3	103,3	88,5	77,3	59,8	47,6		550
228,2	193,6	163,3	140,8	120,9	105,8	82,2	65,5	53,4	600
300,3	257,2	219,3	187,6	163,9	142,4	111,2	89,1	72,3	

3.9.1



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN soldados

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,16	30,4	16,9	14,5	12,5	10,9	9,5	8,4	7,5
100	21,2	50,9	29,9	26,5	23,3	20,6	18,0	16,0	14,3
120	28,4	68,2	47,3	42,8	38,5	34,6	30,8	27,6	24,7
140	36,6	87,8	67,5	62,7	57,4	52,6	47,7	43,2	39,2
160	45,6	109,4	90,4	84,8	79,8	74,4	68,8	62,9	58,5
180	55,8	133,9	115,4	110,6	104,6	99,9	93,0	87,5	81,1
200	67,0	160,8	143,5	138,6	132,8	127,6	120,9	114,8	107,9
220	79,2	190,1	172,8	168,2	162,4	158,4	152,0	145,1	138,7
240	92,2	221,3	204,8	201,1	195,8	189,1	184,4	175,6	170,2
260	107,0	256,8	240,0	235,6	231,3	225,2	219,4	214,0	207,1
280	122,0	292,8	276,2	271,1	266,1	261,4	256,8	250,2	241,9
300	138,0	331,2	312,4	309,5	306,6	301,0	293,1	285,5	280,6
320	156	374,4	356,5	353,2	346,6	343,4	334,2	328,4	320,0
340	174	417,6	397,7	393,9	390,2	386,6	379,6	372,8	366,3
360	194	465,6	447,6	443,4	439,2	431,1	427,1	419,4	412,0
380	214	513,6	493,8	489,1	484,5	480,0	475,5	466,9	458,5
400	236	566,4	549,9	544,6	539,4	534,3	524,4	519,6	514,9
450	294	705,0	685,0	685,0	678,4	672,0	665,6	659,4	653,3
500	360	864,0	847,0	838,8	838,8	830,7	822,8	815,0	807,4
550	426	1 022,4	1 002,4	1 002,4	992,6	992,6	983,0	973,7	964,5
600	508	1 219,2	1 195,3	1 195,3	1 195,3	1 183,6	1 183,6	1 172,3	1 161,1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.2



Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

;itud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									80
6,0	4,9	4,0							100
11,6	9,4	7,9	6,6	5,7					120
20,1	16,6	13,9	11,9	10,2	8,8				140
32,4	27,0	22,7	19,6	16,8	14,5	11,3			160
48,8	40,8	34,9	29,7	25,8	22,4	17,5	14,0	11,3	180
70,4	59,0	50,7	43,9	38,2	33,1	26,0	20,7	16,9	
94,5	81,6	70,8	61.8	54,1	47.0	37,1	29,6	24,4	200
122,6	109,2	95,0	83,7	73,1	64,6	51.1	41,0	33.7	220
153,6	139,1	123,6	109,0	97,4	86,1	68,0	55,3	45,3	240
188,8	172.3	155.6	139,5	124,6	110,2	88,5	72.3	59,3	260
225,2	206,2	186,5	170,2	152,5	136.1	110,9	90,0	74,1	280
262,8	243,5	225,3	203,1	185,0	165,6	134,0	111,5	92,2	300
304,3	285,8	263,6	241,5	220,2	200,2	164,9	136,1	113,8	320
348,0	326,2	307,0	284,0	259,3	235,9	196,9	162,4	136,9	340
397.9	375,4	355,4	327,8	304,3	278.8	232,8	194,0	162,8	360
442,7	424,4	401,2	374,8	349,3	323,0	271,7	229,2	194,5	380
496.8	475,9	453,1	425,8	398,8	370.2	316,4	267,1	226,5	400
635,6	613,5	592,9	569,0	538,6	507,6	443,7	386,4	328,1	450
792.6	771,4	751,3	726,0	696,7	664,6	595,8	523,6	457,1	500
946,6	937,9	912,8	881,3	859,1	811,4	751,7	677,0	594,4	550
150,2	1 128,9	1 108,4	1 078,9	1 051.0	1 024,5	945,1	858,5	776,5	600

Dos perfiles IPN empresillados ($\lambda_z = \lambda_y$)

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,1	36,4	(6) 25,6	(7) 23,2	(7) 20,9	(8) 18,7	(8) 16,9	(9) 15,2	(9) 13,6
100	21,2	50,9	(5) 42,1	(6) 39,4	(6) 37,1	(7) 34,6	(7) 32,0	(8) 29,2	(8) 26,9
120	28,4	68,2	(5) 60,3	(5) 58,3	(5) 56,3	(6) 53,3	(6) 50,9	(7) 48,0	(7) 45,1
140	36,6	87,8	(4) 80,6	(4) 79,1	(5) 77,1	(5) 75,1	(5) 72,6	(6) 69,7	(6) 67,1
160	45,6	109,4	(4) 103,3	(4) 101,3	(4) 99,5	(5) 97,7	(5) 95,2	(5) 92,8	(6) 89,7
180	55,8	133,9	(4) 127,5	(4) 126,3	(4) 124,0	(4) 122,9	(5) 120,7	(5) 118,5	(5) 115,5
200	67,0	160,8	(4) 154,6	(4) 153,1	(4) 151,7	(4) 150,3	(4) 148,9	(5) 146,2	(5) 143,6
220	79,2	190,1	(4) 184,5	(4) 182,8	(4) 181,0	(4) 179,3	(4) 177,6	(4) 176,0	(4) 174,4
240	92,2	221,3	(4) 216,9	(4) 214,8	(4) 212,8	(4) 210,7	(4) 210,7	(4) 208,8	(4) 204,9
260	107	256,8	(4) 251,8	(4) 251,8	(4) 249,3	(4) 246,9	(4) 244,6	(4) 244,6	(4) 242,3
280	122	292,8	(4) 287,1	(4) 287,1	(4) 284,3	(4) 284,3	(4) 281,5	(4) 278,9	(4) 278,9
300	138	331,2	(4) 324,7	(4) 324,7	(4) 324,7	(4) 321,6	(4) 321,6	(4) 318,5	(4) 315,4
320	156	374,4	(4) 370,7	(4) 367,1	(4) 367,1	(4) 367,1	(4) 363,5	(4) 363,5	(4) 360,0
340	174	417,6	(4) 417,6	(4) 413,5	(4) 409,4	(4) 409,4	(4) 409,4	(4) 405,4	(4) 405,4
360	194	465,6	(4) 465,6	(4) 465,6	(4) 465,6	(4) 456,5	(4) 456,5	(4) 456,5	(4) 452,0
380	214	513,6	(4) 513,6	(4) 513,6	(4) 508,5	(4) 503,5	(4) 503,5	(4) 503,5	(4) 498,6
400	236	566,4	(4) 566,4	(4) 566,4	(4) 566,4	(4) 555,3	(4) 555,3	(4) 555,3	(4) 555,3
450	294	705,6	(4) 705,6	(4) 705,6	(4) 705,6	(4) 705,6	(4) 698,6	(4) 691,8	(4) 691,8
500	360	864,0	(4) 864,0	(4) 864,0	(4) 864,0	(4) 864,0	(4) 864,0	(4) 864,0	(4) 855,5
550	426	1 022	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4	(4) 1 022,4
600	508	1 219	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2	(4) 1 219,2

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	*	8,82	7,69	7,17	6,89	6,71	6,59	6,50	6,44
100	*	11,92	10,04	9,25	8,82	8,56	8,33	8,26	8,17
120	*	15,24	12,44	11,33	10,75	10,39	10,16	9,99	9,87
140	*	18,55	14,81	13,39	12,66	12,21	11,92	11,72	11,57
160	*	22,48	17,37	15,55	14,62	14,07	13,71	13,46	13,28
180	*	26,48	19,92	17,70	16,59	15,93	15,50	15,21	14,99
200	*	36,49	24,59	21,27	19,71	18,80	18,23	17,83	17,55
220	*	36,63	25,27	22,12	20,59	19,70	19,13	18,74	18,45
240	*	38,91	27,56	24,11	22,45	21,48	20,85	20,42	20,11
260	*	*	30,95	26,68	24,68	23,53	22,80	22,30	21,94
280	*	*	33,51	28,71	26,49	25,22	24,42	23,86	23,47
300	*	*	37,29	31,42	28,79	27,32	26,39	25,76	25,30
320	*	*	41,33	34,21	31,14	29,44	28,33	27,66	27,15
340	*	*	45,02	36,82	33,37	31,48	30,31	29,51	28,95
360	*	*	48,80	39,32	35,44	33,35	32,05	31,18	30,56
380	*	*	53,13	42,14	37,79	35,46	34,03	33,08	32,40
400	*	*	56,88	44,58	39,82	37,30	35,75	34,72	33,99
450	*	*	*	51,94	45,82	42,66	40,75	39,49	38,61
500	*	*	*	59,07	51,56	47,78	45,52	44,03	42,99
550	*	*	*	66,92	57,75	53,25	50,53	48,85	47,64
600	*	*	*	73,91	63,37	58,12	55,12	53,16	51,80

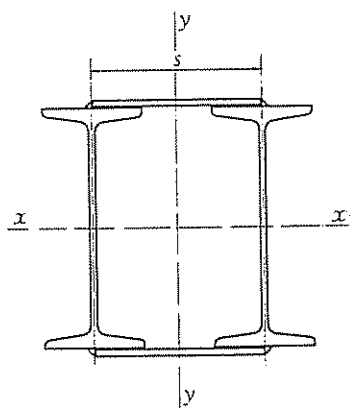
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas

3.9.3

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros																	IPN
4,50		5.00		5,50		6,00		6,50		7,00		8,00		9,00		10,00		
)	11,1	(11)	9,2	(11)	7,7	(14)	6,5	(15)	5,6	(16)	4,9	(18)	3,8					80
)	22,7	(10)	19,0	(10)	16,3	(12)	13,8	(13)	12,0	(13)	10,4	(15)	8,1	(17)	6,5	(19)	5,3	100
)	39,2	(9)	34,1	(9)	29,6	(10)	25,4	(11)	22,4	(12)	19,5	(13)	15,4	(15)	12,3	(17)	10,1	120
)	60,6	(8)	53,9	(8)	47,7	(9)	42.0	(10)	37,1	(10)	32,8	(12)	26,0	(13)	21,2	(15)	17,4	140
)	84,2	(7)	77,1	(8)	69,7	(8)	62,9	(9)	56.1	(10)	50,9	(11)	40.8	(12)	33,7	(13)	27,7	160
)	109,8	(6)	103,8	(7)	96,4	(8)	88,7	(8)	81.2	(9)	73,6	(10)	60,6	(11)	50,0	(12)	41,7	180
)	138.6	(6)	131,8	(6)	124,7	(7)	117,4	(7)	109,4	(8)	99,9	(9)	85,1	(10)	70,8	(11)	60,0	200
)	168,2	(5)	162,5	(6)	155,8	(6)	148,5	(7)	139,8	(7)	131,1	(8)	113,8	(9)	97,5	(10)	82,6	220
)	201,2	(5)	195,8	(5)	189,1	(6)	181,4	(6)	172,9	(7)	165,1	(8)	146,5	(9)	127,2	(10)	110,6	240
)	237,8	(5)	233,5	(5)	225,3	(6)	219,5	(6)	210,5	(7)	203,8	(7)	183,4	(8)	161,5	(9)	143,5	260
)	273,6	(5)	268,6	(5)	261,4	(5)	256,8	(6)	248,1	(6)	240,0	(7)	220,2	(8)	199,2	(9)	177,5	280
)	312,5	(4)	306,7	(5)	303,9	(5)	295,7	(6)	288,0	(6)	280,7	(7)	262,9	(8)	238,3	(8)	216,5	300
)	356,6	(4)	353,2	(5)	346,7	(5)	340,4	(5)	334,3	(6)	325,6	(7)	306,9	(7)	285,8	(8)	260,0	320
)	401,5	(4)	394,0	(4)	390,3	(5)	386,7	(5)	379,6	(5)	369,6	(6)	353,9	(7)	331,4	(8)	307,1	340
)	447,7	(4)	443,4	(4)	439,3	(5)	431,1	(5)	427,2	(5)	419,5	(6)	401,4	(7)	381,6	(7)	358,2	360
)	498,6	(4)	493,9	(4)	484,5	(4)	480,0	(5)	475,6	(5)	466,9	(6)	450,5	(6)	431,6	(7)	407,6	380
)	549,9	(4)	544.6	(4)	539,4	(4)	534,3	(5)	529.4	(5)	519.6	(6)	505,7	(6)	484,1	(7)	460,5	400
)	691,8	(4)	685,1	(4)	678,5	(4)	672.0	(4)	665,7	(5)	659,4	(5)	647,3	(6)	630,0	(6)	603,1	450
)	847,1	(4)	847,1	(4)	838,8	(4)	830,8	(4)	830,8	(4)	822,9	(5)	807,5	(5)	792,7	(6)	771,4	500
)	1 002,4	(4)	1 002,4	(4)	1 002,4	(4)	992,6	(4)	992,6	(4)	983,1	(4)	964,5	(5)	946,7	(5)	938,0	550
)	1 219,2	(4)	1 195,3	(4)	1 195,3	(4)	1 195,3	(4)	1 183,7	(4)	1 183,7	(4)	1 161,1	(5)	1 150,2	(5)	1 128,9	600

13	14
6,39	6,36
8,10	8,04
9,78	9,71
11,46	11,37
13,14	13,03
14,83	14,71
17,33	17,17
18,24	18,07
19.88	19,70
21.67	21,46
23,17	22,95
24.97	24,71
26,76	26.47
28,53	28.21
30,10	29.75
31,90	31,51
33,45	33.05
37,95	37,46
42,23	41,65
46,76	46,09
50,81	50,06



3.9 3

Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

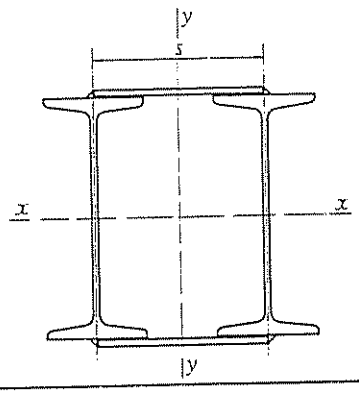
Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una λ =								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
80	150	*25,6*	*23,1*	*20,9*	*18,6*	*16,9*	*15,1*	*13,5*	*11,0*	*9,2*
	200	*25,6*	*23,1*	*20,9*	*18,6*	*16,9*	*15,1*	*13,5*	*11,0*	*9,2*
	250	*25,6*	*23,1*	*20,9*	*18,6*	*16,9*	*15,1*	*13,5*	*11,0*	*9,2*
100	150	*42,1*	*39,5*	*37,2*	*34,6*	*32,0*	*29,2*	*26,9*	*22,7*	*19,0*
	200	*42,1*	*39,5*	*37,2*	*34,6*	*32,0*	*29,2*	*26,9*	*22,7*	*19,0*
	250	*42,1*	*39,5*	*37,2*	*34,6*	*32,0*	*29,2*	*26,9*	*22,7*	*19,0*
120	150	*60,3*	*58,3*	*56,4*	*53,3*	*50,9*	*48,0*	*45,2*	*39,2*	*34,1*
	200	*60,3*	*58,3*	*56,4*	*53,3*	*50,9*	*48,0*	*45,2*	*39,2*	*34,1*
	250	*60,3*	*58,3*	*56,4*	*53,3*	*50,9*	*48,0*	*45,2*	*39,2*	*34,1*
140	150	*77,3*	*76,7*	*75,3*	*74,7*	*72,2*	*69,3*	*66,7*	*60,3*	*53,6*
	200	*79,5*	*79,5*	*76,7*	*74,7*	*72,2*	*69,3*	*66,7*	*60,3*	*53,6*
	250	*80,2*	*80,2*	*76,7*	*74,7*	*72,2*	*69,3*	*66,7*	*60,3*	*53,6*
160	150	*96,9*	*96,0*	*94,3*	*93,5*	*90,4*	*89,7*	*87,5*	*83,5*	*77,0*
	200	*99,5*	*99,5*	*97,7*	*97,7*	*95,1*	*92,7*	*89,7*	*84,2*	*77,0*
	250	*100,4*	*100,4*	*99,5*	*97,7*	*95,1*	*92,7*	*89,7*	*84,2*	*77,0*
180	150	*118,5*	*117,5*	*115,4*	*114,4*	*111,6*	*109,8*	*107,1*	*102,2*	*96,3*
	200	*121,8*	*121,8*	*119,6*	*119,6*	*117,5*	*117,5*	*115,4*	*109,8*	*103,8*
	250	*122,9*	*122,9*	*121,8*	*121,8*	*120,6*	*118,5*	*115,4*	*109,8*	*103,8*
200	150	*143,1*	*140,6*	*138,2*	*137,0*	*134,7*	*131,4*	*129,3*	*122,4*	*115,3*
	200	*145,8*	*145,7*	*143,1*	*143,1*	*140,6*	*140,6*	*138,2*	*134,7*	*131,4*
	250	*147,1*	*147,1*	*145,8*	*145,8*	*144,4*	*143,1*	*143,1*	*138,2*	*131,4*
220	200	*172,4*	*172,4*	*169,3*	*169,3*	*166,3*	*163,3*	*163,4*	*159,3*	*155,4*
	250	*173,9*	*173,9*	*173,9*	*172,4*	*170,8*	*169,3*	*169,3*	*166,3*	*162,1*
	300	*175,6*	*175,6*	*173,9*	*173,9*	*173,9*	*172,4*	*172,4*	*169,3*	*162,1*
240	200	*201,2*	*201,2*	*197,6*	*197,6*	*194,1*	*194,1*	*190,8*	*187,5*	*181,4*
	250	*203,0*	*203,0*	*203,0*	*201,2*	*199,4*	*197,6*	*197,6*	*194,1*	*190,8*
	300	*204,9*	*204,9*	*203,0*	*203,0*	*203,0*	*201,2*	*201,2*	*197,6*	*195,8*
260	200	*232,6*	*232,6*	*228,4*	*228,4*	*224,4*	*224,4*	*220,5*	*216,8*	*209,7*
	250	*234,7*	*234,7*	*234,7*	*232,6*	*230,5*	*228,4*	*228,4*	*226,4*	*220,5*
	300	*236,9*	*236,9*	*236,9*	*236,9*	*236,9*	*232,6*	*232,6*	*228,4*	*226,4*
280	200	*266,2*	*266,2*	*263,8*	*261,4*	*259,1*	*256,8*	*252,4*	*248,1*	*240,0*
	250	*268,6*	*268,6*	*268,6*	*266,2*	*263,8*	*261,4*	*261,4*	*259,1*	*252,4*
	300	*271,1*	*271,1*	*271,1*	*271,1*	*268,6*	*266,2*	*266,2*	*261,4*	*259,1*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *x-x*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano *y-y*.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.4



Acero A 37
$\sigma_a = 2\,400$ kg/cm²

ıd de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
7,7	6,5	5,6					150 · 100 · 6	3,5	150	80
7,7	6,5	5,6					200 · 100 · 6	3,5	200	
7,7	6,5	5,6					250 · 100 · 6	3,5	250	
16,3	13,8	12,0	10,4	8,1	6,5	5,3	150 · 100 · 6	3,5	150	100
16,3	13,8	12,0	10,4	8,1	6,5	5,3	200 · 100 · 6	3,5	200	
16,3	13,8	12,0	10,4	8,1	6,5	5,3	250 · 100 · 6	3,5	250	
29,6	25,4	22,3	19,5	15,4	12,3	10,1	150 · 100 · 6	3,5	150	120
29,6	25,4	22,3	19,5	15,4	12,3	10,1	200 · 100 · 6	3,5	200	
29,6	25,4	22,3	19,5	15,4	12,3	10,1	250 · 100 · 6	3,5	250	
47,5	41,8	36,9	32,6	25,9	21,1	17,3	150 · 100 · 6	3,5	150	140
47,5	41,8	36,9	32,6	25,9	21,1	17,3	200 · 100 · 6	3,5	200	
47,5	41,8	36,9	32,6	25,9	21,1	17,3	250 · 100 · 6	3,5	250	
69,7	62,9	56,1	50,9	40,8	33,3	27,7	150 · 100 · 6	4	150	160
69,7	62,9	56,1	50,9	40,8	33,3	27,7	200 · 100 · 6	4	200	
69,7	62,9	56,1	50,9	40,8	33,3	27,7	250 · 100 · 6	4	250	
89,9	83,2	77,9	71,6	60,6	50,0	41,7	150 · 100 · 10	5	150	180
96,3	88,7	81,2	73,6	60,6	50,0	41,7	200 · 100 · 10	5	200	
96,3	88,7	81,2	73,6	60,6	50,0	41,7	250 · 100 · 10	5	250	
07,6	100,8	93,2	85,7	73,5	61,7	52,6	150 · 150 · 8	4	150	200
24,3	117,0	109,1	99,6	84,8	70,6	59,8	200 · 150 · 8	4	200	
24,3	117,0	109,1	99,6	84,8	70,6	59,8	250 · 150 · 8	4	250	
50,5	144,7	138,4	130,8	113,5	97,2	82,4	200 · 150 · 8	4	200	220
55,4	148,1	139,4	130,8	113,5	97,2	82,4	250 · 150 · 8	4	250	
55,4	148,1	139,4	130,8	113,5	97,2	82,4	300 · 150 · 8	4	300	
175,6	168,9	161,5	153,7	137,5	121,6	107,4	200 · 150 · 10	5	200	240
187,5	181,4	172,9	165,1	146,6	127,2	110,6	250 · 150 · 10	5	250	
189,1	181,4	172,9	165,1	146,6	127,2	110,6	300 · 150 · 10	5	300	
203,0	195,3	186,7	177,6	158,9	142,9	126,0	200 · 150 · 12	6	200	260
216,8	211,4	206,3	199,8	182,7	160,9	142,9	250 · 150 · 12	6	250	
224,4	218,6	209,7	203,0	182,7	160,9	142,9	300 · 150 · 12	6	300	
232,4	223,5	213,7	203,3	184,2	163,6	144,2	200 · 200 · 10	5	200	280
248,1	242,0	236,1	228,8	215,3	199,2	177,5	250 · 200 · 10	5	250	
256,8	252,4	248,1	240,0	220,2	199,2	177,5	300 · 200 · 10	5	300	

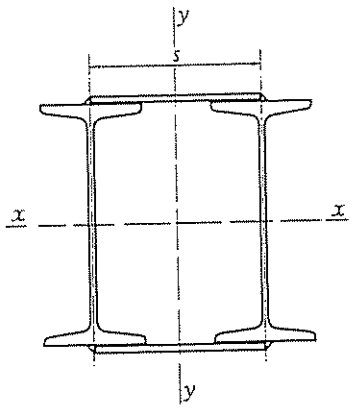
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una separación entre ejes igual a:								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
300	200	301,1	301,1	298,4	295,7	293,1	290,5	285,5	280,7	271,5
	250	303,9	303,9	303,9	301,1	298,4	295,7	295,7	290,5	285,5
	300	306,7	306,7	303,9	303,9	303,9	301,1	301,1	295,7	293,1
320	200	339,1	339,1	336,0	333,0	330,1	327,2	321,6	316,1	305,7
	250	342,2	342,2	342,2	339,1	339,1	333,0	333,0	327,2	321,6
	300	345,4	345,4	342,2	342,2	342,2	339,1	339,1	333,0	330,1
340	200	378,4	378,4	375,0	371,6	368,3	365,1	358,8	352,7	341,1
	250	381,8	381,8	381,8	378,4	378,4	371,6	371,6	365,1	358,8
	300	385,4	385,4	381,8	381,8	381,8	378,3	378,4	371,6	368,3
360	300	431,1	431,1	427,2	427,2	427,2	423,3	423,3	415,7	412,0
	400	431,1	431,1	431,1	431,1	431,1	431,1	427,2	427,2	423,3
	500	435,1	435,1	431,1	431,1	431,1	431,1	431,1	431,1	427,2
380	300	475,6	475,6	471,2	471,2	471,2	466,9	466,9	458,6	454,5
	400	475,6	475,6	475,6	475,6	475,6	475,6	471,2	471,2	466,9
	500	480,0	480,0	475,6	475,6	475,6	475,6	475,6	475,6	471,2
400	300	524,4	524,4	519,6	519,6	519,6	514,9	514,9	505,7	501,2
	400	524,4	524,4	524,4	524,4	524,4	524,4	519,6	519,6	514,9
	500	529,3	529,3	524,4	524,4	524,4	524,4	524,4	524,4	519,6
450	300	653,3	653,3	653,3	647,3	647,3	641,5	641,5	630,0	624,4
	400	653,3	653,3	653,3	653,3	653,3	653,3	647,3	647,3	641,5
	500	653,3	553,3	653,3	653,3	653,3	653,3	653,3	653,3	642,3
500	300	795,6	795,6	795,6	788,3	788,3	781,1	781,1	774,1	767,1
	400	795,6	795,6	795,6	795,6	795,6	795,6	788,3	788,3	781,1
	500	803,0	803,0	795,6	795,6	795,6	795,6	795,6	795,6	788,3
550	300	942,2	942,2	942,2	933,6	933,6	925,1	925,1	916,8	908,6
	400	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	933,6	933,6	925,1
	500	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	942,2	933,6
600	300	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 118,5	1 118,5	1 108,4	1 108,4	1 098,4	1 088,6
	400	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 118,4	1 118,4	1 108,4
	500	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 128,9	1 118,4

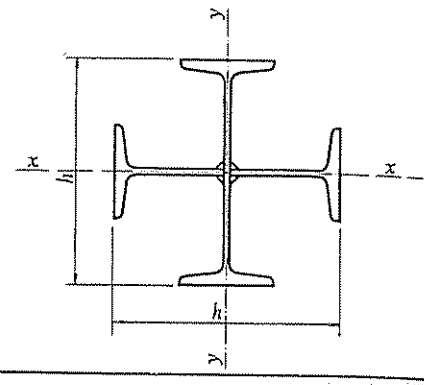
El pandeo con flexión se presenta en el plano *x-x*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano *y-y*.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.4



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ıd de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
262,9	252,8	241,8	230,0	208,3	185,0	163,2	200 · 200 · 12	5	200	300
280,7	273,7	267,1	258,8	243,5	225,3	205,7	250 · 200 · 12	5	250	
290,5	285,5	280,7	276,0	262,9	238,3	216,5	300 · 200 · 12	5	300	
296,0	286,9	274,2	259,0	234,6	208,4	183,7	200 · 200 · 12	6	200	320
316.1	308,3	300,8	291,4	274,3	253,7	231,7	250 · 200 · 12	6	250	
327,2	321,6	318,8	310,8	298,4	284,7	259,0	300 · 200 · 12	6	300	
332,9	320,2	306,0	293,1	261,8	235,1	208,1	200 · 200 · 14	7	200	340
352.7	344,0	335,6	325,2	306,0	283,1	258,5	250 · 200 · 14	7	250	
365,1	358,8	355,7	346,8	333,0	317,7	297,3	300 · 200 · 14	7	300	
408,4	401,4	397,9	388,0	372,5	355,4	327,9	300 · 250 · 10	5	300	360
423,3	415,7	415,7	408,4	401,4	381,6	358,2	400 · 250 · 10	5	400	
427,2	423,3	423,3	419,5	401,4	381,6	358,2	500 · 250 · 10	5	500	
450,5	442,8	439,0	428,0	410,9	392,1	366,9	300 · 300 · 10	4,5	300	380
466,9	458,6	458,6	450,5	442.8	431,6	407,6	400 · 300 · 10	4,5	400	
471,2	466,9	466,9	462,7	450,5	431,6	407,6	500 · 300 · 10	4,5	500	
496,8	488,3	484.1	472,0	453,1	432,4	404,6	300 · 300 · 10	5	300	400
514,9	505,7	505,7	496,8	488,3	476,0	460,5	400 · 300 · 10	5	400	
519,6	514,9	514,9	510,3	505,7	484,1	460,5	500 · 300 · 10	5	500	
618,9	608,3	603,1	588,0	564,5	538,6	507.6	300 · 350 · 12	5	300	450
641,5	630.0	630,0	618,9	608,3	592,9	578,4	400 · 350 · 12	5	400	
647,3	641,5	641,5	635.7	630,0	618,9	608,3	500 · 350 · 12	5	500	
753,7	740,7	734,4	722,0	692,9	655,9	618,1	300 · 400 · 12	6	300	500
781,1	767,1	767,1	753,7	740,7	722,0	704,3	400 · 400 · 12	6	400	
788,3	781,1	781,1	774,1	767,1	753,7	740,7	500 · 400 · 12	6	500	
892,6	877.2	869,7	855,1	820,6	782,8	732,1	300 · 400 · 16	7	300	550
925,1	908,6	908,6	892,6	877,2	855,1	834,1	400 · 400 · 16	7	400	
933,6	933,6	925,1	916,8	908,6	892,6	877,2	500 · 400 · 16	7	500	
069,5	1 060,2	1 042,1	1 024,5	983,2	937,8	877,1	300 · 400 · 20	9	300	600
108,4	1 088,6	1 088,6	1 069,5	1 051,0	1 033,2	999,3	400 · 400 · 20	9	400	
118,5	1 118,4	1 108,4	1 098,4	1 088,6	1 069,5	1 051,0	500 · 400 · 20	9	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

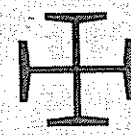
Dos perfiles IPN en cruz

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	28,4	68,16	52,0	48,0	43,4	39,6	36,0	32,6	29,6
140	36,3	87,12	72,6	69,1	65,0	60,0	55,4	51,2	47,3
160	45,2	108,48	95,1	91,9	88,2	83,4	79,1	74,8	69,1
180	55,3	132,72	120,6	117,4	113,4	109,6	105,3	101,3	95,4
200	66,4	159,36	147,5	144,8	141,0	137,3	133,9	128,5	123,5
220	78,5	188,40	177,7	174,4	171,2	168,2	163,8	159,6	154,4
240	91,4	219,36	208,9	206,9	203,1	201,2	195,8	192,4	187,4
260	106,0	254,40	244,6	240,0	237,7	235,5	233,3	227,1	223,1
280	121	290,40	279,2	276,5	273,9	271,4	268,8	266,4	261,6
300	137	328,80	319,2	316,1	313,1	310,1	307,2	304,4	301,6
320	154	369,60	358,8	358,8	355,3	352,0	348,6	345,4	342,2
340	172	412,80	404,7	400,7	396,9	396,9	393,1	389,4	385,7
360	193	463,20	454,1	449,7	449,7	445,3	441,1	441,1	436,9
380	212	508,80	498,8	498,8	493,9	493,9	489,2	484,5	480,0
400	234	561,60	550,5	550,5	550,5	545,2	540,0	540,0	534,8
450	291	698,40	691,4	e 684,7	684,7	684,7	678,0	678,0	671,5
500	357	856,80	856,8	848,3	840,0	840,0	840,0	831,8	831,8
550	422	1 012,80	1 012,8	1 012,8	1 012,8	992,9	992,9	992,9	992,9
600	503	1 207,20	1 207,2	1 207,2	1 207,2	1 207,2	1 183,5	1 183,5	1 183,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

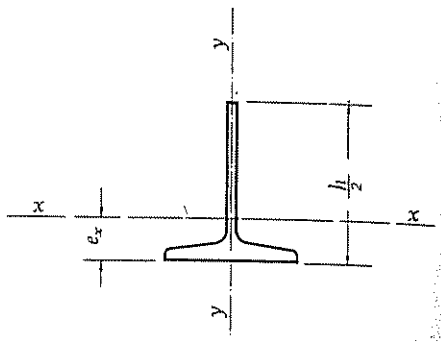
3.9.5



Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
						8,4			120
24,5	20.4	17,0	14,7	12,5	10,6	14,4	11,5	9,3	140
39,9	33,9	28,5	24,5	21,3	18,6	23,1	18,6	15,1	160
60,6	51,9	44,6	39,0	33,7	29,4	35,2	28,3	23,2	180
84,5	74,9	65,3	57,7	50,2	44,6				
113,8	101,5	90,0	80,8	71,1	63,7	50,2	40,8	33,6	200
144,9	132.6	120,0	108,2	96,6	87,6	70,3	57,2	47,7	220
178,3	164,9	152,3	139,7	127,5	116,0	94,1	77,7	64,9	240
213,7	203,5	189,8	175,4	162,0	147,9	123,5	103,0	86,5	260
250,3	240,0	226,8	213,5	200,2	182,6	155,2	131,4	110,0	280
390,9	276,3	267,3	254,8	240,0	223,6	191,1	164,4	138,7	300
332,9	324,2	310,5	298,0	282,1	265,9	232,4	200,8	171,9	320
378,7	368,5	355,8	341,1	327,6	310,3	277,0	242,8	209,5	340
428,8	417,3	406.3	395,9	379,6	361,8	326,2	291,3	254,5	360
471,1	466,7	454,2	438,6	427,5	410,3	374,1	336,9	295,8	380
529,8	520,0	510,5	496,9	480,0	468,0	432,0	395,4	353,2	400
665,1	658,8	646,6	634.9	623,5	607,3	572,4	537,2	491,8	450
823,8	816,0	808,3	793,3	786,0	765,0	732,3	696,5	654,0	500
983,3	973,8	964,5	955,4	937,7	929,1	904,2	865.6	823,4	550
1 172,0	1 172,0	1 160,7	1 149,7	1 138,8	1 128,2	1 097,4	1 058,9	1 023,0	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	7,10	17,04	11,58	8,74	6,63	5,12	3,98	3,21
140	9,15	21,96	*16,38*	13,47	10,51	8,19	6,50	5,25
160	11,40	27,36	*21,71*	18,61	15,03	12,05	9,70	7,91
180	13,95	33,48	*27,90*	*24,44*	20,80	17,17	13,95	11,39
200	16,75	40,20	*34,35*	*31,16*	27,72	23,10	19,23	16,08
220	19,80	47,52	*41,68*	*38,32*	*34,18*	29,89	25,41	21,50
240	23,00	55,20	*49,28*	*46,38*	*42,13*	38,07	33,05	28,31
260	26,70	64,08	*57,72*	*54,76*	*50,06*	*45,12*	*39,80*	*34,26*
280	30,50	73,20	*66,54*	*63,65*	*59,51*	*53,82*	*47,84*	*42,06*
300	34,50	82,80	*75,96*	*72,63*	*68,42*	*63,20*	*57,10*	*50,18*
320	38,90	93,36	*85,65*	*82,61*	*78,45*	*72,37*	*66,68*	*59,46*
340	43,30	103,92	*95,34*	*92,78*	*88,82*	*83,13*	*76,41*	*68,82*
360	48,50	116,40	*107,77*	*103,92*	*100,34*	*94,63*	*87,51*	*80,27*
380	53,50	128,40	*118,88*	*116,72*	*111,65*	*106,11*	*99,53*	*91,71*
400	58,90	141,36	*130,88*	*128,50*	*124,00*	*118,78*	*112,19*	*103,18*
450	73,40	176,16	*164,63*	*161,61*	*157,28*	*151,86*	*145,58*	*126,55*
500	89,70	215,28	*201,19*	*199,33*	*195,70*	*188,84*	*182,44*	*173,61*
550	106,00	254,40	*237,75*	*235,55*	*233,39*	*227,14*	*221,21*	*213,78*
600	127,00	304,00	*284,11*	*281,48*	*278,89*	*273,87*	*266,66*	*259,82*

$\lambda > 200$

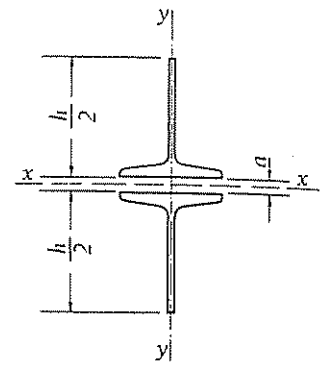
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

3.9.6



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
2,64	2,18	1,85							120
4,31	3,63	3,07	2,63	2,27					140
6,55	5,48	4,61	3,97	3,45	3,02				160
9,57	8,01	6,86	5,87	5,08	4,48	3,94			180
13,36	11,32	9,71	8,33	7,27	6,34	5,62	4,47		200
18,00	15,38	13,09	11,37	9,94	8,67	7,71	6,14	5,00	220
24,00	20,60	17,86	15,38	13,50	11,92	10,49	8,38	6,89	240
30,23	25,94	22,72	19,72	17,23	15,15	13,55	10,81	8,80	260
37,54	32,68	28,48	24,65	21,66	19,21	17,10	13,66	11,21	280
45,00	39,62	34,50	30,11	26,45	23,66	20,96	16,76	13,82	300
53,66	47,39	41,68	36,33	32,19	28,73	25,37	20,38	16,88	320
62,22	54,98	48,33	43,85	38,78	34,52	30,75	24,86	20,42	340
72,29	63,95	57,33	51,96	46,01	41,28	36,72	29,85	24,61	360
82,83	74,65	66,87	60,57	54,18	48,64	43,67	35,37	28,98	380
94,87	85,67	76,82	70,68	63,11	56,54	50,85	41,33	34,14	400
26,73	116,66	106,76	96,79	88,08	79,71	73,40	60,74	50,33	450
64,33	153,77	142,56	130,47	120,26	109,27	101,55	85,09	71.52	500
03,52	191,27	181,71	168,47	156,07	143,72	134,60	113,57	96,36	550
49,18	237,50	226,86	211,11	198,69	184.24	171,75	145,45	126,67	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	14,2	34,08	23,1	17,4	13,2	10,2	7,9	6,4
140	18,3	43,92	33,5	26,9	21,0	16,3	12,9	10,5
160	22,8	54,72	44,1	37,2	29,7	24,1	19,4	15,8
180	27,9	66,96	57,2	49,9	41,5	34,3	27,9	22,7
200	33,5	80,40	70,5	63,8	55,4	46,2	38,4	32,1
220	39,6	95,04	84,8	78,5	69,8	59,7	50,8	43,0
240	46,1	110,64	101,5	94,5	86,4	76,3	66,2	56,7
260	53,4	128,16	118,6	112,4	103,3	93,5	81,6	70,4
280	61,1	146,64	137,0	130,9	122,2	111,9	98,4	86,2
300	69,1	165,80	*153,6*	149,4	140,5	129,5	116,7	103,0

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

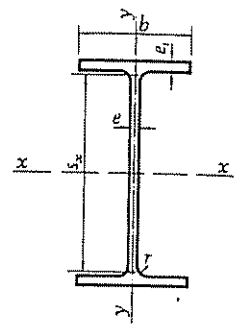
3.9.7



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

;itud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,2	4,3	3,7							120
8,6	7,2	6,1	5,2	4,5					140
13,0	10,9	9,2	7,9	6,8	6,0				160
19,1	16,0	13,7	11,7	10,1	8,9	7,8			180
26,7	22,6	19,4	16,6	14,5	12,6	11,2	8,9		200
36,0	30,7	26,1	22,7	19,8	17,3	15,4	12,2	9,9	220
48,1	41,2	35,8	30,8	27,0	23,9	21,0	16,7	13,8	240
60,4	51,8	45,4	39,4	34,4	30,3	27,1	21,6	17,5	260
75,2	65,4	57,0	49,3	43,3	38,4	34,2	27,3	22,4	280
90,1	79,3	69,1	60,3	52,9	47,3	41,9	33,5	27,6	300

3.9.7



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	7,6	18,33	2,1						
100	10,3	24,72	3,9	3,2	2,7				
120	13,2	31,68	6,7	5,5	4,7	4,1	3,5		
140	16,4	39,36	10,4	8,8	7,5	6,4	5,6	4,9	4,3
160	20,1	48,24	15,6	13,3	11,3	9,7	8,5	7,4	6,6
180	23,9	57,36	22,3	19,1	16,4	14,0	12,3	10,8	9,6
200	28,5	68,40	30,5	26,3	22,7	19,8	17,3	15,3	13,4
220	33,4	80,16	41,7	36,3	31,7	27,6	24,4	21,5	19,2
240	39,1	93,84	54,6	48,1	41,9	37,1	32,8	29,2	25,9
270	45,9	110,16	73,0	66,0	58,9	52,0	46,5	41,7	37,5
300	53,8	129,12	94,2	86,7	78,3	70,9	64,6	57,6	52,3
330	62,6	150,24	115,6	107,3	96,9	88,4	80,3	72,9	66,2
360	72,7	174,48	139,6	130,2	121,2	111,1	102,6	93,3	84,7
400	84,5	202,80	166,2	156,0	145,9	136,1	124,4	114,6	105,6
450	98,8	237,12	197,6	188,2	177,0	164,7	153,0	142,0	130,3
500	116	278,40	235,9	226,3	214,2	203,2	189,4	175,1	161,9
550	134	321,60	277,2	265,8	255,2	240,0	223,3	210,2	194,9
600	156	374,40	328,4	317,3	304,4	288,0	273,3	258,2	238,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

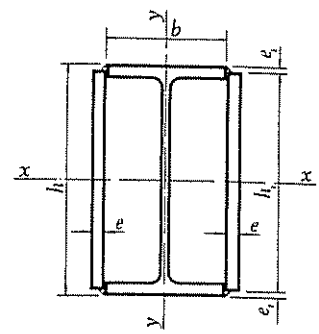
3.9.8

Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros									IPE
.50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									80
									100
									120
									140
									160
5,2									180
7,6	6,2								
									200
0,8	8,8	7,3							220
5,4	12,5	10,5	8.8						240
10,9	17,1	14,4	12,1	10,3					270
10,3	24,9	20,9	17,7	15,3	13,2				
									300
12,9	35,6	29,8	25.4	21,8	18,9	14,6			330
54,6	45.7	38,5	32.8	28,3	24,6	19,1			360
70,6	59,3	50,4	43,2	36,9	32,2	25,1	20,0		
									400
88,2	73,7	63,2	53,8	46,3	40,6	31,4	25,1		450
10,3	93,7	79,8	67,7	58,7	51,2	40,0	32,0	25,9	
39,2	117,5	100,1	86,7	74,8	65,8	50,8	40,7	33,3	500
67.5	143,6	121.8	105,4	91,9	80,4	62,4	50,3	40,8	550
05,7	179,1	154,1	132,8	116,6	101,7	79,2	63,8	51,9	600

3.9.8



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE con dos platabandas soldadas

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	mm	Resistencia en t para una						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	30,8	73,9	110 · 8	46,4	41,7	36,9	33,0	29,2	25,8	23,3
140	37,2	89,2	130 · 8	63,7	57,6	51,9	46,5	41,5	37,6	33,8
160	44,1	105,8	150 · 8	81,4	75,6	68,2	62,2	56,6	51,3	46,6
180	57,5	138,0	168 · 10	115,0	109,5	102,9	95,8	87,9	81,1	75,0
200	66,1	158,6	188 · 10	135,5	131,1	123,9	116,6	109,4	102,3	94,9
220	75,0	180,0	208 · 10	155,1	148,7	142,8	134,3	126,7	117,6	110,4
240	92,9	222,9	224 · 12	202,6	197,3	192,2	185,8	178,3	171,5	162,7
270	107	256,8	254 · 12	237,7	233,4	229,2	223,3	217,6	208,7	200,6
300	122	292,8	284 · 12	276,2	271,1	268,6	261,4	256,8	250,2	241,0
330	138	331,2	314 · 12	312,4	309,5	306,6	301,0	295,7	288,0	280,6
360	175	420,0	340 · 15	403,8	396,2	392,5	388,8	381,8	375,0	368,4
400	199	477,6	380 · 15	459,2	454,8	450,5	442,2	438,1	434,1	426,4
450	228	547,2	430 · 15	526,1	521,1	516,2	511,4	506,6	502,0	492,9
500	308	739,2	480 · 20	717,6	717,6	710,7	704,0	697,3	684,4	684,4
550	346	830,4	580 · 20	806,2	806,2	798,4	790,8	783,4	776,0	768,8
600	388	931,2	580 · 20	912,9	904,0	895,3	895,3	886,8	878,4	870,2

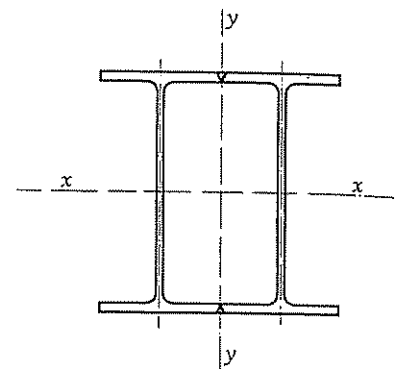
$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.9

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
18,7	15,4	12,9	10,9	9,3	8,1				120
27,8	22.8	19,2	16,2	14,0	12,1	9,3			140
38,4	32,1	27,1	23,1	19,9	17,3	13,4			160
53,3	53,7	45,8	38,8	33,7	29,4	22,8	18,3	14,9	180
31,3	68,9	59,1	51,3	44,1	38,7	30,1	24,0	19,8	200
93,7	80,3	69,2	59,8	52,0	45,0	35,3	28,3	23,0	220
43,8	128,1	113,1	98,2	86,7	75,8	60,5	48,6	39,8	240
98,8	165,6	149,3	131,6	117,8	103,9	83,1	67,4	49,2	270
25,2	209,1	188,9	170,2	152,5	138,1	110,9	91,2	75,0	300
54,9	243,5	225,3	205,7	185,0	168,1	136,3	112,6	93,3	330
52,9	333,3	308,8	289,6	264,1	241,3	200,9	168,0	139,5	360
08,2	388,2	367,3	341,1	316,2	293,0	244,9	204,9	171,8	400
75,8	456,0	434,2	408,3	380,0	348,5	297,3	251,0	212,9	450
60,0	642,7	616,0	591,3	555,7	528,0	459,1	395,2	339,0	500
54,9	728,4	709,7	675,1	643,7	610,5	535,7	469,1	403,1	550
54,3	831,4	802.2	769,5	739,0	700,1	624,9	547,7	472,6	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE soldados

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,28	36,6	19,6	17,1	14,8	13,2	11,6	10,2	9,1
100	20,60	49,4	32,7	29,6	26,2	23,3	20,9	18,4	16,6
120	26,40	63,4	48,4	44,6	40,9	36,8	33,5	30,3	27,5
140	32,80	78,7	65,1	61,0	57,5	53,6	49,5	45,2	41,7
160	40,20	96,5	83,2	80,4	76,6	72,5	67,9	63,9	59,2
180	47,80	114,7	102,4	99,8	96,4	92,5	88,2	83,7	79,1
200	57,0	136,8	125,5	122,1	119,0	115,9	111,2	106,9	102,1
220	66,8	160,3	149,8	145,7	143,1	140,6	137,0	132,5	128,3
240	78,2	187,7	177,1	173,8	172,2	169,1	164,6	160,4	156,4
270	91,8	220,3	209,8	207,8	205,9	204,0	200,3	196,7	193,3
300	108	259,2	251,7	249,2	244,5	242,2	240,0	237,8	233,5
330	125	300,0	291,3	288,5	285,7	283,0	280,4	277,8	275,2
360	145	348,0	337,9	337,9	334,6	331,4	328,3	325,2	322,2
400	169	405,6	397,6	393,8	390,0	390,0	386,3	382,6	379,1
450	198	475,2	466	466	461	457	453	453	448
500	232	556,8	546	546	541	541	535	530	525
550	268	643,2	631	631	631	624	624	618	613
600	312	748,8	734	734	734	727	727	720	713

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.10

Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
7,3	6,0	5,0	4,2						80
13,5	11,1	9,3	7,0	6,8	5,9				100
22.8	19,0	15,8	13,5	11,7	10.2	7,8			120
35.1	29,4	25,1	21,4	18,6	16,1	12,5	10,1	8,2	140
51,0	43.7	37,5	32,5	28,2	24,4	19,1	15,4	12,6	160
69,5	60,7	52.6	45,9	40,1	35,3	27,7	22,3	18,3	180
91,8	81.9	72,3	63,6	55,4	49,2	39,1	31,6	26,0	200
117,0	106.2	96.0	84,8	75,6	67,6	54,0	44,2	36,2	220
146.6	135,0	122.7	112,4	100,4	91,1	73,0	60,0	49,8	240
183,6	172,1	162,0	149,9	136,8	124,5	103,9	85,7	72,2	270
225,4	216,0	265,7	193,4	180,0	167,2	142,4	118,9	100.9	300
267,9	256,4	245,9	232,6	220.6	206,9	179,6	152,3	130,4	330
316,4	305,3	294,9	260,6	267,7	254,0	221,0	181,2	164,2	360
372,1	362,1	349,7	338,0	324,5	309,6	275,9	238,6	200,0	400
440	432	417	406	393	377	339	299	265	450
520	511	497	484	468	453	416	350	328	500
607	596	585	564	550	536	495	447	400	550
706	693	687	669	651	635	594	539	489	600

3.9.10

Dos perfiles IPE empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,2	36,7	(5) 26,2	(6) 23,7	(6) 21,3	(7) 19,4	(7) 17,3	(8) 15,5	(8) 14,1
100	20,6	49,4	(5) 41,2	(5) 38,6	(5) 36,4	(6) 34,1	(6) 31,5	(7) 29,1	(7) 26,9
120	26,4	63,4	(4) 56,6	(5) 54,6	(5) 52,8	(5) 50,7	(5) 48,4	(6) 45,3	(6) 42,5
140	32,8	78,7	(4) 72,9	(4) 71,6	(4) 69,7	(4) 67,3	(5) 65,6	(5) 63,5	(5) 60,6
160	40,2	96,5	(4) 91,0	(4) 89,3	(4) 88,5	(4) 86,9	(4) 84,6	(5) 82,5	(5) 80,4
180	47,8	114,7	(4) 109,3	(4) 108,2	(4) 107,2	(4) 106,2	(4) 104,3	(4) 102,4	(4) 100,6
200	57,0	136,8	(4) 132,8	(4) 131,5	(4) 130,3	(4) 129,1	(4) 126,7	(4) 125,5	(4) 124,4
220	66,8	160,3	(4) 155,7	(4) 155,7	(4) 154,2	(4) 152,7	(4) 151,3	(4) 149,9	(4) 148,4
240	78,2	187,7	(4) 184,0	(4) 182,2	(4) 182,2	(4) 180,5	(4) 178,7	(4) 177,1	(4) 175,4
270	91,8	220,3	(4) 216,0	(4) 216,0	(4) 213,9	(4) 213,9	(4) 211,9	(4) 211,9	(4) 209,8
300	108	259,2	(4) 256,6	(4) 254,1	(4) 254,1	(4) 254,1	(4) 251,7	(4) 251,7	(4) 249,2
330	125	300,0	(4) 300,0	(4) 297,0	(4) 294,1	(4) 294,1	(4) 294,1	(4) 291,3	(4) 291,3
360	145	348,0	(4) 348,0	(4) 348,0	(4) 344,6	(4) 341,2	(4) 341,2	(4) 341,2	(4) 337,9
400	169	405,6	(4) 405,6	(4) 405,6	(4) 405,6	(4) 401,6	(4) 397,7	(4) 397,7	(4) 397,7
450	198	475,2	(4) 475,2	(4) 475,2	(4) 475,2	(4) 475,2	(4) 475,2	(4) 470,5	(4) 465,9
500	232	556,8	(4) 556,8	(4) 556,8	(4) 556,8	(4) 556,8	(4) 556,8	(4) 556,8	(4) 551,3
550	268	643,2	(4) 643,2	(4) 643,2	(4) 643,2	(4) 643,2	(4) 643,2	(4) 643,2	(4) 643,2
600	312	748,8	(4) 748,8	(4) 748,8	(4) 748,8	(4) 748,8	(4) 748,8	(4) 748,8	(4) 748,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPE	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	9,96	7,96	7,26	6,91	6,70	6,57	6,48	6,42	6,37
100	14,02	10,50	9,40	8,88	8,57	8,38	8,25	8,16	8,09
120	18,09	12,98	11,50	10,81	10,42	10,17	10,00	9,88	9,79
140	23,02	15,64	13,70	12,81	12,31	12,00	11,79	11,64	11,53
160	29,14	18,47	15,97	14,86	14,24	13,86	13,60	13,42	13,29
180	34,62	21,12	18,15	16,85	17,13	15,68	15,38	15,17	15,02
200	42,40	24,05	20,46	18,91	18,07	17,55	17,20	16,95	16,77
220	45,77	26,39	22,50	20,82	19,90	19,33	18,95	18,68	18,48
240	52,74	29,22	24,78	22,88	21,85	21,21	20,78	20,48	20,26
270	59,48	32,85	27,85	25,71	24,55	23,83	23,35	23,01	22,77
300	*	43,21	33,68	30,23	28,46	27,41	26,72	26,24	25,89
330	*	42,50	35,07	32,07	30,46	29,49	28,84	28,39	28,05
360	*	48,50	39,19	34,57	33,68	32,53	31,78	31,25	30,86
400	*	59,52	45,29	40,36	37,88	36,41	35,45	34,79	34,30
450	*	*	55,17	47,52	43,94	41,89	40,58	39,68	39,04
500	*	*	65,83	54,70	49,87	47,19	45,51	44,37	43,55
550	*	*	80,61	63,25	56,52	52,95	50,76	49,30	48,27
600	*	*	*	72,25	63,40	58,90	56,19	54,40	53,15

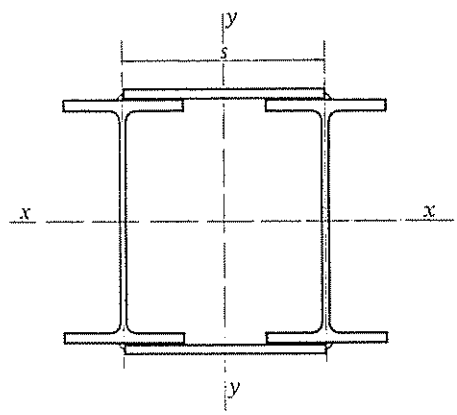
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

3.9.11

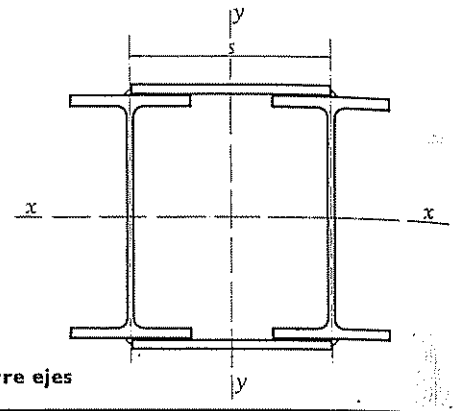
Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ıd de pandeo l_k en metros									IPE
50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
11,4	(10) 9,5	(11) 7,9	(12) 6,8	(13) 5,8	(14) 5,0	(16) 3,9			80
22,4	(9) 19,0	(9) 16,2	(10) 13,9	(11) 11,9	(12) 10,5	(13) 8,1	(15) 6,5	(17) 5,3	100
37,3	(8) 32,5	(8) 28,3	(9) 24,7	(9) 21,3	(10) 18,8	(11) 14,8	(13) 11,8	(14) 9,7	120
55,4	(7) 49,5	(7) 44,0	(8) 38,8	(8) 34,7	(9) 30,6	(10) 24,5	(11) 19,7	(13) 16,3	140
75,4	(6) 69,4	(6) 63,1	(7) 57,8	(8) 51,6	(8) 46,8	(9) 37,5	(10) 30,8	(11) 25,7	160
95,6	(5) 91,1	(6) 84,4	(6) 78,0	(7) 71,3	(7) 65,9	(8) 54,1	(9) 45,3	(10) 37,6	180
20,0	(5) 114,0	(5) 108,6	(6) 102,1	(6) 95,0	(7) 88,3	(8) 75,2	(9) 63,6	(9) 54,1	200
44,4	(5) 139.4	(5) 134,7	(5) 128,3	(6) 122,4	(6) 114,5	(7) 99,6	(8) 85,7	(9) 73,5	220
72,2	(4) 167,6	(5) 163,2	(5) 157,7	(5) 151,4	(6) 144,4	(6) 129,4	(7) 113,8	(8) 99,3	240
05,9	(4) 202,1	(4) 198,5	(4) 193,3	(5) 188,3	(5) 180,6	(6) 168,2	(6) 151,9	(7) 135,2	270
46,9	(4) 242,2	(4) 240,0	(4) 235,6	(4) 229,4	(5) 223,5	(5) 210,7	(6) 194,9	(6) 178,8	300
88,5	(4) 283,0	(4) 280,4	(4) 277,8	(4) 272,7	(4) 267,9	(5) 256,4	(6) 240,0	(6) 223,9	330
37,9	(4) 334,6	(4) 328,7	(4) 325,2	(4) 322,2	(4) 316,4	(5) 305,3	(5) 292,4	(6) 282,9	360
93,8	(4) 393,8	(4) 390,0	(4) 386,3	(4) 382,6	(4) 375,6	(5) 368,7	(5) 352,7	(6) 338,0	400
65,9	(4) 461,4	(4) 461,4	(4) 456,9	(4) 452.6	(4) 448,3	(4) 440,0	(5) 428,1	(5) 416,8	450
45,8	(4) 545,8	(4) 540,6	(4) 540,6	(4) 535,4	(4) 530,3	(4) 525,3	(5) 515,6	(5) 501,6	500
36,8	(4) 630,6	(4) 630.6	(4) 624,5	(4) 624,5	(4) 618,5	(4) 612,6	(5) 601,1	(5) 590,1	550
48,8	(4) 734,1	(4) 734,1	(4) 734,1	(4) 727,0	(4) 727,0	(4) 720,0	(4) 706,4	(5) 699,8	600

3	14
,33	6,30
,04	8,00
,73	9,67
,45	11.38
.18	13,10
,90	14,81
,63	16,53
,34	18,22
.10	19,97
,58	22,43
,63	25,42
.80	27,61
,57	30,34
.94	33.66
,56	38,18
.95	42,49
,51	46,93
.23	51,53



3.9.11



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N^*, en t, para una								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
100	150	*41,20*	*38,62*	*36,35*	*34,09*	*31,49*	*29,08*	*26,86*	*22,37*	*19,01*
	200	*41,20*	*38,62*	*36,35*	*34,09*	*31,49*	*29,08*	*26,86*	*22,37*	*19,01*
	250	*41,20*	*38,62*	*36,35*	*34,09*	*31,49*	*29,08*	*26,86*	*22,37*	*19,01*
120	150	*56,07*	*54,62*	*52,80*	*50,68*	*48,36*	*45,25*	*42,52*	*37,27*	*32,49*
	200	*56,07*	*54,62*	*52,80*	*50,68*	*48,36*	*45,25*	*42,52*	*37,27*	*32,49*
	250	*56,07*	*54,62*	*52,80*	*50,68*	*48,36*	*45,25*	*42,52*	*37,27*	*32,49*
140	150	69,66	69,05	67,86	67,28	*65,60*	*63,48*	*60,55*	*55,43*	*49,50*
	200	71,56	*71,56*	*69,66*	*67,28*	*65,60*	*63,48*	*60,55*	*55,43*	*49,50*
	250	72,22	*71,56*	*69,66*	*67,28*	*65,60*	*63,48*	*60,55*	*55,43*	*49,50*
160	150	86,14	84,63	83,17	82,46	81,07	79,08	77,80	73,64	*69,41*
	200	87,70	87,70	86,14	86,14	*84,63*	*82,46*	*80,40*	*75,37*	*69,41*
	250	88,51	88,51	87,70	*86,91*	*84,63*	*82,46*	*80,40*	*75,37*	*69,41*
180	150	102,42	100,63	98,89	98,05	96,40	94,03	92,51	88,24	82,53
	200	104,29	104,29	102,42	102,42	100,63	100,63	98,89	*95,60*	*91,04*
	250	105,24	105,24	105,24	104,29	103,35	*102,42*	*100,63*	*95,60*	*91,04*
200	150	122,14	120,00	118,95	116,92	114,95	113,05	110,32	105,23	99,85
	200	124,36	124,36	122,14	122,14	120,00	120,00	117,93	114,95	112,13
	250	125,50	125,50	125,50	124,36	123,24	122,14	122,14	*120,00*	*114,00*
220	200	145,74	145,74	144,43	143,14	141,87	140,63	138,20	135,86	131,40
	250	147,08	147,08	147,08	145,74	144,43	143,14	143,14	140,63	138,20
	300	148,44	148,44	147,08	147,08	147,08	145,74	145,74	143,14	*139,40*
240	200	170,61	170,61	169,08	167,57	166,08	164,63	163,20	159,05	153,83
	250	172,18	172,18	172,18	170,61	170,61	167,57	167,57	164,63	161,79
	300	173,77	173,77	172,18	172,18	172,18	170,61	170,61	167,57	166,08
270	200	200,29	200,29	198,48	196,71	194,97	193,26	191,58	186,71	180,59
	250	204,00	202,12	202,12	200,29	200,29	198,48	196,71	193,26	189,93
	300	204,00	204,00	202,12	202,12	202,12	200,29	200,29	196,71	194,97
300	200	234,76	234,76	232,64	230,57	228,53	226,52	224,55	218,84	213,42
	250	239,11	236,91	236,91	234,76	234,76	232,64	230,57	226,52	222,62
	300	239,11	239,11	239,11	236,91	236,91	234,76	234,76	230,57	228,53

$\lambda > 200$

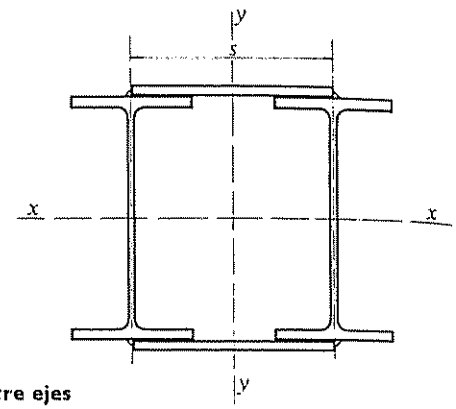
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.12



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
0	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
20	13,92	11,94	10,45	8,09	6,50	5,32	150 · 100 · 6	3,5	150	100
20	13,92	11,94	10,45	8,09	6,50	5,32	200 · 100 · 6	3,5	200	
20	13,92	11,94	10,45	8,09	6,50	5,32	250 · 100 · 6	3,5	250	
28	24,65	21,33	18,74	14,80	11,93	7,57	150 · 100 · 6	3,5	150	120
28	24,65	21,33	18,74	14,80	11,93	7,57	200 · 100 · 6	3,5	200	
28	24,65	21,33	18,74	14,80	11,93	7,57	250 · 100 · 6	3,5	250	
47	38,77	34,67	30,63	24,52	19,68	16,29	150 · 100 · 6	3,5	150	140
47	38,77	34,67	30,63	24,52	19,68	16,29	200 · 100 · 6	3,5	200	
47	38,77	34,67	30,63	24,52	19,68	16,29	250 · 100 · 6	3,5	250	
05	57,77	51,59	46,83	37,54	30,82	25,59	150 · 100 · 8	4	150	160
05	57,77	51,59	46,83	37,54	30,82	25,59	200 · 100 · 8	4	200	
05	57,77	51,59	46,83	37,54	30,82	25,59	250 · 100 · 8	4	250	
04	72,15	66,69	62,34	52,62	44,63	37,61	150 · 100 · 10	5	150	180
35	78,04	71,25	65,93	54,11	45,34	37,61	200 · 100 · 10	5	200	
35	78,04	71,25	65,93	54,11	45,34	37,61	250 · 100 · 10	5	250	
66	87,13	80,47	74,34	62,75	53,22	45,44	150 · 150 · 8	4	150	200
57	102,08	95,00	88,25	75,16	63,62	54,07	200 · 150 · 8	4	200	
57	102,08	95,00	88,25	75,16	63,62	54,07	250 · 150 · 8	4	250	
23	122,38	117,02	111,33	99,57	85,73	73,54	200 · 150 · 8	4	200	220
72	128,25	122,38	114,51	99,57	85,73	73,54	250 · 150 · 8	4	250	
72	128,25	122,38	114,51	99,57	85,73	73,54	300 · 150 · 8	4	300	
14	144,36	138,00	132,16	118,03	106,03	93,84	200 · 150 · 10	5	200	240
05	155,10	151,35	144,36	129,43	113,74	99,30	250 · 150 · 10	5	250	
20	157,71	151,35	144,36	129,43	113,74	99,30	300 · 150 · 10	5	300	
25	169,47	162,00	155,15	138,56	124,47	110,16	200 · 200 · 8	4	200	270
30	183,60	179,12	174,85	162,00	151,94	135,16	250 · 200 · 8	4	250	
26	189,93	188,30	180,59	168,18	151,94	135,16	300 · 200 · 8	4	300	
59	198,64	189,88	181,85	164,48	145,89	131,08	200 · 200 · 10	5	200	300
71	215,20	209,95	204,95	189,88	178,09	162,41	250 · 200 · 10	5	250	
52	222,62	220,71	215,20	206,59	194,16	178,09	300 · 200 · 10	5	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N^*, en t, para una $\bar{\lambda}$								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
330	200	275,56	273,16	270,70	268,28	265,91	263,57	261,28	256,82	248,33
	250	278,22	275,66	275,66	273,16	273,16	270,70	268,28	263,57	261,28
	300	278,22	278,22	278,22	275,66	275,66	273,16	273,16	268,28	265,91
360	300	323,11	323,11	323,11	320,14	320,14	317,23	317,23	314,37	311,57
	400	323,11	323,11	323,11	323,11	323,11	323,11	320,14	320,14	317,23
	500	326,13	326,13	323,11	323,11	323,11	323,11	323,11	323,11	320,14
400	300	375,55	375,55	375,55	372,11	372,11	368,72	368,72	365,40	362,14
	400	375,55	375,55	375,55	375,55	375,55	375,55	372,11	372,11	368,72
	500	379,06	379,06	375,55	375,55	375,55	375,55	375,55	375,55	372,11
450	300	439,11	439,11	439,11	435,08	435,08	431,12	431,12	427,24	423,42
	400	439,11	439,11	439,11	439,11	439,11	439,11	435,08	435,08	431,12
	500	443,21	443,21	439,11	439,11	439,11	439,11	439,11	439,11	435,08
500	300	515,55	515,55	515,55	510,82	510,82	506,18	506,18	501,62	497,14
	400	515,55	515,55	515,55	515,55	515,55	515,55	510,82	510,82	506,18
	500	520,37	520,37	515,55	515,55	515,55	515,55	515,55	515,55	510,82
550	300	595,55	595,55	595,55	590,09	590,09	584,72	584,72	579,45	574,28
	400	595,55	595,55	595,55	595,55	595,55	595,55	590,09	590,09	584,72
	500	601,12	601,12	595,55	595,55	595,55	595,55	595,55	595,55	590,09
600	300	693,33	693,33	693,33	686,97	686,97	680,72	680,72	674,59	668,57
	400	693,33	693,33	693,33	693,33	693,33	693,33	686,97	686,97	680,72
	500	699,81	699,81	693,33	693,33	693,33	693,33	693,33	693,33	686,97

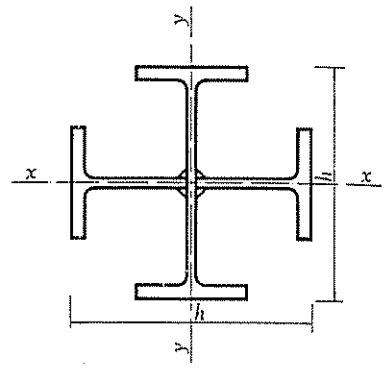
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.12



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

d de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
),38	232,93	224,23	214,62	193,85	172,68	154,09	200 · 250 · 8	5	200	
),82	250,40	244,29	238,47	224,23	207,22	188,98	250 · 250 · 8	5	250	330
),57	259,03	256,82	250,40	240,38	229,37	216,17	300 · 250 · 8	5	300	
),10	300,82	298,25	293,24	281,41	268,43	251,05	300 · 300 · 8	4	300	
),23	311,57	311,57	306,10	300,82	293,24	286,03	400 · 300 · 8	4	400	360
),14	320,14	317,23	314,37	311,57	306,10	300,82	500 · 300 · 8	4	500	
),78	349,65	346,66	340,84	327,09	312,00	291,79	300 · 300 · 8	4	300	
),72	362,14	362,14	355,78	349,65	340,84	332,45	400 · 300 · 8	4	400	400
),11	372,11	368,72	365,40	362,14	355,78	349,65	500 · 300 · 8	4	500	
),00	408,82	405,33	398,52	382,45	364,80	341,17	300 · 300 · 10	5	300	
),12	423,42	423,42	416,00	408,82	398,52	388,72	400 · 300 · 10	5	400	450
),08	435,08	431,12	427,24	423,42	416,00	408,82	500 · 300 · 10	5	500	
),42	480,00	475,89	467,89	449,03	428,30	400,57	300 · 300 · 10	5	300	
),18	497,14	497,14	488,42	480,00	467,89	456,39	400 · 300 · 10	5	400	500
),82	510,82	506,18	501,62	497,14	488,42	480,00	500 · 300 · 10	5	500	
),21	554,48	549,74	540,50	518,70	494,76	462,73	300 · 350 · 10	6	300	
),72	574,28	574,28	564,21	554,48	540,50	527,21	400 · 350 · 10	6	400	550
),09	590,09	584,72	579,45	574,28	564,21	554,48	500 · 350 · 10	6	500	
),84	645,51	640,00	629,24	603,87	576,00	538,70	300 · 350 · 12	7	300	
),72	668,57	668,57	656,84	641,51	629,24	613,77	400 · 350 · 12	7	400	600
),97	686,97	680,72	674,59	668,57	656,84	645,51	500 · 350 · 12	7	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE en cruz

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una λ						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
140	32,6	78,24	66,3	63,1	59,7	55,8	51,8	48,6	45,0
160	40,0	96,00	84,9	82,0	79,3	76,1	72,1	68,5	63,5
180	47,5	114,00	104,5	101,7	100,0	96,6	92,6	89,0	85,0
200	56,7	136,08	127,1	124,8	121,5	119,3	116,3	112,4	108,8
220	66,5	159,60	150,5	149,1	146,4	143,7	141,2	137,5	134,1
240	77,8	186,72	177,8	176,1	174,5	172,8	169,7	166,7	162,3
270	91,4	219,36	212,9	210,9	208,9	206,9	203,1	201,2	197,6
300	107	256,80	249,3	249,3	246,9	244,5	242,2	240,0	237,7
330	125	300,00	294,1	291,2	291,2	288,4	285,7	283,0	280,3
360	145	348,00	341,1	341,1	337,8	337,8	334,6	331,4	328,3
400	168	403,20	395,2	395,2	395,2	391,4	391,4	387,6	387,6
450	197	472,80	472,8	463,5	463,5	463,5	463,5	459,0	459,0
500	231	554,40	554,4	554,4	548,9	543,5	543,5	543,5	538,2
550	267	640,80	640,8	640,8	640,8	634,4	628,2	628,2	628,2
600	311	746,40	746,4	746,4	746,4	746,4	739,0	731,7	731,7

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

3.9.13

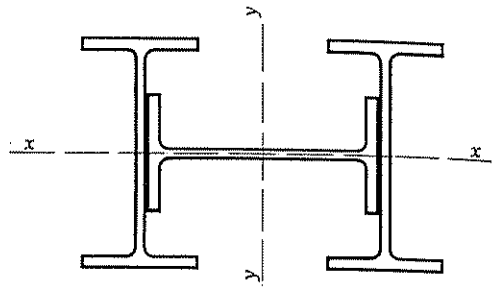


Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

l de pandeo l_k en metros									IPE
)	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
,9	32,2	27,3	23,5	20,5	17.8	13,8	11,1	9,0	140
,8	48,7	41,7	36,3	31,8	27,7	21,9	16,4	14,3	160
,5	68,2	60,3	53,0	46,3	41,4	32,9	26,6	21,9	180
,0	90,1	81,4	72.7	65,1	57,4	46,2	37,4	31,0	200
,6	116,5	107,1	96,7	87,6	78.6	63,8	51,6	43,9	220
,6	145.8	136.2	125,3	114,5	104,3	86,8	71,8	59,6	240
,7	182,8	174,1	163,7	152.3	141,5	120,5	102,0	86,7	270
,3	223.3	215,8	205,4	196.0	183.4	161.5	139,5	119.4	300
,2	267.8	260,8	252,1	241,9	230,7	206,9	181,8	158,7	330
,2	319,2	310.7	302,6	292,4	282,9	259,7	230,4	204,7	360
),3	376,8	369,9	360.0	353,6	344.6	322.5	296,4	267.0	400
),2	446,0	441,8	433,7	425,9	418,4	397,3	375,2	345,1	450
3,2	528,0	523,0	518,1	513,3	504.0	486,3	462,0	433,1	500
2,1	616,1	610,2	604.5	598,8	593.3	577,3	552,4	529,5	550
1,7	724,6	717.6	710,8	704,1	697,5	684,7	666,4	637,9	600

3.9.13



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_\mu / t$	Resistencia en t para una						
II	⊢			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	120	39,6	95,04	79,2	75,4	70,9	66,0	60,5	55,9	51,6
	140	42,8	102,72	84,2	79,6	74,9	69,8	63,8	59,0	54,3
140	140	49,2	118,08	104,5	100,9	96,7	92,2	88,1	83,1	77,1
	160	52,9	126,96	111,3	107,5	103,2	97,6	92,6	87,5	80,8
160	140	56,6	135,84	124,6	122,3	119,1	116,1	112,2	107,8	103,6
	160	60,3	144,72	132,7	129,2	125,8	122,6	117,6	112,1	108,0
	180	64,1	153,84	139,8	137,3	132,6	128,2	124,0	118,3	112,2
180	160	67,9	162,96	152,3	150,8	148,1	145,5	141,7	138,1	133,5
	180	71,7	172,08	160,8	159,3	155,0	150,9	147,0	143,4	138,7
	200	76,3	183,12	171,1	168,0	163,5	160,6	156,5	151,3	146,5
200	160	77,1	185,04	176,2	174,5	171,3	169,7	166,7	163,7	159,5
	180	80,9	194,16	184,9	183,1	179,7	178,1	173,3	170,3	165,9
	200	85,5	205,20	195,4	191,7	190,0	185,5	183,2	178,4	175,3
	220	90,4	216,96	201,6	202,7	199,0	197,2	192,0	187,0	182,3
220	180	90,7	217,68	209,3	207,3	205,3	203,4	201,5	197,8	194,3
	200	95,3	228,72	219,9	217,8	215,7	211,7	209,8	206,0	202,4
	220	100	240,0	230,7	228,5	224,3	222,2	220,1	214,2	210,5
	240	106	254,4	242,2	240,0	237,7	235,5	231,2	227,1	223,1
240	200	107	256,8	249,3	246,9	244,5	242,2	240,0	237,7	235,6
	220	112	268,8	260,9	258,4	256,0	253,5	251,2	248,8	244,3
	240	117	280,8	272,6	270,0	267,4	264,9	260,0	257,6	255,2
	270	124	297,6	286,1	283,4	280,7	278,1	275,5	273,0	268,1
270	220	125	300,0	294,1	291,2	288,4	285,7	285,7	283,0	280,3
	240	131	314,4	308,2	305,2	302,3	299,4	296,6	296,6	291,1
	270	138	331,2	321,5	321,5	318,4	315,4	312,4	309,5	306,6
	300	146	350,4	340,1	340,1	336,9	333,7	330,5	327,4	324,4

$\lambda > 200$

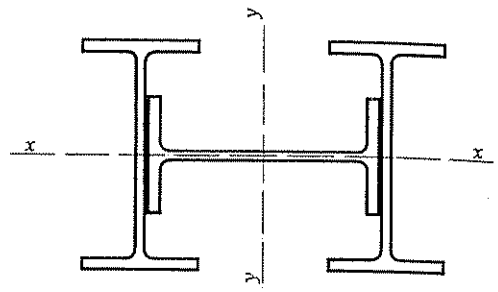
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.14

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE	
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	⊢	II
43,6	36,9	31,5	26,7	23,2	20,3	15,7	12,6	10,3	120	120
45,2	38,3	32,4	27,9	24,0	21,0	16,2	12,9	—	140	
67,8	59,0	50,6	44,0	38,2	33,7	26,3	21,1	17,2	140	140
69,7	60,7	52,2	45,0	39,5	34,5	26,8	21,6	17,5	160	
93,6	83,3	73,8	65,0	57,3	50,6	40,1	32,8	26,9	140	160
97,1	86,6	75,3	66,3	58,5	52,0	41,3	33,0	27,2	160	
100,5	89,4	78,0	68,6	60,8	63,0	42,3	33,9	27,8	180	
124,4	113,1	102,4	92,0	82,7	73,7	59,2	48,9	40,3	160	180
128,4	117,0	105,5	94,5	84,7	75,8	61,0	49,1	40,6	180	
133,6	121,2	109,6	97,9	86,3	77,2	62,2	50,4	41,3	200	
151,6	142,3	132,1	120,9	110,8	100,5	82,6	68,2	56,9	160	200
157,8	148,2	136,7	123,6	112,8	102,7	84,4	68,8	57,4	180	
164,1	153,1	141,5	129,0	115,9	105,2	85,5	70,7	58,6	200	
172,2	159,5	145,6	133,1	119,2	108,5	87,8	72,1	59,7	220	
186,0	178,4	167,4	156,6	146,0	133,5	113,3	94,6	79,1	180	220
195,4	184,4	174,6	161,0	149,4	136,9	114,3	95,3	79,9	200	
203,3	192,0	179,1	166,6	152,8	141,1	116,5	97,1	81,6	220	
212,0	201,9	187,0	173,0	158,0	146,2	120,0	100,5	83,4	240	
227,2	219,4	208,7	197,5	187,4	174,6	149,3	128,4	108,3	200	240
235,7	227,8	216,7	205,1	192,0	178,0	151,8	130,4	110,6	220	
246,3	235,9	224,6	211,1	197,7	183,5	154,2	130,6	110,9	240	
258,7	245,9	232,5	218,8	205,2	189,5	161,7	134,6	114,4	270	
275,2	265,4	256,4	247,9	238,1	225,5	201,3	174,4	152,2	220	270
285,8	278,2	268,7	257,7	245,6	231,1	205,4	177,6	154,8	240	
301,0	290,5	280,6	269,2	254,7	241,7	210,9	181,9	158,4	270	
315,6	304,7	294,4	280,3	267,4	250,2	220,3	190,4	162,9	300	

3.9.14



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una:						
II	⊢			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
300	220	141	338,4	331,7	331,7	328,5	328,5	325,3	322,2	322,2
	240	147	352,8	345,8	345,8	342,5	342,5	339,2	336,0	332,8
	270	154	369,6	362,3	362,3	358,8	355,3	352,0	352,0	348,6
	300	161	386,4	378,8	378,8	375,1	371,5	368,0	368,0	364,5
330	240	164	393,6	385,8	385,8	385,8	382,1	382,1	378,4	374,8
	270	171	410,4	402,3	402,3	402,3	398,4	398,4	394,6	390,8
	300	179	429,6	421,1	421,1	421,1	417,0	417,0	413,0	409,1
	330	188	451,2	442,3	442,3	442,3	438,0	433,8	433,8	429,7
360	270	191	458,4	458,4	449,4	449,4	449,4	445,0	445,0	440,7
	300	199	477,6	477,6	468,2	468,2	468,2	463,6	463,6	459,2
	330	208	499,2	499,2	489,4	489,4	489,4	484,6	484,6	480,0
	360	218	523,2	518,0	512,9	512,9	512,9	507,9	507,9	503,0
400	270	215	516,0	516,0	510,8	505,8	505,8	505,8	500,9	500,9
	300	223	535,2	535,2	535,2	524,7	524,7	524,7	524,7	519,6
	330	232	556,8	556,8	556,8	545,8	545,8	545,8	545,8	540,5
	360	242	580,8	580,8	580,8	569,4	569,4	569,4	563,8	563,8
	400	254	609,6	609,6	603,5	597,6	597,6	597,6	591,8	591,8
450	300	251	602,4	602,4	602,4	596,4	590,5	590,5	590,5	590,5
	330	260	624,0	624,0	624,0	624,0	617,8	611,7	611,7	611,7
	360	270	648,0	648,0	648,0	648,0	641,5	635,2	635,2	635,2
	400	282	676,8	676,8	676,8	676,8	663,5	663,5	663,5	663,5
	450	296	710,4	710,4	710,4	703,3	696,4	696,4	696,4	696,4
500	330	295	708,0	708,0	708,0	708,0	708,0	694,1	694,1	694,1
	360	305	732,0	732,0	732,0	732,0	732,0	724,7	717,6	717,6
	400	317	760,8	760,8	760,8	760,8	760,8	753,2	745,8	745,8
	450	331	794,4	794,4	794,4	794,4	794,4	786,5	778,8	778,8
	500	348	835,2	835,2	835,0	835,2	835,2	818,8	818,8	818,8

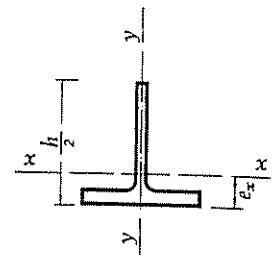
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y

3.9.14

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/m^2

itud de pandeo l_k en metros									IPE	
,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	⋈	II
6,2	310,4	302,1	294,2	286,7	275,1	252,5	227,1	202,6	220	
6,6	323,6	315,0	304,1	296,4	284,5	259,4	233,6	205,1	240	300
2,2	336,0	327,0	315,9	308,0	295,6	269,7	238,4	212,4	270	
7,7	351,2	338,9	330,2	316,7	306,6	276,0	243,0	215,8	300	
1,3	364,4	361,1	351,4	345,2	336,4	312,3	287,3	260,6	240	
7.1	380,0	373,0	366,4	356,8	347,8	320,6	295,2	264,7	270	330
5,2	397,7	390,5	380,1	370,3	361,0	333,0	302,5	273,6	300	
5,6	417,7	410,1	395,7	385,6	376,0	347,0	313,3	280,2	330	
6,5	432,4	424.4	420,5	409,2	402,1	382,0	355,3	329,7	270	
4,8	450,5	442,2	434,1	426,4	418.9	394.7	367,3	336,3	300	360
5,4	470,9	462,2	453,8	445,7	434,0	409,1	381.0	346,6	330	
8,2	488,9	484,4	475,6	463,0	451,0	421,9	390,4	355,9	360	
6,1	491,4	482,2	477.7	469,0	460,7	441,0	416,1	387,9	270	
4,6	509,7	504,9	500,1	491,0	486,5	465,3	442,3	414,8	300	
5,3	530,2	525,2	515,5	510,8	501,6	480,0	456,3	428,3	330	400
8,4	553,1	547,9	537,7	532,8	518,5	496,4	472.2	443.3	360	
6,1	580,5	569,7	564,4	554.1	544,2	521,0	487.6	454,9	400	
4,8	579,2	573,7	568,3	557,7	552,6	533,1	510,5	485,8	300	
5,8	600,0	594,2	588,6	583,1	577.7	562,1	537,9	515,8	330	
9,1	623,0	617,1	611.3	605,6	600,0	578,5	553,8	531,1	360	450
7,0	650,7	644,5	638,4	626,6	620,9	604,2	578.4	550,2	400	
9,7	683,0	676,5	670,1	657,7	651,7	628,6	602,0	572,9	450	
7,3	687,3	680,7	674,2	667,9	655,5	643,6	621,0	594,9	330	
7,6	710,6	703,8	697,1	690,5	690,5	671,5	653,5	631,0	360	
5,8	738,6	731,5	724.5	717,7	711.0	697,9	679,2	650,2	400	500
8,8	771,2	763,0	756,5	749.4	742,4	722,1	703,0	678,9	450	
0,8	810,8	803,0	795,4	787,9	773,3	759,2	732,6	701,8	500	

3.9.14



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

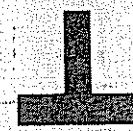
Medio perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	6,6	15,8	11,9	9,7	7,8	6,2	4,9	4,0
140	8,21	19,7	15,9	13,7	11,5	9,3	7,6	6,2
160	10,00	24,0	20,0	17,9	15,5	13,0	10,9	9,1
180	12,00	28,8	24,6	22,9	20,3	17,7	15,2	12,9
200	14,20	34,1	29,1	27,7	25,4	22,9	19,8	17,3
220	16,70	40,1	34,8	33,4	31,3	28,8	25,9	23,0
240	19,60	47,0	40,9	39,9	37,9	35,4	32,4	29,2
270	23,00	55,2	47,2	46,4	44,9	43,1	40,6	37,6
300	26,90	64,6	54,7	53,8	52,5	51,2	49,3	46,4
330	31,30	75,1	63,7	62,6	61,1	59,6	57,8	55,2
360	36,40	87,4	74,7	73,4	72,2	70,5	60,3	65,7
400	42,20	101,3	85,1	83,7	82,3	80,4	78,5	76,2
450	49,40	118,6	96,4	96,4	94,8	92,6	90,5	88,5
500	57,80	138,7	111,8	110,9	110,1	107,5	105,9	103,5
550	67,20	161,3	129,0	126,0	126,0	124,1	121,3	118,6
600	78,00	187,2	149,7	148,5	146,2	145,1	142,9	139,7

$\lambda > 200$

El pandeo se representa con flexión y torsión.

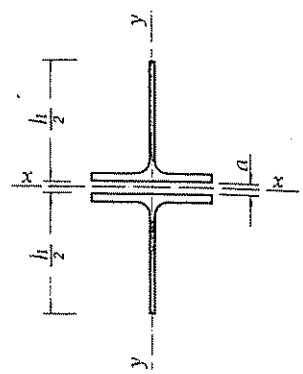
3.9.15



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									IPE
,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
3,3	2,8	2,3	2,0	1,7					120
5,2	4,3	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2			140
7,6	6,5	5,5	4,8	4,2	3,6	3,2	2,6		160
10,9	9,3	8,0	7,0	6,1	5,4	4,8	3,8	3,1	180
14,8	12,7	11,0	9,6	8,4	7,4	6,6	5,3	4,4	200
20,0	17,4	15,4	13,5	11,9	10,5	9,4	7,5	6,2	220
25,8	23,2	20,5	18,1	16,0	14,3	12,6	10,3	8,5	240
34,3	30,8	28,0	25,0	22,3	20,1	18,1	14,8	12,2	270
43,3	40,1	36,5	33,1	30,0	27,2	24,8	20,6	17,1	300
52,2	48,5	45,0	41,3	37,6	34,5	31,3	25,4	22,0	330
62,8	59,4	55,6	51,4	47,5	43,7	40,1	34,0	28,6	360
72,9	69,8	65,3	61,4	56,6	52,8	48,5	41,0	34,9	400
84,7	81,8	77,5	72,7	68,1	63,4	59,3	50,9	43,7	450
99,8	96,3	91,9	87,2	83,1	77,5	72,3	62,8	54,0	500
15,2	111,2	106,8	101,4	96,6	91,1	85,3	75,0	65,3	550
36,6	131,8	127,3	122,4	116,3	110,1	104,6	92,2	80,3	600

3.9.15



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una ... lo					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	13,2	31,68	24,5	20,1	16,0	12,5	9,9	8,1
140	16,4	39,36	32,8	28,3	23,5	19,1	15,5	12,7
160	20,1	48,24	42,3	37,5	32,3	27,2	22,4	18,7
180	23,9	57,30	*50,8*	47,8	42,8	37,0	31,1	26,3
200	28,5	68,40	*60,0*	58,9	54,2	48,1	41,9	36,1
220	33,4	80,16	*60,7*	*60,7*	67,3	61,1	54,5	48,0
240	39,1	93,84	*80,2*	*80,2*	*80,2*	75,6	69,0	61,3
270	45,9	110,16	*91,8*	*91,8*	*91,8*	*91,8*	88,1	80,4
300	53,8	129,12	*105,0*	*105,0*	*105,0*	*105,0*	*105,0*	102,4

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

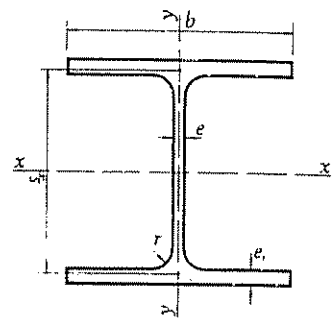
3.9.16



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPE
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
6,7	5,5	4,7	4,0	3,5					120
10,4	8,7	7,4	6,4	5,6	4,9	4,3			140
15,6	13,2	11,2	9,6	8,4	7,3	6,3	5,1		160
22,3	19,0	16,3	14,0	12,2	10,8	9,6	7,8	6,2	180
30,5	26,3	22,7	19,7	17,3	15,2	13,4	10,7	8,8	200
41,7	36,2	31,6	27,6	24,3	21,5	19,1	15,4	12,5	220
54,5	48,1	41,8	37,0	32,8	29,2	25,8	20,9	17,2	240
72,9	65,9	58,9	51,9	46,4	41,7	37,4	30,3	24,8	270
94,2	86,6	78,2	70,9	64,5	57,6	52,2	42,9	35,8	300

3.9.16



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	34,0	81,60	54,8	49,5	44,3	39,6	35,5	31,4	28,1
140	43,0	103,20	79,4	73,7	67,5	61,8	56,1	50,8	46,1
160	54,3	130,32	107,1	101,8	95,8	89,9	83,0	75,8	69,7
180	65,3	156,72	136,3	131,7	125,4	119,6	111,9	105,2	97,3
200	78,1	187,44	168,9	164,4	158,8	152,4	145,3	137,8	130,2
220	91	218,40	200,4	196,8	191,6	185,1	179,0	173,3	164,2
240	106	254,40	237,8	233,4	229,2	223,2	215,6	210,2	203,5
260	118	283,20	267,2	262,2	259,8	255,1	248,4	242,1	236,0
280	131	314,40	299,4	296,6	291,1	288,4	283,2	275,8	271,0
300	149	357,60	343,8	340,6	334,2	331,1	328,1	322,2	313,7
320	161	386,40	371,5	368,0	361,1	357,8	354,5	345,0	338,9
340	171	410,40	394,6	387,2	383,6	380,0	376,5	366,4	360,0
360	181	434,40	417,7	409,8	406,0	402,2	394,9	387,0	381,1
400	198	475,20	452,6	448,3	444,1	440,0	432,0	424,3	416,8
450	218	523,20	498,3	493,6	489,0	484,4	475,6	467,1	455,0
500	239	573,60	546,3	541,1	536,1	526,2	521,5	507,6	498,8
550	254	609,60	580,6	575,1	564,4	559,3	549,2	539,5	525,5
600	270	648,00	617,1	611,3	600,0	594,5	583,8	568,4	558,6

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

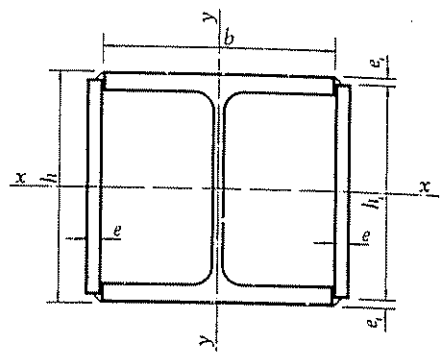
3.9.17

Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEB
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
23,0	19,1	15,8	13,5	11,6	10,0				120
38,1	31,8	26,7	22,8	19,6	17,1	13,3			140
59,0	50,1	42,2	36,3	31,5	27,3	21,2	17,0	13,7	160
85,2	72,9	62,7	54,0	47,1	41,1	32,1	25,6	21,0	180
115,0	100,2	88,4	77,1	67,4	59,1	46,4	37,2	30,7	200
148,6	134,0	118,7	104,5	92,2	81,5	64,6	52,2	42,9	220
187,1	170,7	154,2	136,0	121,7	109,2	86,5	70,9	58,8	240
221,3	203,7	185,1	169,6	151,4	137,5	110,2	90,5	75,1	260
257,7	240,0	221,4	202,8	184,9	168,1	138,5	114,3	95,6	280
303,1	286,1	266,9	248,3	227,8	210,4	173,6	144,8	121,6	300
327,5	309,1	288,4	268,3	246,1	227,3	187,6	156,4	131,4	320
344,9	328,3	306,3	283,0	261,4	238,5	199,2	164,2	138,2	340
365,0	344,8	324,2	299,6	273,2	252,6	207,8	173,8	144,3	360
396,0	371,3	349,4	323,3	295,2	268,5	224,2	184,9	155,8	400
436,0	408,8	381,9	351,1	321,0	295,6	243,3	201,2	169,3	450
474,0	444,7	412,7	379,9	351,9	320,4	263,1	217,3	180,9	500
499,7	468,9	435,4	398,4	365,0	331,3	272,1	224,9	189,9	550
526,8	494,7	456,3	418,1	381,2	346,5	285,5	235,6	197,0	600

3.9.17



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB con dos platabandas soldadas

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una						lor
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	50,6	121	104 · 8	104,7	100,4	94,9	90,6	84,3	79,4	73,6
140	62,8	150	124 · 8	135,8	132,2	127,7	122,5	116,8	110,8	106,1
160	82,3	197	140 · 10	182,9	181,2	176,4	171,8	167,4	161,9	156,8
180	97,3	233	160 · 10	220,3	216,2	214,2	210,4	204,8	199,6	194,6
200	121	290	180 · 12	279,2	274,0	271,4	268,9	264,0	259,3	254,7
220	139	333	200 · 12	320,8	317,7	314,7	311,8	308,9	306,1	300,5
240	172	412	220 · 15	400,8	400,8	396,9	393,1	389,4	385,8	382,2
260	190	456	240 · 15	447,1	442,7	442,7	438,5	434,3	430,2	426,2
280	209	501	260 · 15	491,8	491,8	487,0	482,3	482,3	477,7	473,2
300	233	559	280 · 15	548,2	548,2	542,9	542,9	537,7	537,7	532,6
320	281	674	300 · 20	661,2	661,2	661,2	654,8	654,8	648,5	642,3
340	299	717	320 · 20	703,5	703,5	703,5	696,7	696,7	690,0	683,4
360	317	760	340 · 20	745,9	745,9	745,9	738,6	738,6	731,5	724,6
400	350	840	380 · 20	823,5	823,5	823,5	815,5	815,5	807,7	800,0
450	420	1 008	420 · 24	998,0	988,2	988,2	988,2	978,6	978,6	969,2
500	465	1 116	470 · 24	1 105,0	1 094,1	1 094,1	1 094,1	1 083,5	1 083,5	1 073,1
550	504	1 209	520 · 24	1 197,6	1 185,9	1 185,9	1 185,9	1 174,4	1 174,4	1 163,1
600	544	1 305	570 · 24	1 292,7	1 280,0	1 280,0	1 280,0	1 267,6	1 267,6	1 255,4

$\lambda > 200$

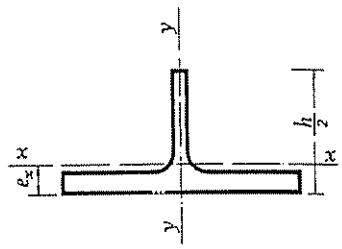
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

3.9.18

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									HEB
),50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
63,3	53,4	46,0	39,8	34,7	30,1	23,6	18,8	15,4	120
93,6	81,9	71,1	62,0	54,8	48,2	37,7	30,5	24,9	140
142,1	129,1	116,2	102,9	91,9	81,3	65,6	53,1	43,6	160
182,4	168,0	148,7	139,8	126,9	113,4	92,3	75,6	62.8	180
244,0	232,3	216,7	200,3	185.0	168,8	141,0	116,2	97,8	200
290,1	278,0	264,8	249,0	231,7	212.5	181,3	153,0	129,8	220
371,9	362,1	346,9	332,9	317,5	297,0	259,6	224,3	194,7	240
418,3	407,1	396,5	383,2	367,7	350,8	314,4	273,1	237,5	260
464,4	456,0	443,9	428,7	418,0	401,3	366,1	323,6	288,3	280
522,6	513,0	503.8	490,5	477,9	458,4	426,9	385,6	343,1	300
636,2	624,4	618,7	602.1	586,4	571,5	535,2	485,2	440,8	320
677,0	664,4	658,3	640,7	624,0	608,1	569,5	516,3	469,0	340
717,7	704,4	698,0	679,3	661,6	644,7	603,8	547,3	497,3	360
792,5	777,8	770,6	750,0	730.4	711,9	666,7	604,3	549,0	400
960,0	942,1	933,3	916,4	892,0	869,0	812,9	752,2	685,7	450
062,9	1 043,0	1 033,3	1 014.5	987,6	962,1	900,0	832,8	759,2	500
152,0	1 130,5	1 120,0	1 099,6	1 070.4	1 042.8	983.4	909,5	834,2	550
243,4	1 220,2	1 208,9	1 186,9	1 155,4	1 125,5	1 061,5	981,7	900,4	600

3.9.18



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	17,0	40,80	30,0	23,7	18,5	14,3	11,4	9,1
140	21,5	51,60	42,3	35,8	29,2	23,3	18,8	15,5
160	27,1	65,04	56,6	54,7	43,7	36,3	30,3	25,0
180	32,6	78,24	71,1	65,7	58,8	50,5	43,0	36,4
200	39,0	93,6	86,7	81,4	74,0	67,3	58,9	50,9
220	45,5	109,2	102,1	97,5	91,8	84,7	76,8	67,0
240	53,0	127,2	*121,1*	116,7	110,6	103,4	94,9	85,4
260	59,2	142,1	*134,0*	131,6	126,9	119,4	111,0	101,5
280	65,7	157,7	*148,8*	*147,4*	143,3	137,1	129,2	121,3
300	74,5	178,8	*168,7*	*167,1*	165,6	159,6	152,8	143,0
320	80,7	193,7	*182,7*	*182,7*	181,0	176,1	169,9	161,4
340	85,4	205,0	*195,2*	*193,4*	*193,4*	189,9	183,0	176,7
360	90,3	216,7	*206,4*	*204,5*	*204,5*	202,5	197,0	191,8
400	98,9	237,4	*226,1*	*226,1*	*223,9*	*223,9*	221,8	217,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

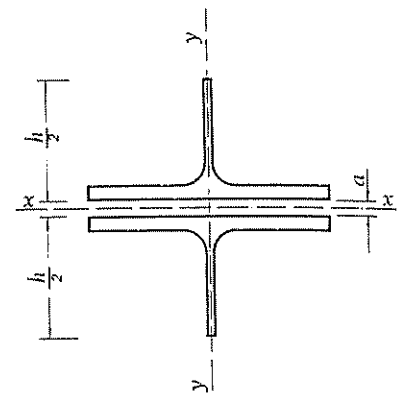
3.9.19



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ıd de pandeo l_k en metros									HEB
50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
7.5	6,2	5,3	4,5						120
2,8	10,7	9,1	7,8	6,7	5,9				140
0,5	17,7	15,0	12,9	11,3	9,9	8,7	6,9		160
0,9	26,3	22,6	19,6	17,1	15,0	13,3	10,6	8,6	180
3,5	37,4	32,3	28,1	24,6	21,6	19,2	15,3	12,6	200
8,4	50,8	44,2	38,7	34,0	30,1	26,7	21,5	17,7	220
6,2	67,3	59,3	51,5	45,8	40,6	36,3	29.4	24,1	240
1,7	81.7	72,9	64,3	57,5	51,1	46,0	37,3	30,7	260
1,0	107,3	90,6	80,9	73,3	65,7	58,8	47,9	39,9	280
3.4	123,3	111,1	101,0	91,7	82,0	74,5	60,8	51,1	300
1,3	141,4	131,8	120,3	109,4	99,3	91,4	75,4	62,7	320
8,0	158,9	149,6	139,4	127,3	117,8	108,4	90,3	76,5	340
5,2	176,2	166,7	155,9	147,4	136,3	126,0	106,8	91,4	360
1,9	206,4	199,5	189,9	181,2	170,8	161,5	142,1	123,6	400

3.9.19



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

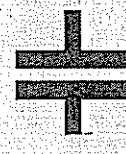
Dos medios perfiles HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una λ =					
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	34,0	81,60	11,0	*74,1*	69,7	62,7	54,7	47,4	40,2
140	43,0	103,20	11,5	*96,4*	91,3	85,2	77,5	68,3	60,0
160	54,3	130,32	13,0	*122,9*	*119,6*	114,3	106,8	97,9	88,6
180	65,3	156,72	14,0	*147,8*	*146,5*	*141,2*	133,9	126,3	116,9
200	78,1	187,44	15,0	*176,8*	*176,8*	*173,5*	*165,8*	158,8	149,9
220	91,0	218,40	16,0	*204,1*	*204,1*	*204,1*	*198,5*	*191,6*	182,0
240	106,0	254,40	16,0	*237,8*	*237,8*	*237,8*	*233,4*	*227,1*	*217,4*
260	118,4	284,16	17,0	*263,1*	*263,1*	*263,1*	*263,1*	*258,3*	*249,3*
280	131,4	315,36	18,0	*289,3*	*289,3*	*289,3*	*289,3*	*289,3*	*281,5*
300	149	357,6	18,5	*328,1*	*328,1*	*328,1*	*328,1*	*328,1*	*325,1*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

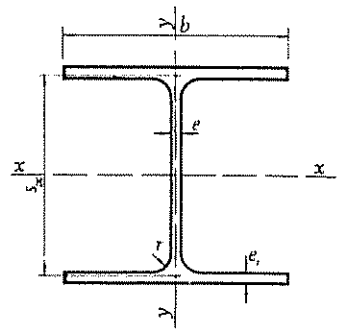
3.9.20



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									HEB
,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
34,0	28,9	25,1	21,6	18,8	16,7	14,7	11.8	9,6	120
52,3	44,8	39,0	34,2	29,8	26,4	33,5	18,8	15,3	140
78,9	69,6	61,4	54,9	48,6	43,3	38,5	31,1	25,6	160
06,6	96,1	86,1	77,2	69,0	61,9	55,5	44,7	37,0	180
37,8	127,5	116,4	104,7	95,15	85,9	77,1	63,7	52,8	200
70,6	159,4	148,5	135,6	123,3	112,0	103,0	84,9	70,6	220
08,5	197,2	183,0	170,7	158,0	143,7	132,5	110,6	93,8	240
38,8	229,2	216,9	203,0	188,2	174,3	160,5	136,0	116,9	260
74,2	*262,8*	*252,3*	237,1	225,3	208,8	195,9	166,9	142,7	280
16,5	*305,6*	*293,1*	*279,4*	268,9	255,4	240,0	207,9	181,5	300

3.9.20



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	25,3	60,72	40,2	36,4	32,5	28,6	25,6	23,0	20,7
140	31,4	75,36	57,5	53,1	48,6	44,3	40,3	36,6	32,8
160	38,8	93,12	76,3	72,2	68,0	62,5	57,8	53,8	48,5
180	45,3	108,72	94,5	90,6	86,9	81,7	77,7	72,0	67,5
200	53,8	129,12	115,3	112,3	108,5	104,1	99,3	94,2	89,0
220	64,3	154,32	141,6	137,8	135,4	130,8	125,5	120,6	115,2
240	76,8	184,32	170,7	169,1	164,6	161,7	157,5	151,1	146,3
260	86,8	208,32	196,5	192,9	191,1	186,0	182,7	178,1	172,2
280	97,3	233,52	222,4	220,3	216,2	214,2	208,5	204,8	199,6
300	113	271,20	260,8	255,8	253,5	251,1	246,5	242,1	237,9
320	124	297,60	286,2	280,8	278,1	275,6	270,5	265,7	261,1
340	133	319,20	304,0	301,1	298,3	296,6	290,1	285,0	280,0
360	143	343,20	326,9	323,8	320,7	317,8	312,0	306,4	301,1
400	159	381,60	363,4	360,0	356,6	353,3	346,9	340,7	334,7
450	178	427,20	406,7	403,0	399,3	391,9	388,4	381,4	371,5
500	198	475,20	452,6	448,3	444,1	435,9	432,0	420,5	413,2
550	212	508,80	484,6	480,0	471,1	466,8	458,4	450,3	438,6
600	226	542,40	516,6	511,7	502,2	497,6	484,3	475,8	463,6

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

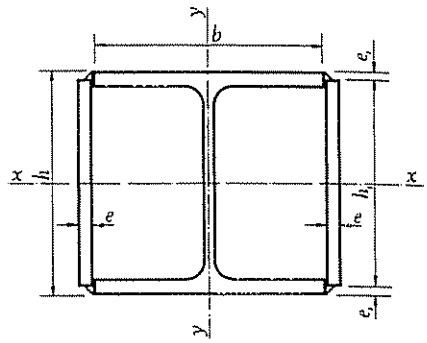
3.9.21

Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ Kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros									HEA
,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
16,7	13,7	11,5	9,8	8,4	7,3				120
27,1	22,6	19,1	16,3	13,9	12,1	9,4			140
41.0	34,4	29,4	25,0	21,8	18,9	14,7	11,7		160
57,5	49,9	42.3	36,6	31,8	27,9	21,8	17,5	14,3	180
78,3	68,3	59,2	51.6	44,5	39,2	30,9	24,8	20,4	200
03,6	92,4	81.7	71.8	63,5	56,1	44,6	36,1	29,7	220
34,5	122,1	108,4	97,5	86.9	76,8	62,1	50,1	41,1	240
61.5	148,8	134,4	122,5	110.2	98,3	80,1	65,7	54,0	260
89,9	178,3	162,2	148,7	135,8	123,6	101,5	82,8	69,1	280
27,9	215,2	202,4	187,0	170,6	157.7	129.8	108,5	90,1	300
50,1	236,2	222,1	205,2	187,2	173,0	142,4	119,0	98,9	320
68,2	253,3	234,7	220,1	200,8	183,4	152,7	126,2	106,0	340
86,0	272,4	252,4	233,5	215,8	197,2	161,9	135,7	112,5	360
18,0	298,1	278,5	256,1	234,1	215,6	177,5	146,8	123,5	400
53,1	331,2	311,8	286,7	262,1	238,7	195,9	164,3	136,5	450
92,7	368,4	341,9	314,7	288,0	261,1	218,0	180,0	149,9	500
17,0	391,4	363,4	332,5	304,7	276,5	227,1	187,7	156,6	550
40,9	414,0	382,0	349,9	319,1	290,1	238,9	195,1	162,9	600

3.9.21



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA con dos platabandas soldadas

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	37,8	90	104 · 6	77,5	74,4	70,3	66,2	62,6	57,8	53,4
140	51,1	122	123 · 8	109,5	106,6	103,1	98,9	94,3	89,5	84,6
160	61,2	146	140 · 8	136,0	133,5	130,0	126,6	122,4	118,5	113,9
180	70,9	170	160 · 8	160,5	157,6	156,1	153,3	149,3	145,4	141,8
200	89,8	215	180 · 10	205,3	203,3	200,0	197,7	194,2	190,7	187,4
220	104	249	200 · 10	240,0	237,7	235,5	233,3	231,1	226,9	222,9
240	130	312	220 · 12	302,9	300,0	297,1	294,3	291,6	288,9	286,2
260	144	345	240 · 12	338,8	335,5	332,3	329,1	326,0	326,0	320,0
280	160	384	260 · 12	376,5	376,5	372,8	369,2	365,7	365,7	362,3
300	180	432	280 · 12	423,5	423,5	419,4	419,4	415,4	415,4	411,4
320	214	513	300 · 15	503,5	503,5	503,5	498,6	498,6	493,8	489,1
340	229	549	320 · 15	538,8	538,8	538,8	533,6	533,6	528,5	523,4
360	245	588	340 · 15	576,5	576,5	576,5	570,9	570,9	565,4	560,0
400	273	655	380 · 15	642,4	642,4	642,4	636,1	636,1	630,0	624,0
450	346	830	420 · 20	822,2	814,1	814,1	814,1	806,2	806,2	798,5
500	386	926	470 · 20	917,2	908,2	908,2	908,2	899,4	899,4	890,8
550	420	1 008	520 · 20	998,0	988,2	988,2	988,2	978,6	978,6	969,2
600	454	1 089	570 · 20	1 078,8	1 068,2	1 068,2	1 068,2	1 057,9	1 057,9	1 047,7

$\lambda > 200$

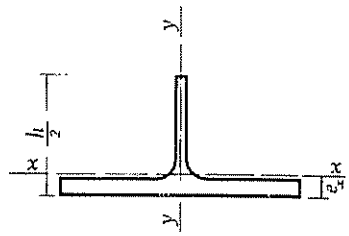
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.22

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									HEA
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
46,1	38,9	33,5	28,6	25,0	21,7	17,1	13,6	11,1	120
74,3	64,9	56,3	49,1	42,9	37,7	29,6	23,8	19,5	140
103,4	92,4	83,0	73,4	64.7	58,1	45,8	37,2	30,7	160
132,9	122,4	111,2	101,9	91,0	81,4	66,2	54,4	45,1	180
178,1	167,1	155,1	142,7	130,6	118,4	97,5	80,4	67,1	200
215,2	206,3	195,0	182,2	169,8	157,0	132,1	111,2	94,5	220
278,6	266,7	255,7	241,9	229,4	215,2	183,5	158.4	135,7	240
314,2	305,8	295,4	283,3	270,0	257,9	225,9	198,6	172,8	260
355,6	349,1	336,8	328,2	317,4	304,8	274,3	241,5	214,5	280
403,7	396,3	389,2	378,9	369,2	357,0	329,8	297.9	265,0	300
484,5	475,6	466,9	458,6	442,8	431,6	401,3	366,9	331,4	320
518,5	508,9	499,6	490,7	473,8	461,8	429,4	392,6	354,6	340
554,7	544,4	534,5	520,4	506,9	494,1	455,8	414,1	374,5	360
618,1	606,7	595,6	579,8	564,8	550.6	507,9	461,4	417,3	400
783,4	776,1	761,8	748,1	728,4	715,9	669,7	619,7	564,9	450
874,0	865,8	849,9	834,6	812.6	791,8	747,1	691,3	630,2	500
960,0	942,1	933,3	916,4	892,0	869,0	812,9	752,2	685,7	550
037,7	1 018,3	1 008,9	990,5	964,2	939,3	878,7	813,1	741,2	600

3.9.22



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	12,7	30,5	21,8	17,0	13,1	10,0	7,9	6,4
140	15,7	37,7	30,4	25,6	20,7	16,6	13,4	10,9
160	19,4	46,6	40,1	35,8	30,4	25,3	20,8	17,2
180	22,6	54,2	48,4	44,5	39,0	33,7	28,3	23,6
200	26,9	64,6	*57,6*	55,7	50,0	44,8	39,1	33,6
220	32,2	77,3	*69,0*	*68,4*	64,4	59,0	51,0	45,5
240	38,4	92,2	*82,3*	*81,6*	79,4	73,7	67,3	60,2
260	43,4	104,2	*92,2*	*91,4*	*90,6*	86,8	80,1	72,3
280	48,6	116,6	*102,3*	*101,4*	*100,6*	99,7	94,8	87,7
300	56,7	136,1	*120,4*	*119,4*	*117,3*	*116,3*	*116,3*	110,6
320	62,2	149,3	*135,7*	*133,3*	*133,3*	*132,1*	*128,7*	123,4
340	66,7	160,1	*146,9*	*145,5*	*144,2*	*142,9*	*142,9*	136,8
360	71,4	171,4	*158,7*	*157,2*	*155,8*	*155,8*	*153,0*	150,3
400	79,5	190,8	*176,7*	*175,0*	*173,5*	*173,5*	*173,5*	*171,9*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

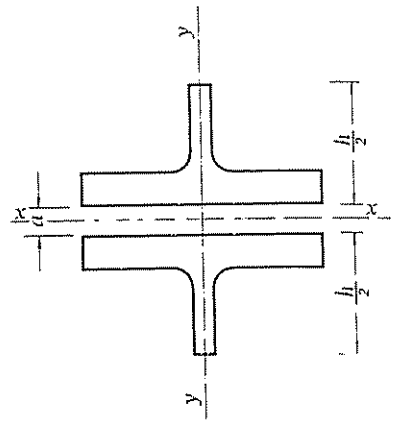
3.9.23



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									HEA
,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,2	4,3	3,7	3,2						120
9,0	7,6	6,4	5,5	4,8	4,2				140
14,3	12,1	10,2	8,8	7,6	6,7	5,9			160
20,0	16,9	14,4	12,5	10,9	9,6	8,5	6,8		180
28,4	24,5	21,2	18,4	16,0	14,1	12,5	10,0	8,2	200
39,6	34,5	30,1	26,0	22,9	20,3	18,1	14,4	11,8	220
53,0	46,8	41,1	35,9	31,8	28,4	25,0	20,1	16,7	240
65,5	58,2	51,3	45,3	40,5	35,9	32,0	26,0	21,3	260
80,4	72,4	65,2	58,3	52,1	46,7	42,0	34,1	28,2	280
03,9	94,5	86,7	79,1	72,0	65,1	59,2	48,3	40,3	300
15,7	107,4	98,9	90,5	82,0	74,6	67,5	55,7	46,5	320
30,1	123,1	114,3	106,0	97,0	89,4	82,1	68,7	57,6	340
45,2	138,2	130,8	122,4	113,5	105,1	96,8	82,0	70,5	360
70,4	164,5	159,0	151,4	143,5	136,3	128,1	112,2	97,8	400

3.9.23



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una λ de					
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	25,4	60,96	8,0	53,4	48,8	42,4	35,8	29,6	24,6
140	31,4	75,36	8,5	69,2	64,4	58,8	52,0	45,2	38,2
160	38,8	93,12	9,0	*83,2*	*83,2*	78,2	71,0	63,4	55,8
180	45,2	108,48	9,5	*95,2*	*95,2*	93,6	87,4	79,8	71,8
200	53,8	129,12	10,0	*111,4*	*111,4*	*111,4*	110,4	102,4	94,2
220	64,4	154,56	11,0	*132,2*	*132,2*	*132,2*	*132,2*	128,8	120,8
240	76,8	184,32	12,0	*157,6*	*157,6*	*157,6*	*157,6*	*157,6*	151,0
260	86,8	208,32	12,5	*176,6*	*176,6*	*176,6*	*176,6*	*176,6*	*176,6*
280	97,2	233,28	13,0	*194,4*	*194,4*	*194,4*	*194,4*	*194,4*	*194,4*
300	113,4	272,16	14,0	*226,8*	*226,8*	*226,8*	*226,8*	*226,8*	*226,8*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

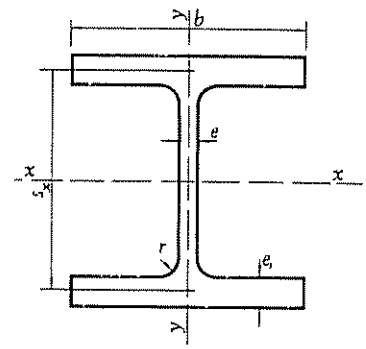
3.9.24



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									HEA
2,50	2,75	3.00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
24,8	17,6	15,0	12,8	11,2	9,8	8,6	7,0		120
32,8	27,8	24,0	21,0	18,2	16,2	14,4	11,4	9,4	140
48,6	42,2	36,8	32,2	28,4	25,0	22,0	18,0	14,6	160
63,0	55,6	49,0	43,4	38,0	33,8	30,2	24,2	20,0	180
85,6	76,0	68,4	61,0	53,8	48,2	43,4	35,0	28,8	200
111,2	102,4	92,6	84,0	75,0	67,2	61,0	50,0	41,0	220
141,8	131,6	120,4	110,4	101,2	92,2	83,4	68.8	57,4	240
168,0	156,6	144,6	134,4	122,6	113,2	102.6	85,8	71,8	260
194,4	186,6	175,4	162,0	150,6	139,6	128,2	108,6	92,2	280
226,8	226.8	219,4	209,4	195,8	185,2	171,2	148	128,4	300

3.9.24



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	64,4	154,56	113,7	102,7	93,6	84,3	75,1	68,3	61,2
140	80,6	193,44	154,8	144,4	133,4	123,2	112,5	103,4	93,9
160	97,1	233,04	197,5	187,9	179,3	167,7	156,4	144,7	133,9
180	113	271,20	240,0	231,8	222,3	211,9	202,4	188,3	177,3
200	131	314,40	285,8	278,2	268,7	259,8	251,5	240,0	226,2
220	149	357,60	331,1	325,1	316,5	308,3	300,5	288,4	277,2
240	200	480,00	452,8	444,4	436,4	428,6	417,4	406,8	393,4
260	220	528,00	502,9	493,5	488,9	480,0	471,4	463,2	451,3
280	240	579,00	548,6	543,4	538,3	533,3	523,6	514,3	505,3
300	303	727,20	699,2	692,6	686,0	679,6	673,3	661,1	649,3
320	312	748,80	720,0	713,1	706,4	699,8	693,3	680,7	668,6
340	316	758,40	729,2	722,3	715,5	708,8	702,2	689,5	677,1
360	329	765,60	736,2	729,1	722,3	708,9	702,4	696,0	683,6
400	326	782,40	752,3	745,1	738,1	724,4	717,8	704,9	692,4
450	335	804,00	773,1	765,7	751,4	744,4	737,6	724,3	705,3
500	344	825,60	786,3	778,9	771,6	764,4	750,5	737,1	724,2
550	354	849,60	809,1	801,5	794,0	786,7	772,4	758,6	745,3
600	364	873,60	832,0	824,2	808,9	801,5	794,2	773,1	759,7

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

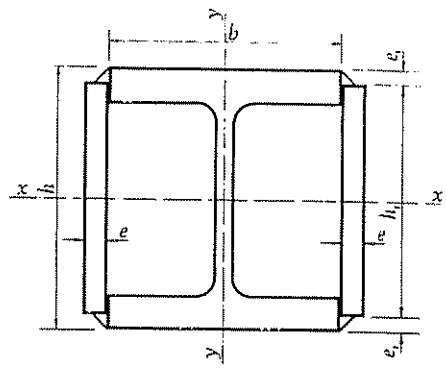
3.9.25

Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
50,3	41,2	34,7	29,4	25,3	22,0	17,0			120
78,3	65.1	55,3	47,3	40,9	35,3	27,5	23,2		140
114,8	97,1	82,6	70,8	61,2	53,8	41,7	33,5	27,2	160
155,9	133,6	116,4	100,1	87,9	76,4	59,9	48,1	39,3	180
202,8	177,6	157,2	136,7	120,9	105,9	83,4	67,2	55,2	200
251,8	227.8	202,2	178,8	319,3	141,3	112,8	91,7	74,8	220
369,2	338,0	305.7	275,9	246,2	220,2	179,1	145,9	121,5	240
425,8	397,0	364,1	332,1	303,4	275,0	222,8	184,6	152,6	260
480,0	450,0	423,5	391,8	357,8	325,4	271,7	224,1	188,9	280
626,9	596,1	563,7	530,8	494,7	451,7	384,8	320,4	271,3	300
640,0	613,8	580,5	546,6	502,6	465,1	390,0	329,9	276,3	320
648,2	621,6	583,4	545,6	509,0	465.3	395,0	329,7	275,8	340
654,4	622,4	588,9	546,9	507,0	469,7	392,6	328,6	275,4	360
668,7	631,0	597,3	551,0	511,4	468,5	391,2	326,0	273,6	400
681,4	643,2	604,5	558,3	512,1	472,9	396,1	325,5	273,5	450
693,8	655,2	607,1	569,4	519,2	474,5	395,0	326,3	274,3	500
708,0	663.8	620,1	570,2	527,7	480,0	395,2	330,6	275,0	550
722.0	677,2	628.5	578,5	529,5	480,0	395,3	326,0	272,1	600

3.9.25



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEM con dos platabandas soldadas

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	95,2	228,4	100 · 12	200,4	193,6	185,8	175,8	166,8	157,6	145,5
140	120	288,0	130 · 15	264,2	257,1	252,6	244,1	236,1	225,0	216,5
160	142	340,8	150 · 15	318,5	315,6	309,8	301,6	293,8	286,4	274,8
180	164	393,6	170 · 15	374,9	367,9	364,4	357,8	351,4	342,3	336,4
200	188	451,2	190 · 15	433,8	425,7	421,7	417,8	410,2	402,9	395,8
220	233	559,2	210 · 20	542,9	537,7	532,6	527,5	522,6	517,8	513,0
240	310	744,0	230 · 24	729,4	722,3	715,3	708,6	708,6	701,9	688,9
260	340	816,0	250 · 24	800,0	792,2	792,2	784,6	777,1	777,1	769,8
280	370	888,0	270 · 24	870,6	870,6	862,1	862,1	853,8	845,7	845,7
300	447	1 072,8	300 · 24	1 051,8	1 051,8	1 051,8	1 041,6	1 041,6	1 031,5	1 021,7
320	504	1 209,6	320 · 24	1 197,6	1 185,9	1 185,9	1 174,4	1 174,4	1 163,1	1 163,1
340	520	1 248,0	340 · 30	1 235,6	1 223,5	1 223,5	1 223,5	1 211,7	1 211,7	1 200,0
360	529	1 269,6	350 · 30	1 257,0	1 244,7	1 244,7	1 244,7	1 232,6	1 232,6	1 220,8
400	560	1 344,0	390 · 30	1 330,7	1 317,6	1 317,6	1 317,6	1 304,9	1 304,9	1 292,3
450	599	1 437,6	440 · 30	1 423,4	1 409,4	1 409,4	1 409,4	1 395,7	1 395,7	1 382,3
500	632	1 516,8	480 · 30	1 501,8	1 487,1	1 487,1	1 487,1	1 472,6	1 472,6	1 458,5
550	672	1 612,8	530 · 30	1 596,8	1 581,2	1 581,2	1 581,2	1 565,8	1 565,8	1 550,8
600	712	1 708,8	580 · 30	1 691,9	1 675,3	1 675,3	1 675,3	1 659,0	1 659,0	1 643,1

$\lambda > 200$

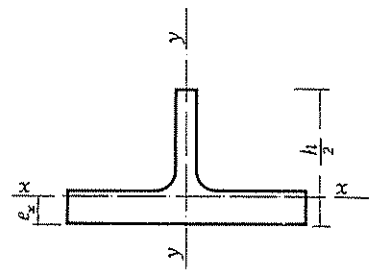
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.26

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
127,6	109,3	94,0	82,2	71,2	62,1	48,8	38,9	32,0	120
195,9	174,5	154,0	135,8	120,0	106,3	84,2	68,1	55,4	140
254,3	231,8	209,1	187,3	167,9	150,1	120,9	98,5	81,5	160
314,9	293,7	271,4	247,5	222,4	201,8	166,1	135,7	112,5	180
379,2	361,0	336,7	311,2	287,4	262,3	219,0	180,5	151,9	200
494,9	477,9	458,4	433,5	411,2	385,7	328,9	283,9	240,0	220
676,4	658,4	635,9	609,8	581,3	555,2	473,9	427,6	372.0	240
755,6	735,1	715,8	697,4	668,9	637,5	574,6	513,2	448,4	260
829,9	814,7	792,9	772,2	752,5	722,0	662,7	596,0	521,7	280
1 012,1	993,3	975,3	949,4	916,9	894,0	825,2	755,5	674,7	300
1 141,1	1 130,5	1 109,7	1 089,7	1 061,1	1 033,8	967,7	889,4	811,8	320
1 177,4	1 166,4	1 145,0	1 124,3	1 094,7	1 066,7	1 006,5	931,3	849,0	340
1 197,7	1 186,5	1 164,8	1 143,8	1 113,7	1 085,1	1 023,9	947,5	863,7	360
1 280,0	1 256,1	1 244,4	1 221,8	1 189,4	1 158,6	1 083,9	1 003,0	914,3	400
1 369,1	1 343,6	1 331,1	1 306,9	1 272,2	1 239,3	1 178,4	1 097,4	998,3	450
1 444,6	1 417,6	1 404,4	1 378,9	1 342,3	1 307,6	1 243,3	1 157,9	1 053,3	500
1 536,0	1 521,5	1 493,3	1 466,2	1 440,0	1 402,4	1 322,0	1 231,1	1 120,0	550
1 627,4	1 612,1	1 582,2	1 553.5	1 525,7	1 485,9	1 400,7	1 314,5	1 203,4	600

3.9.26



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	33,2	79,68	65,3	55,3	45,0	36,1	29,0	23,9
140	40,3	96,72	84,1	74,9	64,1	53,1	44,4	36,6
160	48,5	116,40	104,9	97,0	86,9	75,1	63,3	53,4
180	56,6	135,84	125,8	118,1	108,7	97,7	85,4	73,8
200	65,6	157,44	147,1	140,6	132,3	121,1	108,6	95,4
220	74,7	179,28	170,7	164,5	155,9	145,8	133,8	120,3
240	99,8	239,52	230,3	223,9	213,9	204,7	191,6	176,1
260	110	264,00	253,8	249,1	242,2	231,6	218,2	204,7
280	120	288,00	279,6	274,3	266,7	257,1	246,2	234,1
300	152	364,80	357,6	350,8	340,9	334,7	320,0	306,6
320	156	374,40	367,1	360,0	353,2	346,7	334,3	322,8
340	158	379,20	371,8	368,2	361,1	354,4	347,9	335,6
360	159	381,60	374,1	370,5	366,9	360,0	353,3	343,8
400	163	391,20	*383,5*	*383,5*	379,8	372,6	369,1	362,2

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión y torsión.

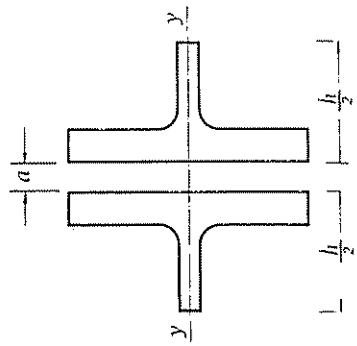
3.9.27



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

...itud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
19,7	16,5	14,0	12,0	10,4	9,1				120
30,5	25,7	21,8	18,8	16,5	14,4	12,7	10,1		140
45,3	38,7	33,3	28,5	24,9	21,9	19,4	15,4	12,6	160
63,2	54,3	46,8	40,8	35,7	31,4	27,8	22,2	18,3	180
83,3	72,2	63,0	55,8	49,0	43,4	38,5	30,9	25,3	200
107,4	94,9	83,4	72,6	64,5	57,3	51.2	41,4	34,1	220
158,6	143.4	128,1	114,6	101,1	90,7	81,5	66,0	54,7	240
188,6	170,3	153,5	139,7	124,5	111,4	101,5	82,2	68,4	260
216,5	200,0	183,4	167,4	152,4	137,8	123,6	102,1	85,2	280
291,8	272,2	253,3	232,4	212,1	195,1	177,1	146,5	124,1	300
309,4	292,5	275,3	258,2	235,5	217,7	200,2	169,4	141,8	320
324,1	308,3	293,9	276,8	258,0	238,5	220,5	189,6	160,0	340
334,7	320,7	307,7	293.5	274.5	259,6	240,0	207,4	180.0	360
355.6	343,2	334,4	323,3	310,5	294,1	279,4	249,2	218,5	400

3.9.27



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una					
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	66,4	159,36	17,5	153,2	148,9	142,3	136,2	127,5	117,2
140	80,6	193,44	19,0	187,8	182,5	177,5	171,2	162,6	153,5
160	97,0	232,80	21,0	226,0	221,7	217,6	211,6	204,2	194,0
180	113,2	271,68	22,5	266,4	261,2	256,3	251,6	242,6	234,2
200	131,2	314,88	24,5	*308,7*	305,7	299,9	294,3	288,9	278,7
220	149,4	358,56	26,0	*348,1*	*348,1*	344,8	338,3	332,0	326,0
240	199,6	479,04	30,0	*469,6*	*469,6*	465,1	460,6	451,9	443,6
260	220	528,00	31,5	*517,6*	*517,6*	512,6	507,8	502,9	493,5
280	240	576,00	33,0	*559,2*	*559,2*	*559,2*	559,2	548,6	543,2
300	304	729,60	36,5	*715,3*	*715,3*	*715,3*	708,3	708,3	694,9

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

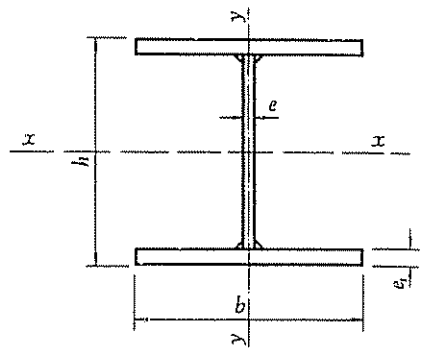
3.9.28



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ongitud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
105.5	95,4	85,2	76,2	67,2	60,4	54,2	43,9	36,4	120
141,2	129,8	117,2	106,3	95,3	86,4	77,4	63,4	52,6	140
184,8	171,2	158,4	144,6	133,8	121,3	109,8	92,0	76,3	160
224,5	212,3	199,8	184,8	170,9	158,0	145,3	121,3	102,9	180
269,1	258,1	244,1	229,8	217,2	200,6	185,2	159,8	135,1	200
314,5	303,9	291,5	277,9	261,7	247,3	231,3	200,3	171,6	220
435,5	423,9	413,0	399.2	383,2	368,5	349,7	313,1	275,3	240
484,4	475,7	463.2	451.3	436,4	419,0	403,1	364,1	323,9	260
533,3	528,4	514,3	500,9	488,1	472,1	457,1	414,4	376,5	280
688,3	675,6	669,4	651,4	640,0	623,6	608,0	565,6	524,9	300

3.9.28



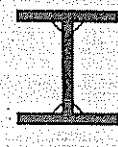
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil PCS[1] (h = b)

PCS	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
400/138	176,3	423,12	414,8	410,8	410,8	406,8	403,0	399,2	399,2
400/169	215,2	516,48	506,4	506,4	501,4	496,6	491,9	491,9	487,2
400/191	243,8	585,12	573,6	573,6	568,1	562,6	562,6	557,3	552,0
400/228	290,3	696,72	683,1	683,1	676,4	676,4	669,9	663,5	657,3
400/267	340,0	816,00	800,0	800,0	792,2	784,6	784,6	777,1	769,8
400/297	378,9	909,36	891,5	891,5	882,9	882,9	874,4	866,1	857,9
400/323	411,3	987,12	967,8	967,8	958,4	958,4	949,2	940,1	931,2
400/365	465,0	1 116,00	1 094,1	1 094,1	1 083,5	1 083,5	1 073,1	1 062,9	1 052,8
500/223	283,8	681,12	674,4	667,8	667,8	667,8	661,3	661,3	654,9
500/268	342,2	821,28	821,3	805,2	805,2	805,2	797,4	797,4	789,7
500/309	393,2	943,68	943,7	925,2	925,2	925,2	916,2	916,2	907,4
500/346	441,3	1 059,12	1 059,1	1 038,4	1 038,4	1 038,3	1 028,3	1 028,3	1 018,4
500/384	489,4	1 174,56	1 174,6	1 151,5	1 151,5	1 151,5	1 151,5	1 140,3	1 140,3
500/437	556,8	1 336,32	1 336,3	1 310,1	1 310,1	1 310,1	1 310,1	1 297,4	1 297,4
500/460	586,0	1 406,40	1 406,4	1 406,4	1 378,8	1 378,8	1 378,8	1 365,4	1 365,4
600/372	474,2	1 138,08	1 138,1	1 138,1	1 226,8	1 115,8	1 115,8	1 115,8	1 115,8
600/418	532,3	1 277,52	1 277,5	1 277,5	1 277,5	1 252,5	1 252,5	1 252,5	1 252,5
600/463	590,4	1 416,96	1 417,0	1 417,0	1 417,0	1 389,2	1 389,2	1 389,2	1 389,2
600/491	625,3	1 500,72	1 500,7	1 500,7	1 500,7	1 485,9	1 471,3	1 471,3	1 471,3
600/527	671,8	1 612,32	1 612,3	1 612,3	1 612,3	1 596,4	1 580,7	1 580,7	1 580,7
600/555	707,0	1 696,80	1 696,8	1 696,8	1 696,8	1 680,0	1 663,5	1 663,5	1 663,5

[1] Ver los valores estáticos en PUBLICACIONES ENSIDESA Tomo 2
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

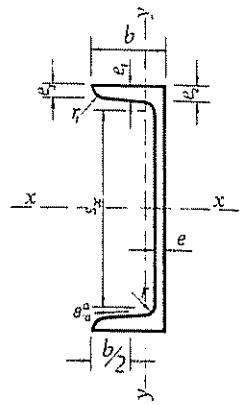
3.9.29



Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ongitud de pandeo l_k en metros									PCS
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
391,8	381,2	371,2	358,6	344,0	328,0	293,8	259,6	226,3	400/138
478,2	469,5	453,1	441,4	426,8	409,9	368,9	329,0	288,5	400/169
541.8	531,9	513,3	500,1	483,6	464,4	420,9	372,7	326,9	400/191
645,1	633,4	616,6	600,6	580.6	557,4	508,6	455,4	400,4	400/228
755,6	741.8	722.1	703,4	680,0	652,8	595,6	529,9	469,0	400/267
842,0	826,7	811,9	783,9	757,8	727,5	663,8	594,4	522,6	400/297
914,0	897,4	881,4	851.0	822,6	789,7	720,5	641,0	567,3	400/323
1 033,3	1 023,9	996,4	962,1	930,0	892,8	820,6	739,1	648,8	400/365
648,7	642.6	630,7	619,2	608,1	592,3	558.3	519,9	473,0	500/223
782,2	774.8	760,4	753,5	733,3	720,4	684,4	636,7	586.6	500/268
898,7	890,3	873,8	857,9	842,6	820,6	779,9	725,9	674,1	500/309
1 008,7	999,2	980,7	971.7	945,6	929,1	882,6	821.0	756,5	500/346
1 118,6	1 108,1	1 087,6	1 077,6	1 058,2	1 030,3	978,8	917,6	845,0	500/384
1 272,7	1 260.7	1 248,9	1 225,9	1 203,9	1 182,6	1 113,6	1 060,6	975,4	500/437
1 352,3	1 326,8	1 314.4	1 290,3	1 278,6	1 244,6	1 191,9	1 116,2	1 034.1	500/460
1 104.9	1 094,3	1 083.9	1 073,7	1 053,8	1 044,1	1 007,2	964,5	910,5	600/372
1 240,3	1 228.4	1 216.7	1 205,2	1 182,9	1 172,0	1 140.6	1 091,9	1 038.6	600/418
1 375,7	1 362.5	1 349.5	1 336,8	1 324,3	1 312,0	1 265,1	1 211.1	1 161,4	600/463
1 457,0	1 443,0	1 429,3	1 415.8	1 402,5	1 389,6	1 339,9	1 282,7	1 230,1	600/491
1 565.4	1 550,3	1 535,5	1 521,1	1 506,8	1 492.9	1 439,6	1 389,9	1 332.5	600/527
1 647,4	1 631,5	1 616,0	1 600,8	1 585,8	1 571,1	1 515,0	1 462,8	1 402,3	600/555



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil UPN

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
80	11,0	26,40	18,9	14,7	11,3	8,8	7,0	5,6	
100	13,5	32,40	24,9	20,4	16,2	12,8	10,2	8,3	
120	17,0	40,80	33,2	28,1	22,8	18,2	14,8	12,1	
140	20,4	48,96	41,8	36,5	30,8	25,1	20,7	17,1	
160	24,0	57,60	50,5	45,7	39,2	33,1	27,6	23,0	
180	28,0	67,20	60,0	55,1	49,1	41,7	35,6	29,6	
200	32,2	77,28	70,2	65,5	59,0	51,2	43,7	37,5	
220	37,4	89,76	83,1	78,1	71,8	64,1	55,8	48,0	
240	42,3	101,52	94,0	89,8	83,2	75,8	66,4	58,3	
260	48,3	115,92	108,3	104,4	98,2	89,9	80,5	71,1	
280	53,3	127,92	120,7	117,4	111,2	103,2	94,1	84,7	
300	58,8	141,12	134,4	129,5	124,9	117,6	108,6	98,0	

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

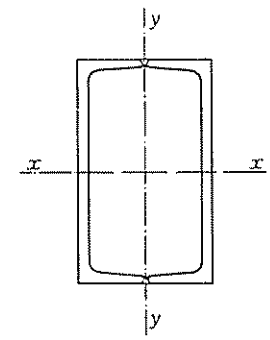
3.9.30



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ıgitud de pandeo l_k en metros									UPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
4,7	3,9	3,3	2,8						80
6,9	5,7	4,9	4,2	3,6					100
10,0	8,4	7,2	6,1	5,4	4,7				120
14,3	12,0	10,2	8,9	7,7	6,7	6,0			140
19,1	16,2	13,9	12,0	10,5	9,3	8,1	6,5		160
25,1	21,2	18,3	15,9	13,8	12,2	10,8	8,6	7,0	180
31,8	27,0	23,5	20,3	17,6	15,6	13,8	11,0	9,0	200
41,1	35,5	30.5	26,6	23,6	20,7	18,4	14,8	12,1	220
50,8	43,6	37,9	32,9	29,0	25,7	22,9	18,4	15,0	240
62,0	54,7	47,7	41,7	36,6	32,3	29,0	23,2	19,2	260
75,2	66,6	57,9	51,2	45,4	40,4	36,0	29,2	23,9	280
88,8	78,8	70,6	62,2	54,9	49,3	44,0	25,7	29,2	300

3.9.30



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

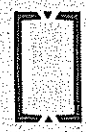
Dos perfiles UPN

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	22,0	52,8	*35,9*	*32,3*	*29,0*	*26,0*	23,2	*20,8*	18,7
100	27,0	64,8	51,4	48,3	44,6	40,7	37,6	34,2	31,0
120	34,0	81,6	69,1	65,8	62,2	58,2	54,0	50,0	46,1
140	40,8	97,9	85,8	82,2	78,9	74,7	70,4	65,7	61,5
160	48,0	115,2	102,8	100,1	96,8	92,9	88,6	84,0	79,4
180	56,0	134,4	123,3	120,0	116,8	113,9	109,2	104,1	100,3
200	64,4	154,5	143,1	140,5	138,0	134,4	130,9	125,6	120,7
220	74,8	179,5	167,7	166,2	163,2	158,8	154,7	150,8	145,9
240	84,6	203,0	191,5	189,7	186,2	184,5	179,5	175,0	170,6
260	96,6	231,8	220,8	218,7	214,6	212,7	208,8	203,3	199,8
280	107	256,8	246,9	242,2	240,0	237,7	233,4	229,2	225,2
300	118	283,2	272,3	269,7	267,1	264,6	259,8	257,4	252,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión, que se presenta en el plano y-y.

3.9.31

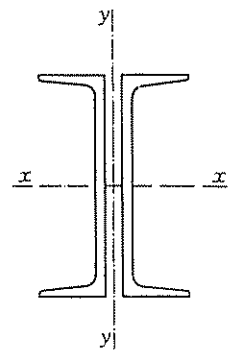


Acero A 37

$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
15,2	*12,6*	*10,5*	*8,9*	*7,6*	*6,6*				80
25,9	21,8	18,2	15,6	13,5	11,7	9,14	7,26		100
39,0	33,0	28,1	24,1	21,1	18,4	14,3	11,4	9,1	120
53,2	45,5	39,1	33,7	29,4	25,7	20,2	16,1	13,2	140
70,6	61,6	53,5	46,6	40,8	35,0	28,1	22,6	18,5	160
90,2	80,4	70,0	61,6	54,4	48,3	38,4	30,6	25,3	180
111,1	99,7	89,8	79,2	70,8	62,5	50,0	40,5	33,3	200
134,9	124,6	112,9	101,4	91,1	81.2	65,2	53,1	43,8	220
161,1	149,2	136,2	124,5	111,5	101,5	82,2	67,4	55,9	240
190.0	193,2	165,6	151,5	138,8	126,0	103,5	85,55	71,3	260
215,8	203,8	191,6	177,1	161,5	149,3	122,8	102,7	85,3	280
242,0	230,2	217,8	203,7	187,5	173,7	145,2	121,5	102,9	300

3.9.31



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN con distintas separaciones entre almas

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	s mm	Resistencia en t para una λ =						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	22,0	52,8	8	24,2	20,8	17,9	15,6	13,6	12,1	10,8
100	27,0	64,8	8	33,2	28,5	24,9	21,8	19,1	16,7	14,9
120	34,0	81,6	8	44,3	39,0	34,0	29,6	26,0	23,3	20,6
140	40,8	97,9	8	59,3	52,3	46,1	40,8	36,1	32,1	28,6
160	48,0	115,2	10	76,9	68,3	61,4	54,8	48,4	43,3	39,1
180	56,0	134,4	10	92,6	83,4	75,0	67,2	60,8	54,4	48,8
200	64,4	154,5	10	112,8	103,7	93,6	84,0	76,1	68,0	61,8
220	74,8	179,5	12	138,1	128,2	117,3	107,5	97,5	88,4	80,1
240	84,6	203,0	12	161,1	149,2	140,0	127,7	116,8	105,7	97,1
260	96,6	231,8	12	188,4	178,3	165,6	153,5	140,5	129,5	118,8
280	107,0	256,8	12	215,8	205,4	193,0	180,8	167,8	155,6	143,4
300	118,0	282,2	12	242,0	234,0	221,2	208,2	195,3	182,7	169,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.32

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
8,6	7,0	5,8							80
12,0	9,8	8,2	6,9						100
16,5	13,6	11,3	9,6						120
23,2	18,8	15,7	13,3	11,4					140
31,5	25,9	21,6	18,3	15,6	13,6				160
39,7	32,8	27,5	23,3	20,0	17,3				180
50,0	41.5	34,8	29,7	25,5	22,2	17,1			200
66,2	55,2	46,5	39,6	34,1	29,6	22,9			220
80,2	67,4	57,1	48,5	42,0	36.3	28,4	22,5		240
89.5	83,4	70,4	60,8	52,3	45,5	35,1	28,2		260
121.1	102,7	86,4	74,2	64,2	56,0	43,7	34,9	28,5	280
145,2	123,1	105,6	91,6	78,8	69,2	53,8	42,9	35,3	300

3.9.32

Dos perfiles UPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una							l
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
80	22,0	52,8	(4) 35,9	(5) 32,4	(5) 29,0	(5) 26,0	(6) 23,3	(6) 20,9	(7) 18,7	
100	27,0	64,8	(4) 52,7	(4) 49,9	(5) 46,3	(5) 42,9	(5) 39,3	(6) 36,2	(6) 33,2	
120	34,0	81,6	(4) 71,6	(4) 68,6	(4) 65,8	(5) 62,8	(5) 58,7	(5) 55,5	(6) 51,3	
140	40,8	97,9	(4) 89,8	(4) 87,4	(4) 85,2	(4) 82,3	(4) 79,6	(5) 75,9	(5) 73,1	
160	48,0	115,2	(4) 107,7	(4) 106,7	(4) 104,7	(4) 102,0	(4) 99,3	(4) 96,8	(5) 93,7	
180	56,0	134,4	(4) 128,0	(4) 125,6	(4) 124,4	(4) 122,2	(4) 120,0	(4) 117,9	(4) 114,9	
200	64,4	154,6	(4) 148,6	(4) 147,2	(4) 145,8	(4) 143,1	(4) 141,8	(4) 139,2	(4) 136,8	
220	74,8	179,5	(4) 174,3	(4) 172,6	(4) 171,0	(4) 169,4	(4) 167,8	(4) 166,2	(4) 163,2	
240	84,6	203,0	(4) 197,1	(4) 197,1	(4) 195,2	(4) 193,4	(4) 191,6	(4) 189,8	(4) 188,0	
260	96,6	231,8	(4) 227,3	(4) 225,1	(4) 225,1	(4) 222,9	(4) 220,8	(4) 218,7	(4) 216,7	
280	107	256,8	(4) 251,8	(4) 251,8	(4) 249,3	(4) 249,3	(4) 246,9	(4) 244,6	(4) 242,3	
300	118	283,2	(4) 277,7	(4) 277,7	(4) 277,7	(4) 275,0	(4) 275,0	(4) 272,3	(4) 269,7	

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

UPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
80	7,15	6,48	6,18	6,01	5,91	5,84	5,79	5,76	5,73	
100	10,05	8,75	8,21	7,93	7,75	7,64	7,56	7,50	7,46	
120	13,06	10,90	10,07	9,65	9,39	9,23	9,12	9,04	8,98	
140	17,01	13,49	12,26	11,66	11,30	11,08	10,92	10,81	10,73	
160	21,45	16,04	14,35	13,55	13,09	12,79	12,60	12,45	12,35	
180	26,95	18,73	16,48	15,44	14,86	14,49	14,24	14,07	13,94	
200	34,99	21,76	18,76	17,44	16,70	16,25	15,94	15,72	15,57	1
220	43,49	24,68	21,00	19,41	18,55	18,01	17,66	17,40	17,22	1
240	*	28,06	23,37	21,44	20,40	19,77	19,35	19,05	18,83	1
260	*	31,55	25,80	23,52	22,31	21,57	21,09	20,75	20,50	2
280	*	35,57	28,60	25,92	24,52	23,68	23,12	22,73	22,45	2
300	*	39,19	31,08	28,04	26,47	25,53	24,91	24,48	24,16	2

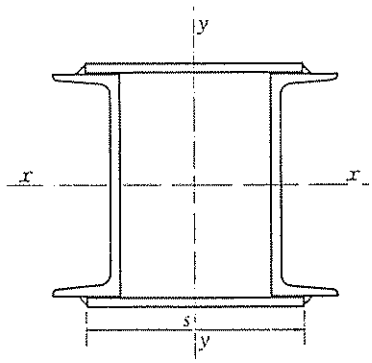
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

3.9.33

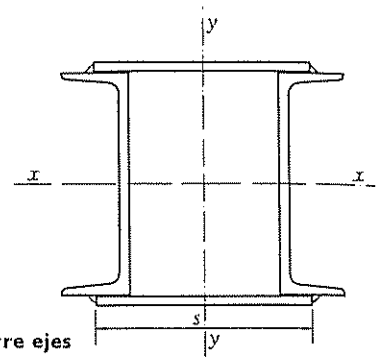
Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
15,3	(8) 12,6	(9) 10,6	(10) 8,9	(10) 7,7	(11) 6,7				80
27,8	(7) 23,3	(8) 19,7	(9) 17,0	(9) 14,0	(10) 12,7	(11) 9,8	(13) 7,9		100
44,8	(7) 38,5	(7) 33,0	(8) 28,5	(9) 24,8	(9) 21.6	(11) 17,1	(12) 13,6	(13) 11,2	120
64,9	(6) 57,6	(7) 51,0	(7) 44,9	(8) 39,6	(8) 35,2	(10) 27,6	(11) 22,4	(12) 18,4	140
86,6	(6) 78,4	(6) 70,7	(7) 63,3	(7) 56,8	(8) 50,8	(9) 40,9	(10) 33,3	(11) 27,6	160
108,4	(5) 101,1	(6) 93,3	(6) 85,6	(7) 77,2	(7) 70,0	(8) 57,7	(9) 47,0	(10) 39,3	180
132.1	(5) 124,7	(6) 118,0	(6) 108,9	(7) 101,0	(7) 92,6	(8) 77,3	(9) 64,4	(10) 54,0	200
157,5	(5) 152,1	(5) 144,8	(6) 137,0	(6) 128,2	(7) 118,9	(7) 103,2	(8) 87,2	(9) 73,9	220
182,9	(5) 178,1	(5) 170,6	(5) 163,7	(6) 156,2	(6) 146,1	(7) 127,7	(8) 110,4	(9) 94,4	240
212,7	(4) 207,0	(5) 201,6	(5) 194,8	(6) 187,0	(6) 178,3	(7) 159,9	(8) 140,5	(8) 122,7	260
240,0	(4) 235,6	(5) 229,3	(5) 223,3	(5) 215,8	(6) 208,8	(6) 193,1	(7) 170,1	(8) 151,1	280
267,2	(4) 262,2	(4) 257,5	(5) 252,9	(5) 244,1	(5) 238,0	(6) 221,3	(7) 202,3	(7) 180,4	300

13	14
5.71	5,70
7.43	7,40
8,93	8,89
0.67	10,62
2,27	12,20
3,84	13,76
5,44	15,35
7,08	16,97
8,67	18,54
0,31	20,16
2.23	22,07
3.92	23,74



3.9.33



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

UPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
80	150	*35,9*	*32,4*	*29,0*	*26,0*	*23,3*	*20,9*	*18,7*	*15,3*	*12,6*
	200	*35,9*	*32,4*	*29,0*	*26,0*	*23,3*	*20,9*	*18,7*	*15,3*	*12,6*
	250	*35,9*	*32,4*	*29,0*	*26,0*	*23,3*	*20,9*	*18,7*	*15,3*	*12,6*
100	150	*52,7*	*49,8*	*46,3*	*42,9*	*39,3*	*36,2*	*33,2*	*27,8*	*23,3*
	200	*52,7*	*49,8*	*46,3*	*42,9*	*39,3*	*36,2*	*33,2*	*27,8*	*23,3*
	250	*52,7*	*49,8*	*46,3*	*42,9*	*39,3*	*36,2*	*33,2*	*27,8*	*23,3*
120	150	*71,6*	*68,6*	*65,8*	*62,8*	*58,7*	*55,5*	*51,3*	*44,8*	*38,5*
	200	*71,6*	*68,6*	*65,8*	*62,8*	*58,7*	*55,5*	*51,3*	*44,8*	*38,5*
	250	*71,6*	*68,6*	*65,8*	*62,8*	*58,7*	*55,5*	*51,3*	*44,8*	*38,5*
140	150	*86,6*	*87,4*	*84,4*	*82,3*	*79,6*	*75,9*	*73,1*	*64,8*	*58,6*
	200	*89,8*	*87,4*	*85,1*	*82,3*	*79,6*	*75,9*	*73,1*	*64,8*	*58,6*
	250	*89,8*	*87,4*	*85,1*	*82,3*	*79,6*	*75,9*	*73,1*	*64,8*	*58,6*
160	150	*102,9*	*101,1*	*99,3*	*98,5*	*99,3*	*94,4*	*92,9*	*86,6*	*78,4*
	200	*104,7*	*104,7*	*102,9*	*101,9*	*99,3*	*96,8*	*93,7*	*86,6*	*78,4*
	250	*105,7*	*105,7*	*104,7*	*101,9*	*99,3*	*96,8*	*93,7*	*86,6*	*78,4*
180	150	*120,0*	*117,9*	*115,9*	*114,9*	*112,9*	*110,2*	*108,4*	*103,4*	*96,7*
	200	*122,2*	*122,2*	*120,0*	*120,0*	*117,9*	*117,9*	*114,9*	*108,4*	*101,1*
	250	*123,3*	*123,3*	*123,3*	*122,2*	*120,0*	*117,9*	*114,9*	*108,4*	*101,1*
200	150	*138,0*	*135,6*	*134,4*	*132,1*	*129,9*	*126,7*	*124,6*	*118,9*	*111,2*
	200	*140,5*	*140,5*	*138,0*	*138,0*	*135,6*	*135,6*	*133,2*	*131,0*	*124,6*
	250	*141,8*	*141,8*	*141,8*	*140,5*	*139,2*	*138,0*	*136,8*	*132,1*	*124,6*
220	200	*163,2*	*163,2*	*160,3*	*160,3*	*157,5*	*157,5*	*154,8*	*152,1*	*147,1*
	250	*164,7*	*164,7*	*164,7*	*163,2*	*161,7*	*160,3*	*160,3*	*157,5*	*152,1*
	300	*166,2*	*166,2*	*164,7*	*164,7*	*164,7*	*163,2*	*163,2*	*160,3*	*152,1*
240	200	*184,6*	*184,6*	*181,3*	*181,3*	*178,1*	*178,1*	*175,0*	*172,1*	*166,4*
	250	*186,3*	*186,3*	*186,3*	*184,6*	*182,9*	*181,3*	*179,7*	*178,1*	*175,0*
	300	*188,0*	*188,0*	*186,3*	*186,3*	*186,3*	*184,6*	*184,6*	*181,3*	*178,1*
260	200	*210,8*	*210,8*	*208,9*	*207,0*	*205,2*	*203,4*	*199,9*	*196,5*	*190,0*
	250	*212,7*	*212,7*	*212,7*	*210,8*	*208,9*	*207,0*	*207,0*	*203,4*	*199,9*
	300	*214,7*	*214,7*	*212,7*	*212,7*	*212,7*	*210,8*	*210,8*	*207,0*	*205,2*
280	200	*232,6*	*232,6*	*230,5*	*228,4*	*226,4*	*224,4*	*220,6*	*216,8*	*209,7*
	250	*234,7*	*234,7*	*234,7*	*232,6*	*232,6*	*228,4*	*228,4*	*224,4*	*220,6*
	300	*236,9*	*236,9*	*234,7*	*234,7*	*234,7*	*232,6*	*232,6*	*228,4*	*226,4*
300	200	*256,6*	*256,6*	*254,3*	*252,0*	*249,8*	*247,6*	*245,4*	*239,2*	*223,3*
	250	*261,3*	*258,9*	*258,9*	*256,6*	*256,6*	*252,0*	*252,0*	*247,6*	*243,3*
	300	*261,3*	*261,3*	*258,9*	*258,9*	*258,9*	*256,6*	*256,6*	*252,0*	*249,8*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.

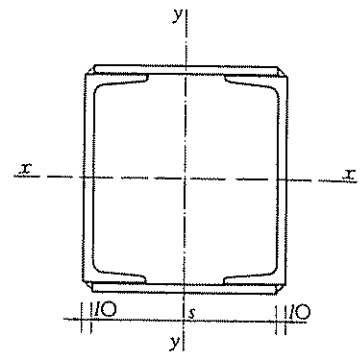
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.34

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

d de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	UPN
,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
10,6	8,9	7,7	6,6				150 · 100 · 6	4	150	
10,6	8,9	7,7	6,6				200 · 100 · 6	4	200	80
10,6	8,9	7,7	6,6				250 · 100 · 6	4	250	
19,7	17,0	14,6	12,7	9,8	7,9		150 · 100 · 6	4	150	
19,7	17,0	14,6	12,7	9,8	7,9		200 · 100 · 6	4	200	100
19,7	17,0	14,6	12,7	9,8	7,9		250 · 100 · 6	4	250	
33,0	27,6	24,8	21,6	17,1	13,6	11,2	150 · 100 · 6	4	150	
33,0	27,6	24,8	21,6	17,1	13,6	11,2	200 · 100 · 6	4	200	120
33,0	27,6	24,8	21,6	17,1	13,6	11,2	250 · 100 · 6	4	250	
51,0	47,5	39,6	35,2	27,6	22,4	18,4	150 · 100 · 8	4	150	
51,0	47,5	39,6	35,2	27,6	22,4	18,4	200 · 100 · 8	4	200	140
51,0	47,5	39,6	35,2	27,6	22,4	18,4	250 · 100 · 8	4	250	
70,7	63,3	56,7	50,7	40,9	33,3	27,6	150 · 150 · 6	4	150	
70,7	63,3	56,7	50,7	40,9	33,3	27,6	200 · 150 · 6	4	200	160
70,7	63,3	56,7	50,7	40,9	33,3	27,6	250 · 150 · 6	4	250	
91,4	84,5	77,2	70,0	57,7	47,7	39,3	150 · 150 · 8	4	150	
93,3	85,6	77,2	70,0	57,7	47,7	39,3	200 · 150 · 8	4	200	180
93,3	85,6	77,2	70,0	57,7	47,7	39,3	250 · 150 · 8	4	250	
05,1	97,2	90,9	84,0	70,9	60,1	51,3	150 · 150 · 8	4	150	
18,0	108,8	101,0	92,6	77,3	64,4	52,2	200 · 150 · 8	4	200	200
18,0	108,8	101,0	92,6	77,3	64,4	52,2	250 · 150 · 8	4	250	
42,5	137,0	128,2	118,9	103,2	87,1	73,9	200 · 200 · 6	4	200	
44,8	137,0	128,2	118,9	103,2	87,1	73,9	250 · 200 · 6	4	250	220
44,8	137,0	128,2	118,9	103,2	87,1	73,9	300 · 200 · 6	4	300	
57,4	155,0	148,2	141,0	127,7	110,3	95,8	200 · 200 · 8	4	200	
70,6	163,7	156,2	146,1	127,7	110,3	95,8	250 · 200 · 8	4	250	240
70,6	163,7	156,2	146,1	127,7	110,3	95,8	300 · 200 · 8	4	300	
90,0	177,0	169,2	161,0	145,8	129,5	122,7	200 · 200 · 8	4	200	
96,5	191,6	187,0	178,3	159,9	140,5	122,7	250 · 200 · 8	4	250	260
01,6	194,8	187,0	178,3	159,9	140,5	122,7	300 · 200 · 8	4	300	
04,7	196,0	188,1	180,2	160,9	142,9	127,9	200 · 250 · 8	4	200	
16,8	211,4	206,3	199,9	188,1	169,4	150,5	250 · 250 · 8	4	250	280
24,4	220,6	215,0	208,0	190,9	169,4	150,5	300 · 250 · 8	4	300	
26,8	217,1	207,5	198,8	177,5	159,5	141,1	200 · 250 · 8	4	200	
39,2	233,3	227,6	220,5	207,5	192,0	175,3	250 · 250 · 8	4	250	300
47,6	243,3	241,2	235,2	220,5	201,6	182,1	300 · 250 · 8	4	300	

3.9.34



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN con dos platabandas soldadas ($\lambda_x \approx \lambda_y$)

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una:						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
100	44,6	107	110 · 8	92,3	89,2	85,0	80,5	75,4	70,0	65,7
120	54,8	131	130 · 8	119,6	117,4	113,4	109,6	105,2	101,2	96,0
140	72,8	174	160 · 10	164,8	161,8	158,8	156,0	151,9	148,1	143,2
160	84	201	180 · 10	192,0	190,2	186,7	185,0	181,6	178,4	173,8
180	96	230	200 · 10	221,5	219,4	217,4	215,3	213,3	209,5	205,7
200	108	259	220 · 10	251,7	249,2	246,9	244,5	242,2	240,0	237,8
220	123	295	240 · 10	289,4	286,6	283,8	281,1	281,1	278,5	275,9
240	135	324	250 · 10	317,6	317,6	314,6	311,6	311,6	308,6	305,7
260	153	367	280 · 10	360,0	360,0	360,0	356,5	353,1	353,1	349,7
280	167	325	300 · 10	396,8	392,9	392,9	392,9	389,1	389,1	385,4
300	194	465	320 · 12	465,6	456,5	456,5	456,5	452,0	452,0	447,7

$\lambda > 200$

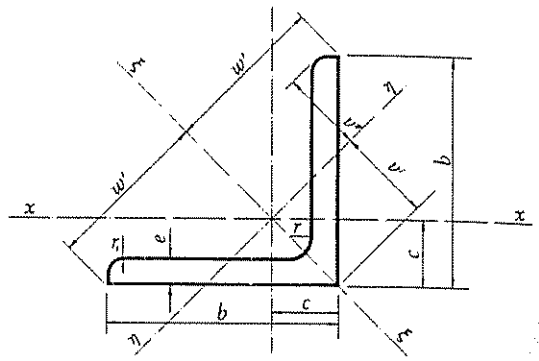
El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

3.9.35

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
56,6	48,4	41,6	35,6	30,9	27.1	21,2	17,0	13,8	100
86,0	75,6	66,8	58,7	51,2	45,4	35,7	28,7	23,8	120
133,4	123,0	111,3	100,4	89,6	80,1	64,5	53.1	43,7	140
165,2	155,1	145,0	133,5	122,2	110,8	91,2	75,2	62,8	160
198,6	190,4	178,6	168,2	156,7	144,9	121,9	102,9	86,0	180
231,4	223,4	214,2	202,5	193.4	180,0	157,1	132,9	114,2	200
270,8	261,2	252,3	244,0	234,3	222,0	195,5	171,8	149,8	220
300,0	294,5	286,7	276,9	267,8	257,1	233,1	206,4	183,1	240
346.4	340,0	333,8	322,1	313,8	306,0	282,5	255,0	228,1	260
378,1	374,6	367,7	361,1	351,6	342,6	323,2	299,1	272,7	280
443,4	439,2	431,1	427,2	415,7	408,4	388,0	360,9	335,0	300

3.9.35



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil L

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
50 × 5	4,80	11,52	5,85	4,09	2,95	2,24	1,73	1,38
50 × 6	5,69	13,66	6,93	4,84	3,50	2,65	2,05	1,63
60 × 5	5,82	13,97	9,01	6,68	5,03	3,80	2,99	2,40
60 × 6	6,91	16,58	10,70	7,93	5,96	4,51	3,54	2,85
60 × 8	9,03	21,67	13,80	10,22	7,68	5,83	4,58	3,65
70 × 6	8,13	19,51	14,56	11,68	9,07	7,02	5,57	4,51
70 × 7	9,40	22,56	16,59	13,27	10,35	8,00	6,35	5,15
70 × 8	10,60	25,44	18,71	14,96	11,67	9,02	7,17	5,81
80 × 8	12,30	29,52	24,00	20,36	16,49	13,18	10,62	8,63
80 × 10	15,10	36,24	29,22	24,65	19,91	15,96	12,85	10,47
90 × 8	13,90	33,36	28,51	25,47	21,52	17,84	14,50	12,00
90 × 10	17,10	41,04	35,08	31,33	26,14	21,71	17,84	14,55
100 × 8	15,50	37,20	33,21	30,24	26,57	22,82	19,08	15,97
100 × 10	19,20	46,08	41,14	37,46	32,91	28,27	23,39	19,78
120 × 10	23,20	55,68	51,56	48,84	45,27	40,94	35,92	31,46
120 × 12	27,50	66,00	61,11	57,89	53,66	48,53	42,58	36,87
150 × 12	34,80	83,52	79,54	77,33	74,57	70,78	65,25	60,09
150 × 15	43,00	103,20	98,28	95,56	92,14	86,72	80,63	73,71
180 × 15	52,10	125,04	121,40	119,09	115,78	112,65	107,79	101,66
200 × 16	61,80	148,32	145,41	142,62	139,92	137,33	132,43	126,77
200 × 18	69,10	165,84	162,59	159,46	156,45	152,15	148,07	141,74

$\lambda > 200$

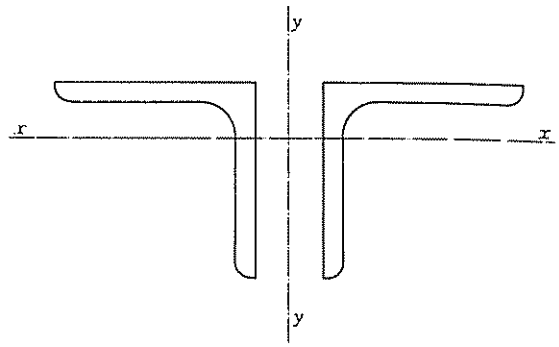
El pandeo con flexión se presenta en el plano ξ-ξ

3.9.36

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros									L
.50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									50 × 5
									50 × 6
1,95	1,63								60 × 5
2,32	1,93								60 × 6
2,98	2,49								60 × 8
3.71	3,08	2,61	2,24						70 × 6
4.21	3,52	2,96	2,55						70 × 7
4.75	3,98	3,34	2,87						70 × 8
7.13	5.98	5.08	4,36	3,78	3,31				80 × 8
8,67	7,26	6.11	5,25	4,56	4,00				80 × 10
0,02	8,45	7,21	6.15	5.36	4,71	4,16			90 × 8
2,14	10.26	8.77	7,49	6,53	5,74	5,04			90 × 10
3.38	11.45	9.76	8,40	7.31	6.46	5,70	4,53		100 × 8
6,58	14,01	11.94	10,29	9,05	7.93	6,99	5,56		100 × 10
17,03	23,20	20,25	17,56	15.51	13,61	12,16	9.67	7,92	120 × 10
12,04	27.50	23.74	20.82	18,18	15,94	14.25	11.46	9.31	120 × 12
13.88	48,56	42,83	38.31	33.81	30,37	27,03	22,15	18.24	150 × 12
16,58	59.31	52.92	46,70	41.78	37,12	32,97	26.74	22.05	150 × 15
15.45	88,06	80.67	73,55	66,87	60,70	55.08	45,47	38.01	180 × 15
11.57	114.09	106.71	99.54	90.99	83.80	76.06	64.49	53,93	200 × 16
14.83	127.57	119.31	109,83	101.74	93.69	85.05	72.10	60.31	200 × 18

3.9.36



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
50 × 5	9,6	23,0	18,4	15,4	12,3	9,8	7,8	6,4
50 × 6	11,3	27,3	21,6	18,0	14,4	11,3	9,2	7,4
60 × 5	11,6	27,9	26,0	23,2	20,0	16,7	13,7	11,3
60 × 6	13,8	33,1	28,8	25,7	22,2	18,5	15,2	12,5
60 × 8	18,0	43,3	37,3	33,6	28,7	23,8	19,6	16,1
70 × 6	16,2	39,0	35,4	33,0	30,0	26,1	22,4	18,9
70 × 7	18,8	45,1	41,0	38,2	34,4	29,8	25,9	21,9
70 × 8	21,2	50,8	46,2	43,1	38,8	33,7	28,7	24,3
80 × 8	24,6	59,0	55,1	52,7	48,7	44,3	39,6	34,3
80 × 10	30,2	72,4	67,7	64,1	59,9	54,0	48,0	42,1
90 × 8	27,8	66,7	63,5	61,2	58,0	54,2	49,7	44,7
90 × 10	34,2	82,0	77,4	75,3	71,3	66,7	60,3	54,3
100 × 8	31,0	74,4	71,5	69,5	67,0	63,5	60,0	54,7
100 × 10	38,4	92,1	88,6	86,1	83,0	70,7	73,7	67,7
120 × 10	46,4	111,3	108,1	106,0	104,0	101,2	97,6	92,8
120 × 12	55,0	132,0	128,1	125,7	123,3	120,0	114,7	109,0
150 × 12	69,6	167,0	163,7	162,1	160,6	157,5	154,6	150,4
150 × 15	86,0	206,4	202,3	200,3	198,4	194,7	191,1	185,9
180 × 15	104,2	250,0	—	245,1	242,8	240,4	238,1	233,7
200 × 16	123,6	296,6	—	293,7	290,8	288,0	285,2	279,8
200 × 18	138,2	331,6	—	328,4	325,1	322,0	318,9	312,9

$\lambda > 200$

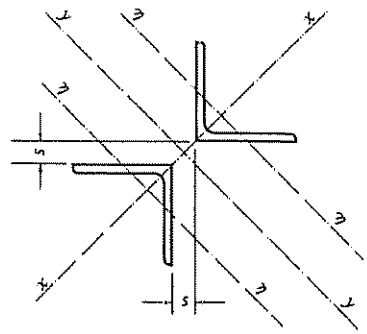
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.37

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

tud de pandeo l_k en metros									L
,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,2	4,4	3,7	3,2	2,8					50 × 5
6,1	5,1	4,3	3,7	2,8					50 × 6
9,5	8,0	6,8	5,8	5,1	4,5	3,9	3,1		60 × 5
10,6	8,9	7,5	6,5	5,7	4,9	4,4	3,5		60 × 6
13,5	11,3	9,6	8,3	7,3	6,4	5,6	4,4		60 × 8
16,2	13,8	11,8	10,2	9,0	7,9	7,0	5,6	4,5	70 × 6
18,5	15,7	13,5	11,8	10,3	9,0	8,0	6,4	5,2	70 × 7
20,9	17,7	15,2	13,1	11,4	10,1	8,9	7,1	5,8	70 × 8
29,9	26,0	22,7	19,6	17,2	15,3	13,4	10,8	8,8	80 × 8
36,2	31,5	27,4	23,7	20,9	18,3	16,3	13,3	10,8	80 × 10
39,9	35,3	31,0	27,8	24,0	21,3	19,0	15,4	12,6	90 × 8
48,2	42,7	37,6	33,2	29,1	25,8	23,1	18,7	15,3	90 × 10
49,9	45,0	40,4	36,1	32,3	28,6	25,6	20,9	17,3	100 × 8
61,8	55,8	49,2	44,1	39,5	35,4	31,3	25,6	21,2	100 × 10
87,0	81,2	74,7	68,3	62.9	57,1	51,8	42,8	36,0	120 × 10
103,1	96,3	88,5	80,9	73,7	67,0	60,5	50,7	42,1	120 × 12
146,5	140,3	134,7	127,5	120,1	112,1	105,0	90,7	77,9	150 × 12
179,4	173,4	165,1	157,5	147,4	138,5	128,2	112,1	96,0	150 × 15
229,4	223,2	219,3	211,9	204,9	195,3	188,0	167,8	149,7	180 × 15
277,2	272,1	267,2	260,2	253,5	247,2	239,2	221,3	201,8	200 × 16
309,9	304,2	298,8	290,9	283,4	276,4	267,4	247,5	222,6	200 × 18

3.9.37



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

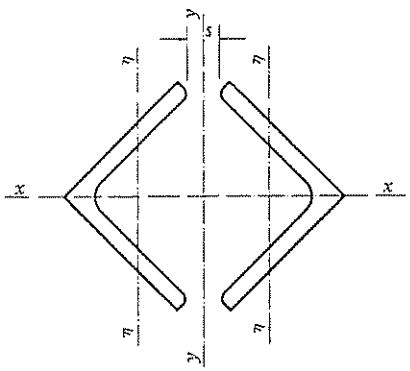
Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
50 × 5	9,6	23,0	20,2	18,4	16,0	13,5	11,3	9,4
50 × 6	11,3	27,3	23,9	21,8	18,9	15,8	13,2	11,0
60 × 5	11,6	27,9	25,8	24,5	22,5	20,1	17,5	15,1
60 × 6	13,8	33,1	30,7	28,8	26,5	23,8	30,8	18,0
60 × 8	18,0	43,2	40,0	37,6	34,6	30,9	26,8	22,8
70 × 6	16,2	39,0	36,8	35,4	33,6	31,4	28,4	25,5
70 × 7	18,8	45,1	42,5	41,0	38,9	36,1	32,9	29,4
70 × 8	21,2	50,8	48,0	46,2	43,8	40,7	37,1	32,8
80 × 8	24,6	59,0	56,7	55,1	53,1	50,4	47,6	43,4
80 × 10	30,2	72,4	69,6	67,7	64,7	61,9	57,9	53,2
90 × 8	27,8	66,7	64,7	63,5	61,7	59,5	57,0	53,8
90 × 10	34,2	82,0	79,6	78,1	76,0	73,2	70,1	65,6
100 × 8	31,0	74,4	72,9	71,5	70,1	68,2	65,8	63,5
100 × 10	38,4	92,1	90,3	88,6	86,9	84,5	81,5	78,1
120 × 10	46,4	111,3	109,1	108,1	107,0	105,0	103,1	100,3
120 × 12	55,0	132,0	129,4	128,1	126,9	124,5	122,2	118,9
150 × 12	69,6	167,0	167,0	163,7	163,7	162,1	159,0	157,5
150 × 15	86,0	206,4	206,4	202,3	202,3	200,3	196,5	194,7
180 × 15	104,2	250,0	250,0	250,0	245,1	245,1	242,8	240,4
200 × 16	123,6	296,6	296,6	296,6	296,6	290,8	290,8	288,0
200 × 18	138,2	331,6	331,6	331,6	331,6	325,1	325,1	322,0

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

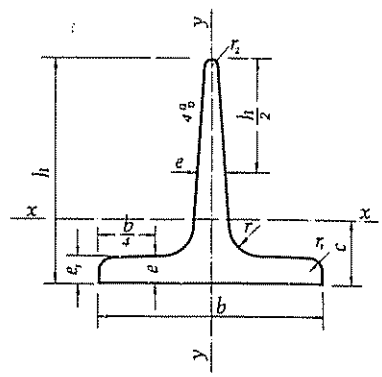
3.9.38



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

:ud de pandeo l_k en metros									L
:,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
7,8	6,6	5,7	4,9	4,3	3,7	3,3	2,6	—	50 × 5
9,2	7,8	6,6	5,7	5,0	4,4	3,8	3,1	—	50 × 6
13,0	11,3	9,7	8,4	7,4	6,5	5,7	4,6	3,8	60 × 5
15,4	13,2	11,4	9,9	8,7	7,6	6,8	5,4	4,4	60 × 6
19,5	16,8	14,5	12,6	11,0	9,7	8,6	6,9	5,6	60 × 8
22,6	19,8	17,4	15,4	13,4	12,0	10,7	8,6	7,0	70 × 6
25,9	22,9	20,1	17,5	15,5	13,8	12,2	9,8	8,1	70 × 7
29,2	25,8	22,4	19,8	17,3	15,4	13,8	11,1	9,1	70 × 8
39,6	35,7	32,0	28,6	25,6	22,7	20,3	16,6	13,7	80 × 8
48,0	43,4	38,7	34,6	30,5	27,4	24,6	19,7	16,5	80 × 10
50,1	46,0	41,9	38,3	34,7	31,0	28,1	23,3	19,2	90 × 8
61,7	56,6	51,6	46,3	42,0	38,1	34,2	28,3	23,4	90 × 10
60,0	56,7	52,3	48,6	44,5	40,8	37,2	31,0	26,0	100 × 8
74,3	69,2	64,9	59,4	55,1	50,0	46,0	38,4	31,7	100 × 10
97,6	94.3	89,8	85,6	80,1	75,7	70,9	61,1	52,5	120 × 10
15,7	110,9	106,4	100,7	94,9	88,5	83,0	71,7	61,4	120 × 12
54,6	151,8	147,8	144,0	140,3	134,7	129,4	117,6	106,3	150 × 12
91,1	187.6	182,6	177,9	172,0	166,4	160,0	145.3	129,8	150 × 15
38,1	233,7	231,5	227,3	223,2	219,3	213,7	201,6	188,0	180 × 15
85,2	282,5	279,8	274,6	272.1	269,6	262,5	253,5	241,1	200 × 16
18,9	315,8	312,9	307,1	304,2	298,8	293,5	283,4	267,4	200 × 18

3.9.38



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

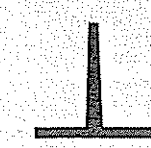
Un perfil T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
25 × 25	1,64	3,94	0,65	0,42				
30 × 30	2,26	5,42	1,28	0,85	0,59			
35 × 35	2,97	7,13	2,28	1,52	1,07	0,80		
40 × 40	3,77	9,05	3,58	2,43	1,74	1,30	1,01	
45 × 45	4,67	11,21	5,29	3,67	2,65	2,01	1,55	1,23
50 × 50	5,66	13,58	7,38	5,28	3,88	2,93	2,29	1,81
60 × 60	7,94	19,06	12,79	9,77	7,41	5,72	4,50	3,62
70 × 70	10,6	25,44	19,42	15,80	12,53	9,90	7,92	6,36
80 × 80	13,6	32,64	26,75	23,31	19,20	15,61	12,70	10,43
100 × 100	20,9	50,16	44,00	40,78	36,08	31,15	26,54	22,39

$\lambda > 200$

El pandeo se presenta con flexión y torsión.

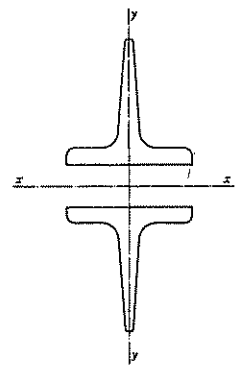
3.9.39



Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros									T
,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
1,48									50 × 50
2.98	2,48	2,10							60 × 60
5,26	4,41	3,72	3,20	2,78					70 × 70
8,66	7,28	6,20	5,34	4,64	4,07	3,57			80 × 80
9,00	16,23	13,97	12,00	10,49	9,25	8,21	6,54	5,36	100 × 100

3.9.39



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una λ =					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
25 × 25	3,28	7,88	1,3	0,8				
30 × 30	4,52	10,85	2,6	1,7	1,2			
35 × 35	5,94	14,26	4,6	3,0	2,2	1,6		
40 × 40	7,54	18,17	7,2	4,9	3,5	2,6	2,0	
45 × 45	9,34	22,42	10,6	7,4	5,3	4,0	3,1	2,5
50 × 50	11,32	27,17	14,9	10,6	7,8	5,9	4,5	3,6
60 × 60	15,88	38,12	25,9	19,9	15,1	11,5	9,0	7,3
70 × 70	21,20	50,88	39,1	32,0	25,1	19,8	15,9	12,7
80 × 80	27,20	65,28	54,4	47,0	39,1	31,7	25,4	20,8
100 × 100	41,80	100,32	89,6	82,9	73,8	63,1	53,7	45,4

$\lambda > 200$

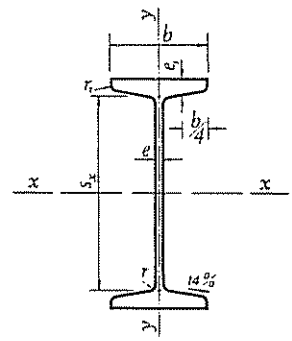
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.40

Acero A 37
$\sigma_u = 2\,400$ kg/cm²

ıgitud de pandeo l_k en metros									T
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
3,0									50 × 50
10,0	5,0	4,2							60 × 60
10.5	8,9	7,4	6,4	5,6					70 × 70
17.3	14,6	12,4	10,7	9,2	8,1	7,2			80 × 80
38,0	32,5	28,0	24,2	21,0	18,5	16,4	13,1	10,6	100 × 100

3.9.40



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

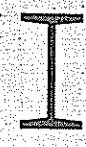
Un perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
100	10,6	27,56	3,0						
120	14,2	36,92	5,3	4,4	3,7				
140	18,3	47,58	8,7	7,3	6,2	5,3	4,6		
160	22,8	59,28	13,1	11,0	9,3	8,0	6,9	6,0	
180	27,9	72,54	19,2	16,1	13,8	11,8	10,2	9,0	7,9
200	33,5	87,10	27,0	22,9	19,6	16,7	14,6	12,7	11,3
220	39,6	102,96	36,5	31,0	26,3	22,8	20,0	17,4	15,5
240	46,1	119,86	48,7	41,9	36,1	31,1	27,2	24,0	21,1
260	53,4	138,84	61,7	52,6	64,0	39,8	34,7	30,4	27,2
280	61,1	158,86	77,1	66,5	57,8	49,8	43,8	38,7	34,5
300	69,1	179,66	92,1	80,9	70,2	61,1	53,5	47,7	42,3
320	77,8	202,28	109,9	96,8	84,6	73,6	65,0	58,0	51,1
340	86,8	225,68	132,0	115,7	101,7	89,2	78,9	69,9	62,2
360	97,1	252,46	153,9	135,7	120,8	105,6	93,2	83,6	74,3
380	107	278,20	177,2	158,1	140,5	123,6	110,0	98,7	88,3
400	118	306,80	203,2	181,5	162,3	144,0	128,4	114,9	103,0
450	147	382,20	275,0	253,1	230,2	205,5	185,5	166,9	149,3
500	180	468,00	360,0	334,3	305,9	281,9	254,3	230,5	208,0
550	213	553,80	446,6	422,7	390,0	362,0	333,6	306,0	275,5
600	254	660,40	550,3	524,1	492,8	458,6	431,6	397,8	364,9

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.1

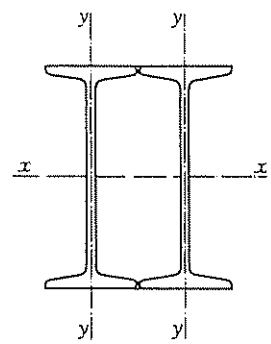


Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

;itud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									100
									120
									140
									160
									180
9,0									200
12,3	10,0								220
16,9	13,8	11,5							240
21,7	17,7	14,8							260
27,4	22,5	18,8	15,8						280
33,8	27,8	23,1	19,6						300
41,0	33,0	28,2	23,8	20,5					320
50,0	41,1	34,6	29,2	25,0	21,6				340
60,1	49,5	41,1	34,8	29,9	26,0				360
71,2	58,3	49,1	41,4	35,7	30,8				380
83,6	68,9	57,7	48,9	42,0	36,4				400
122,9	101,4	85,9	72,7	62,1	54,2	42,0			450
172,7	144,9	121,2	103,8	89,0	77,6	60,0	47,8		500
231,7	196,4	164,8	141,6	121,4	106,3	82,4	65,6	53,5	550
305,7	261,0	221,6	189,2	165,1	143,3	111,7	89,5	72,5	600

3.9 1



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

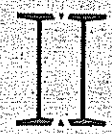
Dos perfiles IPN soldados

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,16	39,4	17,2	14,7	12,6	11,1	9,7	8,4	7,5
100	21,2	51,1	30,7	27,1	23,7	20,8	18,2	16,2	14,4
120	28,4	73,8	49,5	44,4	39,6	35,3	31,4	28,1	25,1
140	36,6	95,2	71,0	65,1	59,4	54,0	48,8	44,0	39,8
160	45,6	118,6	95,6	89,1	83,4	77,4	71,4	64,4	59,8
180	55,8	145,1	122,9	117,0	110,7	104,3	97,3	90,6	83,3
200	67,0	174,2	152,8	147,6	140,4	134,0	127,1	119,3	112,3
220	79,2	205,9	185,5	180,6	173,0	167,4	159,6	151,4	145,0
240	92,2	239,7	219,9	214,0	210,2	201,4	194,8	188,7	178,8
260	107,0	278,2	257,5	252,9	248,3	241,9	233,7	226,1	219,0
280	122,0	317,2	296,4	291,0	285,7	278,2	273,4	264,3	251,7
300	138,0	358,8	338,4	332,2	329,1	320,3	314,7	304,0	296,5
320	156	405,6	386,2	379,0	375,5	368,7	358,9	352,6	340,8
340	174	452,4	430,8	426,7	418,8	415,0	407,5	396,8	389,9
360	194	504,4	485,0	475,8	471,4	467,0	458,5	450,3	442,4
380	214	556,4	535,0	529,9	524,9	520,0	510,4	501,2	492,3
400	236	613,6	590,0	584,3	578,8	573,4	568,1	557,8	547,8
450	294	764,4	742,1	735,0	728,0	728,0	714,3	707,7	701,2
500	360	936,0	908,7	908,7	900,0	891,4	891,4	874,7	874,7
550	426	1 107,6	1 085,8	1 075,3	1 075,3	1 065,0	1 065,0	1 054,8	1 044,9
600	508	1 320,8	1 294,9	1 294,9	1 282,3	1 282,3	1 270,0	1 270,0	1 257,9

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se produce en el plano x-x.

3.9.2



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
6,0	4,9	4,0							80
11.6	9,5	7,9	6,7	5,7					100
20,3	16,7	14,0	12,0	10,2	8,9				120
32,8	27,2	22,9	19,7	16,9	14,5	11,3			140
49,6	41.4	35,2	29,9	26,0	22,5	17.6	14,0	11.3	160
71,4	59,9	51,4	44,3	38,4	33,3	26,1	20,7	17,0	180
97,3	83,3	71,9	62,4	54,6	47,4	37,3	29,7	24,5	200
127,1	111,9	96,6	85,0	73,8	65,3	51,4	41,2	33,8	220
160,8	144,4	126,8	110,9	99,0	87,1	68,6	55,7	45,5	240
198,7	179.4	158,0	142.6	127,0	111,7	89.4	73.0	59.6	260
236,7	215,7	193,4	175.4	156,2	138,5	112,4	90,8	74.6	280
276,0	256,2	234,5	209,8	189,8	168,4	135,9	112,4	92,9	300
321,9	298.2	275,9	250,3	226,5	204,8	167,6	137,9	114,5	320
367,8	345.3	323,1	295.6	267,6	243,2	201,0	164.5	138,3	340
420,3	397.1	370,8	343.1	315.2	286,5	236,8	197,0	164,8	360
471,5	448,7	424,7	391,8	363,6	335,1	276,8	232.8	197,3	380
528,9	502,9	475,6	447,8	417,4	383,5	324,6	272,7	229,8	400
682,5	653,3	626,5	601,8	562,0	530,8	460,4	392,0	333,8	450
850.9	828,3	800,0	767,2	737.0	698,5	619.8	537.9	465,6	500
1 025,5	1 006,9	971,5	938,6	907,8	872,1	791,1	705.4	611,9	550
1 234,4	1 211,7	1 189,9	1 158,6	1 119,3	1 082.6	993,0	898,5	805,3	600

3.9.2

Dos perfiles IPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una													
			2,50		2,75		3,00		3,25		3,50		3,75		4,00	
80	15,1	39,4	(6)	26,8	(7)	24,0	(7)	21,4	(8)	19,1	(8)	17,2	(9)	15,4	(9)	13,8
100	21,2	55,1	(5)	44,5	(6)	41,4	(6)	38,8	(7)	36,0	(7)	33,2	(8)	30,0	(8)	27,4
120	28,4	73,8	(5)	64,8	(5)	62,1	(5)	59,6	(6)	56,4	(6)	53,1	(7)	50,2	(7)	47,0
140	36,6	95,2	(4)	86,5	(4)	85,0	(5)	82,8	(5)	79,3	(5)	76,7	(6)	73,2	(6)	70,0
160	45,6	118,6	(4)	110,8	(4)	108,8	(4)	106,8	(5)	104,0	(5)	101,3	(5)	98,0	(6)	94,9
180	55,8	145,1	(4)	138,2	(4)	135,6	(4)	134,3	(4)	131,9	(5)	129,5	(5)	127,3	(5)	123,0
200	67,0	174,2	(4)	167,5	(4)	165,9	(4)	162,8	(4)	161,3	(4)	159,8	(5)	156,9	(5)	154,2
220	79,2	205,9	(4)	199,9	(4)	198,0	(4)	196,1	(4)	194,3	(4)	192,5	(4)	188,9	(4)	187,2
240	92,2	239,7	(4)	232,7	(4)	230,5	(4)	230,5	(4)	228,3	(4)	226,2	(4)	224,0	(4)	222,0
260	107	278,2	(4)	272,8	(4)	270,1	(4)	267,5	(4)	267,5	(4)	265,0	(4)	262,5	(4)	260,0
280	122	317,2	(4)	311,0	(4)	308,0	(4)	308,0	(4)	305,0	(4)	305,0	(4)	302,1	(4)	299,3
300	138	358,8	(4)	351,8	(4)	351,8	(4)	348,4	(4)	348,4	(4)	345,0	(4)	345,0	(4)	341,7
320	156	405,6	(4)	397,7	(4)	397,7	(4)	397,7	(4)	393,8	(4)	393,8	(4)	390,0	(4)	390,0
340	174	452,4	(4)	452,4	(4)	443,5	(4)	443,5	(4)	443,5	(4)	439,2	(4)	439,2	(4)	435,0
360	194	504,4	(4)	504,4	(4)	504,4	(4)	494,5	(4)	494,5	(4)	489,7	(4)	489,7	(4)	489,7
380	214	556,4	(4)	556,4	(4)	556,4	(4)	545,5	(4)	545,5	(4)	545,5	(4)	540,2	(4)	540,2
400	236	613,6	(4)	613,6	(4)	613,6	(4)	613,6	(4)	601,6	(4)	601,6	(4)	601,6	(4)	595,7
450	294	764,4	(4)	764,4	(4)	764,4	(4)	764,4	(4)	764,4	(4)	749,4	(4)	749,4	(4)	749,4
500	360	936,0	(4)	936,0	(4)	936,0	(4)	936,0	(4)	936,0	(4)	936,0	(4)	936,0	(4)	917,7
550	426	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6	(4)	1 107,6
600	508	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8	(4)	1 320,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	*	8,82	7,69	7,17	6,89	6,71	6,59	6,50	6,44
100	*	11,92	10,04	9,25	8,82	8,56	8,38	8,26	8,17
120	*	15,24	12,44	11,33	10,75	10,39	10,16	9,99	9,87
140	*	18,55	14,81	13,39	12,66	12,21	11,92	11,72	11,57
160	*	22,48	17,37	15,55	14,62	14,07	13,71	13,46	13,28
180	*	26,48	19,92	17,70	16,59	15,93	15,50	15,21	14,99
200	*	36,49	24,59	21,27	19,71	18,80	18,23	17,83	17,55
220	*	35,63	25,27	22,12	20,59	19,70	19,13	18,74	18,45
240	*	38,91	27,56	24,11	22,45	21,48	20,85	20,42	20,11
260	*	*	30,95	26,68	24,68	23,53	22,80	22,30	21,94
280	*	*	33,51	28,71	26,49	25,22	24,42	23,86	23,47
300	*	*	37,29	31,42	28,79	27,32	26,39	25,76	25,30
320	*	*	41,33	34,21	31,14	29,44	28,38	27,66	27,15
340	*	*	45,02	36,82	33,37	31,48	30,31	29,51	28,95
360	*	*	48,80	39,32	35,44	35,35	32,05	31,18	30,56
380	*	*	43,13	42,14	37,79	35,46	34,03	33,08	32,40
400	*	*	56,88	44,58	39,82	37,30	35,75	34,72	33,99
450	*	*	*	51,94	45,82	42,66	40,75	39,49	38,61
500	*	*	*	59,07	51,56	47,78	45,52	44,03	42,99
550	*	*	*	66,92	57,75	53,25	50,59	48,85	47,64
600	*	*	*	73,91	63,27	58,12	55,12	53,16	51,80

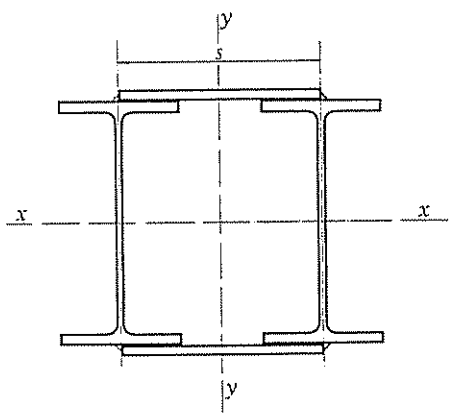
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\ i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

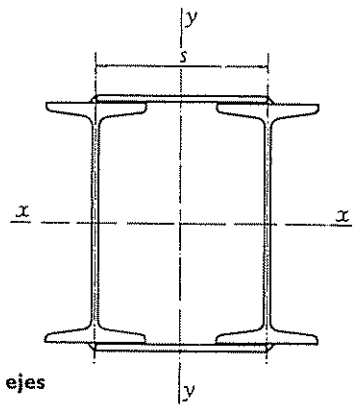
3.9.3

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros																	IPN
4,50		5,00		5,50		6,00		6,50		7,00		8,00		9,00		10,00	
0)	11,1	(11)	9,3	(11)	7,7	(14)	6,5	(15)	5,7	(16)	4,9	(18)	3,8				80
')	23,1	(10)	19,3	(10)	16,4	(12)	13,9	(13)	12,1	(13)	10,5	(15)	8,1	(17)	6,5	(19)	5,3	100
')	40,1	(9)	34,7	(9)	30,0	(10)	25,8	(11)	22,6	(12)	19,6	(13)	15,5	(15)	12,4	(17)	10,1	120
')	63,0	(8)	55,7	(8)	48.8	(9)	42,9	(10)	37,6	(10)	33,3	(12)	26,2	(13)	21,4	(15)	17,5	140
')	88,5	(7)	80,7	(8)	72,3	(8)	64,4	(9)	57,6	(10)	51,8	(11)	41,5	(12)	34,0	(13)	27,9	160
')	116,1	(6)	109,1	(7)	100,8	(8)	92,4	(8)	83,4	(9)	76,6	(10)	61,7	(11)	50,7	(12)	42,1	180
')	147,7	(6)	139,4	(6)	131,0	(7)	122,7	(7)	113,9	(8)	103,1	(9)	86,7	(10)	72,0	(11)	60,9	200
')	180,6	(5)	173,0	(6)	164,7	(6)	157,2	(7)	147,1	(7)	136,4	(8)	117,0	(9)	100,0	(10)	83,7	220
')	216,0	(5)	210,3	(5)	201,5	(6)	191,8	(6)	183,0	(7)	172,5	(8)	152,7	(9)	130,3	(10)	112,5	240
')	255,2	(5)	248,4	(5)	241,9	(6)	231,8	(6)	222,5	(7)	214,0	(7)	190,6	(8)	167,6	(9)	147,2	260
')	293,7	(5)	288,4	(5)	280,7	(5)	273,5	(6)	262,2	(6)	253,8	(7)	231,5	(8)	207,3	(9)	182,3	280
')	335,3	(4)	332,2	(5)	326,2	(5)	317,5	(6)	306,7	(6)	296,5	(7)	276,0	(8)	249,2	(8)	224,3	300
')	386,3	(4)	379,1	(5)	372,1	(5)	365,4	(5)	355,8	(6)	346,7	(7)	324,5	(7)	298,2	(8)	272,2	320
')	430,9	(4)	426,8	(4)	418,9	(5)	415,1	(5)	403,9	(5)	396,8	(6)	373,9	(7)	348,0	(8)	323,1	340
')	485,0	(4)	480,4	(4)	471,4	(5)	467,0	(5)	458,5	(5)	450,4	(6)	427,5	(7)	403,5	(7)	376,4	360
')	535,0	(4)	529,9	(4)	524,9	(4)	520,0	(5)	510,5	(5)	501,3	(6)	483,8	(6)	456,1	(7)	428,0	380
')	590,0	(4)	590,0	(4)	584,4	(4)	573,5	(5)	568,2	(5)	557,8	(6)	538,3	(6)	515,6	(7)	487,0	400
')	742,1	(4)	742,1	(4)	735,0	(4)	728,0	(4)	721,1	(5)	714,4	(5)	694,9	(6)	670,5	(6)	642,4	450
')	917,7	(4)	908,7	(4)	908,7	(4)	900,0	(4)	891,4	(4)	883,0	(5)	866,7	(5)	850,9	(6)	821,1	500
')	1 085,9	(4)	1 085,9	(4)	1 075,3	(4)	1 075,3	(4)	1 065,0	(4)	1 065,0	(4)	1 044,9	(5)	1 025,6	(5)	1 006,9	550
')	1 320,8	(4)	1 294,9	(4)	1 294,9	(4)	1 282,3	(4)	1 282,3	(4)	1 270,0	(4)	1 257,9	(5)	1 234,4	(5)	1 211,7	600

13	14
6,39	6,36
8,10	8,04
9,78	9,71
11.46	11,37
13,14	13,03
14,83	14,71
17,33	17,17
18,24	18,07
19,88	19,70
21,67	21,46
23,17	22,95
24,97	24,71
26,76	26,47
28,53	28,21
30,10	29,75
31.90	31,51
33,45	33,05
37,95	37,46
42,23	41,65
46,76	46,09
50,81	50,06





Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
80	150	26,8	*24,0*	*21,4*	*19,1*	*17,2*	*15,4*	*13,8*	*11,1*	*9,3*
	200	26,8	*24,0*	*21,4*	*19,1*	*17,2*	*15,4*	*13,8*	*11,1*	*9,3*
	250	26,8	*24,0*	*21,4*	*19,1*	*17,2*	*15,4*	*13,8*	*11,1*	*9,3*
100	150	*44,5*	*41,4*	*38,8*	*36,0*	33,2	*30,0*	*27,4*	*23,1*	*19,3*
	200	*44,5*	*41,4*	*38,8*	*36,0*	33,2	*30,0*	*27,4*	*23,1*	*19,3*
	250	*44,5*	*41,4*	*38,8*	*36,0*	33,2	*30,0*	*27,4*	*23,1*	*19,3*
120	150	*64,8*	*62,1*	*59,5*	*56,4*	*53,1*	50,2	*47,0*	*40,1*	*34,7*
	200	*64,8*	*62,1*	*59,5*	*56,4*	*53,1*	50,2	*47,0*	*40,1*	*34,7*
	250	*64,8*	*62,1*	*59,5*	*56,4*	*53,1*	50,2	*47,0*	*40,1*	*34,7*
140	150	83,0	81,6	80,2	*78,9*	*76,3*	*72,8*	*68,6*	*62,7*	*55,3*
	200	85,3	84,5	*82,3*	*78,9*	*76,3*	*72,8*	*68,6*	*62,7*	*55,3*
	250	*86,0*	86,0	*82,3*	*78,9*	*76,3*	*72,8*	*68,6*	*62,7*	*55,3*
160	150	104,0	102,2	100,5	98,8	96,4	94,8	91,9	87,2	*80,7*
	200	106,8	105,9	104,9	*104,0*	*101,3*	*98,0*	*94,8*	*88,5*	*80,7*
	250	107,8	107,8	*106,8*	*104,0*	*101,3*	*98,0*	*94,8*	*88,5*	*80,7*
180	150	127,3	125,1	122,9	120,9	118,0	116,1	112,5	106,7	100,8
	200	130,7	129,5	128,4	127,3	126,2	125,1	*122,9*	*116,1*	*109,1*
	250	131,9	131,9	130,7	129,5	*129,5*	*127,3*	*122,9*	*116,1*	*109,1*
200	150	152,4	149,7	147,2	144,7	142,4	138,9	136,8	127,7	120,6
	200	156,5	155,1	153,7	152,4	151,0	149,7	147,2	142,4	*138,9*
	250	157,9	157,9	156,5	155,1	155,1	153,7	152,4	*147,2*	*138,9*
220	200	185,0	183,4	181,8	180,2	178,6	177,1	174,1	168,4	164,3
	250	186,7	186,7	186,7	183,4	183,4	181,8	180,2	177,1	*172,6*
	300	188,4	188,9	186,7	186,7	186,7	185,0	183,4	*180,2*	*172,6*
240	200	216,0	214,0	212,1	210,3	208,5	206,7	203,2	198,1	191,8
	250	217,9	217,9	217,9	216,0	214,0	212,1	210,3	208,5	203,2
	300	219,9	219,9	217,9	217,9	217,9	216,0	214,0	212,1	*210,3*
260	200	250,1	247,9	245,7	243,5	241,4	238,9	235,3	229,4	222,1
	250	252,4	252,4	252,4	250,1	247,9	243,1	243,5	241,4	235,3
	300	254,7	254,7	252,4	252,4	252,4	249,7	247,9	245,7	243,5
280	200	285,8	283,2	283,2	278,2	278,2	273,4	268,8	262,1	253,8
	250	288,4	288,4	288,4	285,8	283,2	280,7	278,2	275,8	268,8
	300	291,0	291,0	288,4	288,4	288,4	285,8	283,2	280,7	278,2

$\lambda > 200$

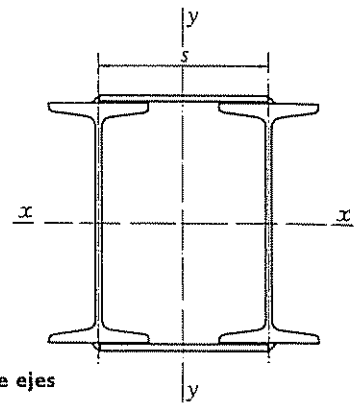
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas

3.9.4



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

;itud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
7,7	6,5	5,6					150 · 100 · 6	3,5	150	
7,7	6,5	5,6					200 · 100 · 6	3,5	200	80
7,7	6,5	5,6					250 · 100 · 6	3,5	250	
16,4	13,9	12,1	10,5	8,1	6,5	5,3	150 · 100 · 6	3,5	150	
16,4	13,9	12,1	10,5	8,1	6,5	5,3	200 · 100 · 6	3,5	200	100
16,4	13,9	12,1	10,5	8,1	6,5	5,3	250 · 100 · 6	3,5	250	
30,0	25,8	22,6	19,6	15,5	12,4	10,1	150 · 100 · 6	3,5	150	
30,0	25,8	22,6	19,6	15,5	12,4	10,1	200 · 100 · 6	3,5	200	120
30,0	25,8	22,6	19,6	15,5	12,4	10,1	250 · 100 · 6	3,5	250	
48,5	42,6	37,4	33,1	26,1	21,3	17,4	150 · 100 · 6	3,5	150	
48,5	42,6	37,4	33,1	26,1	21,3	17,4	200 · 100 · 6	3,5	200	140
48,5	42,6	37,4	33,1	26,1	21,3	17,4	250 · 100 · 6	3,5	250	
72,3	64,4	57,6	51,8	41,5	33,5	27,9	150 · 100 · 8	4	150	
72,3	64,4	57,6	51,8	41,5	33,5	27,9	200 · 100 · 8	4	200	160
72,3	64,4	57,6	51,8	41,5	33,5	27,9	250 · 100 · 8	4	250	
93,6	85,8	80,2	73,3	61,7	50,7	42,1	150 · 100 · 10	5	150	
100,8	92,4	83,4	75,6	61,7	50,7	42,1	200 · 100 · 10	5	200	180
100,8	92,4	83,4	75,6	61,7	50,7	42,1	250 · 100 · 10	5	250	
112,1	104,6	96,0	87,7	74,9	62,3	53,1	150 · 150 · 8	4	150	
130,6	122,3	113,5	102,8	86,4	71,8	60,7	200 · 150 · 8	4	200	200
130,6	122,3	113,5	102,8	86,4	71,8	60,7	250 · 150 · 8	4	250	
158,0	151,0	144,6	136,0	116,7	99,7	83,5	200 · 150 · 8	4	200	
164,3	156,8	146,7	136,0	116,7	99,7	83,5	250 · 150 · 8	4	250	220
164,3	156,8	146,7	136,0	116,7	99,7	83,5	300 · 150 · 8	4	300	
184,4	176,3	168,8	160,9	141,8	124,9	109,5	200 · 150 · 10	5	200	
198,1	191,8	183,0	172,5	152,7	130,3	112,5	250 · 150 · 10	5	250	240
201,4	191,8	183,0	172,5	152,7	130,3	112,5	300 · 150 · 10	5	300	
213,2	204,1	195,2	186,3	164,3	146,6	128,3	200 · 150 · 12	6	200	
229,1	223,9	218,2	211,9	190,1	167,0	146,6	250 · 150 · 12	6	250	260
238,9	231,3	221,7	213,5	190,1	167,0	146,6	300 · 150 · 12	6	300	
244,0	233,2	223,4	212,9	191,1	167,8	146,9	200 · 200 · 10	5	200	
262,1	255,8	249,8	242,1	226,6	207,3	182,3	250 · 200 · 10	5	250	280
273,4	268,8	262,1	253,8	231,5	207,3	182,3	300 · 200 · 10	5	300	



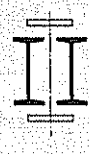
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPN	s mm	Valor de N*, en t, para una [illegible] lon								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
300	200	323,2	320,4	320,4	314,7	314,7	309,3	304,1	296,5	282,5
	250	326,2	326,2	326,2	323,2	320,4	317,5	314,7	312,0	304,1
	300	329,2	329,2	326,2	326,2	326,2	323,2	320,4	317,5	314,7
320	200	364,0	360,8	360,8	354,4	354,4	348,3	342,4	333,9	323,2
	250	367,3	367,3	367,3	340,0	360,8	357,6	354,4	351,3	342,4
	300	370,7	370,7	367,3	367,3	367,3	364,0	360,8	357,6	354,4
340	200	406,2	402,5	402,5	395,5	395,5	388,7	382,1	372,6	360,7
	250	409,9	409,9	409,9	406,2	402,5	399,0	395,5	392,0	382,1
	300	413,6	413,6	409,9	409,9	409,9	406,2	402,5	399,0	395,5
360	300	462,8	462,8	458,5	458,5	458,5	454,4	450,4	446,4	442,5
	400	467,0	467,0	462,8	462,8	462,8	462,8	458,5	458,5	454,4
	500	467,0	467,0	467,0	467,0	467,0	462,8	462,8	462,8	458,5
380	300	510,5	510,5	505,8	505,8	505,8	501,3	496,8	492,4	488,1
	400	515,2	515,2	510,5	510,5	510,5	510,5	505,8	505,8	501,3
	500	515,2	515,2	515,2	515,2	515,2	510,5	510,5	510,5	505,8
400	300	562,9	562,9	557,8	557,8	557,8	552,8	547,9	543,0	538,2
	400	568,1	568,1	562,9	562,9	562,9	562,9	557,8	557,8	552,8
	500	568,1	568,1	568,1	568,1	568,1	562,9	562,9	562,9	557,8
450	300	701,3	701,3	701,3	694,9	694,9	688,6	682,5	676,5	670,5
	400	707,8	707,8	701,3	701,3	701,3	701,3	694,9	694,9	688,6
	500	707,8	707,8	707,8	707,8	707,8	701,3	701,3	701,3	694,9
500	300	853,9	853,9	853,9	846,2	846,2	838,6	831,1	831,1	816,5
	400	861,9	861,9	853,9	853,9	853,9	853,9	846,2	846,2	838,6
	500	861,9	861,9	861,9	861,9	861,9	853,9	853,9	853,9	846,2
550	300	1 011,4	1 011,4	1 011,4	1 002,2	1 002,2	993,2	984,3	984,3	967,0
	400	1 020,7	1 020,7	1 011,4	1 011,4	1 011,4	1 011,4	1 002,2	1 002,2	993,2
	500	1 020,7	1 020,7	1 020,7	1 020,7	1 020,7	1 011,4	1 011,4	1 011,4	1 002,2
600	300	1 211,7	1 211,7	1 211,7	1 200,7	1 200,7	1 189,9	1 179,3	1 179,3	1 158,6
	400	1 223,0	1 223,0	1 211,7	1 211,7	1 211,7	1 211,7	1 200,7	1 200,7	1 189,9
	500	1 223,0	1 223,0	1 223,0	1 223,0	1 223,0	1 211,7	1 211,7	1 211,7	1 200,7

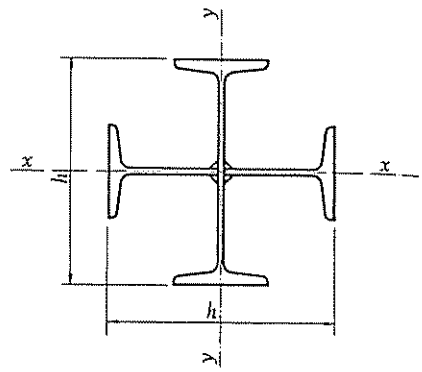
El pandeo con flexión se presenta en el plano *x-x*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano *y-y*.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.4



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
276,0	263,8	252,7	240,8	216,1	189,8	166,1	200 · 200 · 12	5	200	
296,5	289,4	282,5	273,9	256,3	234,5	213,3	250 · 200 · 12	5	250	300
309,3	304,1	296,5	291,7	276,0	245,8	224,3	300 · 200 · 12	5	300	
310,8	301,5	288,6	271,2	243,4	213.8	187,1	200 · 200 · 12	6	200	
333,9	325,8	318,1	308,4	288,6	264,1	239,1	250 · 200 · 12	6	250	320
348,3	342,4	336,7	328,5	313,2	297,1	271,2	300 · 200 · 12	6	300	
349,5	336,4	322,0	306,7	271,6	242,4	211.7	200 · 200 · 14	7	200	
372,6	363,6	355,0	344,2	322,0	294,7	266,7	250 · 200 · 14	7	250	340
388,7	382,1	375,7	366,5	349,5	331,5	308,8	300 · 200 · 14	7	300	
434,8	427,5	420,3	410,1	391,0	370,9	298,5	300 · 250 · 10	5	300	
450,4	446,4	442,5	438,6	427,5	403,5	376,4	400 · 250 · 10	5	400	360
458,5	454,4	450,4	450,4	427,5	403,5	376,4	500 · 250 · 10	5	500	
479,7	471,5	463,7	452,4	431,3	409,1	381,1	300 · 300 · 10	4,5	300	
496,8	492,4	488,1	483,8	471,5	456,1	428,0	400 · 300 · 10	4,5	400	380
505,8	501,3	496,8	496,8	483,8	456,1	428,0	500 · 300 · 10	4,5	500	
529,0	520,0	511,3	498,9	475,7	451,2	420,3	300 · 300 · 10	5	300	
547,9	543,0	538,2	533,6	520,0	503,0	487,0	400 · 300 · 10	5	400	400
557,8	552,8	547,9	547,9	538,2	515,6	487,0	500 · 300 · 10	5	500	
659,0	647,8	637,0	621,5	592,6	562,1	530.8	300 · 350 · 12	5	300	
682,5	676,5	670,5	664,7	647,8	626,6	611,5	400 · 350 · 12	5	400	450
694,9	688,5	682,5	682,5	670,5	659,0	647,8	500 · 350 · 12	5	500	
802,4	788,8	775,7	763,0	732.9	684,4	646,4	300 · 400 · 12	6	300	
831,1	823,7	816,5	809,4	788,8	763,0	744,6	400 · 400 · 12	6	400	500
846,2	838,6	831,1	831,1	816,5	802,4	788,8	500 · 400 · 12	6	500	
958.6	934,2	918,7	903,6	868,0	822,7	765,6	300 · 400 · 16	7	300	
984,3	975,6	967,0	958,6	934,2	903,6	881.9	400 · 400 · 16	7	400	550
1 002,2	1 002,2	984,3	984,3	967,0	950,3	934,2	500 · 400 · 16	7	500	
1 148,5	1 128,9	1 100.7	1 082,6	1 040,0	985,7	917,2	300 · 400 · 20	9	300	
1 179,3	1 168,8	1 158,6	1 148,5	1 119,3	1 091.6	1 056,6	400 · 400 · 20	9	400	600
1 200.7	1 200,7	1 179,3	1 179,3	1 158,6	1 148,5	1 119,3	500 · 400 · 20	9	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN en cruz.

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una:						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	28,4	73,84	54,2	50,2	45,0	40,8	36,7	33,2	30,0
140	36,3	94,38	76,7	72,6	67,9	62,5	57,5	52,7	48,4
160	45,2	117,50	102,1	97,1	93,2	87,7	82,7	77,8	71,6
180	55,3	143,70	128,3	126,1	120,8	115,9	110,6	105,7	99,8
200	66,4	172,64	158,3	155,5	151,4	146,3	141,5	135,9	129,8
220	78,5	204,10	190,7	187,2	183,8	179,0	174,4	168,6	163,2
240	91,4	237,64	224,1	222,0	218,0	216,0	210,3	204,8	199,7
260	106,0	275,60	262,4	260,0	257,7	252,8	250,5	243,8	239,6
280	121	314,60	302,5	299,6	296,7	294,0	288,6	286,0	280,8
300	137	356,20	342,5	342,5	339,2	332,9	329,8	326,7	323,8
320	154	400,40	388,7	385,0	381,3	381,3	374,2	370,7	367,3
340	172	447,20	434,1	434,1	430,0	425,9	421,8	417,9	414,0
360	193	501,80	491,9	487,1	482,5	482,5	477,9	473,4	468,9
380	212	551,20	540,3	535,1	535,1	530,0	530,0	524,9	520,0
400	234	608,40	596,4	596,4	590,6	590,6	585,0	579,4	579,4
450	291	756,60	741,7	741,7	741,7	734,5	734,5	727,5	727,5
500	357	928,20	928,2	910,0	910,0	910,0	901,1	901,1	901,1
550	422	1 097,20	1 097,2	1 097,2	1 097,2	1 075,6	1 075,6	1 075,6	1 065,2
600	503	1 307,80	1 307,8	1 307,8	1 307,8	1 307,8	1 282,1	1 282,1	1 282,1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

3.9.5

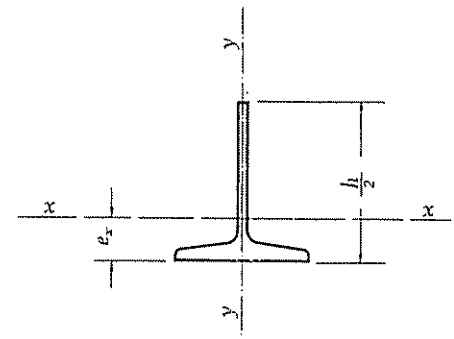


Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
24,7	20,6	17,1	14,6	12.6	10,8	8,4			120
40,6	34,3	28,8	24,7	21,4	18,7	14,4	11,5	9,4	140
62,1	52,9	45,2	39,4	34.0	29,6	23,3	18,7	15,2	160
87,6	77,3	66,5	58,4	50,9	45,0	35,5	28,5	23,3	180
118,2	105,2	92,8	82.6	72,2	64,6	50,7	41,1	33,8	200
152.5	138,8	124,4	110,9	99,0	89,1	71,3	57,6	48,0	220
188,6	173,4	159,4	144,9	131,2	118.2	95,4	80,8	65,4	240
225,9	213,6	198,2	182,5	168,0	152.2	125,8	104,3	86,3	260
266,6	253,7	240,1	224,7	208,3	189,5	158,8	138,8	111,5	280
312,4	296,8	282,7	267,8	250.8	232,8	196,8	167,2	140,7	300
357,5	345,1	328,2	315,2	294,4	278.0	241,2	205.3	174,8	320
406,5	392,2	378,9	360,6	344,0	326,4	288,5	249.8	213,9	340
460,3	448,0	436,3	418,1	401,4	383,0	341,3	302,2	261,3	360
510,3	501,0	483,5	467,1	451,8	434,0	393.7	351,0	304,5	380
568,6	558,1	543,2	533,6	511,2	494,6	454.0	413,8	366,5	400
720,5	707,1	694,1	681,6	663.6	646.6	605,2	564.6	514,6	450
892,5	875,6	867.4	851.5	843,8	821,4	780,0	736,6	682,5	500
1 055.0	1 055.0	1 044,9	1 025,4	1 015,9	997,4	962,4	914,3	870,7	550
1 269,7	1 257,5	1 245,5	1 233,7	1 222,2	1 210,9	1 178,2	1 137,2	1 080.8	600

3.9.5



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

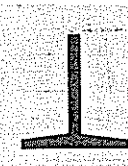
Medio perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	7,10	18,46	12,07	8,96	6,71	5,16	4,00	3,22
140	9,15	23,79	*17,36*	13,91	10,72	8,32	6,55	5,27
160	11,40	29,64	*22,80*	19,37	15,44	12,25	9,81	7,97
180	13,95	36,27	*29,48*	*25,54*	21,46	17,61	14,17	11,51
200	16,75	43,55	*36,59*	*32,74*	28,84	23,67	19,62	16,31
220	19,80	51,48	*44,37*	*40,53*	*35,75*	31,01	26,00	21,91
240	23,00	59,80	*52,92*	*49,01*	*43,97*	39,60	33,98	29,03
260	26,70	69,42	*61,98*	*57,85*	*52,99*	*47,22*	*41,07*	*35,06*
280	30,50	79,30	*71,44*	*67,77*	*62,93*	*56,64*	*49,56*	*43,09*
300	34,50	89,70	*81,54*	*77,32*	*72,33*	*65,95*	*59,40*	*51,55*
320	38,90	101,14	*91,94*	*88,71*	*82,90*	*76,04*	*69,27*	*61,67*
340	43,30	112,58	*102,34*	*98,75*	*93,81*	*87,27*	*80,41*	*71,70*
360	48,50	126,10	*115,68*	*111,59*	*106,86*	*100,07*	*92,04*	*83,50*
380	53,50	139,10	*127,61*	*124,19*	*118,88*	*112,17*	*104,58*	*95,27*
400	58,90	153,14	*140,49*	*136,73*	*132,01*	*125,52*	*117,80*	*107,84*
450	73,40	190,84	*176,70*	*173,49*	*168,88*	*161,72*	*153,90*	*143,48*
500	89,70	233,22	*215,94*	*213,96*	*208,23*	*202,80*	*192,74*	*183,63*
550	106,00	275,60	*257,57*	*255,18*	*250,54*	*243,89*	*235,55*	*225,90*
600	127,00	330,20	*308,59*	*305,74*	*300,18*	*294,82*	*287,13*	*275,16*

$\lambda > 200$

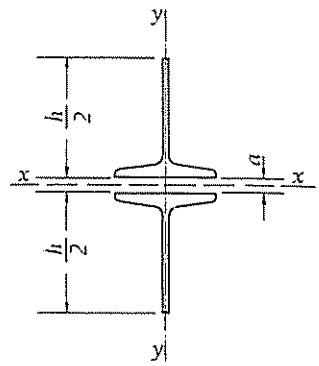
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

3.9.6



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
2,64	2,19	1,85							120
4,33	3,64	3,08	2,63	2,28					140
6,57	5,51	4,63	3,98	3,45	3,02				160
9,62	8,04	6,90	5,90	5,10	4,49	3,95			180
13,48	11,43	9,79	8,36	7,29	6,36	5,64	4,48		200
18,26	15,51	13,17	11,41	10,00	8,71	7,74	6,16	5,01	220
24,31	20,91	18,01	15,49	13,59	11,98	10,55	8,41	6,91	240
30,85	26,30	22,99	19,89	17,36	15,22	13,61	10,85	8,83	260
38,50	33,18	28,84	24,86	21,85	19,34	17,20	13,70	11,25	280
46,00	40,41	35,04	30,51	26,70	23.79	21,11	16,86	13,89	300
54,97	48,39	42,32	36,78	32,52	28,99	25,54	20,52	16,94	320
63,96	56,00	49,16	44,50	39,36	34,85	31,01	24,96	20,51	340
74,61	65,67	58,37	52,76	46,53	41,76	37,09	30,02	24,72	360
85,86	76,85	68,52	61,82	54,98	49,33	44,16	35,58	29,16	380
98,80	88,01	78,53	71,90	64,08	57,36	51,39	41,73	34,41	400
32,52	121,55	109,67	99,39	89,59	81,20	74,55	61,36	50,62	450
171,48	159,73	148,54	134,03	123,39	111,58	103,65	86,06	72,20	500
213,64	201,16	188,76	175,54	161,16	148,17	137,11	115,31	97,73	550
264,16	252,06	241,02	221,61	206,37	189,77	177,52	148.73	128,98	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una lo					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	14,2	36,92	24,1	17,9	13,4	10,3	8,0	6,4
140	18,3	47,58	34,9	27,8	21,4	16,6	13,1	10,5
160	22,8	59,28	46,6	38,7	30,8	24,5	19,6	15,9
180	27,9	72,54	60,4	52,1	42,9	35,2	28,3	23,0
200	33,5	87,10	75,7	67,0	57,6	47,3	39,2	32,6
220	39,6	102,96	91,1	83,0	73,5	62,0	52,0	43,8
240	46,1	119,80	108,9	100,7	91,5	79,3	68,1	58,1
260	53,4	138,84	127,3	119,6	109,3	97,7	84,6	72,3
280	61,1	158,86	147,0	139,3	129,1	116,8	102,4	88,7
300	69,1	179,60	164,8	160,4	148,4	137,1	122,2	106,3

$\lambda > 200$

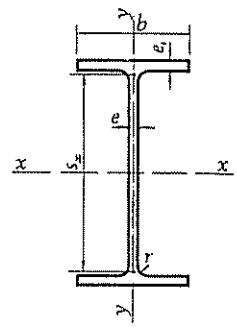
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

3.9.7

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,2	4,3	3,7							120
8,6	7,2	6,1	5,2	4,5					140
13,1	11,0	9,2	7,9	6,9	6,0				160
19,2	16,0	13,7	11,8	10,2	8,9	7,9			180
26,9	22,8	19,5	16,7	14,5	12,7	11,2	8,9		200
36,5	31,0	26,3	22,8	19,9	17,4	15,4	12,3	10,0	220
48,7	41,9	36,1	31,0	27,2	24,0	21,1	16,8	13,8	240
61,7	52,5	45,9	39,7	34,7	30,4	27,2	21,6	17,6	260
77,1	66,4	57,7	49,8	43,7	38,7	34,4	27,4	22,5	280
92,1	80,9	70,1	61,1	53,4	47,6	42,2	33,7	27,8	300

3.9.7



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						lor
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	7,6	19,86	2,1						
100	10,3	26,78	3,9	3,2	2,7				
120	13,2	34,32	6,7	5,5	4,7	4,1	3,5		
140	16,4	42,64	10,5	8,8	7,5	6,5	5,6	4,9	4,4
160	20,1	52,26	15,7	13,4	11,3	9,7	8,5	7,4	6,6
180	23,9	62,14	22,6	19,2	16,5	14,1	12,3	10,8	9,6
200	28,5	74,10	31,0	26,6	22,9	19,9	17,4	15,4	13,5
220	33,4	86,84	42,8	37,0	32,0	27,9	24,5	21,7	19,3
240	39,1	101,66	56,2	49,3	42,5	37,5	33,2	29,5	26,0
270	45,9	119,34	76,0	67,8	60,3	53,0	47,2	42,3	37,9
300	53,8	139,88	98,5	90,2	80,4	72,9	65,7	58,5	53,0
330	62,6	162,76	121,5	111,5	100,5	90,9	82,2	74,3	67,3
360	72,7	189,02	146,5	136,0	126,9	115,3	105,6	95,5	86,3
400	84,5	219,70	175,8	164,0	152,6	141,7	128,5	118,1	108,2
450	98,8	256,88	208,8	197,6	184,8	172,4	158,6	146,0	133,8
500	116	301,60	251,3	239,4	225,1	212,4	197,1	181,7	166,6
550	134	348,40	295,3	281,0	268,0	250,6	233,8	217,8	200,2
600	156	405,60	349,7	335,2	321,9	302,7	285,6	268,6	247,3

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.8

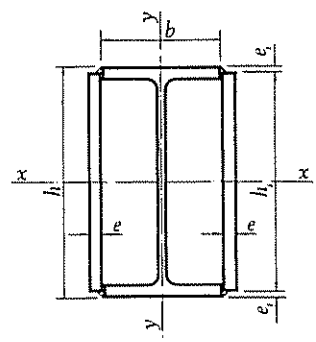


Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									**IPE**
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									80
									100
									120
									140
5,2									160
7,6	6,2								180
10,8	8,8	7,3							200
15.5	12,6	10,5	8,9						220
21,1	17,2	14,4	12,2	10,4					240
30,5	25,0	21,0	17,8	15,3	13,2				270
43,3	35,8	30,0	25.5	21,9	19,0	14,6			300
55,4	46,0	38,8	33,0	28,4	24,7	19,1			330
71,6	60,0	50,8	43.5	37,1	32,3	25,1	20,1		360
89,3	74,7	63,7	54,2	46,5	40.8	32,1	25,2		400
112,2	94,8	80,5	68,1	59,1	51,5	40,1	32,1	26,0	450
141,6	119,2	101,2	87,4	75,4	66,1	51,0	40,9	33,4	500
171,6	145.8	123,5	106,5	92,4	81,0	62,8	50,4	40,9	550
211,3	182,7	156,0	134,3	117,6	102,4	79.5	64,0	52,1	600

3.9.8



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE con dos platabandas soldadas

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	□ mm	Resistencia en t para una						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	30,8	80,0	110 · 8	48,2	43,0	37,6	33,5	29,5	26,1	23,5
140	37,2	96,7	130 · 8	66,2	59,7	53,4	47,6	42,2	38,2	34,2
160	44,1	114,6	150 · 8	85,5	28,5	70,7	64,0	57,9	52,3	47,3
180	57,5	149,5	168 · 10	121,5	115,0	107,5	100,3	91,1	83,5	76,6
200	66,1	171,8	188 · 10	144,4	138,6	131,1	122,7	113,8	106,0	97,6
220	75,0	195,0	208 · 10	165,2	257,2	150,0	140,2	132,6	121,8	114,0
240	92,9	241,5	224 · 12	217,6	211,8	204,6	196,3	187,2	180,2	170,1
270	107	278,2	254 · 12	257,5	250,6	244,0	237,7	229,9	220,7	212,3
300	122	317,2	284 · 12	299,2	291,0	288,3	280,7	273,4	264,3	255,8
330	138	358,8	314 · 12	338,4	335,5	329,1	320,3	314,7	306,6	296,5
360	175	455,0	340 · 15	433,3	429,2	425,2	417,4	409,9	402,6	396,6
400	199	577,4	380 · 15	497,5	492,7	483,5	479,0	470,3	461,9	453,8
450	228	592,8	430 · 15	570,0	564,5	559,2	554,0	543,8	538,9	529,2
500	308	800,8	480 · 20	777,4	770,0	762,6	755,4	748,4	741,4	734,6
550	346	899,6	530 · 20	873,4	865,0	865,0	856,7	848,6	840,7	832,9
600	388	1 008,8	580 · 20	979,4	979,4	970,0	960,7	951,7	942,8	934,0

$\lambda > 200$

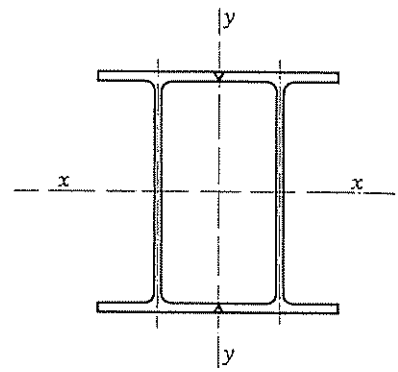
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.9

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
18,8	15,5	13,0	10,9	9,4	8,1				120
20,8	23,0	19,3	14,6	14,1	12,1	9,4			140
39,0	32,3	27,3	23,2	20,0	17,4	13,4			160
64,4	54,3	46,2	39,2	33,9	29,6	22,8	18,3	15,0	180
83,4	69,8	60,0	51,7	44,5	39,0	30,3	24,1	19,8	200
96,0	81.5	69,8	60,3	52,4	45,3	35,5	28,4	23,1	220
149,1	131,2	115.5	99,8	87,8	76,7	60,9	48,9	40,0	240
193,1	171,7	153,7	135,0	119,9	105,3	83,8	67,8	56,4	270
236,7	217,2	196.8	175,2	156,2	140,9	112,4	91,9	75,5	300
278,1	256,2	234,5	212,3	189,8	171.6	138,0	113,9	94,1	330
372,9	350,0	325,0	301,3	274,1	247,2	204,9	170,4	140,8	360
434,7	410,6	386,1	354,3	329,5	302,5	251,1	207,7	173,6	400
506,6	481,9	456,0	426,4	397,8	361,4	304,0	255,5	215,5	450
708,6	684,4	651.0	620,7	584,4	548.4	473,8	404,4	345,1	500
803,2	782,2	749,6	713,9	676,3	642,5	555,3	483,6	410,7	550
917,0	884,9	854,9	813,5	776,0	736,3	650,8	563,5	482,6	600

3.9.9



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE soldados.

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,28	39,7	20,0	17,3	15,0	13,3	11,6	10,2	9,1
100	20,60	53,6	34,1	30,4	26,6	23,8	21,1	18,7	16,7
120	26,40	68,6	50,4	46,6	42,3	37,9	34,1	30,9	27,9
140	32,80	85,3	68,7	64,1	60,0	55,7	51,3	46,3	42,4
160	40,20	104,5	88,5	84,0	80,4	76,2	71,1	66,5	61,1
180	47,80	124,3	109,9	106,2	101,8	97,8	92,7	87,5	82,3
200	57,0	148,2	134,7	131,1	126,6	122,4	117,6	113,1	106,6
220	66,8	173,7	160,8	156,4	153,7	149,7	144,7	140,0	134,6
240	78,2	203,3	190,0	188,2	184,8	181,5	176,8	170,8	165,3
270	91,8	238,7	227,3	225,1	221,0	218,9	215,0	209,3	205,7
300	108	280,8	270,0	267,4	264,9	262,4	257,6	255,2	250,7
330	125	325,0	312,5	312,5	309,5	306,6	303,7	298,1	295,4
360	145	377,0	366,0	362,5	362,5	359,0	352,3	352,3	345,8
400	169	439,4	426,6	426,6	422,5	418,4	414,5	410,5	406,8
450	198	514,8	504,7	499,8	495,0	495,0	490,2	485,6	481,1
500	232	603,2	591,3	585,6	585,6	580,0	580,0	574,4	569,0
550	268	696,8	683,1	683,1	676,5	670,0	670,0	668,6	663,6
600	312	811,2	795,2	795,2	787,5	787,5	780,0	780,0	772,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.10

Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
7,3	5,9	5,4	4,5						80
13,5	11,2	9,3	7,9	6,8	5,8				100
23,0	19,1	15,9	13,6	11,7	10,2	7,8			120
35,0	29,9	25,3	21,5	18,7	16,2	12,5	10,1	8,2	140
52,0	44.4	38,0	32,7	28,4	24,5	19,2	15,4	12,6	160
71,4	61,8	53,5	46,5	40,6	35,6	27,9	22,3	18,3	180
95,6	84,2	73,7	64.7	56,1	49.7	39,3	31,8	26,1	200
122,3	110,6	98.6	86,4	77,1	68,6	54,4	44.4	36,4	220
155,2	141,1	127.0	115,5	102.6	92.8	73,9	60.5	50,2	240
194,0	182,2	170,4	156,0	141.2	128,3	106,0	86.7	72,9	270
240,0	228.2	216,0	202.0	188.4	173,3	146.2	121,0	102,1	300
285,0	273,1	260.0	244,3	232,1	215,2	184.6	155.5	132,1	330
336,6	325,0	311,5	296.8	281,3	265,4	229.8	196,3	167,5	360
399,4	385.4	372,3	357,2	340.6	323,0	287,1	245.4	213,3	400
472,2	495,5	447,6	429,0	415.1	396,0	352.6	310.1	272,3	450
558.5	548,3	533,3	515,5	494,4	478.7	433,9	384,2	333,4	500
651,2	639,2	622,1	605,9	585.5	566.5	520,0	467,6	412,3	550
758,1	751.1	737,4	717,8	693,3	670,4	624,0	563.3	507,0	600

3.9.10

Dos perfiles IPE empresillados ($\lambda_z = \lambda_y$)

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una:						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	15,2	39,7	(5) 27,2	(6) 24,5	(6) 22,0	(7) 19,8	(7) 17,7	(8) 15,7	(8) 14,2
100	20,6	53,6	(5) 43,5	(5) 40,9	(5) 38,3	(6) 35,5	(6) 32,7	(7) 29,9	(7) 27,5
120	26,4	68,6	(4) 60,2	(5) 58,2	(5) 55,8	(5) 53,2	(5) 50,5	(6) 47,0	(6) 44,3
140	32,8	85,3	(4) 78,2	(4) 76,1	(4) 74,8	(4) 71,7	(5) 69,3	(5) 67,2	(5) 63,6
160	40,2	104,5	(4) 97,7	(4) 96,8	(4) 95,0	(4) 93,3	(4) 90,0	(5) 87,8	(5) 85,0
180	47,8	124,3	(4) 118,4	(4) 117,3	(4) 116,2	(4) 114,0	(4) 112,0	(4) 109,0	(4) 107,1
200	57,0	148,2	(4) 142,5	(4) 141,1	(4) 139,8	(4) 138,5	(4) 137,2	(4) 134,7	(4) 132,2
220	66,8	173,7	(4) 168,6	(4) 167,0	(4) 165,4	(4) 163,9	(4) 162,3	(4) 160,8	(4) 159,3
240	78,2	203,3	(4) 197,4	(4) 197,4	(4) 195,5	(4) 193,6	(4) 193,6	(4) 190,0	(4) 190,0
270	91,8	238,7	(4) 234,0	(4) 231,7	(4) 231,7	(4) 229,5	(4) 229,5	(4) 227,3	(4) 225,2
300	108	220,8	(4) 275,3	(4) 275,3	(4) 275,3	(4) 272,6	(4) 272,6	(4) 270,0	(4) 270,0
330	125	325,0	(4) 325,0	(4) 318,6	(4) 318,6	(4) 318,6	(4) 315,5	(4) 315,5	(4) 312,5
360	145	377,0	(4) 377,0	(4) 377,0	(4) 369,6	(4) 369,6	(4) 369,6	(4) 366,0	(4) 366,0
400	169	439,4	(4) 439,4	(4) 439,4	(4) 439,4	(4) 430,8	(4) 430,8	(4) 430,8	(4) 430,8
450	198	514,8	(4) 514,8	(4) 514,8	(4) 514,8	(4) 514,8	(4) 514,8	(4) 504,7	(4) 504,7
500	232	603,2	(4) 603,2	(4) 603,2	(4) 603,2	(4) 603,2	(4) 603,2	(4) 603,2	(4) 591,4
550	268	696,8	(4) 696,8	(4) 696,8	(4) 696,8	(4) 696,8	(4) 696,8	(4) 696,8	(4) 696,8
600	312	811,2	(4) 811,2	(4) 811,2	(4) 811,2	(4) 811,2	(4) 811,2	(4) 811,2	(4) 811,2

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPE	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	9,96	7,96	7,26	6,91	6,70	6,57	6,48	6,42	6,37
100	14,02	10,50	9,40	8,88	8,57	8,38	8,25	8,16	8,09
120	18,09	12,98	11,50	10,81	10,42	10,17	10,00	9,88	9,79
140	23,02	15,64	13,70	12,81	12,31	12,00	11,79	11,64	11,53
160	29,14	18,47	15,97	14,86	14,24	13,86	13,60	13,42	13,29
180	34,62	21,12	18,15	16,85	16,13	15,68	15,38	15,17	15,02
200	42,40	24,05	20,46	18,91	18,07	17,55	17,20	16,95	16,77
220	45,77	26,39	22,50	20,82	19,90	19,33	18,95	18,68	18,48
240	52,74	29,22	24,78	22,88	21,85	21,21	20,78	20,48	20,26
270	59,48	32,85	27,85	25,71	24,55	23,83	23,35	23,01	22,77
300	*	43,21	33,68	30,23	28,46	27,41	26,72	26,24	25,89
330	*	42,50	35,07	32,07	30,46	29,49	28,84	28,39	28,05
360	*	48,50	39,19	35,57	33,68	32,53	31,78	31,25	30,86
400	*	59,52	45,29	40,36	37,88	36,41	35,45	34,79	34,30
450	*	*	55,17	47,52	43,94	41,89	40,58	39,68	39,04
500	*	*	65,83	54,70	49,87	47,19	45,51	44,37	43,55
550	*	*	80,61	63,25	56,52	52,95	50,76	49,30	48,27
600	*	*	*	72,25	63,40	58,90	56,19	54,40	53,15

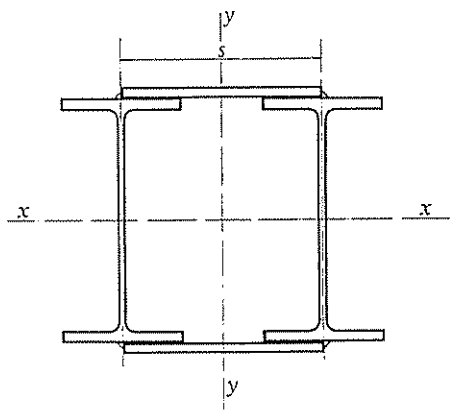
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

3.9.11

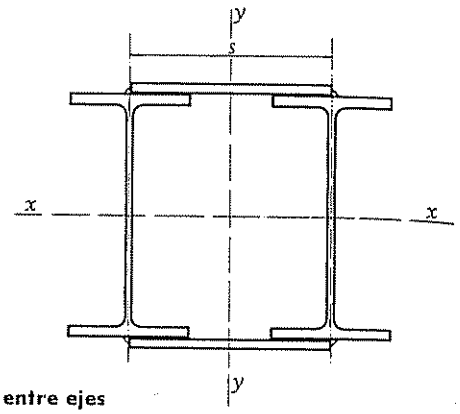
Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5.00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
11,5	(10) 9,6	(11) 8,0	(12) 6,8	(13) 5,8	(14) 5,1	(16) 3,9			80
22,8	(9) 19,2	(9) 16,4	(10) 14,1	(11) 12,0	(12) 10,5	(13) 8,1	(15) 6,5	(17) 5,3	100
38,4	(8) 33,3	(8) 28,7	(9) 25,0	(9) 21,5	(10) 18,9	(11) 14,9	(13) 11,9	(14) 9,7	120
58,0	(7) 51,4	(7) 45,1	(8) 39,5	(8) 35,2	(9) 31,0	(10) 24,7	(11) 19,8	(13) 16,4	140
79,8	(6) 72,6	(6) 65,3	(7) 59,4	(8) 52,8	(8) 47,7	(9) 38,0	(10) 31,1	(11) 25,8	160
101,0	(5) 95,6	(6) 88,8	(6) 81,2	(7) 73,5	(7) 67.5	(8) 55,2	(9) 45,9	(10) 38,0	180
127,8	(5) 120,5	(5) 114,0	(6) 106,6	(6) 99,5	(7) 91,5	(8) 77,2	(9) 64,7	(9) 54,7	200
155,1	(5) 148,4	(5) 142,4	(5) 134.6	(6) 127,7	(6) 119,0	(7) 102,8	(8) 87,7	(9) 74,9	220
184,8	(4) 179.9	(5) 173,8	(5) 166,7	(5) 160,1	(6) 151,7	(6) 134,7	(7) 116,9	(8) 101,2	240
223,1	(4) 217,0	(4) 213,1	(4) 205,3	(5) 198,9	(5) 190,9	(6) 175,5	(6) 158,1	(7) 139,6	270
264,9	(4) 262,4	(4) 257,6	(4) 250,7	(4) 246,3	(5) 238,0	(5) 222,9	(6) 205,0	(6) 186,0	300
309,5	(4) 306,6	(4) 303,7	(4) 298,2	(4) 292,8	(4) 285,1	(5) 270,8	(6) 251,9	(6) 233,8	330
362,5	(4) 359,1	(4) 355,7	(4) 352,3	(4) 345,9	(4) 339,6	(5) 327,8	(5) 309,0	(6) 290,0	360
426,6	(4) 422,5	(4) 418,5	(4) 414,5	(4) 410,7	(4) 406,9	(5) 392,3	(5) 375,6	(6) 357,2	400
504,7	(4) 499,8	(4) 495,0	(4) 495,0	(4) 490,3	(4) 481,1	(4) 472,3	(5) 459,6	(5) 443,8	450
591,4	(4) 585,6	(4) 585,6	(4) 580,0	(4) 580,0	(4) 574,5	(4) 563,7	(5) 553,4	(5) 438,6	500
683,1	(4) 683,1	(4) 676,5	(4) 676,5	(4) 670,0	(4) 670,0	(4) 657,4	(5) 651,2	(5) 633,5	550
811,2	(4) 795,3	(4) 795,3	(4) 787,6	(4) 787,6	(4) 780,0	(4) 772,6	(4) 765,3	(5) 751,1	600

13	14
6,33	6,30
8,04	8,00
9,73	9,67
11,45	11,38
13,18	13,10
14,90	14,81
16.63	16,53
18,34	18,22
20,10	19,97
22,58	22,43
25,63	25,42
27,80	27,61
30,57	30,34
33,94	33,66
38,56	38,18
42,95	42.49
47,51	46,93
52,23	51,53



3.9.11



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N*, en t, para una
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
100	150	*43,54*	*40,88*	*38,25*	*35,47*	*32,65*	*29,92*	*27,46*	*22,79*	*19,19*
	200	*43,54*	*40,88*	*38,25*	*35,47*	*32,65*	*29,92*	*27,46*	*22,79*	*19,19*
	250	*43,54*	*40,88*	*38,25*	*35,47*	*32,65*	*29,92*	*27,46*	*22,79*	*19,19*
120	150	*60,21*	*58,16*	*55,80*	*53,20*	*50,47*	*47,01*	*44,28*	*38,34*	*33,32*
	200	*60,21*	*58,16*	*55,80*	*53,20*	*50,47*	*47,01*	*44,28*	*38,34*	*33,32*
	250	*60,21*	*58,16*	*55,80*	*53,20*	*50,47*	*47,01*	*44,28*	*38,34*	*33,32*
140	150	74,80	73,51	72,27	*71,06*	*69,33*	*67,14*	*63,64*	*58,01*	*51,37*
	200	76,82	*76,14*	*74,80*	*71,66*	*69,33*	*67,14*	*63,64*	*58,01*	*51,37*
	250	77,52	*76,14*	*74,80*	*71,66*	*69,33*	*67,14*	*63,64*	*58,01*	*51,37*
160	150	91,68	90,10	88,57	87,10	85,67	83,61	82,29	76,85	72,58
	200	94,16	93,52	92,49	91,68	*90,88*	*87,83*	*84,97*	*79,78*	*72,58*
	250	95,01	95,01	94,16	*94,16*	*90,88*	*87,83*	*84,97*	*79,78*	*72,58*
180	150	109,01	108,06	105,32	103,56	101,86	99,42	97,85	92,74	86,30
	200	111,96	110,96	109,98	109,01	108,06	107,13	105,32	*101,04*	*95,60*
	250	112,98	112,98	112,98	111,96	110,96	*109,01*	*107,13*	*101,04*	*95,60*
200	150	130,00	128,86	126,66	123,50	121,47	119,51	116,69	110,59	104,36
	200	133,51	132,32	131,15	130,00	128,86	127,75	125,59	121,47	118,56
	250	134,72	134,72	134,72	133,51	132,32	130,00	130,00	*127,75*	*120,48*
220	200	156,46	155,07	155,07	152,35	152,35	149,72	147,18	143,53	138,94
	250	157,89	157,89	157,89	156,46	155,07	153,69	152,35	151,02	147,18
	300	159,33	159,33	157,89	157,89	157,89	156,46	155,07	153,69	*148,44*
240	200	183,17	181,53	181,53	178,35	178,35	175,27	173,77	168,03	162,65
	250	184,83	184,83	184,83	183,17	181,59	179,92	178,35	176,80	172,30
	300	186,53	186,53	184,83	184,83	184,83	183,17	181,53	179,92	178,35
270	200	215,02	213,10	213,10	209,36	209,36	205,75	204,00	197,25	190,94
	250	218,97	216,98	216,98	215,02	213,10	213,10	209,36	207,54	202,27
	300	218,97	218,97	216,98	216,98	216,98	215,02	213,10	211,22	209,36
300	200	252,03	249,78	249,78	245,40	245,40	241,17	239,11	231,20	223,80
	250	256,66	254,32	254,32	252,03	249,78	249,78	245,40	243,26	237,08
	300	256,66	256,66	254,32	254,32	254,32	252,03	249,78	247,57	245,40

$\lambda > 200$

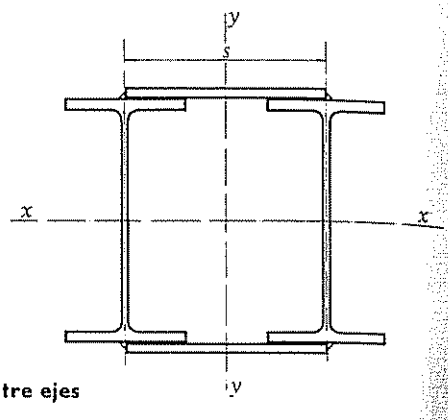
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.12



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
6,37	14,05	12,03	10,50	8,12	6,52	5,33	150 · 100 · 6	3,5	150	
6,37	14,05	12,03	10,50	8,12	6,52	5,33	200 · 100 · 6	3,5	200	100
6,37	14,05	12,03	10,50	8,12	6,52	5,33	200 · 100 · 6	3,5	250	
8,71	24,96	21,51	18,90	14,88	11,85	7,60	150 · 100 · 6	3,5	150	
8,71	24,96	21,51	18,90	14,88	11,85	7,60	200 · 100 · 6	3,5	200	120
8,71	24,96	21,51	18,90	14,88	11,85	7,60	250 · 100 · 6	3,5	250	
5,12	39,48	35,23	31.01	24,71	19,83	16,36	150 · 100 · 6	3,5	150	
5,12	39,48	35,23	31.01	24,71	19,83	16,36	200 · 100 · 6	3,5	200	140
5,12	39,48	35,23	31,01	24,71	19,83	16,36	250 · 100 · 6	3,5	250	
5,32	59,38	52,78	47,72	38,00	31,10	25,80	150 · 100 · 8	4	150	
5,32	59,38	52,78	47,72	38,00	31,10	25,80	200 · 100 · 8	4	200	160
5,32	59,38	52,78	47,72	38,00	31,10	25,80	250 · 100 · 8	4	250	
1,22	74,86	68,66	63,73	53,56	45,19	38,00	150 · 100 · 10	5	150	
8,77	81,22	73,53	67,54	55,23	45,85	38,00	200 · 100 · 10	5	200	180
8,77	81,22	73,53	67,54	55,23	45,85	38,00	250 · 100 · 10	5	250	
6,86	90,36	82,79	76,00	63,87	53,89	45,88	150 · 100 · 8	4	150	
4,00	106,61	99,46	91,48	77,18	64,71	54,68	200 · 100 · 8	4	200	200
4,00	106,61	99,46	91,48	77,18	64,71	54,68	250 · 100 · 8	4	250	
3,60	127,70	122,30	116,56	102,76	87,71	74,86	200 · 150 · 8	4	200	
2,36	134,63	127,70	118,95	102,76	87,71	74,86	250 · 150 · 8	4	250	220
2,36	134.63	127,70	118,95	102,76	87,71	74,86	300 · 150 · 8	4	300	
7,61	151,73	145,22	138,31	122,48	109,31	95,45	200 · 150 · 10	5	200	
8,03	163,96	160,09	151,73	134,64	116,85	101,15	250 · 150 · 10	5	250	240
3,77	166,65	160,09	151,73	134,64	116,85	101,15	300 · 150 · 10	5	300	
5,02	178,11	170,48	162,36	143,78	128,32	112,05	200 · 200 · 8	4	200	
8,90	194,04	189,42	183,60	170,48	158,06	139,57	250 · 200 · 8	4	250	270
5,75	202,27	198,90	190,94	175,50	158,06	139,57	300 · 200 · 8	4	300	
6,86	208,77	199,82	190,31	168,53	150,40	133,85	200 · 200 · 10	5	200	
3,13	227,44	222,03	215,20	199,82	185,27	168,53	250 · 200 · 10	5	250	300
1,17	237,08	233,13	223,80	205,70	204,20	185,27	300 · 200 · 10	5	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N^*, en t, para una longitud								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
330	200	295,92	290,64	290,64	288,07	285,34	283,06	278,22	271,26	262,51
	250	298,64	295,92	295,92	293,26	290,64	290,64	288,07	283,06	278,22
	300	298,64	298,64	298,64	295,92	295,92	293,26	290,64	288,07	285,54
360	300	346,82	346,82	346,82	343,67	343,67	340,57	337,53	337,53	331,61
	400	350,03	350,03	346,82	346,82	346,82	346,82	343,67	343,67	340,57
	500	350,03	350,03	350,03	350,03	350,03	346,82	346,82	346,82	343,67
400	300	403,11	403,11	403,11	399,45	399,45	395,85	392,32	392,32	385,43
	400	406,85	406,85	403,11	403,11	403,11	403,11	399,45	399,45	395,85
	500	406,85	406,85	406,85	406,85	406,85	403,11	403,11	403,11	399,45
450	300	471,33	471,33	471,33	467,05	467,05	462,84	458,71	458,71	450,66
	400	475,70	475,70	471,33	471,33	471,33	471,33	467,05	467,05	462,84
	500	475,70	475,70	475,70	475,70	475,70	471,33	471,33	471,33	467,05
500	300	553,39	553,39	553,39	548,36	548,36	543,42	538,57	538,57	529,12
	400	558,51	558,51	553,39	553,39	553,39	553,39	548,36	548,36	543,42
	500	558,51	558,51	558,51	558,51	558,51	553,39	553,39	553,39	548,36
550	300	639,26	639,26	639,26	633,45	633,45	627,74	627,74	622,14	611,22
	400	645,18	645,18	639,26	639,26	639,26	639,26	633,45	633,45	627,74
	500	645,18	645,18	645,18	645,18	645,18	639,26	639,26	639,26	633,45
600	300	744,22	744,22	744,22	737,45	737,45	730,81	730,81	724,28	711,57
	400	751,11	751,11	744,22	744,22	744,22	744,22	737,45	737,45	730,81
	500	751,11	751,11	751,11	751,11	751,11	744,22	744,22	744,22	737,45

El pandeo con flexión se presenta en el plano *x-x*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano *y-y*.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

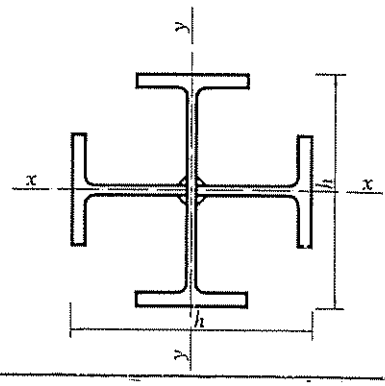
3.9.12



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

l de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
,34	244,75	234,98	222,95	200,93	176,91	158,01	200 · 250 · 8	5	200	
,26	264,65	258,34	250,40	234,18	215,57	196,09	250 · 250 · 8	5	250	330
,62	275,86	271,26	264,65	252,34	239,35	226,05	300 · 250 · 8	5	300	
,73	320,37	315,03	309,86	297,66	282,11	262,52	300 · 300 · 8	4	300	
,53	334,54	331,61	328,73	320,37	309,86	302,43	400 · 300 · 8	4	400	360
,67	340,57	337,53	337,53	331,61	325,89	320,37	500 · 300 · 8	4	500	
,08	372,37	366,16	360,16	345,98	327,91	305,13	300 · 300 · 8	4	300	
,32	388,84	385,43	382,08	372,37	360,16	351,52	400 · 300 · 8	4	400	400
,45	399,45	392,32	392,32	385,43	378,79	372,37	500 · 300 · 8	4	500	
,74	435,38	428,13	421,11	404.53	383,40	356,77	300 · 300 · 10	5	300	
,71	454,65	450,66	446,74	435,38	421,11	411,00	400 · 300 · 10	5	400	450
,05	467,05	458,71	458,71	450,66	442,89	435,38	500 · 300 · 10	5	500	
,52	511,18	502,66	494,42	474,96	450,14	418,88	300 · 350 · 10	5	300	
,57	533,80	529,12	524,52	511,18	494,42	482,56	400 · 350 · 10	5	400	500
,36	548,36	538,57	538,57	529,12	520,00	511,18	500 · 350 · 10	5	500	
,91	590,50	580,66	571,14	548,66	520,00	483,88	300 · 350 · 10	6	300	
,14	616,63	611,22	605,91	590,50	571,14	557,44	400 · 350 · 10	6	400	550
,45	633,45	622,14	622,14	611,22	600,68	590,50	500 · 350 · 10	6	500	
,39	687,45	676,00	664,91	638,74	605,37	563,33	300 · 350 · 12	7	300	
,28	717,87	711,57	705,39	687,45	664,91	648,96	400 · 350 · 12	7	400	600
,45	737,45	724,28	724,28	711,57	699,31	687,45	500 · 350 · 12	7	500	

3.9.12



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE en cruz

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una lo						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
140	32,6	84,76	70,0	66,7	62,3	58,0	53,9	50,1	46,0
160	40,0	104,00	91,2	87,3	83,8	80,0	75,9	71,2	66,2
180	47,5	123,50	112,2	109,2	106,4	102,0	98,0	94,2	88,8
200	56,7	147,42	136,5	134,0	130,4	127,0	122,8	118,8	114,2
220	66,5	172,90	163,1	160,0	157,1	154,3	151,6	146,5	141,7
240	77,8	202,28	192,6	189,0	187,3	185,5	180,6	177,4	172,8
270	91,4	237,64	228,5	226,3	224,1	222,0	220,0	216,0	212,1
300	107	278,20	270,1	267,5	264,9	262,4	260,0	259,5	255,2
330	125	325,00	315,5	315,5	312,5	309,5	309,5	303,7	303,7
360	145	377,00	369,6	366,0	366,0	362,5	362,5	359,0	355,6
400	168	436,80	428,2	428,2	424,0	424,0	420,0	420,0	416,0
450	197	512,20	512,2	502,1	502,1	502,1	497,2	497,2	492,5
500	231	600,60	600,6	600,6	588,8	588,8	588,8	583,1	583,1
550	267	694,20	694,2	694,2	694,2	680,5	680,5	680,5	673,9
600	311	808,60	808,6	808,6	808,6	808,6	792,7	792,7	792,7

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en cualquiera de los dos planos de simetría.

3.9.13

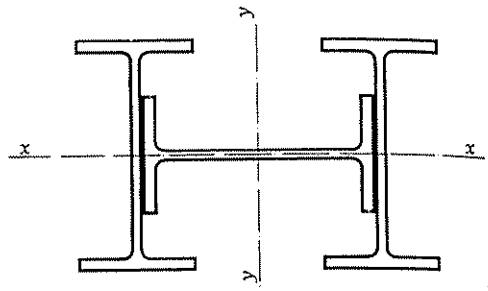


Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
38,7	32.6	27,7	23,6	20,6	17,9	13.9	11,1	9,0	140
57,4	49,7	42,2	36,8	32,2	27,9	22,0	17,6	14,3	160
79,6	70,1	61,4	53,9	47,5	42,0	33,2	26,7	22,0	180
105,3	93.9	83,7	74,4	66,4	58,2	46,8	37.7	31,2	200
133,0	121,7	111,5	99,3	90,0	80.0	64,7	52.0	44,2	220
164.4	154,4	142,4	130,5	118,2	107.0	88,3	72.5	60,2	240
203,1	193,2	182.8	170,9	159,4	146,6	123,7	103,7	87.6	270
248,3	237,7	228,0	215.6	204.6	190,5	167,5	142,6	121,4	300
295,4	287,6	277,7	266,3	255.9	242.5	215.2	186.7	161,6	330
349,0	342,7	333,6	322,2	309,0	299,2	271,2	240,1	210,6	360
412,0	404,4	397,0	386,5	376,5	364,0	338,6	312,0	278,2	400
487,8	483,2	474.2	465.6	457,3	449,3	419.8	394,0	360.7	450
577.5	572,0	566,6	556,1	551,0	541.0	517,7	488,2	458,4	500
673,9	667,5	661,1	654,9	648.7	636,8	619,8	588.3	559,8	550
785,0	777.5	777,5	770,0	762,8	755,7	735,0	709,3	679.5	600

3.9.13



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una						
II	⊢			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	120	39,6	102,96	83,7	79,2	74,0	69,1	62,7	57,5	52,8
	140	42,8	111,28	89,0	83,6	78,3	72,7	65,8	60,4	55,3
140	140	49,2	127,92	112,2	107,5	102,3	97,6	92,0	87,0	79,9
	160	52,9	137,54	118,5	113,6	109,1	102,6	96,8	91,0	83,8
160	140	56,6	147,16	133,7	131,3	127,9	122,6	118,6	113,2	108,2
	160	60,3	156,78	142,5	138,7	134,0	129,5	124,4	117,8	112,7
	180	64,1	166,66	150,1	146,1	141,2	135,5	131,2	124,3	117,3
180	160	67,9	176,54	164,9	161,9	159,0	154,8	150,8	145,9	141,2
	180	71,7	186,42	174,2	171,0	166,4	162,1	156,6	151,5	146,7
	200	76,3	198,38	183,6	180,3	175,5	171,0	165,3	159,9	153,7
200	160	77,1	200,46	190,9	187,3	185,6	182,2	178,9	175,8	169,8
	180	80,9	210,34	198,4	196,5	192,9	191,2	186,1	182,9	176,7
	200	85,5	222,30	209,7	207,7	203,9	200,2	195,0	190,0	185,2
	220	90,4	235,04	221,7	217,6	213,6	209,8	206,1	199,1	192,6
220	180	90,7	235,82	226,7	224,5	220,3	218,3	216,3	210,5	206,8
	200	95,3	247,78	238,2	233,7	231,5	229,4	225,2	221,2	217,3
	220	100	260,0	247,6	245,2	242,9	238,5	236,3	230,0	226,0
	240	106	275,6	262,4	260,0	257,5	252,8	248,2	241,7	237,5
240	200	107	278,2	267,5	267,5	264,9	260,0	257,5	255,2	252,9
	220	112	291,2	280,0	277,3	277,3	272,1	269,6	267,1	262,3
	240	117	304,2	292,5	289,7	286,9	284,3	281,6	276,5	271,6
	270	124	322,4	310,0	307,0	304,1	301,3	295,7	293,0	287,8
270	220	125	325,0	315,5	315,5	312,5	309,5	306,6	303,7	300,9
	240	131	340,6	330,6	327,5	327,5	324,3	321,3	318,3	315,3
	270	138	358,8	348,3	345,0	345,0	341,7	338,4	335,3	329,1
	300	146	379,6	368,5	365,0	361,5	361,5	354,7	351,4	348,2

$\lambda > 200$

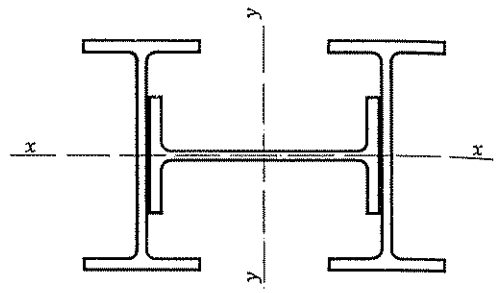
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y

3.9.14

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE	
,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	⊢	II
44,3	37,4	31,8	27,0	23,4	20,4	15,7	12,6	10,3	120	120
45,9	38,9	32,7	28,1	24,1	21,1	16,2	12,9	—	140	
59,5	60,0	51,3	44,7	38,5	33,9	26,5	21,2	17,3	140	140
71,6	61,9	52,9	45,5	39,8	34,7	26,9	21,6	17,6	160	
97.4	86,0	75,4	66,2	58,1	51,4	40,5	33,0	27,0	140	160
01,1	89,0	77,2	67,5	59,3	52,6	41,5	33,2	27,3	160	
04,1	92,0	79,7	69,7	61,5	53,5	42,6	34,1	27,9	180	
29,8	118,4	106.3	94,9	84,4	75,1	60,0	49,3	40,5	160	180
34,1	121,8	109,0	97,0	86,3	77,0	61,7	49,4	40,8	180	
39,7	126,3	112,7	100,1	88,1	78,4	62.9	50,7	41,5	200	
50,3	149,6	137,3	125,2	113,9	102,8	83,8	69,1	57,4	160	200
56,9	154,6	143,0	128,2	116,2	104,6	85,5	70,5	57,9	180	
72,3	159,9	147,2	133,9	119,5	107,9	86,8	71,4	58,9	200	
80,8	167,8	151,6	137,4	122,4	110,3	89,0	72,7	60,1	220	
98,1	188,6	175,9	163,7	152,1	137,9	116,1	96,8	80,2	180	220
06,4	195,1	182,1	168.5	154,8	140,7	116,3	96,7	80,9	200	
14,8	201,5	187,0	174,5	158,5	145,2	118,7	98,4	82,5	220	
24,0	212,0	196,8	180,1	163,0	149,7	122,4	101,7	84,2	240	
44,0	231,8	220,7	207,6	195,9	181,8	153,7	130,6	109,9	200	240
53,2	240,6	229,2	214,1	199,4	185,4	156,5	132,9	112,0	220	
62,2	249,3	235,8	222,0	206,9	190,1	158,4	132,8	112,2	240	
75,5	260,0	246,1	230,2	213,5	196,5	165,3	137,1	115.5	270	
95,4	285,0	273,1	262,1	250,0	237,2	209,6	179,5	155,5	220	270
06,8	298,7	283,8	272,4	260,0	243,2	212,8	183,1	157,6	240	
20,3	309,3	296,5	284,7	267,7	252,6	218.7	186,8	161,6	270	
38,9	324,4	311,1	294,2	279,1	260,0	228,6	194,6	165,7	300	

3.9.14



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una						
II	H			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
300	220	141	366,6	359,4	355,9	355,9	352,5	352,5	349,1	345,8
	240	147	382,2	374,7	371,0	371,0	367,5	367,5	364,0	360,5
	270	154	400,4	392,5	388,7	388,7	385,0	381,3	381,3	374,2
	300	161	418,6	472,1	467,5	463,0	463,0	458,6	394,9	391,2
330	240	164	426,4	418,0	418,0	413,9	413,9	410,0	410,0	406,1
	270	171	444,6	435,8	435,8	431,6	431,6	427,5	427,5	423,4
	300	179	465,4	456,2	456,2	451,8	451,8	447,5	447,5	443,2
	330	188	488,8	479,2	479,2	474,5	470,0	470,0	465,5	465,5
360	270	191	496,6	496,6	486,8	486,8	482,1	482,1	477,5	477,5
	300	199	517,4	517,4	507,2	507,2	502,3	502,3	497,5	497,5
	330	208	540,8	540,8	530,2	530,2	525,0	525,0	520,0	520,0
	360	218	566,8	555,6	555,6	555,6	550,2	550,2	545,0	545,0
400	270	215	559,0	559,0	548,0	548,0	548,0	542,7	542,7	537,5
	300	223	579,8	579,8	579,8	568,4	568,4	568,4	562,9	562,9
	330	232	603,2	603,2	603,2	591,3	591,3	591,3	585,6	585,6
	360	242	629,2	629,2	629,2	616,8	616,8	610,8	610,8	605,0
	400	254	660,4	660,4	647,4	647,4	647,4	641,1	641,1	635,0
450	300	251	652,6	652,6	652,6	639,8	639,8	639,8	633,5	633,5
	330	260	676,0	676,0	676,0	676,0	662,7	662,7	662,7	656,3
	360	270	702,0	702,0	702,0	702,0	695,0	688,2	688,2	681,5
	400	282	733,2	733,2	733,2	733,2	718,8	718,8	718,8	711,8
	450	296	769,6	769,6	769,6	754,5	754,5	754,5	747,1	747,1
500	330	295	767,0	767,0	767,0	767,0	767,0	751,9	751,9	751,9
	360	305	793,0	793,0	793,0	793,0	793,0	777,4	777,4	777,4
	400	317	824,2	824,2	824,2	824,2	824,2	808,0	808,0	808,0
	450	331	860,6	860,6	860,6	860,6	860,6	843,7	843,7	843,7
	500	348	904,8	904,8	904,8	904,8	904,8	887,0	887,0	887,0

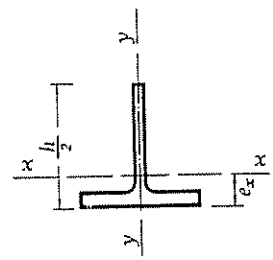
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.14



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/m²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE	
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	I	II
339,4	333,2	324,4	313,3	302,9	290,9	263,7	236,5	208,3	220	300
353,8	347,4	335,2	323,9	313,2	313,2	273,0	243.4	211,1	240	
370,7	360,7	351,2	336,4	325,5	310,3	281,9	247.1	217,0	270	
384,0	373,7	364,0	348,8	334,8	322,0	286,7	252,1	221,4	300	
398,5	394,8	387,6	377,3	367,5	355,3	328,0	300,2	271,5	240	330
415,5	411,6	400,5	390,0	380,0	367.4	339,3	308,7	274,4	270	
434,9	426,9	419,2	408,2	394,4	381.4	349,9	316,6	283,7	300	
456,8	448,4	436,4	425,0	410,7	397,4	364,7	328,0	289,2	330	
472,9	464,1	459,8	451,4	439,4	431,8	403,7	373,3	344,8	270	360
492,7	483,5	474,6	466,1	457,8	446,0	417,2	386,1	351,9	300	
515,0	505,4	496,1	470,2	474,3	462,2	432,6	397,6	362,9	330	
534,7	529,7	529,7	506,0	497,1	480,3	446,3	407,7	370,4	360	
537,5	527,3	522,4	512,8	503,6	494,6	465,8	440,1	408,0	270	400
557,5	552,1	541.8	536,8	527,0	517,6	495,5	467,5	435,9	300	
580,0	574,4	563,7	558,5	548,3	538,5	511.1	482,5	450,1	330	
605,0	593,5	588,0	577,2	572,0	556,8	528,7	499,3	462,6	360	
628,9	623,0	617,2	605,8	594,9	579.3	550,3	511,9	475,1	400	
627,5	621,5	615,6	609,9	604,2	593,2	572,4	539,3	513,8	300	450
656,3	650,0	643,8	637,7	631,7	620,1	603,5	572.8	545,1	330	
681,5	675,0	668,5	656,0	650,0	644,0	621,2	589,9	561,6	360	
705,0	705,0	698,2	685,2	678,8	666,5	643,1	611,0	581,9	400	
740,0	732,9	726,0	719,2	712,5	699,6	675,0	636,0	605,9	450	
744,6	737.5	730,4	723,5	716,8	710,1	684,8	661,2	628.6	330	500
769,9	769,9	762,5	755,2	748,1	741,1	720,9	701,7	672,0	360	
800,1	800,1	792,5	784,9	777,5	770,2	749,2	722,9	692,6	400	
835,5	835,5	827,5	819,6	804,3	796,8	775,3	754,9	717,1	450	
878,4	870,0	861,7	853,5	845,6	837,7	807,8	780,0	741,6	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

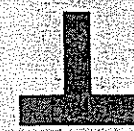
Medio perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	6,60	17,2	12,5	10,0	7,9	6,2	5,0	4,0
140	8,21	21,3	16,8	14,3	11,8	9,5	7,7	6,3
160	10,00	26,0	21,1	18,7	16,0	13,3	11,1	9,2
180	12,00	31,2	26,0	24,0	21,2	18,2	15,5	13,1
200	14,20	36,9	31,0	29,3	26,6	23,8	20,4	17,7
220	16,70	43,4	37,1	35,3	33,1	30,2	26,8	23,6
240	19,60	51,0	43,6	42,1	40,1	37,2	33,7	30,2
270	23,00	59,8	50,3	49,0	47,5	45,6	42,7	39,1
300	26,90	69,9	57,8	56,9	55,5	53,8	51,4	48,6
330	31,30	81,4	67,3	66,2	64,6	62,6	60,7	58,1
360	36,40	94,6	78,9	77,6	76,3	74,5	72,2	69,1
400	42,20	109,7	89,9	88,5	87,1	84,4	82,5	80,1
450	49,40	128,4	101,9	101,9	99,6	98,0	94,4	92,4
500	57,80	150,3	118,3	116,5	115,6	113,0	110,5	108,1
550	67,20	174,7	135,4	133,3	133,4	130,4	127,5	123,0
600	78,00	202,8	157,2	156,0	154,8	152,5	149,1	145,9

$\lambda > 200$

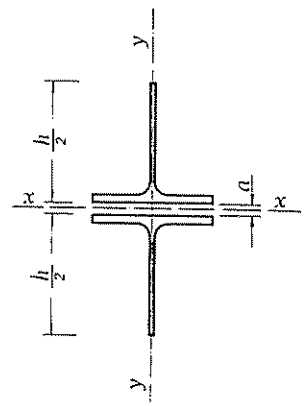
El pandeo se presenta con flexión y torsión.

3.9.15



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPE
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
3,3	2,8	2,3	2,0	1,8					120
5,2	4,4	3,7	3,2	2,8	2,4	2,2			140
7,6	6,5	5,5	4,8	4,2	3,7	3,2	2,6		160
11,1	9,4	8,1	7,0	6,1	5,4	4,8	3,8	3,1	180
15,0	12,9	11,1	9,7	8,5	7,5	6,7	5,3	4,4	200
20,4	17,7	15,6	13,6	12,0	10,6	9,4	7,6	6,2	220
26,5	23,6	20,7	18,3	16,2	14,4	12,7	10,3	8,5	240
35,4	31,6	28,6	25,4	22,7	20,3	18,3	15,0	12,3	270
45,1	41,4	37,6	34,0	30,5	27,6	25,1	20,8	17,3	300
54,6	50,2	46,2	42,4	38,2	35,1	31,8	26,6	22,2	330
65,7	61,9	57,7	52,9	48,5	44,4	40,8	34,4	28,9	360
76,2	72,7	67,7	63,1	58,1	54,0	49,4	41,6	35,3	400
88,0	85,1	80,3	75,1	69,8	64,9	60,3	51,6	44,3	450
104,4	100,9	95,7	90,5	85,4	79,5	74,0	63,9	54,6	500
119,7	115,7	111,3	105,3	99,3	93,9	86,9	76,3	66,2	550
142,8	138,0	132,5	126,8	120,0	113,3	107,3	93,9	81,4	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una [illegible] lor					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	13,2	34,32	25,8	20,9	16,4	12,6	10,0	8,1
140	16,4	42,64	34,6	29,6	24,2	19,4	15,7	12,8
160	20,1	52,26	45,0	39,8	33,7	28,1	22,8	19,0
180	23,9	62,14	*54,5*	50,5	44,7	38,3	31,8	26,7
200	28,5	74,10	63,9	62,8	57,0	50,4	43,3	36,8
220	33,4	86,84	*74,2*	*74,2*	71,1	63,8	56,7	49,9
240	39,1	101,66	*85,4*	*85,4*	*85,4*	80,0	72,6	63,5
270	45,9	119,34	*97,0*	*97,0*	*97,0*	*97,0*	92,5	84,0
300	53,8	139,88	*111,0*	*111,0*	*111,0*	*111,0*	*111,0*	107,6

$\lambda > 200$

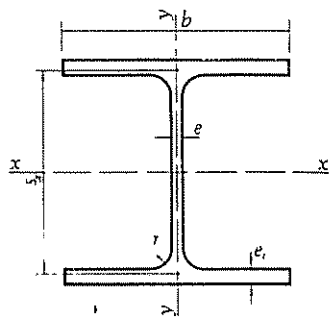
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

3.9.16

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPE
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
6,7	5,5	4,7	4,0	3,5					120
10,5	8,8	7,5	6,4	5,6	4,9	4,3			140
15,7	13,3	11,3	9,7	6,5	7,4	6,5	5,2		160
22,6	19,2	16.4	14,1	12,3	10,8	9,6	7,6	6,2	180
31,0	26,5	22,9	19,9	17,4	15,3	13,5	10,8	8,8	200
42,7	36,9	32.0	27,9	24,5	21,7	19,2	15,4	12,5	220
56,1	49,3	42,5	37,5	33,2	29,4	26,0	21,0	17,2	240
76,0	67,8	60,2	53,0	47,1	42,3	37,8	30,5	25,0	270
98,5	90,2	80,3	72,8	65,6	58,5	52,9	43,3	35,7	300

3.9.16



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para un						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	34,0	88,40	57,0	50,8	45,3	40,4	35,9	31,7	28,4
140	43,0	111,80	83,4	76,6	69,9	63,5	57,3	51,8	46,8
160	54,3	141,18	113,9	107,8	100,8	93,5	86,1	78,0	71,3
180	65,3	169,78	145,1	139,2	131,6	124,8	116,3	100,5	100,5
200	78,1	203,06	181,3	175,1	167,8	161,2	152,7	145,0	136,3
220	91	236,60	215,1	211,2	204,0	197,2	189,3	182,0	172,7
240	106	275,60	255,2	250,5	246,2	239,7	229,7	222,3	213,6
260	118	306,80	286,7	284,1	278,9	273,9	266,8	257,8	249,4
280	131	340,60	324,4	318,3	315,4	309,6	304,1	296,2	288,6
300	149	387,40	369,0	365,5	362,1	355,4	352,2	345,9	336,9
320	161	418,60	398,7	394,9	391,2	384,0	380,5	370,4	364,0
340	171	444,60	423,4	419,4	415,5	407,9	404,2	393,5	386,6
360	181	470,60	448,2	444,0	439,8	431,7	424,0	416,5	409,2
400	198	514,80	490,3	486,7	476,7	472,3	463,8	451,6	443,8
450	218	566,80	539,8	529,7	524,8	520,0	506,1	497,2	484,4
500	239	621,40	591,8	580,7	575,4	564,9	554,8	545,1	531,1
550	254	660,40	629,0	617,2	611,5	600,4	589,6	579,3	559,7
600	270	702,00	668,6	656,1	650,0	638,2	626,8	610,4	594,9

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

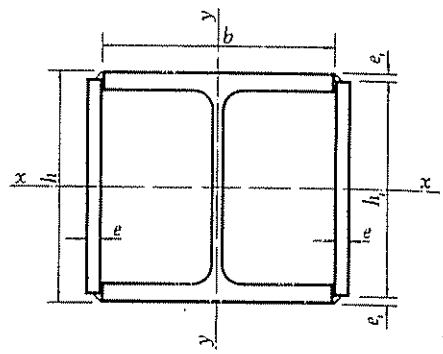
3.9.17

Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
23,2	19,2	15,9	13,5	11,6	10.0				120
38,6	32,0	26,9	22.9	19,7	17,1	13,4			140
60,1	50.6	42,5	36,6	31.7	27,4	21,2	17,0	13,8	160
87,1	74,1	63,6	54,6	47,4	41,4	32,3	25,8	21,0	180
118,7	102,6	90,2	78.1	68.1	59,7	46.7	37,3	30.8	200
154,6	138,4	121,3	106.3	93,5	82,7	65,2	52.5	43,1	220
196.9	177,8	158,4	139,2	124,1	110,7	87,5	71,4	59,1	240
234,2	213,1	191,8	174,3	154,9	140,1	111,6	91,3	75,8	260
272,5	250.4	231,7	210.2	190,3	172,0	140.7	115,9	96,2	280
320,2	300,3	278,7	260,0	236,2	216,4	176,9	146.7	123,0	300
346,0	324,5	301,2	280,9	255,2	233,9	191,1	158,6	132,9	320
364,4	344,7	319,9	294,4	271.1	245.6	203,0	166,5	139,4	340
385,7	362,0	338,6	311,7	283,5	260,0	212,0	176,3	145,7	360
418,5	393,0	367,7	336,5	304,6	276,8	228.8	187,2	157,4	400
460,8	432,7	399,2	365,7	331.5	304,7	247,5	203,2	170,7	450
501,1	467,2	431.5	395,8	363,4	328,8	267,8	220,4	182,8	500
528,3	492,8	452,3	412,8	375,2	338,7	276,3	227,7	191,4	550
557,1	516,2	477,6	433,3	392.2	354.5	290,1	238.8	198,3	600

3.9.17



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB con dos platabandas soldadas

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una σ_u de						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	50,5	131	104 · 8	111,5	106,1	100,4	94,6	88,3	82,2	75,6
140	62,8	163	124 · 8	145,8	140,8	134,9	129,6	122,8	116,6	111,1
160	82,3	213	140 · 10	198,1	194,5	189,4	182,9	176,8	171,2	164,6
180	97,3	252	160 · 10	236,4	234,2	230,0	225,9	220,0	212,6	205,7
200	121	314	180 · 12	300,0	296,8	294,0	288,6	283,4	278,4	273,6
220	139	361	200 · 12	347,5	344,2	340,9	337,8	331,6	328,5	322,7
240	172	447	220 · 15	434,2	430,0	425,9	425,9	417,9	414,1	410,3
260	190	494	240 · 15	479,6	479,6	475,0	470,5	470,5	461,7	461,7
280	209	543	260 · 15	532,7	527,6	527,6	522,5	517,5	517,5	507,9
300	233	605	280 · 15	593,9	588,2	588,2	582,5	582,5	577,0	571,5
320	281	730	300 · 20	716,3	716,3	709,3	709,3	702,5	702,5	695,8
340	299	777	320 · 20	762,2	762,2	754,8	754,8	747,5	747,5	740,4
360	317	824	340 · 20	808,0	808,0	800,2	800,2	792,5	792,5	785,0
400	350	910	380 · 20	892,2	892,2	883,5	883,5	875,0	875,0	866,7
450	420	1 092	420 · 24	1 070,6	1 070,6	1 070,6	1 060,2	1 060,2	1 050,0	1 050,0
500	465	1 209	470 · 24	1 185,3	1 185,3	1 185,3	1 173,8	1 173,8	1 162,5	1 162,5
550	504	1 310	520 · 24	1 284,7	1 284,7	1 284,7	1 272,2	1 272,2	1 260,0	1 260,0
600	544	1 414	570 · 24	1 386,7	1 386,7	1 386,7	1 373,2	1 373,2	1 360,0	1 360,0

$\lambda > 200$

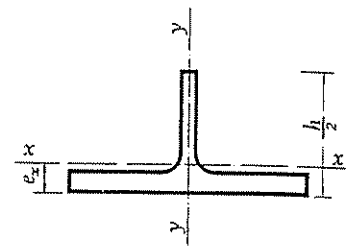
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.18

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
64,8	54,4	46,7	40,2	34,9	30,2	23,7	18,8	15,5	120
96,6	83,7	72,6	62,8	55,5	48,6	38,0	30,7	25,0	140
148,6	133,7	119,5	105,4	93,4	82,3	66,2	53,5	43,8	160
193,1	175,7	161,1	143,7	129,7	115,5	93,4	76,2	63,2	180
257,9	243,9	226,3	208,3	191,8	173,8	143,7	117,8	98,6	200
308.9	293,8	278,0	260,0	242,6	220,4	185,3	155,8	131,4	220
399,3	385,5	366,6	352,1	333,7	310,6	269,4	229,3	198,8	240
449,1	437.2	422,2	404,9	389,0	368,7	327,2	280,7	243,3	260
503,1	489,5	476,7	456,6	441,8	421,2	382,7	335,4	295,3	280
566,2	550,7	540,9	522,2	504,8	484,6	445,4	401,2	354,3	300
682,8	676,5	664,2	646,5	624,4	603,8	562,0	507,4	456,6	320
726,5	719,8	706,7	688,0	664,4	642,5	598,0	540,0	485,9	340
770,3	763,1	749,3	729,4	704,4	681,2	634,0	572,4	515,1	360
850,5	842,6	827,3	805,3	777,8	752,1	700,0	631,9	568,8	400
1 030.2	1 020,6	1 001,8	975,0	957,9	925,4	859,8	785,6	713,7	450
1 140.6	1 129,9	1 109,2	1 079,5	1 060,5	1 024,6	952,0	869,8	790,2	500
1 236,2	1 224,7	1 202,2	1 170,0	1 149,5	1 110,5	1 040,0	956,5	867,8	550
1 334,3	1 321,9	1 297,6	1 262,9	1 240,7	1 198,6	1 122,5	1 032,4	936,7	600

3.9.18



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEB

HEB	Sección A cm^2	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	17,0	44,2	31,6	24,4	18,8	14,4	11,5	9,2
140	21,5	55,9	44,7	37,5	30,1	23,8	19,0	15,6
160	27,1	70,5	60,2	57,8	45,5	37,3	30,8	25,3
180	32,6	84,8	75,7	69,5	61,9	52,3	44,1	37,0
200	39,0	101,4	93,0	86,7	78,6	70,4	61,1	52,0
220	45,5	118,3	110,6	104,7	97,0	88,9	79,4	69,2
240	53,0	137,8	*130,0*	125,3	117,8	109,4	99,1	88,9
260	59,2	153,9	*143,9*	141,2	135,0	126,2	117,5	105,4
280	65,7	170,8	*159,6*	*159,6*	153,9	146,0	136,7	127,5
300	74,5	193,7	*181,0*	*181,0*	177,7	169,9	161,4	150,2
320	80,7	209,8	*197,9*	*196,1*	194,3	189,0	180,9	170,6
340	85,4	222,0	*209,5*	*209,5*	*207,5*	203,7	196,5	188,2
360	90,3	234,8	*223,6*	*221,5*	*219,4*	217,4	211,5	205,9
400	98,9	257,1	244,9	242,6	242,6	*240,3*	240,3	233,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se representa en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

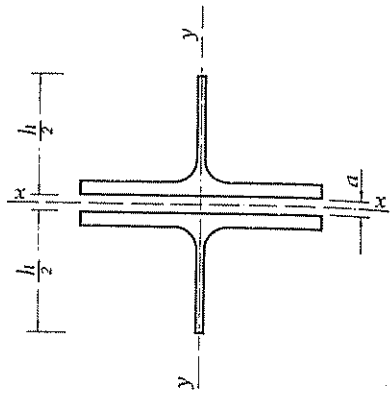
3.9.19



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									HEB
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
7,6	6,3	5,3	4,5						120
12,9	10,7	9,1	7,8	6,7	5,9				140
21,0	17,8	15,1	13,0	11,3	9,9	8,7	7,0		160
31,3	26,6	22,8	19,7	17,2	15,1	13,4	10,7	8,6	180
44,3	38,0	32,6	28,3	24,7	21,8	19,3	15,4	12,7	200
59,7	51,7	44,8	39,2	34,3	30,3	26,9	21,5	17,8	220
78,3	68,6	60,2	52,2	46,2	41,0	36,6	29,6	24,3	240
95,0	83,7	74,7	65,5	58,3	51,7	46,4	37.5	30,8	260
116,2	104,2	92,8	82,9	74,6	66,7	59,7	48,3	40,2	280
139,4	128,3	114,6	104,1	94,0	83,5	75,7	61,5	51,4	300
160,2	147,8	137,1	124,2	112,8	101,9	93,3	76,3	63,2	320
177,6	166,9	156,4	145,1	131,4	120,7	110,5	91,8	77,6	340
195,7	186,3	175,2	163,0	153,5	141.4	129,7	108,7	92,8	360
227,0	219,8	210,8	199,3	189,1	178,6	168,1	146,1	126,7	400

3.9.19



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

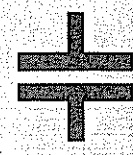
Dos medios perfiles HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una longi						
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,
120	34,0	88,40	11,0	79,6	73,7	66,0	57,0	48,8	40,9	3
140	43,0	111,80	11,5	*103,5*	98,1	90,2	81,6	71,2	61,8	5
160	54,3	141,18	13,0	*133,2*	*128,3*	121,7	112,9	103,1	92,3	8
180	65,3	169,78	14,0	*158,6*	*157,2*	*151,6*	142,7	133,7	122,1	11
200	78,1	203,06	15,0	*189,8*	*189,8*	*186,3*	*178,1*	167,8	157,4	14
220	91,0	236,60	16,0	*221,1*	*221,1*	*219,0*	*211,2*	*204,0*	192,4	18
240	106,0	275,60	16,0	*255,2*	*255,2*	*255,2*	*250,5*	*241,8*	231,6	22
260	118,4	307,84	17,0	*282,4*	*282,4*	*282,4*	*282,4*	*274,8*	*265,4*	25
280	131,4	341,64	18,0	*310,6*	*310,6*	*310,6*	*310,6*	*310,6*	*302,3*	29
300	149	387,40	18,5	*352,2*	*352,2*	*352,2*	*352,2*	*352,2*	349	33

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

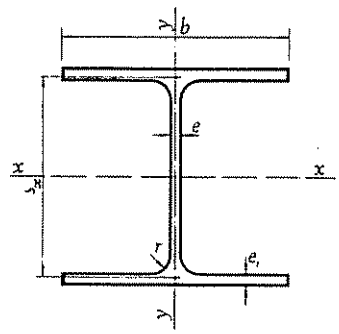
3.9.20



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
34,5	29,3	25,3	21,8	19,0	16,8	14,8	11,9	9,6	120
53,5	45,4	39,6	34,6	30,1	26,6	23,7	18,9	15,4	140
81,1	71,3	62,7	55,8	49,4	43,7	38,9	31,3	25,7	160
111,0	99,3	88,4	78,6	70,2	62,6	56,2	45,0	37,2	180
145,0	132,7	120,2	107,4	97,2	87,5	78,1	64,5	53,3	200
180,6	166,6	154,6	140,0	127,2	115,0	105,2	86,0	71,3	220
220,5	207,2	191,4	177,8	163,1	148,2	135,8	112,0	95,0	240
252,3	242,4	226,4	210,8	196,1	180,0	165,5	138,7	118,4	260
292,0	277,7	264,8	249,4	234,0	217.6	202,2	170	145,4	280
339,8	325,5	309,9	295,7	282,8	265,3	249,9	214	185,4	300

3.9.20



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	25,3	65,78	41,9	37,4	33,2	29,2	26,0	23,3	20,9
140	31,4	81,64	60,0	55,5	50,4	45,6	41,2	37,3	33,2
160	38,8	100,88	80,7	75,8	71,0	65,1	59,7	53,9	49,7
180	45,3	117,78	100,7	95,8	91,3	86,0	80,7	75,0	69,7
200	53,8	139,88	123,8	119,6	114,7	110,1	104,4	90,5	92,6
220	64,3	167,18	152,0	147,9	144,1	138,2	132,7	127,6	120,3
240	76,8	299,68	184,9	181,5	176,7	172,1	166,4	169,7	153,6
260	86,8	225,68	210,9	208,9	205,2	199,7	194,6	188,1	182,0
280	97,3	252,98	238,7	236,4	232,1	230,0	223,9	218,1	212,6
300	113	293,80	279,8	277,2	274,6	269,5	264,7	260,0	255,5
320	124	322,40	307,0	304,2	301,3	295,8	290,5	285,3	280,3
340	133	345,80	329,3	326,2	323,2	317,2	311,5	306,0	298,1
360	143	371,80	354,1	350,8	347,5	341,1	334,9	329,0	320,5
400	159	413,40	393,7	390,0	382,8	379,3	369,1	362,6	356,4
450	178	462,80	440,8	432,5	428,5	420,7	413,2	406,0	395,6
500	198	514,80	490,3	481,1	476,7	468,0	459,6	451,6	440,0
550	212	551,20	525,0	515,1	510.4	501,1	492,1	483,5	467,1
600	226	587,60	559,6	549,2	539,1	534,2	520,0	511,0	493,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

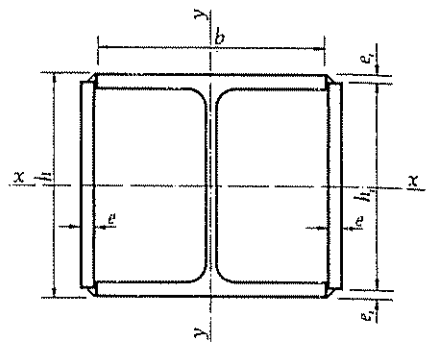
3.9.21

Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEA
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
16,8	13,8	11,6	9.8	8,4	7,3				120
27,4	22,8	19,2	16,4	14,0	12,1	9,4			140
41,7	34.8	29,7	25,2	21.9	19,0	14,7	11,8		160
58,6	50,8	42,8	36,9	32,1	28,0	21,9	17,5	14,3	180
80,4	69,6	60,3	52,4	45,0	39.5	31,0	24.9	20,4	200
107,9	95,0	83.2	73,0	64.3	56,9	44,9	36,3	29,8	220
140,6	127,2	111,6	99,3	88,7	78,0	62,6	50,4	41,4	240
169.7	154,6	139,3	126,1	112.3	100.3	80,9	66,4	54,4	260
200,8	186,0	169,8	154,3	139,8	125.9	102,8	83,8	69,7	280
240,8	226,0	211,4	194,6	176,9	162,3	132,3	110,0	90,9	300
264,3	248,0	231,9	213,5	194,2	178.1	145,2	120.7	99.8	320
283,4	266,0	247,0	229,0	208,3	187,9	155,8	127,6	107,1	340
302,3	286.0	265,6	243,0	223,9	202,1	165,2	137,2	113,7	360
336,1	315,6	291,1	266,7	241,8	222.3	180,5	148,2	124,5	400
373,2	348,0	325,9	298,6	270,6	244.9	199,5	165,9	137,7	450
415,2	387,1	357,5	327,9	295,9	268.1	221,9	182,6	151,4	500
441,0	411,3	377,5	344,5	313,2	282,7	230,6	190,1	157,9	550
466,3	432.1	399,7	362,7	328,3	296,8	242,8	197,2	164,1	600

3.9.21



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA con dos platabandas soldadas

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una							lo
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
120	37,8	98,3	104 · 6	82,6	78,6	73,9	69,2	65,1	59,9	54,9	
140	51,1	132,9	123 · 8	117,6	113,6	108,9	104,6	99,1	93,6	88,0	
160	61,2	159,1	140 · 8	146,0	142,1	139,6	134,8	129,4	125,3	119,6	
180	70,9	184,3	160 · 8	172,3	170,7	167,6	164,6	160,3	154,9	149,9	
200	89,8	233,5	180 · 10	222,4	218,2	216,2	212,3	208,5	204,8	199,6	
220	104	270,4	200 · 10	260,0	257,5	255,1	252,7	248,1	243,6	239,3	
240	130	338,0	220 · 12	325,0	325,0	321,9	318,9	315,9	310,1	307,3	
260	144	374,4	240 · 12	363,5	360,0	360,0	356,6	353,2	349,9	346,7	
280	160	416,0	260 · 12	407,8	403,9	400,0	400,0	396,2	392,5	388,8	
300	180	468,0	280 · 12	458,8	454,4	454,4	450,0	450,0	445,7	441,5	
320	214	556,4	300 · 15	545,5	545,5	540,2	540,2	535,0	535,0	529,9	
340	229	595,4	320 · 15	583,7	583,7	578,1	578,1	572,5	572,6	567,0	
360	245	437,0	340 · 15	624,5	624,5	618,4	618,4	612,5	612,5	606,7	
400	273	709,8	380 · 15	695,9	695,9	689,1	689,1	682,5	682,5	676,0	
450	346	899,6	420 · 20	882,0	882,0	882,0	873,4	873,4	865,0	856,8	
500	386	1 003,6	470 · 20	983,9	983,9	983,9	974,4	974,4	965,0	955,8	
550	420	1 092,0	520 · 20	1 070,6	1 070,6	1 070,6	1 060,2	1 060,2	1 050,0	1 050,0	1
600	454	1 180,4	570 · 20	1 157,3	1 157,3	1 157,3	1 146,0	1 146,0	1 135,0	1 135,0	1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

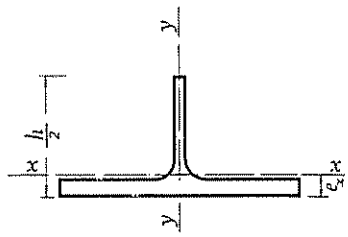
3.9.22

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEA
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
47,0	39,5	33,9	28,9	25,1	21,8	17,2	13,7	10,0	120
76,4	66,1	57,3	49,8	43,4	38,1	29,9	23,9	19,6	140
108,2	95,9	85,5	74,7	65,8	58,7	46,1	37,4	30,9	160
140,7	128,0	115,2	104,7	93,1	83,0	67.0	54,9	45,5	180
188,3	175,5	162,1	148,7	134,2	121,6	99,4	81,6	67,7	200
229,2	218,1	206,4	190,4	176,7	162,9	134,5	113,1	95,9	220
296,5	284,0	270,4	254.1	241.4	223,8	188,8	161,7	137,4	240
337,3	328,4	314,6	299,5	285,8	269,4	234,0	203,5	175,8	260
381,7	371,4	361,7	346,7	335,5	320.0	284,9	250,6	220,1	280
437,4	425,5	417,9	403,4	390,0	377,4	344,1	309,9	273,7	300
520,0	510,5	501,3	488,1	471,5	456,1	424,7	381,1	343,5	320
556,4	546,2	536,4	522.3	504,6	488,0	454.5	407,8	367,5	340
595,3	584,4	573,9	558,8	539,8	522,1	478,9	433,3	388,4	360
663,4	651,2	639.5	622,6	601,5	581,8	533,7	482,9	432,8	400
848,7	833,0	817,8	803,2	782,3	756,0	708,3	647,2	588,0	450
946.8	929,3	912,4	896,1	872,7	843.4	790.2	722,0	655,9	500
1 030,2	1 020,6	1 001.8	975,0	957,9	925,4	859,8	785,6	713,7	550
1 113,6	1 103,2	1 082,9	1 053,9	1 035.4	1 000,3	929,4	849,2	771,5	600

3.9.22

Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*



Medio perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	12,7	33,0	22,6	17,5	13,3	10,1	8,0	6,4
140	15,7	40,8	32,1	26,7	21,3	16,9	13,5	11,0
160	19,4	50,4	42,7	37,6	31,5	26,1	21,1	17,4
180	22,6	58,8	51,5	47,0	40,8	34,8	29,3	23,9
200	26,9	69,9	*61,4*	59,3	53,4	46,9	40,2	34,5
220	32,2	83,7	*73,4*	*73,4*	68,1	61,6	54,0	46,8
240	38,4	99,8	*88,4*	*87,6*	84,6	77,4	70,8	62,4
260	43,4	112,8	*99,0*	97,3	*96,4*	91,7	84,2	75,7
280	48,6	126,4	*109,9*	*108,0*	*107,1*	*106,2*	100,3	92,2
300	56,7	147,4	*129,3*	*127,1*	*124,9*	*123,9*	*121,9*	117,0
320	62,2	161,7	*144,4*	*143,1*	*141,9*	*141,9*	*137,1*	130,4
340	66,7	173,4	*157,7*	*154,8*	*154,8*	*153,5*	*152,1*	144,5
360	71,4	185,6	*170,3*	*168,8*	*167,2*	*165,7*	*164,3*	161,4
400	79,5	206,7	*189,6*	*187,9*	*186,2*	*184,6*	*184,6*	*184,6*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

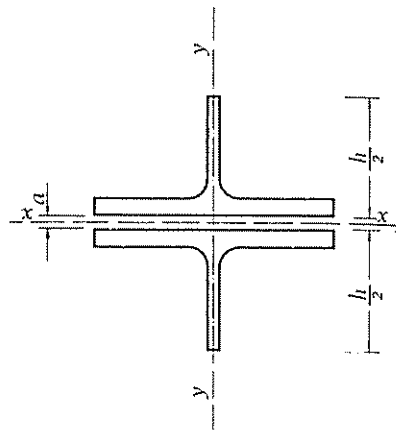
3.9.23



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEA
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,3	4,4	3,7	3,2						120
9,1	7,6	6,4	5,4	4,8	4,2				140
14,5	12,2	10,2	8,8	7,7	6,7	5,9			160
20,3	17,0	14,5	12,6	10,9	9,6	8,5	6,8		180
28,9	24.8	21,4	18,6	16,1	14,2	12,6	10,0	8,2	200
40,6	35,0	30,4	26,2	23,1	20.4	18,2	14,5	11,9	220
54,3	47,8	41,8	36,3	32,1	28,6	25,2	20,3	16,7	240
68,0	59,7	52,2	45,9	41,0	36,3	32,3	26,2	21,5	260
83,7	74,8	66,9	59,3	52,9	47,3	42,4	34,4	28,4	280
108,4	98,9	89,9	81,4	73,3	66,4	59,9	48,8	40,6	300
121,6	112,3	103,0	92,9	84,2	75,0	68,8	56,5	46,9	320
137,6	129,4	118,8	110,5	99.7	91,8	84,2	69,6	58,2	340
153,4	146,2	136,5	127,2	118,2	108,6	99,8	83,6	71,4	360
181,3	175,2	168,0	159,0	150,9	141,6	133,4	115,5	100,3	400

3.9.23



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

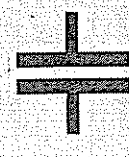
Dos medios perfiles HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	a mm	Resistencia en t para una [illegible] lo						
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
120	25,4	66,04	8,0	57,4	51,2	44,4	36,8	30,2	25,0	
140	31,4	81,64	8,5	74,2	68,6	62,4	54,0	46,4	39,0	
160	38,8	100,88	9,0	*89,2*	89,2	82,6	74,2	65,8	57,4	
180	45,2	117,52	9,5	*101,4*	*101,4*	99,6	92,6	84,0	74,8	
200	53,8	139,88	10,0	*118,6*	*118,6*	*118,6*	116,6	107,6	98,6	
220	64,4	167,44	11,0	*140,8*	*140,8*	*140,8*	*140,8*	136,2	127,8	
240	76,8	199,68	12,0	*167,8*	*167,8*	*167,8*	*167,8*	*167,8*	159,8	
260	86,8	225,68	12,5	*186,6*	*186,6*	*186,6*	*186,6*	*186,6*	*186,6*	
280	97,2	252,72	13,0	*205,4*	*205,4*	*205,4*	*205,4*	*205,4*	*205,4*	
300	113,4	294,84	14,0	*239,8*	*239,8*	*239,8*	*239,8*	*239,8*	*239,8*	

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

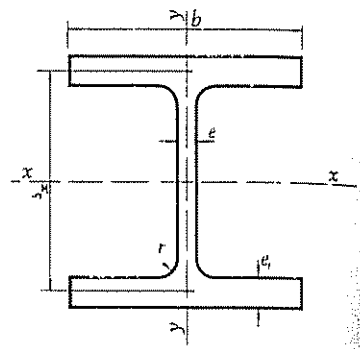
3.9.24



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEA
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
21,0	17,8	15,2	13,0	11,2	10,0	8,8	7,0		120
33,2	28,2	24,2	21,2	18,3	16,3	14,4	11,4	9,4	140
48,2	43,0	37,2	32,4	28,4	25,2	22,4	20,0	14,6	160
65,0	57,0	50,0	44,0	38,4	34,0	30,4	24,4	20,0	180
89,0	78,2	69,6	62,2	54,6	49,0	43,8	35,4	29,0	200
116,2	106,6	95,2	85,8	76,4	68,0	60,2	50,4	41,4	220
149,0	136,8	124,8	113,4	104,0	93,8	85,0	69,8	57,8	240
177,8	164,8	151,4	139,4	126,0	115,8	104,4	86,8	72,6	260
205,4	195,8	184,4	169,6	156,0	143,6	131,6	110,4	93,2	280
239,8	239,8	232,2	220,0	204.8	192,8	177,6	151,2	131,0	300

3.9.24



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitu							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,5
120	64,4	167,44	118,1	106,5	96,3	85,8	76,6	69,2	61,8	
140	80,6	209,56	162,4	150,8	138,8	127,8	115,8	105,8	95,7	5C
160	97,1	252,46	208,6	198,8	188,4	175,3	162,9	149,4	137,2	79
180	113	293,80	257,7	244,8	235,0	224,3	211,4	197,2	183,6	116
200	131	340,60	306,8	298,8	286,2	274,7	264,0	250,4	236,5	159
220	149	387,40	355,4	349,0	339,8	328,3	317,5	305,0	291,3	210
240	200	520,00	486,0	477,1	468,5	456,1	444,4	429,8	416,0	263
260	220	572,00	539,6	534,6	524,8	515,3	501,8	493,1	476,7	388,
280	240	624,00	594,3	588,7	577,8	572,5	562,2	547,4	537,9	450,
300	303	787,80	757,5	750,3	736,3	729,4	722,8	709,7	697,2	507,
320	312	811,20	780,0	772,6	758,1	751,1	744,2	730,8	717,9	667,
340	316	821,60	790,0	782,5	767,9	760,7	753,8	740,2	720,7	681,
360	319	829,40	797,5	789,9	775,1	768,0	754,0	740,5	727,5	690,
400	326	847,60	815,0	799,6	792,1	784,8	770,5	756,8	743,5	697,
450	335	871,00	829,5	821,7	814,0	799,1	791,8	777,7	757,4	706,3
500	344	894,40	851,8	843,8	835,9	820,6	805,8	791,5	771,0	719,8
550	354	920,40	876,6	868,3	852,2	844,4	821,8	807,4	793,4	733,1
600	364	946,40	901,3	884,5	876,3	860,4	845,0	830,2	808,9	748,3
										763,2

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

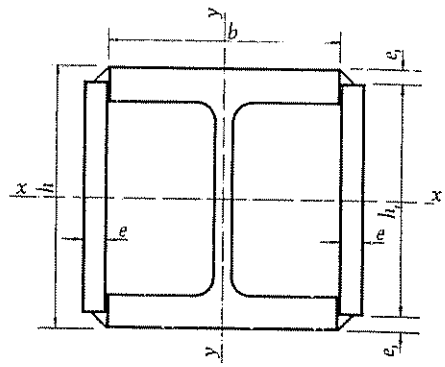
3.9.25

Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

itud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
50,7	41,5	34,9	29,5	25,4	22,1	17,0			120
79,4	65,7	55,6	47,6	41,1	35,5	27,6	21,9		140
116,9	98,6	83,6	71,3	61,6	54,2	41,9	33,6	27,3	160
159,7	136,0	118,0	101,3	88,5	77,1	63,0	48,2	39,4	180
210,2	183,1	159,9	138,5	122,1	106,8	84,1	67,6	55,4	200
263,5	236,2	208,3	181,9	162,1	142,9	113,9	92,2	75,2	220
388,1	353,7	317,1	282,6	252,4	224,1	181,8	146,9	122,4	240
450,4	417,5	378,8	344,6	310,9	281,8	226,1	186,9	153,8	260
507,3	476,3	445,7	407,8	369,2	335,3	277,3	226,9	190,8	280
667,6	630,2	592,3	554,8	514,9	466,2	391,9	325,5	275,5	300
681,7	648,9	609,9	571,3	523,4	480,0	399,6	335,2	279.7	320
690,4	657,3	613,1	570,6	530,1	480,5	404,7	334,0	279,5	340
697,0	658,3	618,9	568,1	528,3	485,0	402,6	333,1	278,3	360
706,3	667,4	623,2	576,6	529,8	481,6	397,9	331,1	277,0	400
719,8	675,2	635,8	584,6	531,1	486,6	403,2	329,9	276,5	450
733,1	688,0	638,9	592,3	538,8	486,1	402,9	330,0	276,9	500
748,3	702,6	648,2	593,8	544,6	494,8	401,9	334,7	277,2	550
763,2	711,5	657,2	602,8	543,9	492,9	402,7	330,9	274,3	600

3.9.25



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

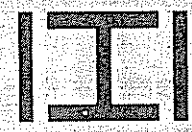
Un perfil HEM con dos platabandas soldadas

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una							lc
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
120	95,2	247	120 · 12	213,4	204,6	196,4	184,7	174,3	163,9	150,9	
140	120	312	130 · 15	283,6	276,1	269,0	257,9	249,6	238,2	227,7	
160	142	369	150 · 15	345,0	338,7	329,6	323,9	312,9	302,6	290,7	
180	164	426	170 · 15	402,3	398,5	391,2	384,1	374,0	364,4	355,3	
200	188	488	190 · 15	465,5	461,1	456,8	448,4	440,4	432,6	425,0	
220	233	605	210 · 20	582,5	582,5	577,0	571,5	566,2	555,8	550,7	
240	310	806	230 · 24	782,5	775,0	775,0	767,6	760,4	753,3	746,3	
260	340	884	250 · 24	866,7	858,3	850,0	850,0	841,9	834,0	826,2	
280	370	962	270 · 24	943,1	934,0	934,0	925,0	925,0	916,2	907,5	
300	447	1 162	300 · 24	1 139,4	1 139,4	1 128,3	1 128,3	1 117,5	1 106,9	1 106,9	
320	504	1 310	320 · 30	1 284,7	1 284,7	1 272,2	1 272,2	1 260,0	1 260,0	1 248,0	
340	520	1 352	340 · 30	1 325,4	1 325,4	1 325,4	1 312,6	1 312,6	1 300,0	1 287,6	
360	529	1 375	350 · 30	1 348,4	1 348,4	1 348,4	1 335,3	1 335,3	1 322,5	1 309,9	
400	560	1 456	390 · 30	1 427,5	1 427,5	1 427,5	1 413,6	1 413,6	1 440,0	1 386,7	
450	599	1 557	440 · 30	1 526,9	1 526,9	1 526,9	1 512,0	1 512,0	1 497,5	1 483,2	
500	632	1 643	480 · 30	1 611,0	1 611,0	1 611,0	1 595,3	1 595,3	1 580,0	1 565,0	1
550	672	1 747	530 · 30	1 712,9	1 712,9	1 712,9	1 696,3	1 696,3	1 680,0	1 680,0	1
600	712	1 851	580 · 30	1 814,9	1 814,9	1 814,9	1 797,3	1 797,3	1 780,0	1 780,0	1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

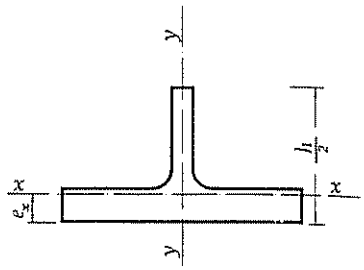
3.9.26



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
131,0	111.5	95,2	83,1	71,7	62,5	49,1	39,0	32,1	120
203,9	179.3	157,6	138,7	121,9	107,6	85,0	68,4	55,6	140
265,6	241,3	215,9	192,0	170.9	152,6	122,3	99,2	81,9	160
330,5	306,8	282,4	256,9	229,2	207,0	168,5	137,1	113,1	180
400,7	378.9	351,7	323,7	298,0	270,1	223.2	183,1	153,2	200
531,4	509,1	484,6	455,5	432,7	401,2	338,4	289,9	243,3	220
726,1	707,0	677,3	644,8	615.3	579,9	513,4	438,0	378,4	240
811,0	789,3	768.7	736,7	707,2	674,8	601,4	532,5	460,4	260
890,7	874,5	851,3	822.2	795,0	763,5	692,1	620,6	546,6	280
1 086,2	1 066,2	1 037,7	1 019,5	976,6	944,9	867,3	790,6	700,1	300
1 236,2	1 213,3	1 191,3	1 170,0	1 139,5	1 101,2	1 015,8	936,0	845,4	320
1 275,5	1 251,9	1 229,1	1 207,1	1 175.6	1 136.1	1 064,6	972,7	883,7	340
1 297.5	1 273,5	1 250,4	1 228,0	1 196,0	1 155,8	1 083,0	989,5	899,0	360
1 373,6	1 360,7	1 335,8	1 300,0	1 277,2	1 233,9	1 146,5	1 047,5	951,6	400
1 469.2	1 455,5	1 428,8	1 390,5	1 366,1	1 319,8	1 245,9	1 145,1	1 045,2	450
1 550,2	1 535.7	1 507,5	1 467,1	1 441,4	1 392,5	1 314,6	1 208.2	1 102,8	500
1 664,0	1 632,9	1 602,9	1 574.1	1 532,6	1 493,3	1 397,8	1 284,7	1 172,8	550
1 763,0	1 730,1	1 698.3	1 667,7	1 623.9	1 582,2	1 481,0	1 381,5	1 259,3	600

3.9.26



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	33,2	86,32	69,1	57,9	46,4	36,7	29,4	24,1
140	40,3	104,78	89,6	78,8	66,7	54,6	45,2	37,2
160	48,5	126,10	112,6	102,5	90,7	77,8	64,7	54,4
180	56,6	147,16	135,0	125,8	114,1	102,2	88,7	75,5
200	65,6	170,56	159,4	150,9	139,8	127,3	112,9	98,0
220	74,7	194,22	183,2	176,6	166,0	154,1	139,7	125,3
240	99,8	259,48	247,1	240,3	229,6	216,2	201,1	185,3
260	110	286,00	275,0	267,3	260,0	246,6	230,6	215,0
280	120	312,00	300,0	294,3	286,2	276,1	262,2	247,6
300	152	395,20	383,7	376,4	369,3	359,3	343,6	323,9
320	156	405,60	393,8	390,0	382,6	372,1	358,9	343,7
340	158	410,80	402,7	395,0	391,2	380,4	373,5	360,4
360	159	413,40	405,3	401,4	393,7	386,4	379,3	369,1
400	163	423,80	*415,5*	*415,5*	407,5	403,6	396,1	388,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión y torsión.

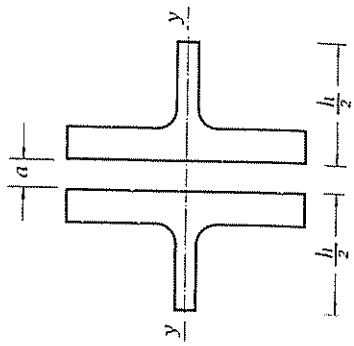
3.9.27



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
19,8	16,6	14,0	12,0	10,4	9,2				120
30,8	25,9	22,0	18,9	16,5	14,5	12,7	10,1		140
45,0	39,0	33,4	28,7	25,0	22,0	19,5	15,5	12,7	160
64,3	55,1	47,3	41,1	35,9	31,6	28,0	22,3	18,4	180
84,9	73,5	63,9	56,5	49,4	43,6	38,8	31,1	25,4	200
110,4	96,6	84,8	73,6	65,2	57,8	51,5	41,7	34,3	220
165,3	147,4	131,1	116,9	102.6	92,0	82,4	66,4	55,0	240
195,9	176,5	158,0	142,3	127,1	113,0	102,5	82,9	68,9	260
227,7	209,4	190,2	172,4	155,2	140,5	125,3	103,3	86,0	280
306,4	284,3	265,2	241,0	218,3	199,6	180,5	149,7	125,5	300
327,1	309,6	289,7	268,6	244,3	224,1	204,8	172,6	143,8	320
342,3	326,0	308,9	289,3	268,5	247,5	226,9	192,9	162,4	340
356,4	338,9	325,5	308,5	287,1	270,2	249,0	212,0	183,7	360
378,4	368,5	356,1	341,8	326,0	309,3	290,3	258,4	224,2	400

3.9.27



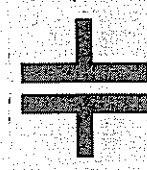
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una					
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	66,4	172,64	17,5	164,4	159,9	152,8	143,9	133,8	123,3
140	80,6	209,56	19,0	201,5	197,7	190,5	183,8	171,8	161,2
160	97,0	252,20	21,0	244,9	240,2	235,7	227,2	217,4	205,0
180	113,2	294,32	22,5	285,7	283,0	277,7	270,0	260,5	249,4
200	131,2	341,12	24,5	*331,1*	328,0	324,9	318,8	310,1	299,2
220	149,4	388,44	26,0	*377,1*	377,1	377,5	366,5	356,4	346,8
240	199,6	518,96	30,0	*503,8*	*503,8*	503,8	494,2	486,0	480,5
260	220	572,00	31,5	*555,3*	*555,3*	555,3	550,0	539,6	534,6
280	240	624,00	33,0	*605,8*	*605,8*	*605,8*	600,0	594,3	583,2
300	304	890,40	36,5	*767,4*	*767,4*	*767,4*	767,4	760,0	752,8

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

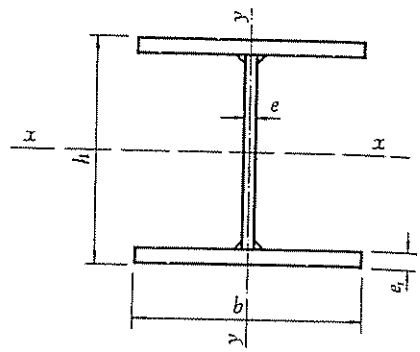
3.9.28



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
110,0	98,1	87,2	77,8	68,2	61,2	54,8	44,2	36,6	120
147,6	135,2	120,4	109,1	97,0	87,7	78,5	64,1	52,9	140
194,0	180,1	164,8	149,2	137,1	124,2	112,1	93,1	77,1	160
237,4	224,7	210,2	192,4	177,3	162,6	148,6	123,1	104,4	180
286,7	272,9	256,5	240,2	225,9	208,0	190,6	163,2	137,0	200
337,8	321,0	308,3	292,1	273,5	257,2	239,8	205,5	175,0	220
467,5	455,2	439.8	421,9	402,3	387,3	365,5	324,4	282.0	240
520,0	510,7	497,4	476,7	461,3	440,0	420,6	378,8	334,5	260
577,8	567,3	547,4	533,3	515,7	499,2	480,0	433,3	390,0	280
738,7	731,9	718,5	699,5	687,3	664,2	642,6	594,3	548,9	300

3.9.28



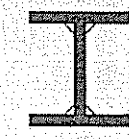
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil PCS[1] (h = b)

PCS	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una l_c						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
400/138	176,3	458,38	445,0	445,0	440,8	440,8	436,6	432,4	428,4
400/169	215,2	559,52	548,5	543,2	538,0	538,0	532,9	527,8	522,9
400/191	243,8	633,88	621,5	615,4	609,5	609,5	603,7	598,0	592,4
400/228	290,3	754,78	740,0	732,8	732,8	725,8	718,8	718,8	712,1
400/267	340,0	884,00	866,7	858,3	858,3	850,0	841,9	841,9	826,2
400/297	378,9	985,14	965,8	956,4	956,4	947,3	938,2	938,2	929,4
400/323	411,3	1 069,38	1 048,4	1 038,2	1 038,2	1 028,3	1 018,5	1 018,5	1 008,8
400/365	465,0	1 209,00	1 185,3	1 173,8	1 173,8	1 162,5	1 162,5	1 151,4	1 140,6
500/223	283,8	737,88	723,4	723,4	723,4	716,4	716,4	709,5	709,5
500/268	342,2	889,72	889,7	872,3	872,3	663,8	863,8	855,5	855,5
500/309	393,2	1 022,32	1 022,3	1 002,3	1 002,3	992,5	992,5	983,0	983,0
500/346	441,3	1 147,38	1 147,4	1 124,9	1 124,9	1 114,0	1 114,0	1 103,3	1 103,3
500/384	489,4	1 272,44	1 272,4	1 247,5	1 247,5	1 235,4	1 235,4	1 235,4	1 223,5
500/437	556,8	1 447,68	1 447,7	1 419,3	1 419,3	1 419,3	1 405,5	1 405,5	1 392,0
500/460	586,0	1 523,60	1 523,6	1 493,7	1 493,7	1 493,7	1 479,2	1 479,2	1 465,0
600/372	474,2	1 232,92	1 232,9	1 232,9	1 208,7	1 208,7	1 208,7	1 208,7	1 197,0
600/418	532,3	1 383,98	1 384,0	1 384,0	1 384,0	1 356,8	1 356,8	1 356,8	1 343,6
600/463	590,4	1 535,04	1 535,0	1 535,0	1 535,0	1 504,9	1 504,9	1 504,9	1 490,3
600/491	625,3	1 625,78	1 625,8	1 625,8	1 625,8	1 593,9	1 593,9	1 593,9	1 578,4
600/527	671,8	1 746,68	1 746,7	1 746,7	1 746,7	1 712,0	1 712,4	1 712,4	1 695,8
600/555	707,0	1 838,20	1 838,2	1 838,2	1 838,2	1 802,2	1 802,2	1 802,2	1 784,7

[1] Ver los valores estáticos en PUBLICACIONES ENSIDESA Tomo 2
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

3.9.29

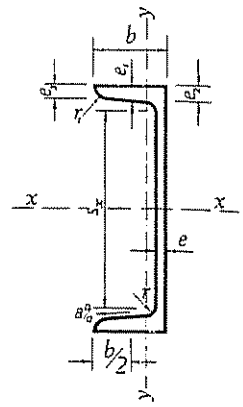


Acero A 42

σ_n = 2 600 kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									PCS
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
420,5	409,3	395,2	378,8	363,8	344.6	307,6	268.1	231,5	400/138
513.3	499,6	486,5	470.2	447,6	430.4	383.2	341,1	296,0	400/169
581,5	565.9	551.2	532,7	507,1	487,6	440.2	386,5	335,4	400/191
698,9	680.0	662,1	638,6	613.6	585,1	531,5	471,7	410,2	400/228
818.5	796,4	775,4	749,2	718.7	685,3	622,5	545,7	480,4	400/267
912.2	887,5	864.2	834,9	800.9	775.7	693.8	615,7	544,3	400/297
990,2	963.4	938,1	906.3	869,4	828,9	753,1	668.4	590,8	400/323
1 119,4	1 099.1	1 060,5	1 024.6	990,9	952,0	863,6	770,1	657,9	400/365
702.7	689,6	676.9	664.8	647,3	630.7	590,3	542.6	495,2	500/223
847,4	831,5	816,3	801.5	780,5	760,4	723,3	668,9	609,4	500/268
973,6	955,4	937,9	921.0	896,8	873,8	831,2	768,7	695,5	500/309
1 092,7	1 072.3	1 062,4	1 033,7	1 015.4	989,1	932.8	862,7	785,9	500/346
1 211,8	1 189,2	1 178.2	1 156,8	1 136.1	1 106.5	1 034.5	971,3	883,6	500/384
1 378,7	1 365,7	1 340,4	1 316,1	1 292.6	1 269,9	1 186,6	1 113,6	1 019,5	500/437
1 451,0	1 437,4	1 410,7	1 385,1	1 360.4	1 336,5	1 259,2	1 172,0	1 088,3	500/460
1 185.5	1 174,2	1 163,1	1 152,3	1 141,6	1 110,7	1 081,5	1 018,9	970,8	600/372
1 330.8	1 330,8	1 318.1	1 293.4	1 281,5	1 258.2	1 214,0	1 153,3	1 098,4	600/418
1 490,3	1 476.0	1 461,9	1 434.6	1 421,3	1 408,3	1 346,5	1 289.9	1 228.0	600/463
1 578,4	1 563.3	1 548,4	1 519,4	1 505.4	1 491,5	1 438.7	1 366.2	1 300,6	600/491
1 695.8	1 679,5	1 663.5	1 647,8	1 617.3	1 602,5	1 545.7	1 480,2	1 408,6	600/527
1 784.7	1 767,5	1 750,7	1 734.2	1 717,9	1 686,4	1 626,7	1 557,8	1 470.6	600/555

3.9.29



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil UPN

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
80	11,0	28,60	19,6	15,1	11,5	8,9	7,1	5,7
100	13,5	35,10	26,2	21,1	16,5	13,0	10,3	8,4
120	17,0	44,20	35,1	29,3	23,4	18,5	15,0	12,2
140	20,4	53,04	44,2	38,2	32,0	25,7	21,0	17,3
160	24,0	62,40	53,8	48,0	40,8	33,9	28,1	23,4
180	28,0	72,80	64,4	58,2	51,3	43,1	36,2	30,1
200	32,2	83,72	75,4	69,2	61,6	53,3	45,0	38,2
220	37,4	97,24	89,2	83,1	75,4	66,6	57,5	49,1
240	42,3	109,98	101,8	96,5	88,0	79,1	68,7	59,8
260	48,3	125,58	117,4	112,1	103,8	94,4	84,3	73,4
280	53,3	138,58	130,7	126,0	118,4	109,1	98,9	88,2
300	58,8	152,88	145,6	140,3	134,1	124,3	114,1	102,6

$\lambda > 200$

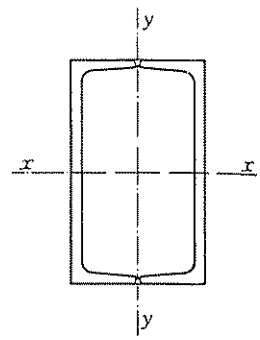
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.30

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
4,7	3,9	3,3	2,8						80
7,0	5,8	4,9	4,2	3,6					100
10,0	8,4	7,2	6,2	5,4	4,7				120
14,5	12,1	10,3	8,9	7,7	6,7	6,0			140
19,3	16,4	14,0	12,1	10,6	9,3	8,1	6,5		160
25,5	21,4	18,4	16,0	13,8	12,2	10,8	8,6	7,0	180
32,2	27,4	23,7	20,4	17,7	15,7	13,9	11,0	9,0	200
41,9	35,9	30,9	26,8	23,7	20,9	18,5	14,9	12,1	220
51,6	44,2	38,5	33,1	29,2	25,9	23,1	18,4	15,0	240
63,4	55,8	48,3	42,1	36,9	32,5	29,2	23,3	19,2	260
77,4	68,3	59.0	51,9	45,9	40,8	36.4	29,4	23,9	280
92,1	80,9	71,8	63,2	55,6	50,0	44,3	36,0	29,3	300

3.9.30



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una λ de						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	22,0	57,2	*37,3*	*33,4*	*29,7*	*26,4*	*23,6*	*21,1*	*18,9*
100	27,0	70,2	54,0	50,5	46,4	42,2	38,7	34,9	31,6
120	34,0	88,4	93,0	69,6	66,0	60,5	56;3	51,7	47,5
140	40,8	106,0	91,4	86,9	83,5	78,0	73,6	68,4	63,9
160	48,0	124,8	110,4	106,6	102,3	98,2	93,1	87,8	82,6
180	56,0	145,6	132,3	128,8	124,4	120,3	115,5	109,4	104,7
200	64,4	167,4	155,0	150,8	146,8	143,1	138,3	132,8	127,8
220	74,8	194,4	181,7	178,4	173,6	170,6	164,8	159,4	154,3
240	84,6	219,9	207,5	203,6	199,9	196,3	192,9	186,4	180,3
260	96,6	251,1	239,2	234,7	232,5	228,3	224,2	218,4	212,8
280	107	278,2	264,9	262,4	260,0	255,2	250,6	246,1	241,9
300	118	306,8	295,0	292,1	286,7	284,0	278,9	273,9	269,1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.

3.9.31

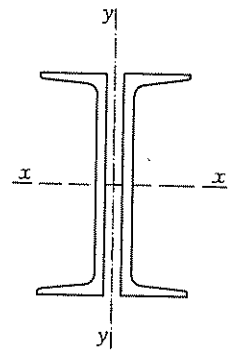


Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
15,3	12,6	10,6	8,9	7,6	6,6				80
26,2	22,0	18,4	15,7	13,6	11,7	9,1	7,2		100
39,8	33,4	28,4	24,3	21,3	18,5	14,3	11,4	9,3	120
64,4	46,3	39.7	34,1	11,1	25,8	20,3	16,2	13,2	140
72.9	63,0	54,5	47,2	41,3	36,1	28,3	22,7	18,5	160
93,9	82,7	71,7	62,7	55,1	48,8	38.6	30,8	25,4	180
116,2	103,3	92,5	81,2	72.1	63,4	50,4	40.8	33,5	200
141,9	130.5	117,1	104,5	93,0	82,7	66,1	53,5	44,2	220
169,2	157,1	141,9	128,6	114,5	103,2	83,3	68,1	56,2	240
200,9	187.4	172,0	156,9	142,7	128,8	105,0	86,6	71,9	260
228,0	214,0	200,1	184,2	167,5	153,7	125,3	104,1	86,1	280
257,8	243,4	228,9	213,0	195,4	179,4	148,9	123,2	104,3	300

3.9.31



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN con distintas separaciones entre almas

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	s mm	Resistencia en t para una						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
80	22,0	57,2	8	24,6	21,1	18,1	15,7	13,7	12,2	10,8
100	27,0	70,2	8	34,0	29,0	25,1	22,0	19,3	16,9	15,0
120	34,0	88,4	8	45,2	39,8	34,5	30,0	26,3	23,4	20,8
140	40,8	106,0	8	60,9	53,5	47,1	41,4	36,5	32,4	28,9
160	48,0	124,8	10	70,4	69,7	62,0	55,4	48,7	43,6	39,1
180	56,0	145,6	10	96,4	86,1	77,0	68,3	61,9	55,1	49,5
200	64,4	167,4	10	117,9	108,0	96,2	85,8	77,5	69,1	62,7
220	74,8	194,4	12	145,1	133,2	121,5	110,5	99,7	90,0	81,3
240	84,6	219,9	12	169,2	157,1	145,6	132,5	119,5	108,3	99,0
260	96,6	251,1	12	199,3	187,4	172,0	159,9	144,3	132,8	121,9
280	107,0	278,2	12	228,0	215,6	203,0	189,2	173,8	159,8	147,2
300	118,0	306,8	12	257,8	247,4	234,2	219,1	203,1	189,3	174,3

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.32

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
8,6	7,0	5,8							80
12,1	9,8	8,2	6,9						100
16,6	13,6	11,3	9,6						120
23,2	18,9	15,7	13,3	11,4					140
31,5	25,8	21,7	18,4	15,7	13,7				160
40,1	33,0	27,6	23,4	20,0	17,4				180
50,4	41,8	35,1	29,8	25,6	22,2	17,2			200
67,0	55,7	46,8	39,8	34,3	29,7	23,0			220
81,1	68,1	57,7	48,7	42,2	36,4	28,4	22,6		240
100,8	84,2	70,9	61,2	52,6	45,7	35,3	28,2		260
123,6	104,1	87,2	74,7	64,7	56,4	43,8	35,0	28,6	280
148,9	124,7	107,2	92,4	79,4	69,7	54,1	43,1	35,4	300

3.9.32

Dos perfiles UPN empresillados ($\lambda_z = \lambda_y$)

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una lo:							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
80	22,0	57,2	(4) 37,4	(5) 33,5	(5) 29,8	(5) 26,5	(6) 23,6	(6) 21,1	(7) 18,9	(7
100	27,0	70,2	(4) 55,7	(4) 52,4	(5) 48,1	(5) 44,7	(5) 40,3	(6) 37,1	(6) 34,1	(7
120	34,0	88,4	(4) 76,2	(4) 72,5	(4) 69,6	(5) 66,0	(5) 61,4	(5) 57,8	(6) 53,3	(6
140	40,8	106,1	(4) 96,4	(4) 93,9	(4) 90,7	(4) 87,0	(4) 84,2	(5) 79,8	(5) 76,3	(6
160	48,0	124,8	(4) 116,6	(4) 114,5	(4) 111,4	(4) 109,5	(4) 105,8	(4) 102,3	(5) 99,1	(5
180	56,0	145,6	(4) 137,4	(4) 136,1	(4) 133,6	(4) 131,2	(4) 128,8	(4) 125,5	(4) 121,3	(5
200	64,4	167,4	(4) 161,0	(4) 158,0	(4) 156,5	(4) 155,0	(4) 152,2	(4) 149,5	(4) 146,9	(5)
220	74,8	194,5	(4) 187,0	(4) 187,0	(4) 185,2	(4) 181,8	(4) 180,1	(4) 178,4	(4) 175,2	(4)
240	84,6	220,0	(4) 213,6	(4) 211,5	(4) 209,5	(4) 209,5	(4) 205,6	(4) 203,7	(4) 201,8	(4)
260	96,6	251,2	(4) 243,8	(4) 243,8	(4) 241,5	(4) 239,2	(4) 239,2	(4) 234,7	(4) 234,7	(4)
280	107	278,2	(4) 272,7	(4) 270,1	(4) 270,1	(4) 267,5	(4) 267,5	(4) 265,0	(4) 262,5	(4)
300	118	306,8	(4) 300,8	(4) 300,8	(4) 297,9	(4) 297,9	(4) 295,0	(4) 295,0	(4) 292,2	(4)

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

UPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
80	7,15	6,48	6,18	6,01	5,91	5,84	5,79	5,76	5,73	5,7
100	10,05	8,75	8,21	7,93	7,75	7,64	7,56	7,50	7,46	7,4
120	13,06	10,90	10,07	9,65	9,39	9,23	9,12	9,04	8,98	8,9
140	17,01	13,49	12,26	11,66	11,30	11,08	10,92	10,81	10,73	10,6
160	21,45	16,04	14,35	13,55	13,09	12,79	12,60	12,45	12,35	12,2
180	26,95	18,73	16,48	15,44	14,86	14,49	14,24	14,07	13,94	13,84
200	34,99	21,76	18,76	17,44	16,70	16,25	15,94	15,72	15,57	15,44
220	43,49	24,68	21,00	19,41	18,55	18,01	17,66	17,40	17,22	17,08
240	*	28,06	23,37	21,44	20,40	19,77	19,35	19,05	18,83	18,67
260	*	31,55	25,80	23,52	22,31	21,57	21,09	20,75	20,50	20,31
280	*	35,57	28,60	25,92	24,52	23,68	23,12	22,73	22,45	22,23
300	*	39,19	31,08	28,04	26,47	25,53	24,91	24,48	24,16	23,92

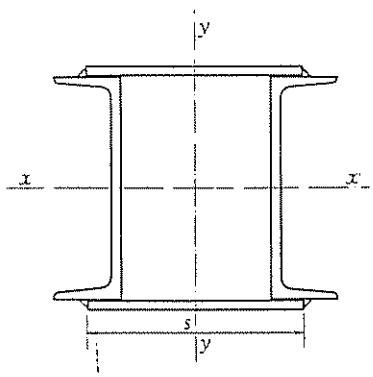
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

3.9.33

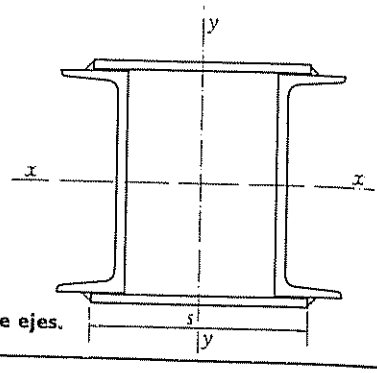
Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
(7) 15,3	(8) 12,7	(9) 10,6	(10) 8,9	(10) 7,7	(11) 6,7				80
(7) 28,2	(7) 23,6	(8) 19,8	(9) 17,1	(9) 14,7	(10) 12,8	(11) 9,9	(13) 7,9		100
(6) 46,0	(7) 39,3	(7) 33,5	(8) 28,9	(9) 25,0	(9) 21,8	(11) 17,2	(13) 13,7	(13) 11,3	120
(6) 67,6	(6) 59.3	(7) 52.3	(7) 45,7	(8) 40,2	(8) 35,6	(10) 27,8	(12) 22,5	(12) 18,5	140
(5) 91,1	(6) 81,6	(6) 73.0	(7) 65,0	(7) 57,8	(8) 51,6	(9) 41,3	(10) 33,5	(11) 27,7	160
(5) 114,6	(5) 106,3	(6) 97,7	(6) 88,8	(7) 79,1	(7) 71,7	(8) 58,5	(9) 47,6	(10) 39,7	180
(5) 139,5	(5) 131,8	(6) 123,1	(6) 113,9	(7) 104,7	(7) 95,1	(8) 78.6	(9) 65,4	(10) 54,7	200
(4) 169,1	(5) 160,7	(5) 153.1	(6) 143,0	(6) 133,2	(7) 123,9	(7) 105,7	(8) 88.8	(9) 74,8	220
(4) 196,4	(5) 189,6	(5) 180,3	(5) 173,2	(6) 164,1	(6) 152,8	(7) 132,5	(8) 112,8	(9) 96,1	240
(4) 228,3	(4) 222,3	(5) 214,7	(5) 205,9	(6) 197,8	(6) 187,4	(7) 166,3	(8) 144,3	(8) 125,0	260
(4) 257,6	(4) 252,9	(5) 246,2	(5) 237,8	(5) 228,0	(6) 220,8	(6) 200,1	(7) 177,2	(8) 155,4	280
(4) 286,7	(4) 281.5	(4) 276,4	(5) 269,1	(5) 260,0	(5) 251,5	(6) 234,2	(7) 210,1	(7) 187,1	300

13	14
5,71	5,70
7,43	7,40
8,93	8,89
10,67	10,62
12,27	12,20
13,84	13,76
15,44	15,35
17,08	16,97
18.67	18,54
20,31	20,16
22,23	22,07
23,92	23,74



3.9.33



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes.

UPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una longi								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
80	150	*37,4*	*32,0*	*29,8*	*26,5*	*23,6*	*21,1*	*18,9*	*15,4*	12,7
	200	*37,4*	*32,0*	*29,8*	*26,5*	*23,6*	*21,1*	*18,9*	*15,4*	12,7
	250	*37,4*	*32,0*	*29,8*	*26,5*	*23,6*	*21,1*	*18,9*	*15,4*	12,7
100	150	*55,7*	*52,4*	*48,1*	*44,7*	*40,3*	*37,1*	*34,1*	*28,2*	23,6
	200	*55,7*	*52,4*	*48,1*	*44,7*	*40,3*	*37,1*	*34,1*	*28,2*	23,6
	250	*55,7*	*52,4*	*48,1*	*44,7*	*40,3*	*37,1*	*34,1*	*28,2*	23,6
120	150	*76,2*	*72,5*	*69,6*	*66,0*	*61,4*	*57,8*	*53,3*	*46,0*	39,3
	200	*76,2*	*72,5*	*69,6*	*66,0*	*61,4*	*57,8*	*53,3*	*46,0*	39,3
	250	*76,2*	*72,5*	*69,6*	*66,0*	*61,4*	*57,8*	*53,3*	*46,0*	39,3
140	150	*93,1*	*93,9*	*89,9*	*87,0*	*84,2*	*79,8*	*76,3*	*67,6*	60,3
	200	*96,4*	*93,9*	*90,7*	*87,0*	*84,2*	*79,8*	*76,3*	*67,6*	60,3
	250	*96,4*	*93,9*	*90,7*	*87,0*	*84,2*	*79,8*	*76,3*	*67,6*	60,3
160	150	*110,4*	*107,6*	*105,8*	*104,0*	*105,8*	*99,8*	*98,3*	*91,1*	81,6
	200	*112,4*	*111,4*	*110,4*	*109,5*	*105,8*	*102,3*	*99,0*	*91,1*	81,6
	250	*113,5*	*113,5*	*112,4*	*109,5*	*105,8*	*102,3*	*99,0*	*91,1*	81,6
180	150	*128,8*	*126,6*	*123,4*	*121,3*	*119,3*	*116,5*	*114,6*	*108,7*	101,1
	200	*131,2*	*130,0*	*128,8*	*127,7*	*126,6*	*125,5*	*121,3*	*114,6*	106,3
	250	*132,4*	*132,4*	*132,4*	*130,0*	*128,8*	*125,5*	*121,3*	*114,6*	106,3
200	150	*148,2*	*145,6*	*143,1*	*139,5*	*137,2*	*134,0*	*131,8*	*125,0*	116,3
	200	*150,8*	*149,5*	*148,2*	*146,9*	*145,6*	*144,3*	*141,9*	*138,4*	131,8
	250	*152,2*	*152,2*	*152,2*	*149,5*	*149,5*	*148,2*	*146,9*	*139,5*	131,8
220	200	*175,2*	*173,6*	*172,1*	*170,6*	*169,1*	*167,7*	*164,8*	*160,7*	155,6
	250	*176,8*	*176,8*	*176,8*	*175,2*	*173,6*	*172,1*	*170,6*	*169,1*	160,7
	300	*178,4*	*178,4*	*176,8*	*176,8*	*176,8*	*175,2*	*173,6*	*172,1*	160,7
240	200	*198,2*	*196,4*	*194,7*	*192,9*	*191,3*	*189,6*	*186,4*	*181,8*	176,0
	250	*200,0*	*200,0*	*200,0*	*198,2*	*196,4*	*194,7*	*192,9*	*191,3*	186,4
	300	*201,8*	*201,8*	*200,0*	*200,0*	*200,0*	*198,2*	*196,4*	*194,7*	189,6
260	200	*226,3*	*224,3*	*224,3*	*220,3*	*220,3*	*216,5*	*212,8*	*207,6*	200,9
	250	*228,3*	*228,3*	*228,3*	*226,3*	*224,3*	*222,3*	*220,3*	*218,4*	212,8
	300	*230,4*	*230,4*	*228,3*	*228,3*	*228,3*	*226,3*	*224,3*	*222,3*	220,3
280	200	*249,7*	*247,5*	*247,5*	*243,1*	*243,1*	*238,9*	*234,8*	*229,1*	221,7
	250	*252,0*	*252,0*	*252,0*	*249,7*	*247,5*	*245,3*	*243,1*	*241,0*	234,9
	300	*254,3*	*254,3*	*252,0*	*252,0*	*252,0*	*249,7*	*247,5*	*245,3*	243,1
300	200	*275,5*	*273,0*	*273,0*	*268,2*	*268,2*	*263,6*	*261,3*	*252,7*	246,6
	250	*280,5*	*278,0*	*278,0*	*275,5*	*273,0*	*270,6*	*268,2*	*270,6*	259,1
	300	*280,5*	*280,5*	*278,0*	*278,0*	*278,0*	*275,5*	*273,0*	*270,6*	268,2

$\lambda > 200$

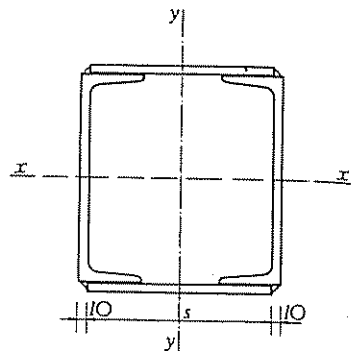
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.34



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	UPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
10,6	8,9	7,7	6,7				150 · 100 · 6	4	150	80
10,6	8,9	7,7	6,7				200 · 100 · 6	4	200	
10,6	8,9	7,7	6,7				250 · 100 · 6	4	250	
19,9	17,1	14,7	12,8	9,9	7,9		150 · 100 · 6	4	150	100
19,9	17,1	14,7	12,8	9,9	7,9		200 · 100 · 6	4	200	
19,9	17,1	14,7	12,8	9,9	7,9		250 · 100 · 6	4	250	
33,5	28,9	25,0	21,8	17,2	13,7	11,2	150 · 100 · 6	4	150	120
33,5	28,9	25,0	21,8	17,2	13,7	11,2	200 · 100 · 6	4	200	
33,5	28,9	25,0	21,8	17,2	13,7	11,2	250 · 100 · 6	4	250	
52,3	48,4	40,2	35,6	27,8	22,5	18,5	150 · 100 · 8	4	150	140
52,3	48,4	40,2	35,6	27,8	22,5	18,5	200 · 100 · 8	4	200	
52,3	48,4	40,2	35,6	27,8	22,5	18,5	250 · 100 · 8	4	250	
73,0	65,0	57,8	51,6	41,3	33,5	27,7	150 · 150 · 6	4	150	160
73,0	65,0	57,8	51,6	41,3	33,5	27,7	200 · 150 · 6	4	200	
73,0	65,0	57,8	51,6	41,3	33,5	27,7	250 · 150 · 6	4	250	
95,2	87,7	79,1	71,7	58,5	48,2	39,7	150 · 150 · 8	4	150	180
97,7	88,8	79,1	71,7	58,5	48,2	39,7	200 · 150 · 8	4	200	
97,7	88,8	79,1	71,7	58,5	48,2	39,7	250 · 150 · 8	4	250	
109,4	100,9	93,5	85,9	72,2	60,9	51,8	150 · 150 · 8	4	150	200
123,1	113,9	104,7	95,1	78,6	65,4	54,7	200 · 150 · 8	4	200	
123,1	113,9	104,7	95,1	78,6	65,4	54,7	250 · 150 · 8	4	250	
149,6	143,0	133,2	123,9	105,7	88,8	74,8	200 · 200 · 6	4	200	220
153,1	143,0	133,2	123,9	105,7	88,8	74,8	250 · 200 · 6	4	250	
153,1	143,0	133,2	123,9	105,7	88,8	74,8	300 · 200 · 6	4	300	
169,2	161,7	154,9	147,6	132,5	112,8	97,8	200 · 200 · 8	4	200	240
180,3	173,2	164,1	152,8	132,5	112,8	97,8	250 · 200 · 8	4	250	
180,3	173,2	164,1	152,8	132,5	112,8	97,8	300 · 200 · 8	4	300	
193,2	184,7	176,9	168,6	151,3	132,9	125,0	200 · 200 · 8	4	200	260
207,6	202,5	197,8	187,4	166,3	144,3	125,0	250 · 200 · 8	4	250	
214,7	205,8	197,8	187,4	166,3	144,3	125,0	300 · 200 · 8	4	300	
214,9	206,8	198,0	188,5	167,0	146,6	130,1	200 · 250 · 8	4	200	280
291,1	223,5	218,2	211,6	198,0	176,5	154,8	250 · 250 · 8	4	250	
238,9	234,9	227,2	220,0	199,4	176,5	154,8	300 · 250 · 8	4	300	
237,0	228,2	218,4	208,0	184,2	164,4	143,5	200 · 250 · 8	4	200	300
252,7	246,6	240,8	233,4	218,4	199,8	180,9	250 · 250 · 8	4	250	
263,6	259,1	254,8	248,6	233,4	208,0	188,7	300 · 250 · 8	4	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

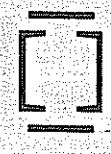
Dos perfiles UPN con dos platabandas soldadas ($\lambda_x \approx \lambda_y$).

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una						lo
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
100	44,6	115	110 · 8	98,3	94,3	89,2	84,6	78,9	72,5	67,8
120	54,8	142	130 · 8	128,4	125,0	120,7	115,8	110,4	106,3	100,3
140	72,8	189	160 · 10	176,1	173,7	170,5	166,0	161,8	156,4	151,4
160	84	218	180 · 10	208,0	204,1	202,2	198,5	195,0	191,6	185,1
180	96	249	200 · 10	240,0	237,7	235,5	231,1	229,0	224,9	220,9
200	108	280	220 · 10	272,6	270,0	267,4	264,9	262,4	260,0	255,3
220	123	319	240 · 10	310,5	310,5	307,5	304,6	301,7	299,0	296,1
240	135	351	250 · 10	344,1	340,8	337,5	337,5	334,3	331,1	328,0
260	153	397	280 · 10	390,0	390,0	386,2	382,5	382,5	378,9	378,9
280	167	434	300 · 10	425,7	425,7	425,7	421,6	421,6	417,5	413,5
300	194	504	320 · 12	504,4	494,5	494,5	489,7	489,7	485,0	485,0

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

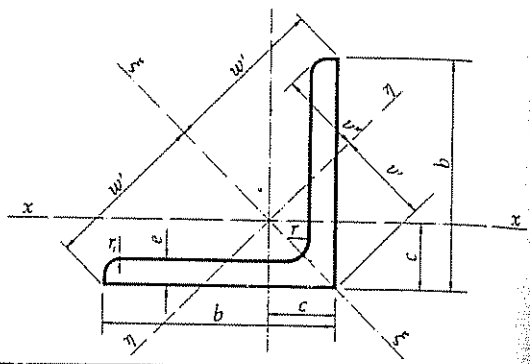
3.9.35



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
57,7	49,3	42,2	35,9	31,2	27,3	21,3	17,1	13,9	100
89,1	77,4	68,2	59,6	51,8	45,8	36,0	28,9	23,9	120
139,2	128,8	115,4	102,9	91,9	81,6	65,3	53,5	44,0	140
174,7	163,0	151,7	139,1	125,5	113,8	92,9	76,4	63,3	160
211,5	201,3	187,7	175,8	163,1	150,4	124,2	104,4	87,3	180
246,3	238,0	226,5	214,4	202,0	188,5	161,4	136,3	116,0	200
290,7	280,5	268,7	257,9	246,0	233,4	203,7	176,7	153,0	220
322,0	313,4	307,9	295,0	283,1	270,0	243,8	214,0	188,7	240
371,8	365,0	355,2	345,9	334,3	323,4	296,9	267,0	235,4	260
409,6	402,0	394,7	387,7	377,6	364,9	341,9	312,4	283,8	280
480,4	471,4	467,0	458,5	446,4	438,6	410,1	379,2	350,3	300

3.9.35



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil L

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una long						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2
50 × 5	4,80	12,48	5,97	4,13	2,97	2,25	1,74	1,38	
50 × 6	5,69	14,79	7,08	4,90	3,52	2,66	2,06	1,64	
60 × 5	5,82	15,13	9,34	6,82	5,08	3,82	3,00	2,41	
60 × 6	6,91	17,97	11,09	8,09	6,03	4,54	3,57	2,87	
60 × 8	9,03	23,48	14,32	10,44	7,77	5,87	4,60	3,67	
70 × 6	8,13	21,14	17,58	13,89	10,67	8,20	6,48	5,24	
70 × 7	9,40	24,44	17,46	13,65	10,53	8,09	6,41	5,18	
70 × 8	10,60	27,56	19,69	15,40	11,88	9,13	7,23	5,84	
80 × 8	12,30	31,98	25,38	21,18	16,92	13,38	10,73	8,71	
80 × 10	15,10	39,26	30,91	25,66	20,45	16,22	13,00	10,55	
90 × 8	13,90	36,14	30,67	26,57	22,31	18,25	14,69	12,13	
90 × 10	17,10	44,46	37,36	32,69	27,11	22,12	18,07	14,72	
100 × 8	15,50	40,30	35,35	31,98	27,60	23,57	19,56	16,18	
100 × 10	19,20	49,92	43,79	39,62	34,19	29,19	23,89	20,05	
120 × 10	23,20	60,32	55,85	52,45	47,87	43,09	37,23	32,43	
120 × 12	27,50	71,50	65,60	62,17	56,75	51,07	44,14	37,83	
150 × 12	34,80	90,48	86,17	83,78	79,37	74,78	69,07	62,83	
150 × 15	43,00	111,80	106,48	102,57	98,07	91,64	85,34	76,58	
180 × 15	52,10	135,46	131,51	129,01	125,43	120,95	114,80	107,51	
200 × 16	61,80	160,68	156,00	154,50	150,17	147,41	140,95	135,02	
200 × 18	69,10	179,66	174,43	172,75	167,91	163,33	157,60	150,97	

$\lambda > 200$

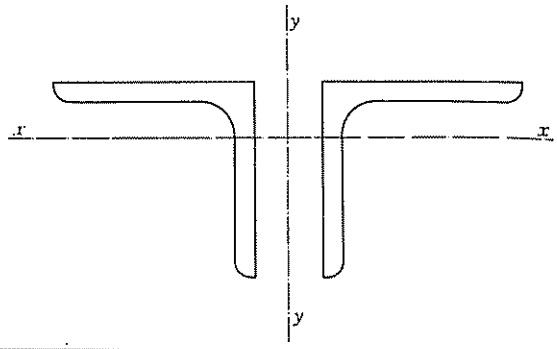
El pandeo con flexión se presenta en el plano ξ-ξ

3.9.36

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									50 × 5
									50 × 6
1,96	1,63								60 × 5
2,33	1.94								60 × 6
2,99	2,50								60 × 8
4,31	3,57	3,02	2.60						70 × 6
4,22	3.54	2.97	2.55						70 × 7
4,76	3.99	3.35	2,88						70 × 8
7,19	6,01	5.10	4,37	3,79	3,32				80 × 8
8.71	7,30	6.13	5.27	4,58	4,01				80 × 10
10,09	8,50	7.24	6,18	5.38	4,72	4,17			90 × 8
12,25	10,34	8.82	7,52	6,56	5,76	5,05			90 × 10
13,52	11.55	9,83	8,45	7.34	6,49	5,72	4,54		100 × 8
16.75	14.10	12,03	10,36	9,09	7,96	7,02	5,58		100 × 10
27,54	23,56	20.52	17,74	15,63	13.71	12,24	9,71	7,95	120 × 10
32,65	27,93	23.99	21,03	18,29	16.07	14.33	11,51	9,33	120 × 12
55,85	49,99	43,92	39.00	34,27	30,78	27,25	22,34	18.35	150 × 12
69.01	60.76	54,27	47,57	42.35	37.52	33,27	26,94	22.18	150 × 15
99.60	92,15	83.62	75,68	68,41	61.85	55.98	46.07	38,27	180 × 15
128,54	119,91	111.58	103,66	93.96	86.39	78,00	65.32	54.65	200 × 16
142.59	134.07	124,76	114.43	105,06	96.59	87.21	73.03	61,11	200 × 18

3.9.36



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$\frac{A\sigma_u}{t}$	Resistencia, en t, para una longit						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,
50 × 5	9,60	24,96	19,3	16,7	12,6	10,0	7,9	6,4	
50 × 6	11,38	29,59	23,4	19,6	14,7	11,5	9,2	7,4	
60 × 5	11,64	30,26	25,8	22,7	19,5	16,0	13,0	10,7	
60 × 6	13,82	35,93	30,7	27,0	23,1	19,0	15,4	12,7	1(
60 × 8	18,06	46,96	39,8	35,3	29,9	24,4	19,9	16,4	13
70 × 6	16,26	42,28	38,0	34,9	31,5	27,2	22,9	19,3	16
70 × 7	18,80	48,88	44,0	40,4	35,9	31,1	26,5	22,3	18
70 × 8	21,20	55,12	49,6	45,5	40,5	35,1	29,6	24,8	21,
80 × 8	24,60	63,96	59,2	56,1	51,5	46,6	41,2	35,3	30,
80 × 10	30,20	78,52	72,7	68,8	63,3	56,4	50,0	43,3	36,
90 × 8	27,80	72,28	68,1	65,7	61,7	57,3	52,0	46,6	41,
90 × 10	34,20	88,92	83,8	80,8	76,0	70,5	63,5	56,6	49,(
100 × 8	31,00	80,60	76,7	74,6	71,9	67,7	63,4	57,7	52,(
100 × 10	38,40	99,84	95,0	92,4	89,1	83,2	77,4	71,3	64,4
120 × 10	46,40	120,64	117,1	114,9	111,7	107,7	104,0	98,0	92,0
120 × 12	55,00	143,00	138,8	136,1	132,4	127,6	122,2	115,3	109,1
150 × 12	69,60	180,96	177,4	175,6	172,3	169,1	166,0	161,5	156,0
150 × 15	86,00	223,60	219,2	217,0	212,9	208,9	205,1	199,6	191,1
180 × 15	104,20	270,92	—	265,6	263,0	260,5	255,5	250,8	246,2
200 × 16	123,60	321,36	—	315,0	315,0	312,0	309,0	303,1	297,5
200 × 18	138,20	359,32	—	352,2	352,2	345,5	342,2	338,9	332,7

$\lambda > 200$

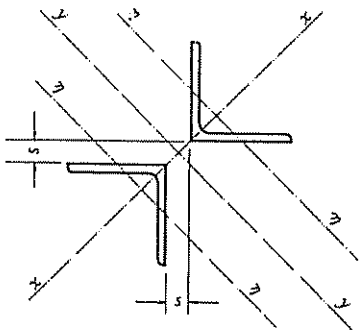
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y

3.9.37

Acero A 42
$\sigma_u = 2.600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,2	4,4	3,7	3,2	2,8					50 × 5
6,1	5,1	4,3	3,7	2,8					50 × 6
9,0	7,5	6,4	5,5	4,8	4,2	3,7	2,9		60 × 5
10,6	8,9	7,6	6,5	5,7	5,0	4,4	3,5		60 × 6
13,6	11,4	9,7	8,3	7,3	6,4	5,6	4,5		60 × 8
16,5	14,0	11,9	10,3	9,0	7,9	7,0	5,6	4,5	70 × 6
18,8	15,9	13,6	11,9	10,3	9,0	8,0	6,4	5,2	70 × 7
21,2	18,0	15,4	13,2	11,5	10,1	8,9	7,2	5.8	70 × 8
30,6	26,4	22,9	19,8	17,4	15,4	13,5	10,9	8,9	80 × 8
36,8	31,9	27,8	24,0	21,1	18,4	16,4	13,1	10,8	80 × 10
41,0	35,9	31,5	28,2	24,2	21,5	19,1	15,5	12,7	90 × 8
49,6	43,8	38,3	33,6	29,4	26,1	23,3	18,8	15,3	90 × 10
52,0	46,3	41,3	36,8	32,7	28,8	25,9	21,1	17,4	100 × 8
64,4	57,3	50,4	44,9	40,1	35,7	31,7	25,8	21,4	100 × 10
92,0	84,9	77,8	70,5	64,8	58,5	52,6	43,2	36,3	120 × 10
109,1	100,7	92,2	83,6	75,6	68,4	61,6	51,2	42,5	120 × 12
156,0	148,3	142,4	133,0	125,6	116,7	109,0	92,8	79,0	150 × 12
191,1	183,2	173,3	164,4	153,1	144,2	132,3	114,6	97,6	150 × 15
246,2	239,7	233,5	223,9	216,7	206,8	197,7	174,7	153,9	180 × 15
297,5	292,1	286,9	279,4	270,0	261,2	253,0	231,1	210,0	200 × 16
332,7	326,6	320,8	312,4	301,9	292,1	282,9	258,5	231,8	200 × 18

3.9.37



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

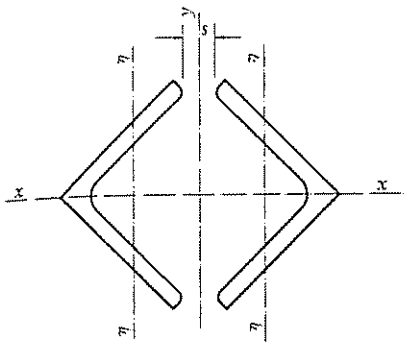
Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una λ long						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
50 × 5	9,6	24,9	21,7	19,6	16,9	13,9	11,5	9,6	
50 × 6	11,3	29,5	25,7	22,9	19,8	16,3	13,5	11,2	
60 × 5	11,6	30,2	27,7	26,0	23,8	21,0	18,2	15,5	1
60 × 6	13,8	35,9	32,9	30,7	27,8	24,9	21,6	18,4	1
60 × 8	18,0	46,8	43,0	40,0	36,3	32,1	27,7	23,3	1
70 × 6	16,2	42,2	39,8	38,0	35,8	33,2	29,7	26,4	2
70 × 7	18,8	48,8	46,1	44,0	41,4	37,8	34,4	30,5	2
70 × 8	21,2	55,1	51,1	49,6	46,7	42,7	38,8	34,0	2
80 × 8	24,6	63,9	60,9	59,2	57,1	53,7	50,3	45,6	4
80 × 10	30,2	78,5	74,7	72,7	69,4	65,4	60,8	56,0	5
90 × 8	27,8	72,2	69,5	68,1	66,3	63,4	60,2	56,9	5
90 × 10	34,2	88,9	85,5	83,8	81,5	78,0	74,1	68,9	6
100 × 8	31,0	80,6	78,2	77,5	75,3	73,2	70,7	67,1	6
100 × 10	38,4	99,8	96,9	96,0	93,3	90,7	87,5	82,5	7
120 × 10	46,4	120,6	118,2	117,1	116,0	112,7	110,6	107,7	10
120 × 12	55,0	143,0	140,2	138,8	136,1	133,6	131,2	127,6	12
150 × 12	69,6	180,9	180,9	177,4	175,6	174,0	172,3	169,1	16
150 × 15	86,0	223,6	223,6	219,2	217,0	215,0	212,9	208,9	20
180 × 15	104,2	270,9	270,9	270,9	265,6	263,0	260,5	260,5	25
200 × 16	123,6	321,3	321,3	321,3	321,3	315,0	312,0	309,0	30
200 × 18	138,2	359,3	359,3	359,3	359,3	352,2	348,8	345,5	34

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

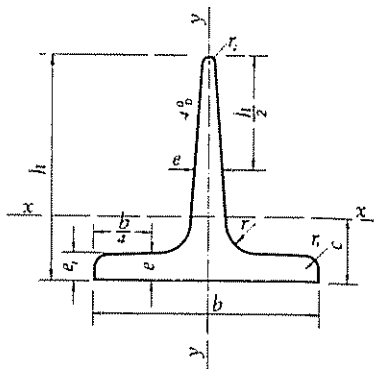
3.9.38



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
7,9	6,7	5,7	4,9	4,3	3,7	3,3	2,6	—	50 × 5
9,3	7,8	6,7	5,8	5,0	4,4	3,9	3,1	—	50 × 6
13,2	11,4	9,8	8,5	7,4	6,5	5,8	4,6	3,8	60 × 5
15,6	13,4	11,5	10,0	8,7	7,7	6,8	5,4	4,4	60 × 6
19,9	17,0	14,7	12,7	11,1	9,8	8,7	6,9	5,7	60 × 8
23,3	20,2	17,6	15,6	13,5	12,1	10,8	8,6	7,0	70 × 6
26,5	23,3	20,4	17,7	15,7	14,0	12,3	9,9	8,1	70 × 7
29,9	26,3	22,7	20,0	17,5	15,5	13,9	11,1	9,1	70 × 8
41,2	36,7	32,8	29,2	26,0	22,9	20,5	16,7	13,8	80 × 8
50,0	44,6	39,6	35,3	31,0	27,8	24,9	20,0	16,6	80 × 10
52,7	47,8	43,5	39,2	35,6	31,5	28,5	23,6	19,4	90 × 8
63,9	58,8	53,5	47,8	43,1	38,8	34,7	28,5	23,5	90 × 10
63,4	59,2	54,8	50,3	45,8	41,9	37,8	31,4	26,3	100 × 8
78,6	72,8	67,9	61,6	56,7	51,2	46,8	39,0	32,1	100 × 10
104,0	99,7	94,9	90,0	83,7	78,8	73,5	62,8	53,6	120 × 10
123,2	117,2	112,6	105,1	99,3	92,2	86,1	73,3	62,4	120 × 12
166,0	163,0	158,7	153,3	148,3	142,4	136,0	123,1	110,3	150 × 12
205,1	199,6	196,1	189,4	181,7	176,0	168,1	152,1	134,7	150 × 15
255,5	253,2	248,5	244,0	239,7	233,5	227,6	213,3	197,7	180 × 15
309,0	306,0	300,3	297,5	292,1	286,9	281,8	267,8	255,0	200 × 16
345,5	338,9	335,8	332,7	326,6	320,8	315,1	299,4	282,9	200 × 18

3.9.38



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longi						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
25 × 25	1,64	4,26	0,65	0,42					
30 × 30	2,26	5,88	1,29	0,85	0,60				
35 × 35	2,97	7,72	2,30	1,53	1,07	0,80			
40 × 40	3,77	9,80	3,61	2,45	1,74	1,30	1,01		
45 × 45	4,67	12,14	5,44	3,71	2,66	2,01	1,56	1,24	
50 × 50	5,66	14,72	7,55	5,25	3,90	2,94	2,30	1,82	
60 × 60	7,94	20,64	13,31	10,02	7,50	5,76	4,52	3,64	
70 × 70	10,6	27,56	20,26	16,31	12,76	10,02	7,99	6,41	
80 × 80	13,6	35,36	28,29	24,22	19,75	15,93	12,86	10,52	
100 × 100	20,9	54,34	47,25	43,12	37,74	32,15	27,03	22,73	

$\lambda > 200$

El pandeo se presenta con flexión y torsión.

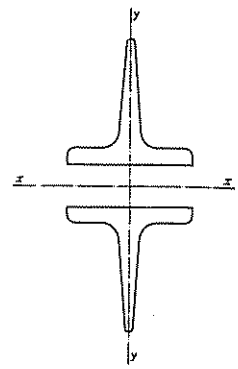
3.9.39



Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									T
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
1,49									50 × 50
2,98	2,49	2,10							60 × 60
5,29	4,44	3,73	3,21	2,79					70 × 70
8,73	7,33	6,23	5,36	4,66	3,08	3,58			80 × 80
19,27	16,36	14,08	12,05	10,55	9,29	8,24	6,55	5,37	100 × 100

3.9.39



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una ... longit						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,5
25 × 25	3,28	8,52	1,0	0,8					
30 × 30	4,52	11,75	2,6	1,7	1,2				
35 × 35	5,94	15,44	4,6	3,0	2,2	1,6			
40 × 40	7,54	19,60	7,2	4,9	3,5	2,6	2,0		
45 × 45	9,34	24,28	10,8	7,4	5,3	4,0	3,1	2,5	
50 × 50	11,32	29,43	15,3	10,7	7,8	5,9	4,6	3,6	3,(
60 × 60	15,88	41,28	27,0	20,3	15,2	11,5	9,1	7,3	6,(
70 × 70	21,20	55,12	41,1	33,2	25,5	20,1	16,0	12,8	10,(
80 × 80	27,20	70,72	57,5	49,1	40,2	32,3	25,7	21,1	17,5
100 × 100	41,80	108,68	96,2	87,7	77,6	65,5	54,9	46,3	38,5

$\lambda > 200$

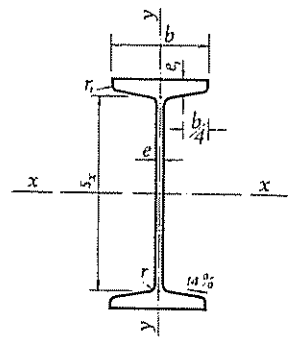
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.40

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									T
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
									50 × 50
3,0									60 × 60
6,0	5,0	4,2							70 × 70
10,6	8,9	7,5	6,4	5,6					80 × 80
17,5	14,7	12,5	10,7	9,2	8,1	7,2			
38,5	32,7	28,2	24,4	21,1	18,6	16,5	13,1	10,7	100 × 100

3.9.40



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
100	10,6	38,16	3,0						
120	14,2	51,12	5,3	4,4	3,7				
140	18,3	65,88	8,8	7,4	6,2	5,3	4,6		
160	22,8	82,08	13,4	11,2	9,4	8,0	7,0	6,1	
180	27,9	100,44	19,8	16,4	14,0	12,0	10,3	9,1	8,0
200	33,5	120,60	27,9	23,4	20,0	17,0	14,8	12,9	11,4
220	39,6	142,56	37,9	32,0	27,0	23,3	20,3	17,7	15,7
240	46,1	165,96	51,2	43,4	37,3	31,8	27,8	24,4	21,5
260	53,4	192,24	65,2	55,1	47,6	40,9	35,5	31,1	27,7
280	61,1	219,96	82,4	70,1	60,3	51,5	45,0	39,6	35,1
300	69,1	248,76	99,5	85,8	73,4	63,3	55,0	49,0	43,2
320	77,8	280,08	119,7	103,0	89,2	76,7	67,3	59,6	52,4
340	86,8	312,48	145,3	125,0	107,8	93,6	81,8	72,2	63,9
360	97,1	349,56	171,4	146,9	128,5	111,3	97,1	86,5	76,3
380	107	385,20	198,6	173,5	151,7	130,6	115,3	102,4	91,3
400	118	424,80	230,9	201,3	175,5	153,9	135,3	119,7	106,7
450	147	529,20	322,7	287,6	254,4	222,4	198,2	177,0	156,1
500	180	648,00	434,9	390,4	346,5	311,5	276,9	246,4	219,7
550	213	766,80	551,7	507,8	453,7	410,1	368,7	333,4	296,1
600	254	914,40	698,0	639,4	586,2	531,6	489,0	439,6	397,6

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

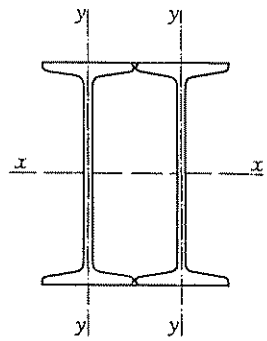
3.9.1

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									100
									120
									140
									160
									180
9,0									200
12,4	10,1								220
17,0	14,0	11,6							240
22,0	17,8	14,9							260
27,8	22,8	19,0	15,9						280
34,3	28,1	23,3	19,7						300
41,7	34,4	28,5	24,0	20,6					320
51,1	41,7	35,0	29,5	25,2	21,8				340
61,4	50,4	41,6	35,2	30,2	26,2				360
73,0	59,4	49,8	41,9	36,0	31,1				380
85,8	70.3	58,6	49,5	42,4	36,7				400
127,2	104,2	87,6	73,8	63,0	54,8	42,3			450
180.0	149,7	124.1	105,9	90,4	78,6	60,6	48,1		500
244,2	203,9	169,6	145,2	123,9	108,2	83,4	66,3	53,8	550
325,4	273,8	229,7	194,6	168,7	146,1	113,3	90,4	73,2	600

3.9.1



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN soldados

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una λ de longit							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,
80	15,16	54,57	18,2	15,3	13,1	11,3	9,8	8,5	7,7	
100	21,2	76,32	33,7	29,0	25,1	21,8	18,8	16,6	14,8	1
120	28,4	102,24	56,4	49,1	42,9	37,5	33,0	29,3	26,0	2
140	36,6	131,76	84,4	75,2	66,8	59,3	52,7	46,8	41,9	3
160	45,6	164,16	118,1	106,6	97,1	87,7	78,9	70,1	64,6	5
180	55,8	200,88	155,2	142,9	131,6	121,1	109,7	100,8	91,1	7
200	67,0	241,20	197,7	188,4	173,5	161,8	149,8	137,8	126,9	10
220	79,2	285,12	243,6	231,8	219,3	208,1	193,9	179,3	168,7	141
240	92,2	331,92	291,1	281,2	269,8	255,3	242,2	228,9	212,7	183
260	107,0	385,20	343,9	334,9	323,7	310,6	296,3	281,1	265,6	232
280	122,0	439,20	399,2	388,6	375,3	360,0	351,3	335,2	315,9	281
300	138,0	496,80	455,7	443,5	435,7	421,0	403,9	388,1	373,5	333
320	156	561,60	520,0	510,5	496,9	484,1	468,0	452,9	432,0	392,
340	174	626,40	585,4	574,6	559,2	549,4	535,3	513,4	501,1	457,
360	194	698,40	656,8	646,6	634,9	610,0	607,3	586,8	567,8	533,
380	214	770,40	726,7	720,0	706,7	694,0	675,7	658,4	642,0	601,
400	236	849,60	809,1	794,0	786,6	772,3	751,8	738,7	720,0	679,
450	294	1 058,40	1 017,7	1 008,0	989,1	980,0	962,1	945,0	928,4	889,
500	360	1 296,00	1 246,2	1 234,3	1 234,3	1 211,2	1 200,0	1 178,2	1 167,6	1 127,(
550	420	1 533,60	1 480,9	1 474,6	1 460,6	1 460,6	1 446,8	1 420,0	1 407,0	1 357,2
600	508	1 828,80	1 775,5	1 775,5	1 758,5	1 741,7	1 741,7	1 725,3	1 709,2	1 662,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se produce en el plano x-x.

3.9.2

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
6,7	4,9	4,1							80
11.9	9,6	8,0	6,7	5,8					100
20,9	17,1	14.2	12.1	10,4	8,9				120
34,0	28,0	23,4	20,0	17,2	14,7	11,4			140
52.2	42,9	36,3	30,6	26,5	22,9	17,8	14,1	11,4	160
75,5	62,2	52,8	45,2	39,1	33,6	26,2	20,7	17,0	180
106,7	86,7	75.6	65,0	56,4	48.7	38,0	30,2	24,7	200
141.8	121,8	103,3	89,3	76,8	67,5	52,6	41.9	34,2	220
183,3	159,5	137,1	118.1	104,0	90,9	70,6	56,9	46,2	240
232,0	202,7	176,7	154.0	135.1	117,0	92,6	74,8	60.7	260
281,5	246,7	215,2	190,9	167,0	146,8	116,8	93,4	76,2	280
333,4	299,2	265,6	231,0	205,2	180,0	142,3	116,3	95,1	300
392,7	353,2	315,5	279,4	248,5	221,1	176,0	142,9	117,9	320
457,2	414,8	377.3	334,9	296,8	263,1	212,3	171,6	142,6	340
533,1	481,6	439,2	392.3	354,5	314,5	253,0	206.0	170,3	360
601,8	554,2	510,2	455,8	411,9	370,3	297,4	245.3	204,8	380
679,6	629.3	577.9	527,7	477,3	431,2	351,0	288,0	239,3	400
889,4	833.3	784,0	729,9	665,6	615,3	508,8	423,3	353,9	450
1 127.0	1 080,0	1 020,5	960,0	893,7	830,7	704,3	594,5	500.3	500
1 357,2	1 322,1	1 257,0	1 198,1	1 136,0	1 057,7	923,8	790,5	666,7	550
1 662,5	1 618,4	1 563,1	1 486,8	1 428,8	1 354,7	1 187,5	1 027,4	896.4	600

3.9.2

Dos perfiles IPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una long

IPN	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
80	15,1	54,6	(6) 30,7	(7) 26,8	(7) 23,3	(8) 20,4	(8) 18,3	(9) 16,1	(9) 14,3	(10)
100	21,2	76,3	(5) 54,9	(6) 49,6	(6) 45,2	(7) 40,8	(7) 36,7	(8) 32,6	(8) 29,5	(9)
120	28,4	102,2	(5) 83,1	(5) 78,7	(5) 73,6	(6) 67,7	(6) 62,3	(7) 57,4	(7) 52,7	(8)
140	36,6	131,8	(4) 114,6	(4) 110,7	(5) 106,3	(5) 100,6	(5) 94,8	(6) 88,4	(6) 82,9	(7)
160	45,6	164,2	(4) 149,2	(4) 145,3	(4) 140,3	(5) 134,6	(5) 129,3	(5) 123,4	(6) 116,4	(6)
180	55,8	200,9	(4) 186,0	(4) 182,6	(4) 177,8	(4) 174,7	(5) 168,8	(5) 163,3	(5) 156,9	(6)
200	67,0	241,2	(4) 227,6	(4) 225,4	(4) 219,3	(4) 215,4	(4) 211,6	(5) 206,2	(5) 201,0	(5)
220	79,2	285,1	(4) 271,5	(4) 269,0	(4) 266,5	(4) 261,6	(4) 256,9	(4) 252,3	(4) 247,9	(5)
240	92,2	331,9	(4) 319,2	(4) 316,1	(4) 313,1	(4) 310,2	(4) 307,3	(4) 301,7	(4) 293,7	(5)
260	107	385,2	(4) 374,0	(4) 370,4	(4) 366,9	(4) 363,4	(4) 360,0	(4) 356,7	(4) 350,2	(4)
280	122	439,2	(4) 426,4	(4) 422,3	(4) 422,3	(4) 418,3	(4) 414,3	(4) 410,5	(4) 406,7	(4)
300	138	496,8	(4) 487,1	(4) 482,3	(4) 477,7	(4) 477,7	(4) 473,1	(4) 468,7	(4) 464,3	(4)
320	156	561,6	(4) 550,6	(4) 545,2	(4) 545,2	(4) 540,0	(4) 534,9	(4) 534,9	(4) 529,8	(4)
340	174	626,4	(4) 626,4	(4) 614,1	(4) 608,2	(4) 608,2	(4) 602,3	(4) 596,6	(4) 596,6	(4)
360	194	698,4	(4) 698,4	(4) 698,4	(4) 684,7	(4) 678,1	(4) 671,5	(4) 671,5	(4) 665,1	(4)
380	214	770,4	(4) 770,4	(4) 770,4	(4) 755,3	(4) 748,0	(4) 748,0	(4) 740,8	(4) 740,8	(4)
400	236	849,6	(4) 849,6	(4) 849,6	(4) 849,6	(4) 832,9	(4) 824,9	(4) 824,9	(4) 816,9	(4)
450	294	1 058,4	(4) 1 058,4	(4) 1 068,4	(4) 1 058,4	(4) 1 058,4	(4) 1 037,7	(4) 1 037,7	(4) 1 027,6	(4) 1
500	360	1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 296,0	(4) 1 270,4	(4) 1
550	426	1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1 533,6	(4) 1
600	508	1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1 828,8	(4) 1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
80	*	8,82	7,69	7,17	6,89	6,71	6,59	6,50	6,44	6,39
100	*	11,92	10,04	9,25	8,82	8,56	8,38	8,26	8,17	8,10
120	*	15,24	12,44	11,33	10,75	10,39	10,16	9,99	9,87	9,78
140	*	18,55	14,81	13,39	12,66	12,21	11,92	11,72	11,57	11,46
160	*	22,48	17,37	15,55	14,62	14,07	13,71	13,46	13,28	13,14
180	*	26,48	19,92	17,70	16,59	15,93	15,50	15,21	14,99	14,83
200	*	30,68	22,51	19,87	18,56	17,80	17,30	16,96	16,71	16,53
220	*	35,63	25,27	22,12	20,59	19,70	19,13	18,74	18,45	18,24
240	*	38,91	27,56	24,11	22,45	21,48	20,85	20,42	20,11	19,88
260	*	*	30,95	26,68	24,68	23,53	22,80	22,30	21,94	21,67
280	*	*	33,51	28,71	26,49	25,22	24,42	23,86	23,47	23,17
300	*	*	37,29	31,42	28,79	27,32	26,39	25,76	25,30	24,97
320	*	*	41,33	34,21	31,14	29,44	28,38	27,66	27,15	26,76
340	*	*	45,02	36,82	33,37	31,48	30,31	29,51	28,95	28,53
360	*	*	48,80	39,32	35,44	33,35	32,05	31,18	30,56	30,10
380	*	*	53,13	42,14	37,79	35,46	34,03	33,08	32,40	31,90
400	*	*	56,88	44,58	39,82	37,30	35,75	34,72	33,99	33,45
450	*	*	*	51,94	45,82	42,66	40,75	39,49	38,61	37,95
500	*	*	*	59,07	51,56	47,78	45,52	44,03	42,99	42,23
550	*	*	*	66,92	57,75	53,25	50,59	48,85	47,64	46,76
600	*	*	*	73,91	63,27	58,12	55,12	53,16	51,91	49,81

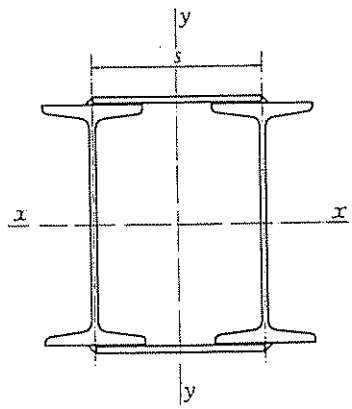
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\ i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

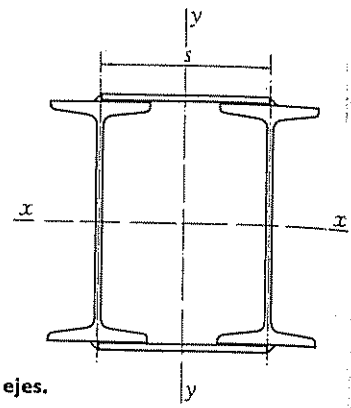
3.9.3

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros																	IPN
4,50		5,00		5,50		6,00		6,50		7,00		8,00		9,00		10,00	
10) 11,5	(11)	9,5	(11)	7,9	(14)	6,6	(15)	5,7	(16)	4,9	(18)	3,8					80
9) 24,3	(10)	20,0	(10)	16,9	(12)	14,3	(13)	12,3	(13)	10,6	(15)	8,2	(17)	6,6	(19)	5,4	100
8) 43,7	(9)	37,0	(9)	31,6	(10)	26.8	(11)	23,3	(12)	20,1	(13)	15,8	(15)	12,5	(17)	10,2	120
7) 71.6	(8)	61,3	(8)	52,7	(9)	45,4	(10)	39.5	(10)	34.5	(12)	26,9	(13)	21,8	(15)	17,8	140
6) 105,2	(7)	92,2	(8)	80.5	(8)	70,2	(9)	61,5	(10)	54,9	(11)	43.0	(12)	34,9	(13)	28,5	160
5) 142,5	(6)	130,4	(7)	116.8	(8)	103,6	(8)	92,2	(9)	81,7	(10)	65,0	(11)	52,6	(12)	43,3	180
5) 188,4	(6)	171,1	(6)	156,6	(7)	142,7	(7)	129,0	(8)	114,3	(9)	93,1	(10)	76,6	(11)	63,1	200
5) 231,8	(5)	219,3	(6)	202,2	(6)	188,8	(7)	171,8	(7)	155,0	(8)	128,4	(9)	106,8	(10)	88,0	220
5) 283,7	(5)	269,9	(5)	255,3	(6)	235.4	(6)	219,8	(7)	202,4	(8)	171,1	(9)	141,9	(10)	120,3	240
4) 340,9	(5)	326,4	(5)	310,7	(6)	294.1	(6)	273,2	(7)	258,5	(7)	220,1	(8)	185,2	(9)	159,2	260
4) 392.1	(5)	381,9	(5)	366,0	(5)	351,4	(6)	330,2	(6)	311.5	(7)	272,8	(8)	234,9	(9)	201,5	280
4) 451.6	(4)	439.7	(5)	428.3	(5)	414.0	(6)	391.2	(6)	373,5	(7)	333,4	(8)	288,8	(8)	252,2	300
4) 520,0	(4)	510,5	(5)	497.0	(5)	480,0	(5)	460,3	(6)	442,2	(7)	398,3	(7)	353,2	(8)	310,3	320
4) 585,4	(4)	575,7	(4)	559,3	(5)	549,5	(5)	530,9	(5)	509,3	(6)	471,0	(7)	420,4	(8)	377,4	340
4) 658,9	(4)	646,7	(4)	634,9	(5)	618,1	(5)	602,1	(5)	586,9	(6)	545,6	(7)	495,3	(7)	447,7	360
4) 733,7	(4)	720,0	(4)	706,8	(4)	694,1	(5)	681,8	(5)	658,5	(6)	621,3	(6)	570,7	(7)	517,1	380
4) 809,1	(4)	801,5	(4)	786,7	(4)	772,4	(5)	758,6	(5)	738,8	(6)	696,4	(6)	648,6	(7)	594,1	400
4) 1 017,7	(4)	1 008,0	(4)	998,5	(4)	989,2	(4)	971,0	(5)	953,5	(5)	920.4	(6)	867,5	(6)	807,9	450
4) 1 258.3	(4)	1 246,2	(4)	1 234,3	(4)	1 222,6	(4)	1 211,2	(4)	1 200.0	(5)	1 157,2	(5)	1 117,2	(6)	1 062,3	500
4) 1 503,5	(4)	1 488,9	(4)	1 474.6	(4)	1 460,6	(4)	1 460,6	(4)	1 446.8	(4)	1 407,0	(5)	1 357,2	(5)	1 322,1	550
4) 1 828,8	(4)	1 792,9	(4)	1 775,5	(4)	1 758,5	(4)	1 741,7	(4)	1 741,7	(4)	1 709,2	(5)	1 662,5	(5)	1 618,4	600

13	14
6,39	6,36
8,10	8,04
9,78	9,71
11,46	11,37
13,14	13,03
14,83	14,71
16,53	16,38
18,24	18,07
19,88	19,70
21,67	21.46
23,17	22.95
24,97	24,71
26,76	26,47
28,53	28,21
30,10	29,75
31,90	31.51
33,45	33,05
37,95	37,46
42,23	41,65
46,76	46,09
50,81	50,06





Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes.

IPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una longitu								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
80	150	*30,6*	*26,7*	*23,3*	*20,4*	*18,2*	*16,1*	*14,3*	*11,4*	9,5
	200	*30,6*	*26,7*	*23,3*	*20,4*	*18,2*	*16,1*	*14,3*	*11,4*	9,5
	250	*30,6*	*26,7*	*23,3*	*20,4*	*18,2*	*16,1*	*14,3*	*11,4*	9,5
100	150	*54,9*	*49,6*	*45,2*	*40,8*	*36,7*	*32,6*	*29,5*	*24,3*	20,0
	200	*54,9*	*49,6*	*45,2*	*40,8*	*36,7*	*32,6*	*29,5*	*24,3*	20,0
	250	*54,9*	*49,6*	*45,2*	*40,8*	*36,7*	*32,6*	*29,5*	*24,3*	20,0
120	150	*83,1*	*78,6*	*73,6*	*67,7*	*62,3*	*57,4*	*52,7*	*43,7*	37,0
	200	*83,1*	*78,6*	*73,6*	*67,7*	*62,3*	*57,4*	*52,7*	*43,7*	37,0
	250	*83,1*	*78,6*	*73,6*	*67,7*	*62,3*	*57,4*	*52,7*	*43,7*	37,0
140	150	106,5	104,8	102,4	*100,0*	94,3	87,9	82,4	71,2	60,9
	200	112,0	111,1	*105,7*	*100,0*	94,3	87,9	82,4	71,2	60,9
	250	*113,9*	113,0	*105,7*	*100,0*	94,3	87,9	82,4	71,2	60,9
160	150	133,5	131,3	128,3	125,3	119,8	116,4	111,7	103,2	92,2
	200	140,3	139,1	136,8	*134,6*	*129,3*	*123,4*	*116,4*	*105,2*	92,2
	250	142,7	141,5	*140,3*	*134,6*	*129,3*	*123,4*	*116,4*	*105,2*	92,2
180	150	163,3	160,7	156,9	153,3	146,6	142,5	136,7	126,3	116,8
	200	171,7	170,2	167,4	164,7	162,0	160,7	*156,9*	*142,5*	130,4
	250	174,7	173,2	171,7	170,2	*168,8*	*163,3*	*156,9*	*142,5*	130,4
200	150	197,1	192,4	187,9	183,6	178,1	170,6	165,8	151,2	139,8
	200	205,5	203,8	200,4	197,1	193,9	192,9	187,9	178,1	170,6
	250	209,1	207,3	205,5	203,8	202,1	200,4	197,1	*187,9*	170,6
220	200	243,1	241,0	237,0	233,1	229,4	227,5	222,2	210,7	201,7
	250	247,3	245,2	245,2	241,0	239,0	237,0	233,1	227,5	218,8
	300	251,7	249,5	247,3	247,3	245,2	243,1	241,0	233,1	218,8
240	200	283,7	281,3	276,6	272,1	267,7	265,5	259,3	249,6	235,4
	250	288,6	288,6	286,1	283,7	278,9	276,6	272,1	267,7	259,3
	300	293,7	291,2	288,6	288,6	286,1	283,7	281,3	276,6	269,9
260	200	328,0	325,2	319,8	314,6	309,5	307,0	299,8	288,5	277,2
	250	333,7	333,7	330,8	328,0	322,5	319,8	314,6	309,5	299,8
	300	339,6	336,6	333,7	333,7	330,8	328,0	325,2	319,8	312,0
280	200	375,4	372,2	369,1	360,0	357,1	351,4	343,1	330,2	321,5
	250	381,9	381,9	378,6	375,4	369,1	366,0	360,0	354,2	343,1
	300	388,7	385,3	381,9	381,9	378,6	375,4	372,2	366,0	357,1

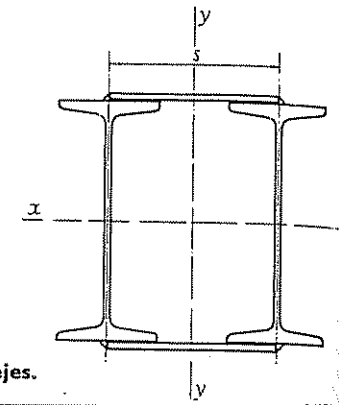
$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas
3.9.4



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
7,9	6,6	5,7					150 · 100 · 6	3,5	150	
7,9	6,6	5,7					200 · 100 · 6	3,5	200	80
7,9	6,6	5,7					250 · 100 · 6	3,5	250	
17,2	14,3	12,3	10,6	8,2	6,6	5,4	150 · 100 · 6	3,5	150	
17,2	14,3	12,3	10,6	8,2	6,6	5,4	200 · 100 · 6	3,5	200	100
17,2	14,3	12,3	10,6	8,2	6,6	5,4	250 · 100 · 6	3,5	250	
31,6	26,8	23,3	20,1	15,8	12,5	10,2	150 · 100 · 6	3,5	150	
31,6	26,8	23,3	20,1	15,8	12,5	10,2	200 · 100 · 6	3,5	200	120
31,6	26,8	23,3	20,1	15,8	12,5	10,2	250 · 100 · 6	3,5	250	
52,4	45,2	39,2	34,3	26,8	21,7	17,7	150 · 100 · 6	3,5	150	
52,4	45,2	39,2	34,3	26,8	21,7	17,7	200 · 100 · 6	3,5	200	140
52,4	45,2	39,2	34,3	26,8	21,7	17,7	250 · 100 · 6	3,5	250	
80,5	70,2	61,5	54,9	43,0	34,5	28,5	150 · 100 · 8	4	150	
80,5	70,2	61,5	54,9	43,0	34,5	28,5	200 · 100 · 8	4	200	160
80,5	70,2	61,5	54,9	43,0	34,5	28,5	250 · 100 · 8	4	250	
105,7	95,2	87,3	79,1	65,0	52,6	43,3	150 · 100 · 10	5	150	
116,8	103,5	92,1	81,7	65,0	52,6	43,3	200 · 100 · 10	5	200	180
116,8	103,5	92,1	81,7	65,0	52,6	43,3	250 · 100 · 10	5	250	
126,6	115,6	104,6	94,7	79,1	64,8	54,8	150 · 150 · 8	4	150	
156,2	142,3	128,6	114,0	92,8	75,4	63,0	200 · 150 · 8	4	200	200
156,2	142,3	128,6	114,0	92,8	75,4	63,0	250 · 150 · 8	4	250	
190,9	178,9	168,3	154,6	128,1	106,5	87,8	200 · 150 · 8	4	200	
201,7	188,3	171,3	154,6	128,1	106,5	87,8	250 · 150 · 8	4	250	220
201,7	188,3	171,3	154,6	128,1	106,5	87,8	300 · 150 · 8	4	300	
222,8	208,8	196,4	183,4	157,3	134,9	116,5	200 · 150 · 10	5	200	
249,6	235,4	219,8	202,4	171,1	141,8	120,3	250 · 150 · 10	5	250	240
255,3	235,4	219,8	202,4	171,1	141,8	120,3	300 · 150 · 10	5	300	
257,6	241,4	227,1	212,0	181,9	158,6	136,6	200 · 150 · 12	6	200	
284,3	276,1	264,7	254,1	219,3	184,5	158,6	250 · 150 · 12	6	250	260
307,0	292,9	272,2	257,6	219,3	184,5	158,6	300 · 150 · 12	6	300	
294,8	276,2	259,9	242,7	211,2	181,5	156,3	200 · 200 · 10	5	200	
330,2	316,0	302,9	290,9	264,6	234,9	201,5	250 · 200 · 10	5	250	280
351,4	343,1	330,2	311,5	272,8	234,9	201,5	300 · 200 · 10	5	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes.

IPN	s mm	Valor de N^*, en t, para una longitud									
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,5
300	200	424,6	421,0	417,5	407,2	403,9	397,4	388,1	373,5	342,6	333,
	250	432,0	432,0	428,3	424,6	417,5	414,0	407,2	400,6	388,1	373,
	300	439,6	435,8	432,0	432,0	428,3	424,6	421,0	414,0	403,9	397,
320	200	478,2	474,1	470,1	458,6	454,8	447,6	437,1	420,6	398,8	388,
	250	486,5	486,5	482,3	478,2	474,1	466,2	458,6	451,2	437,1	420,
	300	495,1	490,7	486,5	486,5	482,3	478,2	474,1	466,2	454,8	447,
340	200	533,5	529,0	524,6	511,7	512,3	499,4	487,7	469,4	442,7	424,7
	250	542,2	542,8	538,1	533,5	529,0	520,2	511,7	503,4	487,7	469,4
	300	552,4	547,6	542,8	542,8	538,1	533,5	529,0	520,2	512,1	499,3
360	300	618,1	612,6	607,3	607,3	602,1	596,9	591,9	582,0	567,8	558,7
	400	618,1	618,1	618,1	618,1	612,6	612,6	607,3	602,1	598,1	591,9
	500	623,6	623,6	618,1	618,1	618,1	618,1	618,1	612,6	607,3	602,1
380	300	681,8	675,8	669,9	669,9	664,1	658,5	652,9	642,0	624,3	616,3
	400	681,8	681,8	681,8	681,8	675,8	675,8	669,9	664,1	658,5	652,9
	500	687,9	687,9	681,8	681,8	681,8	681,8	681,8	675,8	669,9	664,1
400	300	751,9	745,3	738,8	738,8	732,4	726,2	720,0	708,0	690,7	679,7
	400	751,9	751,9	751,9	751,9	745,3	745,3	738,8	732,4	726,2	720,0
	500	758,6	758,6	751,9	751,9	751,9	751,9	751,9	745,3	738,8	732,4
450	300	936,6	928,4	928,4	920,3	912,4	904,6	896,9	882,0	860,5	846,7
	400	936,6	936,6	936,6	936,6	928,4	928,4	920,3	912,4	904,6	896,9
	500	936,6	936,6	936,6	936,6	936,6	936,6	936,6	928,4	920,3	912,4
500	300	1 140,5	1 130,5	1 130,5	1 120,7	1 111,0	1 101,5	1 092,2	1 083,0	1 056,4	1 031,0
	400	1 140,4	1 140,5	1 140,5	1 140,5	1 130,5	1 130,5	1 120,7	1 111,0	1 101,5	1 092,2
	500	1 150,7	1 150,7	1 140,5	1 140,5	1 140,5	1 140,5	1 140,5	1 130,5	1 120,7	1 111,0
550	300	1 350,8	1 338,9	1 338,9	1 327,3	1 315,9	1 304,6	1 293,6	1 282,7	1 251,6	1 231,0
	400	1 350,8	1 350,8	1 350,8	1 350,8	1 338,9	1 338,9	1 327,3	1 315,9	1 304,6	1 293,6
	500	1 362,9	1 362,9	1 350,8	1 350,8	1 350,8	1 350,8	1 350,8	1 338,9	1 327,3	1 315,9
600	300	1 618,4	1 604,2	1 604,2	1 590,5	1 576,6	1 563,1	1 549,8	1 536,8	1 499,0	1 474,8
	400	1 618,4	1 618,4	1 618,4	1 618,4	1 604,2	1 604,2	1 590,3	1 576,6	1 563,1	1 549,8
	500	1 632,9	1 632,9	1 618,4	1 618,4	1 618,4	1 618,4	1 618,4	1 604,2	1 590,3	1 590,3

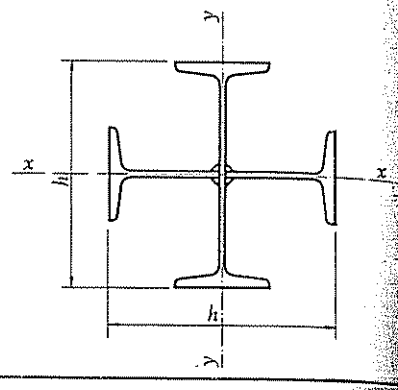
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.4



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
383,4	312,5	294,0	274,5	238,8	205,3	176,8	200 · 200 · 12	5	200	
323,5	357,4	342,6	329,0	299,3	265,7	235,5	250 · 200 · 12	5	250	300
397,4	388,1	373,5	362,6	*333,4*	*288,8*	*252,2*	300 · 200 · 12	5	300	
388,5	358,6	337,0	309,1	269,0	331,2	199,1	200 · 200 · 12	6	200	
420,6	402,5	385,8	370,5	337,0	299,2	265,1	250 · 200 · 12	6	250	320
447,6	437,1	427,1	408,4	380,6	*351,8*	*309,1*	300 · 200 · 12	6	300	
424,7	400,2	376,0	350,7	300,1	262,3	226,2	200 · 200 · 14	7	200	
469,4	449,1	430,5	413,4	400,2	333,8	295,8	250 · 200 · 14	7	250	340
499,3	487,7	476,5	455,6	424,7	392,6	356,7	300 · 200 · 14	7	300	
558,7	545,6	533,1	509,8	475,1	439,2	331,0	300 · 250 · 10	5	300	
591,9	582,0	572,5	563,2	545,6	495,3	447,7	400 · 250 · 10	5	400	360
602,1	596,9	591,9	586,9	545,6	495,3	447,7	500 · 250 · 10	5	500	
616,3	601,9	588,1	562,3	524,1	484,5	440,2	300 · 300 · 10	4,5	300	
652,9	642,0	631,5	621,3	601,9	570,7	517,0	400 · 300 · 10	4,5	400	380
664,1	658,5	652,9	647,4	621,3	570,7	517,0	500 · 300 · 10	4,5	500	
679,7	663,8	648,5	620,1	578,0	534,3	485,5	300 · 300 · 10	5	300	
720,0	708,0	696,4	685,2	663,8	629,3	594,1	400 · 300 · 10	5	400	400
732,4	726,2	720,0	713,9	696,4	653,5	594,1	500 · 300 · 10	5	500	
846,7	826,9	807,9	772,6	720,0	665,7	615,3	300 · 350 · 12	5	300	
896,9	882,0	867,5	853,5	826,9	784,0	750,6	400 · 350 · 12	5	400	450
912,4	904,6	896,9	889,4	867,5	846,7	826,9	500 · 350 · 12	5	500	
031,0	1 006,9	983,8	954,7	888,8	810,6	749,3	300 · 400 · 12	6	300	
092,2	1 074,0	1 056,4	1 039,4	1 006,9	954,7	914,0	400 · 400 · 12	6	400	500
111,0	1 101,5	1 092,2	1 083,0	1 056,4	1 031,0	1 006,9	500 · 400 · 12	6	500	
231,0	1 192,5	1 165,2	1 130,7	1 052,7	978,5	887,4	300 · 400 · 16	7	300	
293,6	1 272,0	1 251,1	1 230,9	1 192,5	1 130,7	1 082,6	400 · 400 · 16	7	400	550
315,9	1 315,9	1 293,6	1 282,7	1 251,1	1 221,1	1 192,5	500 · 400 · 16	7	500	
474,8	1 440,0	1 396,0	1 354,7	1 261,2	1 172,3	1 063,3	300 · 400 · 20	9	300	
549,8	1 524,0	1 499,0	1 474,8	1 428,8	1 375,0	1 297,0	400 · 400 · 20	9	400	600
590,3	1 576,6	1 549,8	1 536,8	1 499,0	1 474,8	1 428,8	500 · 400 · 20	9	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

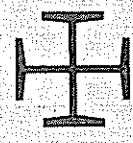
Dos perfiles IPN en cruz

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitu							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,5
120	28,4	102,24	64,3	57,4	50,1	44,4	39,4	35,2	31,5	25
140	36,3	130,68	95,3	87,7	79,6	71,0	64,0	57,8	52,2	42
160	45,2	162,72	131,2	122,3	113,7	104,3	96,2	88,4	79,7	67
180	55,3	199,08	168,7	161,8	153,1	143,2	133,6	125,2	115,7	97
200	66,4	239,04	211,5	204,3	194,3	186,7	177,0	164,8	155,2	136,
220	78,5	282,60	256,9	250,0	241,5	231,6	222,5	212,4	200,4	181,
240	91,4	329,04	304,6	299,1	291,1	283,6	274,2	263,2	253,1	230,
260	106,0	381,60	356,6	350,0	343,7	337,7	328,9	318,0	307,7	282,
280	121	435,60	410,9	407,1	399,0	392,4	385,4	375,5	366,0	340,
300	137	493,20	469,7	465,2	456,6	448,3	440,3	436,4	425,1	400,
320	154	554,40	533,0	528,0	518,1	513,3	504,0	495,0	486,3	465,
340	172	619,20	595,3	589,7	584,1	578,6	573,3	562,9	552,8	533,7
360	193	694,80	674,5	668,0	661,7	655,4	649,3	643,3	631,6	609,4
380	212	763,20	740,9	733,8	726,8	726,8	720,0	706,6	700,1	675,4
400	234	842,40	817,8	817,8	810,0	802,2	794,7	787,2	780,0	765,8
450	291	1 047,60	1 027,0	1 017,0	1 017,0	1 007,3	1 007,3	997,7	988,3	970,0
500	357	1 285,20	1 285,2	1 260,0	1 260,0	1 247,7	1 235,7	1 235,7	1 224,0	1 212,4
550	422	1 519,20	1 519,2	1 519,2	1 519,2	1 489,4	1 474,9	1 474,9	1 460,7	1 446,8
600	503	1 810,80	1 810,8	1 810,8	1 810,8	1 810,8	1 775,2	1 758,0	1 758,0	1 741,1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

3.9.5

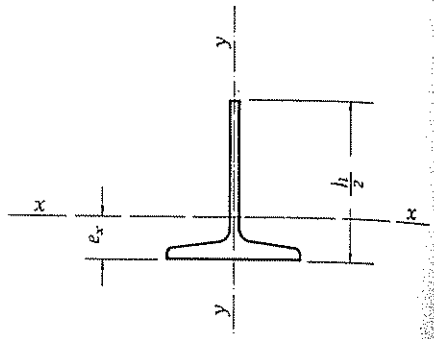


Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
25,6	21,1	17,5	14,9	12,8	14,0	8,5			120
42,9	35,8	29,7	25.3	21,9	19,0	14,6	11,6	9,4	140
67,2	56,1	47,3	40.8	35,0	30,4	23,7	18,9	15,3	160
97,5	83,6	70,8	61,4	52,9	46,6	36,3	29,0	23,7	180
136,5	117,1	100,4	87,8	76,1	67,3	52,1	42,0	34,4	200
181,1	158,7	138,5	120,7	105,8	94,5	73,9	59,3	49,0	220
230,1	204,3	181,7	161,2	143,0	127,0	100,0	81,4	67,2	240
282,6	259,5	232,6	207,3	187,0	165,9	133,8	109,3	89,3	260
340,3	313,3	288,4	262,4	236,7	209,4	171,5	140,9	115,8	280
400,9	376,4	344,9	320,2	291,8	263,7	214,4	178,7	147,6	300
465,8	443,5	410,6	382,3	348,6	322,3	266,5	221,7	185,4	320
533,7	507,5	483,7	445,4	415,5	384,6	325.8	273,9	227,6	340
609,4	583,8	560,3	522,4	492,7	460,1	390,3	334,0	282,4	360
675,4	657,9	625,5	596,2	565,3	526.3	459,7	393,4	331,8	380
765,8	738,9	713,9	684,8	648,0	614,8	540,0	473,2	405,0	400
970,0	952,3	927.0	895,3	858,6	824,8	742,9	671,5	588,5	450
1 212,4	1 190,0	1 168,3	1 137,3	1 107,9	1 071,0	988,6	898,7	808,3	500
1 446,8	1 433,2	1 406,6	1 381,0	1 344,4	1 321,0	1 245,2	1 159,6	1 062,3	550
1 741,1	1 724,5	1 692,3	1 676,6	1 646,1	1 616,7	1 547.6	1 460,3	1 361,5	600

3.9.5



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

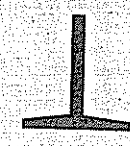
Medio perfil IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	7,10	25,56	13,67	9,57	7,00	5,29	4,08	3,27
140	9,15	32,94	*20,09*	15,32	11,36	8,62	6,74	5,38
160	11,40	41,04	*27,54*	21,95	16,68	12,87	10,16	8,18
180	13,95	50,22	*36,66*	*29,72*	23,80	18,80	14,81	11,90
200	16,75	60,30	*46,38*	*39,16*	32,77	25,77	20,79	16,99
220	19,80	71,28	*57,02*	*49,16*	*41,44*	34,27	28,06	23,07
240	23,00	82,80	*69,00*	*61,33*	*52,08*	45,00	37,30	31,01
260	26,70	96,12	*80,77*	*73,37*	*63,66*	*54,00*	*45,55*	*37,84*
280	30,50	109,80	*93,85*	*86,46*	*76,78*	*66,14*	*55,74*	*46,92*
300	34,50	124,20	*107,07*	*99,36*	*89,35*	*78,11*	*67,50*	*56,97*
320	38,90	140,04	*121,77*	*113,85*	*103,73*	*90,94*	*80,02*	*68,65*
340	43,30	155,88	*135,55*	*127,77*	*118,99*	*106,04*	*93,90*	*80,35*
360	48,50	174,60	*153,16*	*145,50*	*136,41*	*122,10*	*108,45*	*94,89*
380	53,50	192,60	*170,44*	*163,22*	*151,65*	*138,56*	*125,06*	*111,33*
400	58,90	212,04	*187,65*	*179,69*	*169,63*	*157,07*	*142,31*	*125,47*
450	73,40	264,24	*235,93*	*229,77*	*220,20*	*206,44*	*190,10*	*171,58*
500	89,70	322,92	*288,32*	*283,23*	*273,66*	*260,42*	*242,80*	*222,70*
550	106,00	381,60	*343,78*	*337,70*	*328,97*	*318,00*	*300,47*	*282,67*
600	127,00	457,20	*411,89*	*404,60*	*397,57*	*384,20*	*368,71*	*349,01*

$\lambda > 200$

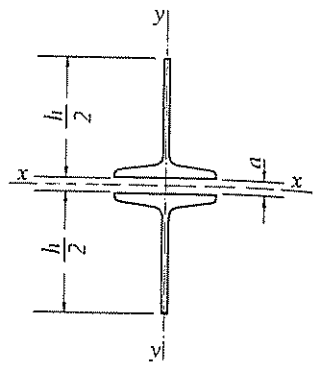
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

3.9.6



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
2,67	2,21	1,87							120
4,40	3,69	3,11	2,66	2,29					140
6,71	5,60	4,69	4,02	3,48	3,05				160
9,89	8,21	7,00	5,98	5,16	4,53	3,98			180
13,93	11,71	9,98	8,50	7,40	6,44	5,69	4,51		200
18,96	16,02	13,50	11,65	10,15	8,83	7,83	6,21	5,04	220
25,56	21,68	18,61	15,86	13,87	12,19	10,71	8,50	6,97	240
32,58	27,54	23,79	20,45	17,73	15,53	13,85	10,99	8,92	260
41,12	34,97	30,08	25,71	22,45	19,78	17,54	13,90	11,38	280
49,68	42,83	36,64	31,60	27,48	24,45	21,56	17,13	14,05	300
59,85	51,49	44,60	38,37	33,66	29,80	26,18	20,87	17,18	320
70,22	60,19	52,13	46,67	40,81	36,00	31,88	25,47	20,81	340
82,75	70,98	62,14	55,61	48,50	43,22	38,12	30,69	25,16	360
95,82	88,74	73,23	65,29	57,66	51,22	45,64	36,48	29,72	380
111,60	97,27	84,82	76,83	67,53	59,73	53,28	42,84	35,11	400
153,63	136,21	121,21	107,41	95,74	85,51	77,95	63,52	52,02	450
203,09	184,53	166,45	148,13	133,44	118,72	109,46	89,70	74,58	500
259,59	237,02	218,06	196,70	177,49	160,34	147,34	121,53	101,49	550
324,26	302,78	278,78	252,60	232,08	209,72	192,10	157,66	134,87	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPN

IPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una [lon					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	14,2	51,12	27,3	19,1	14,0	10,5	8,1	6,5
140	18,3	65,88	41,4	30,6	22,7	17,2	13,4	10,7
160	22,8	82,08	56,6	43,8	33,3	25,7	20,3	16,3
180	27,9	100,44	76,6	61,2	47,6	37,6	29,6	23,8
200	33,5	120,60	97,2	80,9	64,4	51,5	41,5	33,9
220	39,6	142,56	118,8	102,5	85,8	68,5	56,1	46,1
240	46,1	165,96	144,3	127,6	109,9	90,2	74,7	62,1
260	53,4	192,24	170,1	153,7	132,5	113,7	94,2	78,1
280	61,1	219,96	196,3	180,3	160,5	138,3	115,7	99,3
300	69,1	248,76	*220,1*	209,0	187,0	164,7	139,7	117,9

$\lambda > 200$

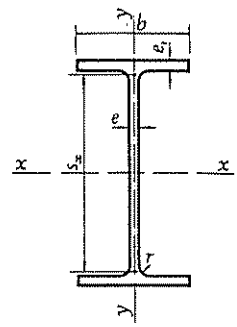
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión pura.

3.9.7

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,3	4,4	3,7							120
8,8	7,3	6,2	5,3	4,5					140
13,4	11,2	9,3	8,0	6,9	6,0				160
19,7	16,4	14,0	11,9	10,3	9,0	7,9			180
27,8	23,4	19.9	17,0	14,8	12,8	11,3	9,0		200
37,9	32,0	27,0	23,2	20,3	17,6	15,6	12,4	10,0	220
51,2	43,4	37,2	31,7	27,8	24,4	21,4	17,0	13,9	240
65,1	55,0	47,5	40,9	35,4	31,0	27,7	21,9	17,8	260
82,3	70,0	60,2	51,5	44,9	39,6	35,1	27,8	22,7	280
99,5	85,7	73,3	63,3	55,0	48,9	43,1	34,3	28,1	300

3.9.7



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitud							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
80	7,6	27,50	2,1							
100	10,3	37,08	3,9	3,3	2,8					
120	13,2	47,52	6,8	5,6	4,8	4,1	3,6			
140	16,4	59,04	10,8	9,0	7,6	6,5	5,7	5,0	4,4	
160	20,1	72,36	16,3	13,7	11,6	9,9	8,6	7,5	6,7	5,2
180	23,9	86,04	23,6	19,9	16,9	14,4	12,5	11,0	9,7	7,7
200	28,5	102,60	32,7	27,7	23,7	20,4	17,8	15,6	13,7	10,9
220	33,4	120,24	45,7	38,9	33,4	28,9	25,3	22,2	19,6	15,7
240	39,1	140,76	61,2	52,7	44,8	39,1	34,3	30,3	26,7	21,5
270	45,9	165,24	85,2	74,4	65,1	56,0	49,5	43,9	39,2	31,8
300	53,8	193,68	114,6	101,9	88,8	78,7	70,2	61,7	55,5	44,7
330	62,6	225,36	144,5	128,8	112,1	99,7	88,7	79,1	70,6	57,3
360	72,7	261,72	178,0	159,6	144,6	128,3	115,8	103,0	91,8	75,0
400	84,5	304,20	215,7	195,0	176,9	160,1	141,5	127,8	115,7	93,9
450	98,8	355,68	259,6	238,7	216,9	196,5	177,0	160,2	144,6	119,0
500	116	417,50	318,8	292,0	267,7	247,1	223,3	200,8	181,6	151,3
550	134	482,40	376,9	347,1	323,8	294,1	266,5	244,9	221,3	183,4
600	156	561,60	449,3	422,3	392,7	360,0	332,3	305,2	275,3	228,3

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

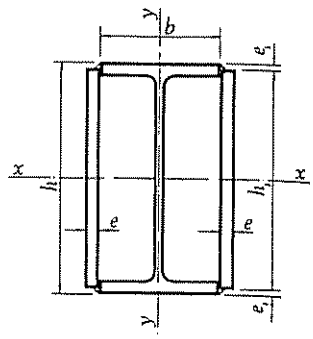
3.9.8

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
									80
									100
									120
									140
									160
5,2									180
7,7	6,3								
10,9	8,9	7,4							200
15,7	12,7	10,6	8,9						220
21,5	17,4	14,6	12,3	10,4					240
31,8	25,5	21,4	18,0	15,5	13,3				270
44,7	36,7	30,5	25,9	22,1	19,2	14,7			300
57,3	47,3	39,6	33,6	28,8	25,0	19,3			330
75,0	62,0	52,1	44,4	37,7	32,8	25,4	20,2		360
93,9	77,4	65,6	55,5	47,5	41,5	31,8	35,4		400
119,0	98,8	83,3	70,0	60,3	52,4	40,6	32,4	26,2	450
151,3	125,0	104,9	90,0	77,0	67,5	51,7	41,3	33,7	500
183,4	153,6	128,3	109,9	95,0	82,7	63,7	50,9	41,3	550
228,3	193,7	163,3	139,0	121,0	105.0	80,9	64,8	52,5	600

3.9.8



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil IPE con dos platabandas soldadas

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una longitu							
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,!
120	30,8	110,8	110 · 8	53,3	46,5	40,1	35,3	30,8	27,0	24,2	1
140	37,2	133,9	130 · 8	76,5	66,6	58,2	50,9	44,7	40,1	35,6	2
160	44,1	158,7	150 · 8	101,7	90,7	78,9	70,2	62,5	55,7	49,7	4
180	57,5	207,0	168 · 10	151,0	138,9	126,2	114,3	101,4	91,5	82,8	6
200	66,1	237,9	188 · 10	183,0	171,1	157,5	143,3	129,3	118,3	107,1	8
220	75,0	270,0	208 · 10	210,9	194,2	181,2	164,6	151,6	137,0	125,5	10
240	92,9	334,4	224 · 12	285,8	271,9	261,2	244,1	227,5	214,3	197,8	16
270	107	385,2	254 · 12	340,8	329,2	315,7	303,3	289,6	269,3	255,1	22
300	122	439,2	284 · 12	402,9	388,6	378,6	366,0	351,3	335,2	315,9	281
330	138	496,8	314 · 12	455,7	447,5	435,7	421,0	407,2	391,1	373,5	337
360	175	630,0	340 · 15	588,7	577,9	567,5	557,5	538,4	525,0	508,0	466
400	199	716,4	380 · 15	675,8	663,3	651,2	633,9	622,9	607,1	587,2	551
450	228	820,8	430 · 15	774,3	767,1	753,0	739,4	726,3	707,5	689,7	646.
500	308	1 108,8	480 · 20	1 056,0	1 056,0	1 036,2	1 026,6	1 008,0	981,2	972,6	924,
550	346	1 245,6	530 · 20	1 197,6	1 186,2	1 175,0	1 164,1	1 142,7	1 122,1	1 102,3	1 055,
600	388	1 396,8	580 · 20	1 343,0	1 330,2	1 317,7	1 305,4	1 293,3	1 269,8	1 247,1	1 204,

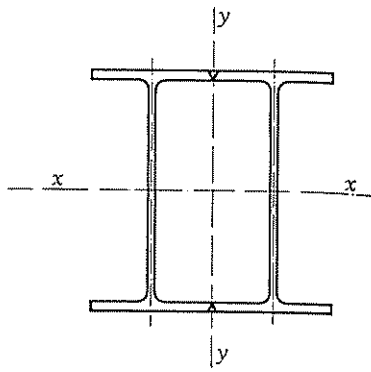
$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.9

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
19,2	15,7	13,2	11,0	9,4	8,2				120
28,8	23,5	19,7	16,5	14,2	12,3	9,4			140
40,4	33,3	27,9	23,6	20,3	17,6	13,5			160
68,0	56,7	47,8	40,1	34,6	30,1	23,1	18,5	15,1	180
89,1	73,4	62,2	53,4	45,5	39,8	30,7	24,4	20,0	200
102,6	85,9	72,7	62,3	53,7	46,3	36,0	28,8	23,3	220
166,3	142.9	122,9	104,8	91,6	79,2	62,5	49,8	40,5	240
223,9	191,6	167,4	144,2	126,7	110,3	86,5	69,4	57,4	270
281,5	250,9	218,5	190,9	167,0	148,8	116,8	94,6	77,1	300
337,9	299,2	265,6	235,4	205.2	182,6	144,4	117,7	96,4	330
466,6	422,8	379,5	342,3	302,8	269,2	217,2	117,4	145,5	360
551,0	500,9	459,2	409,3	369,2	333,2	268,3	217,7	180,0	400
646,3	599,1	550,8	500,4	453,4	402,3	328,3	270,0	224,8	450
924,0	873,0	809,3	754,2	688,7	633,6	525,5	436,5	364,7	500
1 055,5	1 004,5	950,8	871,0	808,8	750,3	619,7	423,3	437,0	550
1 204,1	1 144,9	1 091,2	1 004,8	937,4	867,5	735,1	618,0	513,5	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE soldados

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitud de							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
80	15,2	55,0	21,6	18,4	15,8	13,8	12,0	10,5	9,3	7,4
100	20,6	74,2	38,2	33,4	28,6	25,2	22,2	19,3	17,4	13,9
120	26,4	95,0	59,7	53,4	47,3	41,3	36,7	32,8	29,3	23,9
140	32,8	118,1	85,0	76,7	69,9	63,2	56,8	50,5	45,6	37,6
160	40,2	144,7	113,0	105,6	97,1	89,9	81,3	74,6	67,3	55,9
180	47,8	172,1	143,4	135,5	127,5	118,7	110,3	101,8	93,5	78,9
200	57,0	205,2	176,9	171,0	161,6	154,3	143,5	135,9	125,1	108,0
220	66,8	240,5	214,7	205,6	200,4	192,4	183,6	173,0	163,6	142,3
240	78,2	281,5	255,9	249,1	242,7	236,6	227,0	216,5	205,5	186,4
270	91,8	330,5	308,9	303,2	295,1	289,9	282,5	270,9	264,4	241,2
300	108	388,8	370,3	363,4	356,7	350,3	344,1	335,2	326,7	306,1
330	125	450,0	428,6	424,5	420,6	412,8	405,4	398,2	387,9	368,9
360	145	522,0	501,9	497,1	494,5	483,3	474,5	470,3	461,9	442,4
400	169	608,4	585,0	579,4	574,0	568,6	563,3	553,1	543,2	524,5
450	198	712,8	692,0	685,4	678,9	672,5	666,2	660,0	648,0	630,8
500	232	835,2	810,9	803,1	795,4	795,4	787,9	780,6	766,2	745,7
550	268	964,8	936,7	936,7	927,7	918,9	918,9	901,7	893,3	877,1
600	312	1 123,2	1 101	1 090	1 080	1 080	1 070	1 060	1 050	1 021

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión presenta en el plomo x-x.

3.9.10

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
7,4	6.0	5,1	4,3						80
13,9	11,5	9,5	8,1	6,9	5,9				100
23,9	19,7	16.3	13,8	11,9	10,3	7.0			120
37,6	30,9	26,1	22,1	19,1	16,5	12,2	10,2	8,3	140
55,9	46,8	39,6	33,9	29,2	25,1	19,5	15.6	12,7	160
78,9	66,4	56,6	48,5	42,0	36,6	28,5	22,7	18,5	180
108,0	92,4	79.2	68,6	58.8	51.6	40,4	32,4	26,5	200
142,3	124,0	108,3	92,9	81,5	72,0	56,3	45,5	37,1	220
186,4	163,7	142,9	126,8	110,8	98,8	77,1	62,3	51,4	240
241.2	218,9	199,1	176.7	156,6	138,9	112,0	90.5	75,3	270
306,1	283,8	260,9	237,1	214,8	193.4	158,0	127.9	105,5	300
368,9	346,2	319,1	292,2	271,1	244.6	202,7	165,4	138,9	330
442,4	417,6	392,5	360,0	334,6	308,9	255,9	212,2	176,9	360
524,5	498,7	475,3	444,1	413.9	382,6	325,3	269,2	227.9	400
630,8	604,1	574,8	544,1	512.8	478.4	407,3	342,7	294,5	450
745,7	720,0	696,0	657,6	618,7	584,1	509.3	430.5	369,6	500
877,1	846,3	817,6	778,1	742,2	515,9	618,5	533,0	457,3	550
1 021	994	968	936	884	845	754	653	570	600

3.9.10

Dos perfiles IPE empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitu													
			2,50		2,75		3,00		3,25		3,50		3,75		4,00		4,5
80	15,2	55,0	(5)	31,4	(6)	27,4	(6)	23,9	(7)	21,2	(7)	18,7	(8)	16,5	(8)	14,8	(9)
100	20,6	74,2	(5)	54,1	(5)	49,1	(5)	44,7	(6)	40,3	(6)	36,4	(7)	32,8	(7)	29,7	(8)
120	26,4	95,0	(4)	77,9	(5)	74,3	(5)	69,4	(5)	64,7	(5)	59,8	(6)	54,3	(6)	50,0	(7)
140	32,8	118,1	(4)	103,6	(4)	100,1	(4)	96,0	(4)	90,8	(5)	86,2	(5)	81,4	(5)	75,7	(6)
160	40,2	144,7	(4)	131,6	(4)	128,1	(4)	124,8	(4)	121,6	(4)	116,7	(5)	111,3	(5)	105,6	(5)
180	47,8	172,1	(4)	160,8	(4)	157,9	(4)	155,0	(4)	151,0	(4)	147,1	(4)	141,1	(4)	137,7	(5)
200	57,0	205,2	(4)	195,4	(4)	191,8	(4)	190,0	(4)	186,5	(4)	181,6	(4)	178,4	(4)	173,9	(5)
220	66,8	240,5	(4)	231,2	(4)	229,0	(4)	224,8	(4)	222,7	(4)	218,6	(4)	214,7	(4)	211,0	(4)
240	78,2	281,5	(4)	270,7	(4)	268,1	(4)	268,1	(4)	263,1	(4)	260,7	(4)	255,9	(4)	253,6	(4)
270	91,8	330,5	(4)	320,9	(4)	317,8	(4)	317,8	(4)	314,7	(4)	311,8	(4)	308,9	(4)	306,0	(4)
300	108	388,8	(4)	381,2	(4)	377,5	(4)	377,5	(4)	373,9	(4)	370,3	(4)	370,3	(4)	366,8	(4)
330	125	450,0	(4)	450,0	(4)	441,2	(4)	436,9	(4)	436,9	(4)	432,7	(4)	432,7	(4)	428,8	(4)
360	145	522,0	(4)	522,0	(4)	522,0	(4)	511,8	(4)	506,8	(4)	506,8	(4)	501,9	(4)	501,9	(4)
400	169	608,4	(4)	608,4	(4)	608,4	(4)	608,4	(4)	596,5	(4)	596,5	(4)	590,7	(4)	590,7	(4)
450	198	712,8	(4)	712,8	(4)	712,8	(4)	712,8	(4)	712,8	(4)	712,8	(4)	698,8	(4)	692,0	(4)
500	232	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)	835,2	(4)
550	268	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)	964,8	(4)
600	312	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)	1 123,2	(4)

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

IPE	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
80	9,96	7,96	7,26	6,91	6,70	6,57	6,48	6,42	6,37	6,33
100	14,02	10,50	9,40	8,88	8,57	8,38	8,25	8,16	8,09	8,04
120	18,09	12,98	11,50	10,81	10,42	10,17	10,00	9,88	9,79	9,73
140	23,02	15,64	13,70	12,81	12,31	12,00	11,79	11,64	11,53	11,45
160	29,14	18,47	15,97	14,86	14,24	13,86	13,60	13,42	13,29	13,18
180	34,62	21,12	18,15	16,85	16,13	15,68	15,38	15,17	15,02	14,90
200	42,40	24,05	20,46	18,91	18,07	17,55	17,20	16,95	16,77	16,63
220	45,77	26,39	22,50	20,82	19,90	19,33	18,95	18,68	18,48	18,34
240	52,74	29,22	24,78	22,88	21,85	21,21	20,78	20,48	20,26	20,10
270	59,48	32,85	27,85	25,71	24,55	23,83	23,35	23,01	22,77	22,58
300	*	43,21	33,68	30,23	28,46	27,41	26,72	26,24	25,89	25,63
330	*	42,50	35,07	32,07	30,46	29,49	28,84	28,39	28,05	27,80
360	*	48,50	39,19	35,57	33,68	32,53	31,78	31,25	30,86	30,57
400	*	59,52	45,29	40,36	37,88	36,41	35,45	34,70	34,30	33,94
450	*	*	55,17	47,52	43,94	41,89	40,58	39,68	39,04	38,56
500	*	*	65,83	54,70	49,87	47,19	45,51	44,37	43,55	42,95
550	*	*	80,61	63,25	56,52	52,95	50,76	49,30	48,27	47,51
600	*	*	*	72,25	63,40	58,90	56,19	54,40	53,15	52,23

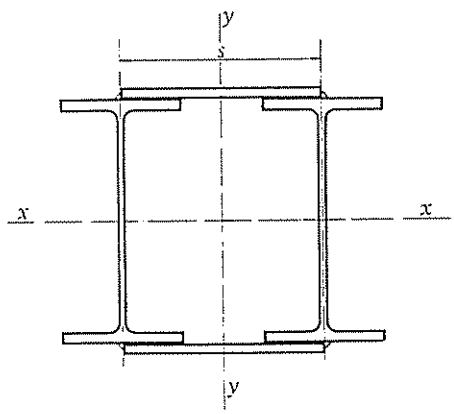
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

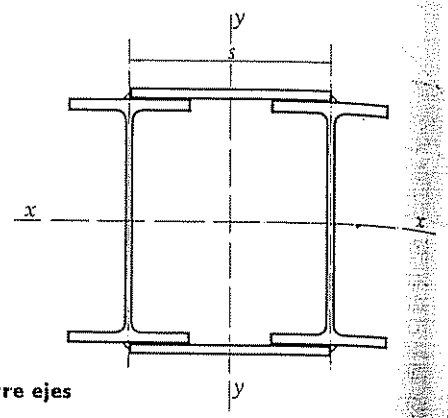
3.9.11

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros																	IPE
4,50		5,00		5,50		6,00		6,50		7.00		8.00		9,00		10,00	
																	80
11,9	(10)	9,8	(11)	8,1	(12)	6,9	(13)	5,9	(14)	5,1	(16)	3,9					
24,0	(9)	20,0	(9)	16,9	(10)	14,4	(11)	12,3	(12)	10,7	(13)	8,2	(15)	6,6	(17)	5,3	100
42,1	(8)	35,6	(8)	30,3	(9)	26,0	(9)	22,3	(10)	19,4	(11)	15,2	(13)	12,0	(14)	9,9	120
66,3	(7)	56.8	(7)	48,8	(8)	42,0	(8)	37,0	(9)	32,4	(10)	25,5	(11)	20,3	(13)	16,7	140
95,8	(6)	84,1	(6)	73,5	(7)	65.2	(8)	57,0	(8)	50,8	(9)	39,7	(10)	32,0	(11)	26,4	160
125,6	(5)	115,5	(6)	103,7	(6)	92.0	(7)	81,6	(7)	73,5	(8)	58,3	(9)	47,8	(10)	39,2	180
164,2	(5)	149,8	(5)	137,7	(6)	125,1	(6)	113,4	(7)	102,1	(8)	83,4	(9)	68,6	(9)	57,0	200
202,1	(5)	189,4	(5)	178,1	(5)	163,6	(6)	151,3	(6)	137,4	(7)	114,0	(8)	94,7	(9)	79,1	220
244.8	(4)	234,6	(5)	221,7	(5)	208,5	(5)	194,2	(6)	180,5	(6)	153,0	(7)	134,1	(8)	108,7	240
297,7	(4)	287,4	(4)	277,7	(4)	264,4	(5)	252,3	(5)	234,4	(6)	207,0	(6)	179,6	(7)	153,7	270
360,0	(4)	350,3	(4)	341,1	(4)	329,5	(4)	316,1	(5)	303,8	(5)	271,9	(6)	241,5	(6)	211,3	300
420,6	(4)	412,8	(4)	405,4	(4)	394,7	(4)	384,6	(4)	368,9	(5)	343,5	(6)	306,1	(6)	274,4	330
497,1	(4)	487,9	(4)	478.9	(4)	470,3	(4)	462,0	(4)	446,2	(5)	421,0	(5)	386,7	(6)	350,3	360
585,0	(4)	579,4	(4)	568.6	(4)	563,3	(4)	553,1	(4)	538,4	(5)	515,6	(5)	479,1	(6)	444,1	400
692,0	(4)	685,4	(4)	678,9	(4)	672,5	(4)	660,0	(4)	648,0	(4)	630,8	(5)	599,0	(5)	570,2	450
810,9	(4)	803,1	(4)	803,1	(4)	795,4	(4)	787,0	(4)	780,6	(4)	759,3	(5)	732,6	(5)	701,9	500
945.9	(4)	936,7	(4)	927,7	(4)	927,7	(4)	918.9	(4)	910,2	(4)	893,3	(5)	869,2	(5)	839,0	550
1 123,2	(4)	1 101,2	(4)	1 090,5	(4)	1 080,0	(4)	1 080,0	(4)	1 069,7	(4)	1 049,7	(4)	1 030,5	(5)	1 002,9	600

13	14
6,33	6,30
8,04	8,00
9,73	9,67
11,45	11,38
13,18	13,10
14,90	14,81
16,63	16,53
18,34	18,22
20.10	19,97
22,58	22,43
25,63	25,42
27,80	27.61
30,57	30,34
33,94	33,66
38,56	38,18
42,95	42,49
47,51	46,93
52,23	51,53





Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N^*, en t, para una longitud								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00
100	150	*54,13*	*49,11*	*44,67*	*40,30*	*36,35*	*32,81*	*29,66*	*24,00*	19,98
	200	*54,13*	*49,11*	*44,67*	*40,30*	*36,35*	*32,81*	*29,66*	*24,00*	19,98
	250	*54,13*	*49,11*	*44,67*	*40,30*	*36,35*	*32,81*	*29,66*	*24,00*	19,98
120	150	*77,26*	*74,25*	*69,37*	*64,65*	*59,77*	*54,30*	*50,02*	*42,05*	35,59
	200	*77,90*	*74,25*	*69,37*	*64,65*	*59,77*	*54,30*	*50,02*	*42,05*	35,59
	250	*77,90*	*74,25*	*69,37*	*64,65*	*59,77*	*54,30*	*50,02*	*42,05*	35,59
140	150	96,00	94,46	92,25	90,13	*86,18*	*81,43*	*75,69*	*66,33*	56,76
	200	100,92	*100,06*	*96,00*	*90,83*	*86,18*	*81,43*	*75,69*	*66,33*	56,76
	250	102,67	*100,06*	*96,00*	*90,83*	*86,18*	*81,43*	*75,69*	*66,33*	56,76
160	150	118,62	115,77	113,06	110,47	107,20	102,63	99,80	91,01	84,13
	200	123,69	122,64	120,60	118,62	*116,70*	*111,32*	*105,63*	*95,84*	84,13
	250	125,84	124,75	123,69	*121,61*	*116,70*	*111,32*	*105,63*	*95,84*	84,13
180	150	141,04	138,77	134,43	131,35	127,46	122,04	118,67	110,30	100,04
	200	147,07	145,83	143,40	141,04	138,77	137,66	134,43	*125,60*	*115,48*
	250	149,63	149,63	148,34	147,07	144,60	*141,04*	*137,66*	*125,60*	*115,48*
200	150	168,19	165,48	161,57	156,64	152,00	147,62	141,51	131,53	121,42
	200	175,38	173,89	171,00	168,19	165,48	164,16	160,31	152,00	145,53
	250	178,43	178,43	176,89	175,38	172,43	168,19	168,19	*164,16*	*149,78*
220	200	205,53	203,79	202,08	197,11	195,51	192,38	187,87	180,81	170,35
	250	209,11	209,11	207,31	205,53	202,08	200,40	197,11	193,93	187,87
	300	212,81	210,94	209,11	209,11	207,31	205,53	203,79	200,40	*189,35*
240	200	240,61	238,57	236,57	230,75	228,87	225,21	221,66	211,66	199,65
	250	244,80	244,80	242,68	240,61	238,57	234,60	230,75	227,03	219,93
	300	249,13	246,94	244,80	244,80	242,68	240,61	238,57	234,60	228,87
270	200	282,46	280,06	277,71	270,88	268,68	264,38	260,22	248,48	234,98
	250	289,89	287,37	284,89	282,46	280,06	277,71	270,88	266,51	258,18
	300	292,46	289,89	287,37	287,37	284,89	282,46	280,06	275,40	268,88
300	200	331,07	328,27	325,51	317,50	314,92	309,88	305,00	291,24	278,67
	250	339,78	336,83	333,93	331,07	328,27	325,51	317,50	312,38	302,62
	300	342,79	339,78	339,78	336,83	333,93	331,07	328,27	322,80	314,92

$\lambda > 200$

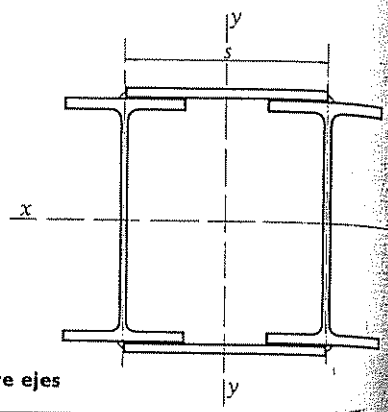
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.12



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

d de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
6,89	14,40	12,42	10,68	8,22	6,58	5,37	150 · 100 · 6	3,5	150	
6,89	14,40	12,42	10,68	8,22	6,58	5,37	200 · 100 · 6	3,5	300	100
6,89	14,40	12,42	10,68	8,22	6,58	5,37	250 · 100 · 6	3,5	250	
0,26	26,03	22,25	19,43	15,18	12,03	7,68	150 · 100 · 6	3,5	150	
0,26	26,03	22,25	19,43	15,18	12,03	7,68	200 · 100 · 6	3,5	200	120
0,26	26,03	22,25	19,43	15,18	12,03	7,68	250 · 100 · 6	3,5	250	
8,79	42,02	37,01	32,35	25,44	20,25	16,65	150 · 100 · 6	3,5	150	
8,79	42,02	37,01	32,35	25,44	20,25	16,65	200 · 100 · 6	3,5	200	140
8,79	42,02	37,01	32,35	25,44	20,25	16,65	250 · 100 · 6	3,5	250	
3,46	65,18	56,97	50,77	39,64	32,01	26,40	150 · 100 · 8	4	150	
3,46	65,18	56,97	50,77	39,64	32,01	26,40	200 · 100 · 8	4	200	160
3,46	65,18	56,97	50,77	39,64	32,01	26,40	250 · 100 · 8	4	250	
2,02	82,73	74,81	68,83	56,60	47,14	39,19	150 · 100 · 10	5	150	
3,66	92,02	81,55	73,53	58,33	47,80	39,19	200 · 100 · 10	5	200	180
3,66	92,02	81,55	73,53	58,33	47,80	39,19	250 · 100 · 10	5	250	
9,73	100,58	90,79	82,08	67,50	56,21	47,39	150 · 150 · 8	4	150	
7,71	125,12	113,37	102,08	83,41	68,62	57,00	200 · 150 · 8	4	200	200
7,71	125,12	113,37	102,08	83,41	68,62	57,00	250 · 150 · 8	4	250	
1,39	151,24	142,29	132,86	113,97	94,67	79,10	200 · 150 · 8	4	200	
8,13	163,59	151,24	137,41	113,97	94,67	79,10	250 · 150 · 8	4	250	220
8,13	163,59	151,24	137,41	113,97	94,67	79,10	300 · 150 · 8	4	300	
1,51	180,46	169,59	158,15	135,34	118,28	102,00	200 · 150 · 10	5	200	
1,66	202,53	194,15	180,46	153,00	129,13	108,69	250 · 150 · 10	5	250	240
7,66	208,53	194,15	180,46	153,00	129,13	108,69	300 · 150 · 10	5	300	
4,81	211,84	199,08	185,66	158,88	138,85	119,73	200 · 200 · 8	4	200	
2,27	241,22	231,10	221,79	199,08	179,60	153,71	250 · 200 · 8	4	250	270
4,38	258,18	252,27	234,38	207,84	179,60	153,71	300 · 200 · 8	4	300	
3,51	248,30	233,34	217,61	189,88	162,75	142,41	200 · 200 · 10	5	200	
5,69	282,74	270,88	259,97	233,34	210,52	186,23	250 · 200 · 10	5	250	300
9,88	302,62	295,69	282,74	263,51	240,59	214,01	300 · 200 · 10	5	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE empresillados, con distintas separaciones entre ejes

IPE	s mm	Valor de N^*, en t, para una longitud de								
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,50
330	200	388,55	381,96	378,75	375,60	366,43	363,48	354,89	344,06	324,25	306,61
	250	395,36	391,93	388,55	385,23	381,96	378,75	375,60	363,48	354,82	344,06
	300	398,86	395,36	395,36	391,93	388,55	385,23	381,96	375,60	366,43	360,57
360	300	459,15	459,15	459,15	455,16	451,24	447,38	443,59	439,86	429,04	422,12
	400	463,22	463,22	463,22	463,22	459,15	459,15	455,16	451,24	447,38	443,59
	500	467,35	467,35	463,22	463,22	463,22	463,22	463,22	459,15	455,16	451,24
400	300	538,40	533,68	533,68	529,04	524,48	520,00	515,59	511,26	498,69	490,64
	400	538,40	538,40	538,40	538,40	533,68	533,68	529,04	524,48	520,00	515,59
	500	543,21	543,21	538,40	538,40	538,40	538,40	538,40	533,68	529,04	524,48
450	300	629,52	624,00	624,00	618,57	613,24	608,00	602,84	597,78	583,08	573,67
	400	629,52	629,52	629,52	629,52	624,00	624,00	618,57	613,24	608,00	602,84
	500	635,14	635,14	629,52	629,52	629,52	629,52	629,52	624,00	618,67	613,24
500	300	739,11	732,63	732,63	726,26	720,00	713,84	707,79	701,84	685,69	673,54
	400	739,11	739,11	739,11	739,11	732,63	732,63	726,26	720,00	713,84	707,79
	500	745,71	745,71	745,71	739,11	739,11	739,11	739,11	732,63	726,26	720,00
550	300	853,80	846,31	846,31	838,95	831,72	824,61	824,61	810,75	790,81	778,06
	400	853,80	853,80	853,80	853,80	846,31	846,31	838,95	831,72	824,61	817,62
	500	861,42	861,42	861,42	853,80	853,80	853,80	853,80	846,31	838,95	831,72
600	300	993,98	985,26	985,26	976,79	968,27	960,00	960,00	943,86	920,65	905,80
	400	993,98	993,98	993,98	993,98	985,26	985,26	976,79	968,27	960,00	951,86
	500	1 002,85	1 002,85	1 002,85	993,98	993,98	993,98	993,98	985,26	976,79	968,27

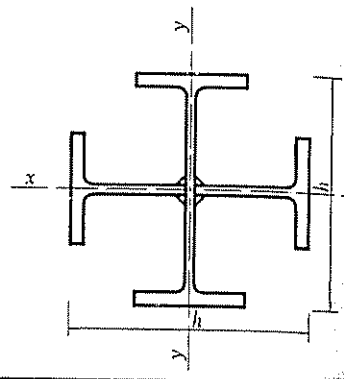
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.

3.9.12



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

ud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	IPE
6,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
306,61	292,67	274,82	257,55	224,23	192,61	168,80	200 · 250 · 8	5	200	
344,06	328,99	315,18	302,49	274,82	244,95	216,69	250 · 250 · 8	5	250	330
360,57	352,12	344,06	328,99	306,61	283,47	262,04	300 · 250 · 8	5	300	
422,12	408,93	399,57	387,73	360,99	335,53	304,32	300 · 300 · 8	4	300	
443,59	436,20	429,04	422,12	408,93	387,73	371,23	400 · 300 · 8	4	400	360
451,24	447,38	443,59	439,86	429,04	418,75	408,93	500 · 300 · 8	4	500	
490,64	475,31	464,42	450,66	419,58	390,00	353,72	300 · 300 · 8	4	300	
515,59	507,00	498,68	490,64	475,31	450,66	431,48	400 · 300 · 8	4	400	400
524,48	524,48	515,59	511,26	498,68	486,72	475,31	500 · 300 · 8	4	500	
573,67	555,75	543,02	526,93	490,59	456,00	413,58	300 · 300 · 10	5	300	
602,84	592,80	583,08	573,67	555,75	526,93	504,51	400 · 300 · 10	5	400	450
613,24	613,24	602,84	597,78	583,08	569,08	555,75	500 · 300 · 10	5	500	
673,54	652,50	637,55	618,66	576,00	535,38	485,58	300 · 350 · 10	5	300	
707,79	696,00	684,59	673,54	652,50	618,66	592,34	400 · 350 · 10	5	400	500
720,00	720,00	707.79	701,84	684,59	668,16	652,50	500 · 350 · 10	5	500	
778,06	753,75	736,48	714,66	665,37	618,46	560,93	300 · 350 · 10	6	300	
817,62	804,00	790,81	778,06	753,75	714,66	684,25	400 · 350 · 10	6	400	550
831,72	831,72	817,62	810,75	790,81	771,84	753,75	500 · 350 · 10	6	500	
905,80	877,50	857,40	832,00	774,62	720,00	653,02	300 · 350 · 12	7	300	
951,86	936,00	920.65	905,80	877,50	832,00	796,59	400 · 350 · 12	7	400	600
968,27	968,27	951,86	943,86	920,65	898,56	877,50	500 · 350 · 12	7	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles IPE en cruz

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una ... de p							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
140	32,6	117,36	88,2	80,9	73,8	67,0	60,4	55,6	50,1	41,1
160	40,0	144,00	117,0	110,7	103,6	96,6	89,4	82,2	74,2	62,6
180	47,5	171,00	148,7	142,5	136,8	128,5	119,5	113,2	104,2	90,0
200	56,7	204,12	182,2	177,5	170,1	163,3	155,8	146,8	138,8	122,9
220	66,5	239,40	219,6	213,7	208,1	201,1	194,6	187,0	177,3	160,6
240	77,8	280,08	261,7	254,6	250,0	245,6	237,3	229,5	220,5	204,4
270	91,4	329,04	313,3	307,5	304,6	299,1	291,1	283,6	276,5	259,0
300	107	385,20	370,3	366,8	360,0	356,6	350,1	343,9	337,8	323,7
330	125	450,00	432,6	428,5	428,5	420,5	416,6	409,0	405,4	391,3
360	145	522,00	506,8	501,9	497,1	497,1	492,4	487,8	478,9	466,0
400	168	604,8	592,9	587,1	581,5	581,5	576,0	570,5	565,2	554,8
450	197	709,2	709,2	695,2	688,5	688,5	681,9	675,4	675,4	662,8
500	231	831,6	831,6	831,6	815,2	807,3	807,3	799,6	799,6	792,0
550	267	961,2	961,2	961,2	961,2	942,3	933,2	933,2	924,2	915,4
600	311	1 119,6	1 119,6	1 119,6	1 119,6	1 119,6	1 097,6	1 097,6	1 086,9	1 076,5

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en cualquiera de los dos planos de simetría.

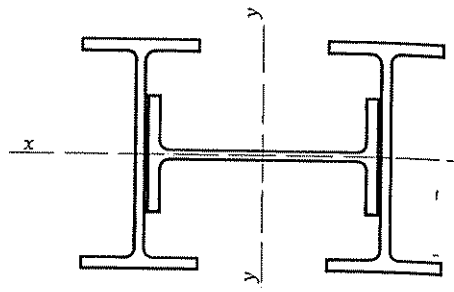
3.9.13

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
41,1	34,1	28,6	24,3	21,1	18,3	14,1	11,2	9,5	140
62,6	52,9	44.4	38,3	33,2	28,6	22,4	17,8	14,5	160
90,0	77,0	66,0	57,1	49,7	43,5	34,0	27,3	22,3	180
122,9	105,2	91,9	80,3	70,3	61,1	48,3	38,6	31,8	200
160,6	141,6	126,0	109,8	97,3	85;2	67,4	53,8	45,3	220
204,4	185,4	165,7	147,4	130,2	115,7	93.6	75,4	61,9	240
259,0	240,1	220,8	200,6	181,7	163,7	133,7	111,0	91,0	270
323,7	303,3	285,3	262,0	242,2	220,1	185,1	154,0	128.8	300
391,3	375,0	354,3	333,3	310,3	288,4	244,5	206,4	173,7	330
466,0	450,0	435,0	411,0	386,6	365,0	318,2	269,0	230.9	360
554,8	540,0	525,9	504,0	483,8	461,6	411,4	364,3	311,7	400
662,8	650,6	633,2	616,7	595,9	576,5	525,3	475,9	419,6	450
792,0	777,2	762,9	742,5	729,4	710,7	665,2	607.0	550,7	500
915,4	906,7	898,3	881,8	865,9	850,6	807,7	750,9	691,5	550
1 076,5	1 066,2	1 056,2	1 046,3	1 027,1	1 008,6	965,1	917,7	861,2	600

3.9.13



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	Resistencia en t para una longitud
II	⊢			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
120	120	39,6	142,5	104,0	95,6	86,9	78,7	69,8	63,0	57,0	46,8
	140	42,8	154,0	109,2	100,0	91,1	82,4	73,0	65,8	59,4	48,3
140	140	49,2	177,1	144,0	136,2	125,6	117,3	108,0	99,5	89,9	75,6
	160	52,9	190,4	152,3	143,1	133,1	122,0	112,6	103,5	93,3	77,4
160	140	56,6	203,7	177,1	171,2	164,3	159,1	146,5	136,7	128,1	110,7
	160	60,3	217,0	187,1	180,9	170,9	163,2	151,8	140,9	132,3	114,2
	180	64,1	230,7	197,2	189,1	180,2	168,4	159,1	147,9	136,5	117,1
180	160	67,9	244,4	220,2	214,4	208,9	200,3	192,4	183,7	173,3	153,7
	180	71,7	258,1	232,5	226,4	216,9	208,1	198,5	188,4	178,0	157,3
	200	76,3	274,6	245,2	236,7	228,9	219,7	209,6	197,6	186,8	162,5
200	160	77,1	277,5	257,0	252,3	245,6	241,3	233,2	225,6	216,8	196,8
	180	80,9	291,2	269,6	264,7	257,7	251,0	242,7	234,8	224,0	203,6
	200	85,5	307,8	285,0	277,3	270,0	263,0	252,3	242,3	234,9	209,3
	220	90,4	325,4	298,5	290,5	282,9	275,8	264,5	254,2	241,0	218,4
220	180	90,7	326,5	308,0	302,3	296,8	291,5	286,4	276,7	267,6	251,1
	200	95,3	343,0	323,6	317,6	311,8	303,6	298,3	288,3	278,9	261,8
	220	100	360,0	336,4	333,3	324,3	318,5	310,3	300,0	290,3	270,6
	240	106	381,6	356,6	350,0	343,7	334,7	326,1	312,7	305,2	278,5
240	200	107	385,2	366,8	363,4	356,6	350,1	343,9	337,8	332,0	313,1
	220	112	403,2	384,0	376,8	373,3	366,5	360,0	353,6	344,6	325,1
	240	117	421,2	401,1	393,6	390,0	382,9	372,7	366,2	356,9	336,9
	270	124	446,4	421,1	417,2	409,5	402,1	395,0	384,8	375,1	351,5
270	220	125	450,0	432,6	428,5	424,5	420,5	416,6	409,0	401,7	387,9
	240	131	471,6	453,4	449,1	444,9	440,7	432,6	428,7	417,3	403,0
	270	138	496,8	477,6	473,1	468,6	460,0	455,7	447,5	439,6	421,0
	300	146	525,6	505,3	500,5	491,2	486,6	477,8	469,2	461,0	441,6

$\lambda > 200$

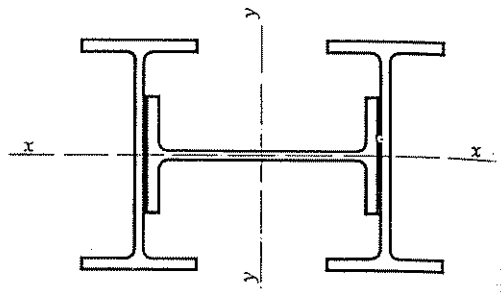
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y

3.9.14



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/mm²

gitud de pandeo l_k en metros									IPE	
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	⊢	II
46,8	39,0	32,9	27,6	23,8	20,7	15,9	12,7	10,4	120	120
48,3	40,3	33,6	28,9	24,6	21,4	16,4	13,0	—	140	
75,6	64,1	53,8	46,3	39,8	34,8	27,0	21,5	17,5	140	140
77,4	65,6	55,3	47,1	41,0	35,7	27,4	21,9	17,8	160	
110,7	94,7	81,5	70,2	61,0	53,3	41,6	33,7	27,5	140	
114,2	97,7	82,5	71,4	62,2	54,5	42,7	33,8	27,7	160	160
117,1	100,3	84,8	73,4	64,1	55,4	43,7	34,8	28,3	180	
153,7	135,0	117,5	102,7	89,8	79,1	62,2	50,6	41,4	160	
157,3	138,0	120,0	104,9	91,8	80,9	63,8	50,8	41,7	180	180
162,5	141,5	123,7	108,1	93,1	82,2	65,0	52,0	42,3	200	
196,8	177,9	158,6	140,8	125,0	111,0	88,3	71,7	59,0	160	
203,6	183,1	163,6	142,7	126,6	112,4	89,8	73,1	59,5	180	200
209,3	187,6	167,2	147,9	129,3	115,2	90,8	73,9	60,5	200	
218,4	196,0	171,2	151,3	132,2	117,9	93,2	75,1	61,6	220	
251,1	231,5	209,3	189,8	171,8	151,8	124,1	100,7	83,0	180	
261,8	236,6	215,7	192,7	174,1	154,5	124,3	101,2	83,6	200	220
270,6	244,9	219,5	198,9	176,4	159,2	126,3	103,1	85,3	220	
278,5	256,1	229,8	204,0	180,8	163,0	129,3	106,0	86,9	240	
313,1	294,0	269,3	246,9	227,9	205,9	167,4	139.5	115,3	200	
325,1	303,1	278,0	253,5	230,4	207,8	169,4	141,4	117,2	220	240
336,9	312,0	286,5	261,6	236,6	213,8	171,2	140,8	117,0	240	
351,5	221,1	295,6	268,9	242,6	218,8	178,5	144,4	120,3	270	
387,9	365,8	346,1	323,7	302,0	279,5	236,8	195,6	165,4	220	
403,0	383,4	360,0	334,4	300,3	284,1	239,3	198,1	167,8	240	270
421,0	397,4	373,5	347,4	318,4	293,9	243,5	201,9	171,3	270	
441,6	413,8	389,3	357,5	330,5	300,3	252,6	210,3	175,7	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Conjunto de tres perfiles IPE

IPE		Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	Resistencia en t para una							lon
II	H			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4
300	220	141	507,6	492,8	488,0	488,0	483,4	478,8	474,3	470,0	4
	240	147	529,2	513,7	508,8	504,0	504,0	499,2	290,0	485,5	4
	270	154	554,4	538,2	533,0	528,0	523,0	518,1	513,3	504,0	4
	300	161	579,6	562,7	557,3	552,0	546,7	541,6	536,6	526,9	5
330	240	164	590,4	578,8	573,2	567,6	567,6	562,2	556,9	551,7	5
	270	171	615,6	603,5	597,6	591,9	586,2	586,2	580,7	575,3	5
	300	179	644,4	625,6	625,6	619,6	613,7	613,7	607,9	602,2	5
	330	188	676,8	657,0	657,0	650,7	644,5	638,4	632,5	626,6	6
360	270	191	687,6	687,6	674,1	667,5	661,1	661,1	654,8	648,6	6
	300	199	716,4	716,4	702,3	695,5	688,8	688,8	682,2	675,8	6
	330	208	748,8	748,8	726,9	726,9	720,0	713,1	713,1	706,4	6
	360	218	784,8	769,4	761,9	761,9	754,6	747,4	747,4	740,1	7
400	270	215	774,0	774,0	758,8	751,4	751,4	744,2	744,2	737,1	7
	300	223	802,8	802,8	802,8	787,0	779,4	779,4	771,9	764,5	7
	330	232	835,2	835,2	835,2	818,8	810,8	803,0	803,0	795,4	7
	360	242	871,2	871,2	871,2	854,1	845,8	837,6	837,6	829,7	8
	400	254	914,4	914,4	896,4	887,7	887,7	879,2	870,2	870,8	8
450	300	251	903,6	903,6	903,6	885,8	885,8	877,2	868,8	868,8	8
	330	260	936,0	936,0	936,0	936,0	917,6	908,7	908,7	900,0	8
	360	270	972,0	972,0	972,0	972,0	952,9	944,7	943,6	934,6	9
	400	282	1 015,2	1 015,2	1 015,2	1 015,2	995,2	985,6	985,6	976,1	9
	450	296	1 065,6	1 065,6	1 065,6	1 044,7	1 044,7	1 034,5	1 024,6	1 024,6	1 0
500	330	295	1 062,0	1 062,0	1 062,0	1 062,0	1 062,0	1 041,1	1 031,0	1 031,0	1 0
	360	305	1 098,0	1 098,0	1 098,0	1 098,0	1 098,0	1 076,4	1 076,4	1 066,0	1 0
	400	317	1 141,2	1 141,2	1 141,2	1 141,2	1 141,2	1 118,8	1 118,8	1 107,9	1 0
	450	331	1 191,6	1 191,6	1 191,6	1 191,6	1 191,6	1 168,2	1 156,8	1 156,8	1 1
	500	348	1 252,8	1 252,8	1 252,8	1 252,8	1 252,8	1 228,2	1 216,3	1 216,3	1 2

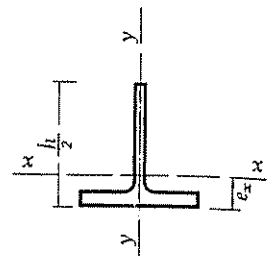
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.14



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/m²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE	
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	H	II
453,2	441,3	423,0	399,6	381,6	354,9	309,5	267,1	228,6	220	
468,3	456,2	433,7	413,4	392,0	364,9	318,8	272,7	230,0	240	300
490,6	473,8	450,7	426,4	404,6	377,1	328,0	275,8	236,9	270	
512,9	491,1	467,4	442,4	411,0	388,9	331,2	278,6	239,5	300	
536,7	522,4	508,9	492,0	472,3	450,6	396,2	349,3	304,3	240	
559,6	544,7	526,1	504,5	484,7	462,8	407,6	357,9	306,2	270	330
585,8	570,2	550,7	523,9	503,4	477,3	418,4	362,0	315,8	300	
615,2	593,6	573,5	545,8	520,6	494,0	433,8	373,9	320,7	330	
642,6	625,0	608,5	592,7	573,0	554,5	501,9	446,4	399,7	270	
663,3	651,2	633,9	612,3	597,0	573,1	515,4	459,2	402,4	300	360
693,3	680,7	662,6	640,0	613,7	589,6	531,0	470,9	413,7	330	
726,6	707,0	688,4	665,0	638,0	613,1	541,2	478,5	419,6	360	
730,1	716,6	697,3	684,9	661,5	645,0	590,8	533,7	480,7	270	
757,3	750,2	729,8	716,7	698,0	680,3	632,1	577,5	521,3	300	
787,9	773,3	759,2	739,1	726,2	701,8	652,5	592,3	535,3	330	400
821,8	806,6	792,0	770,9	751,0	726,0	670,1	609,2	547,9	360	
854,5	846,6	823,7	802,1	781,5	749,5	698,0	622,0	557,5	400	
860,5	844,4	836,6	821,4	799,6	778,9	734,6	679,4	623,1	300	
891,4	883,0	874,7	858,7	843,2	828,3	786,5	731,2	673,3	330	
925,7	916,9	900,0	883,6	867,8	852,6	810,0	747,6	689,3	360	450
966,8	957,7	940,0	922,9	898,4	882,7	832,1	774,9	709,9	400	
1 014,8	995,8	986,6	968,7	943,0	918,6	866,3	801,2	734,9	450	
1 021,1	1 011,4	992,5	983,3	965,4	939,8	900,0	849,6	786,6	330	
1 055,7	1 045,7	1 035,8	1 026,1	1 016,6	998,1	954,7	915,0	857,8	360	
1 097,3	1 086,8	1 076,6	1 066,5	1 046,9	1 028,1	992,3	935,4	877,8	400	500
1 145,7	1 134,8	1 124,1	1 103,3	1 083,2	1 063,0	1 018,4	968,7	909,6	450	
1 204,6	1 193,1	1 170,8	1 160,0	1 138.9	1 108,6	1 061,6	1 002,2	928,0	500	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

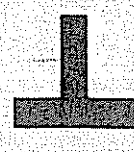
Medio perfil IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una lo					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	6,60	23,8	14,8	11,1	8,5	6,5	5,1	4,1
140	8,21	29,6	20,4	16,3	12,9	10,0	8,0	6,5
160	10,00	36,0	26,7	22,0	17,9	14,4	11,8	9,6
180	12,00	43,0	33,0	29,0	24,3	20,1	16,7	13,8
200	14,20	51,1	39,3	35,7	31,2	26,9	22,2	18,8
220	16,70	60,1	47,3	43,9	39,8	35,0	29,9	25,7
240	19,60	70,6	55,6	53,1	48,7	43,8	38,3	33,4
270	23,00	82,8	63,7	61,3	57,9	54,8	49,9	44,3
300	26,90	96,8	72,8	70,7	67,7	65,0	60,9	56,3
330	31,30	112,7	84,7	82,2	78,8	75,6	72,2	67,9
360	36,40	131,0	100,0	97,1	94,3	90,4	86,8	81,4
400	42,20	151,9	116,0	109,3	106,2	102,0	98,6	94,4
450	49,40	177,8	124,3	124,4	121,0	117,8	111,8	108,4
500	57,80	208,1	143,5	141,5	139,7	135,1	130,9	126,9
550	67,20	241,9	164,5	160,2	160,2	155,1	150,3	145,7
600	78,00	280,8	191,0	188,4	185,9	182,3	176,6	171,2

$\lambda > 200$

El pandeo se presenta con flexión y torsión.

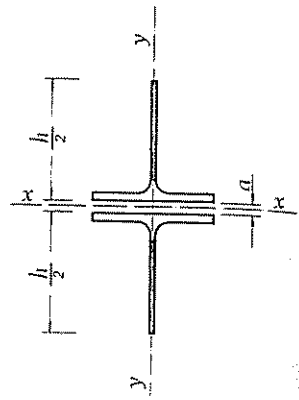
3.9.15



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									IPE
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
3,4	2,8	2,4	2,0	1,8					120
5,3	4,5	3,8	3,2	2,8	2,5	2,2			140
7,9	6,6	5,6	4,9	4,2	3,7	3,3	2,3		160
11,5	9,7	8,3	7,2	6,2	5,5	4,8	3,8	3,1	180
15,8	13.4	11,5	9,9	8,7	7,6	6,8	5,4	4,4	200
21,8	18,6	16,2	14,1	12,3	10,8	9,6	7,7	6,3	220
28,7	25,1	21,8	19,1	16,7	14,8	13,0	10,5	8,7	240
39,2	34,2	30,4	26,8	23,7	21,1	18,9	15,3	12,5	270
51,0	45,9	40,7	36,3	32,4	29,0	26,1	21,4	17,7	300
62,3	56,1	50,8	45,8	40,8	37,1	33,2	27,5	22,8	330
76,2	70,1	64,2	58,0	52.4	47,5	43,1	35,9	29,8	360
88,3	82,6	75,6	69,7	62,8	57,8	52,4	43,5	36,5	400
101,6	96,7	90,3	82,7	76,0	70,0	64,4	54,1	46,0	450
121,0	115,0	107,3	100,0	93,7	86,0	79,1	67,3	57,0	500
138,2	131,5	124,7	116,3	109,0	101,6	93,4	80,9	69,3	550
166,2	157,8	150,2	142.5	133,1	124,2	116,0	99,9	85,3	600

3.9.15



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles IPE

IPE	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una λ long						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
120	13,2	47,52	30,8	23,2	17,4	13,2	10,3	8,3	
140	16,4	59,04	43,0	34,3	26,5	20,7	16,4	13,2	1
160	20,1	72,36	57,8	47,9	38,0	30,4	24,2	19,8	1
180	23,9	86,04	70,0	62,8	52,4	42,8	34,4	28,3	2
200	28,5	102,60	*82,1*	80,1	60,8	57,6	47,7	39,6	3
220	33,4	120,24	*94,7*	*94,7*	89,0	75,6	64,3	54,1	4
240	39,1	140,76	*108,3*	*108,3*	*108,3*	97,0	84,8	71,4	6
270	45,9	165,24	*120,6*	*120,6*	*120,6*	*120,6*	112,4	97,7	8
300	53,8	193,68	*135,4*	*135,4*	*135,4*	*135,4*	*135,4*	129,9	11

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

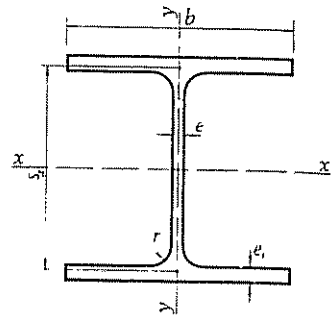
3.9.16



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									IPE
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
6,8	5,6	4,7	4,1	3,5					120
10,7	9,0	7.6	6,5	5,6	5,1	4,3			140
16,2	13,7	11,5	9.8	8,6	7.5	6,6	5,2		160
23,5	19,8	16,9	14,4	12.5	11.0	9,7	7,7	6,2	180
32.6	27,6	23,7	20,4	17.8	15.6	13,7	10,9	8,9	200
45,7	38,9	33,4	28,9	25.2	22,1	19,6	15,7	12,7	220
61,2	52.7	44,8	39.1	34,3	30,3	26,6	21,4	17.4	240
85,1	74.4	65,0	56.0	49,4	43,9	39.1	31,3	25,5	270
114,6	101,9	88,8	78,7	70,1	61,6	55.5	44,7	36,6	300

3.9.16



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitud							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
120	34,0	122,40	64,4	56,1	49,0	42,9	37,8	33,0	29,4	23,
140	43,0	154,80	99,2	88,5	78,6	69,7	61,9	55,1	49,3	40,
160	54,3	195,48	140,6	129,5	117,8	106,2	95,8	85,0	77,0	63,
180	65,3	235,08	185,1	174,1	159,9	147,8	134,3	123,7	111,4	94,
200	78,1	281,16	236,3	224,9	211,4	196,6	182,6	169,4	155,3	130,8
220	91	327,60	284,9	275,3	262,1	250,1	232,3	219,9	203,5	175,2
240	106	381,60	340,7	331,8	320,7	307,7	291,3	274,5	259,6	229,9
260	118	424,80	386,2	375,9	366,2	357,0	342,6	326,8	310,1	281,3
280	131	471,60	436,7	428,7	417,3	406,6	396,3	380,3	368,4	334,5
300	149	536,40	501,3	496,7	483,2	474,7	462,4	450,8	432,6	403,3
320	161	579,60	541,7	536,7	522,2	512,9	499,7	483,0	467,4	435,8
340	171	615,60	575,3	564,8	554,6	544,8	530,7	513,0	496,5	456,0
360	181	651,60	609,0	597,8	587,0	576,6	556,9	543,0	525,5	482,7
400	198	712,80	666,2	653,9	636,4	625,3	609,2	584,3	570,2	520,3
450	218	784,80	733,5	713,5	700,7	688,4	665,1	643,3	618,0	572,8
500	239	860,40	804,1	782,2	768,2	748,2	729,2	699,5	677,5	619,0
550	254	914,40	846,7	831,3	809,2	795,1	768,4	743,4	714,4	648,5
600	270	972,00	900,0	883,6	860,2	837,9	816,8	783,9	759,4	679,7

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

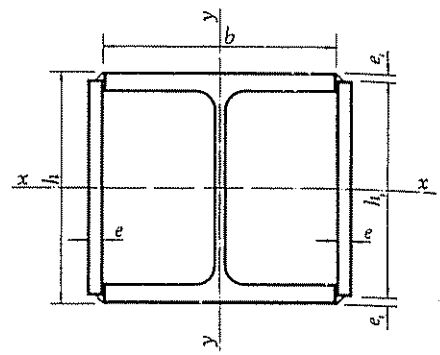
3.9.17

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEB
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
23,8	19.6	16,2	13,7	11,8	10,1				120
40,0	32.9	27,5	23.3	20,0	17,3	13,5			140
63,3	52,7	43,9	37,4	32,4	27.8	21,5	17,2	13,9	160
94,0	78,6	66.2	56,5	48,7	42,4	32.8	26,1	21,2	180
130,8	110,7	95,3	81,7	70.6	61,4	47,7	37,9	31,2	200
175,2	152.4	131,0	113,0	98,1	85,8	67,0	53,5	43,7	220
229,9	200,8	175,0	150,2	131.6	116.0	90.4	73,1	60,2	240
281,3	247,0	215,6	191.4	167,2	149,1	116,4	94,0	77,5	260
334,5	296,6	264,9	234,6	208,7	185,7	147,8	120,0	99,1	280
403.3	364,9	327,1	296.4	262,9	237,3	188,2	153,7	127,1	300
435,8	394,3	353,4	320,2	284,1	256.5	203,4	166,1	137,3	320
456,0	418,8	375,4	334,6	301,8	267,7	216,0	173,4	144,2	340
482,7	437,3	397,3	354,1	313,3	283,3	224.7	183,5	150,5	360
520,3	472,1	429,4	381.2	337.8	299,5	241,6	195,3	162,4	400
572,8	519,7	464,4	413,1	365,0	329,7	262,5	211,5	176,4	450
619.0	558,7	500,2	443.5	400,2	355,5	283,0	228,8	187,9	500
648,5	586,2	522,5	464,2	411,9	365,8	291,2	236,3	197,1	550
679.7	611.3	546.1	483,6	430,1	382,7	304,7	247,3	204,2	600

3.9.17



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEB con dos platabandas soldadas

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una long						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	50,6	182	104 · 8	142,3	131,1	120,6	111,1	100,6	92,5	83,6
140	62,8	226	124 · 8	190,0	180,9	170,0	158,1	146,8	136,2	127,0
160	82,3	296	140 · 10	262,2	255,4	246,9	233,3	222,8	210,1	198,8
180	97,3	350	160 · 10	318,4	310,0	304,6	294,4	282,5	269,4	255,7
200	121	435	180 · 12	407,1	399,6	392,4	385,5	372,3	363,0	351,3
220	139	500	200 · 12	472,1	467,7	459,1	450,8	442,8	431,4	420,5
240	172	619	220 · 15	595,4	589,7	578,7	573,3	562,9	552,9	548,0
260	190	684	240 · 15	657,7	651,4	651,4	639,3	633,3	621,8	616,2
280	209	752	260 · 15	730,5	723,5	716,6	709,8	703,2	696,7	684,0
300	233	838	280 · 15	814,4	806,5	806,5	798,9	791,3	783,9	776,7
320	281	1 011	300 · 20	991,8	982,1	972,7	972,7	963,4	954,3	945,4
340	299	1 076	320 · 20	1 055,3	1 045,0	1 035,0	1 035,0	1 025,1	1 015,5	1 006,0
360	317	1 141	340 · 20	1 118,8	1 108,0	1 097,3	1 097,3	1 086,9	1 076,6	1 066,6
400	350	1 260	380 · 20	1 235,3	1 223,3	1 211,5	1 211,5	1 200,0	1 188,7	1 177,6
450	420	1 512	420 · 24	1 482,4	1 468,0	1 468,0	1 453,8	1 440,0	1 440,0	1 426,4
500	465	1 674	470 · 24	1 641,2	1 625,2	1 625,2	1 609,6	1 594,3	1 594,3	1 579,2
550	504	1 814	520 · 24	1 778,8	1 761,6	1 761,6	1 744,6	1 728,0	1 728,0	1 711,7
600	544	1 958	570 · 24	1 920,0	1 901,4	1 901,4	1 883,1	1 865,1	1 865,1	1 847,5

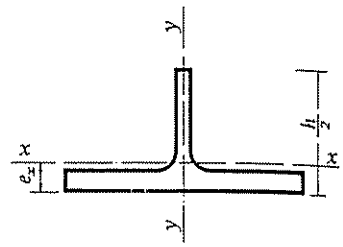
$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.18

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
69,3	57,1	48,4	41,5	35,9	30,9	24,1	19,1	15,6	120
107,1	90,4	76,6	65,7	57,5	50,0	38,8	31,2	25,3	140
172,3	150,4	131,1	112,7	99,1	86,1	68,4	54,7	44,7	160
232,0	203,7	180,6	157,8	140,1	122,9	97,3	78,7	64,6	180
322,7	296,3	265,6	236,7	213,5	189,4	152,8	122,7	102,0	200
394,0	365,3	335,8	305,1	276,5	245,3	200,2	164,6	137,1	220
520,3	495,4	458,7	427,0	396,9	360,0	297,7	247,7	209,9	240
594,8	570,0	538,6	506,7	471,7	438,5	371,7	308,1	260,1	260
665,8	643,1	611,7	578,8	549,2	511,8	445,2	374,3	321,5	280
755,7	729,4	704,9	671,0	640,3	594,9	527,5	455,9	390,1	300
919,6	895,2	872,1	843,0	796,5	760,6	678,9	588,1	513,5	320
978,5	952,6	927,9	897,0	847,6	809,3	722,4	625,8	546,4	340
1 037,5	1 009,0	983,8	951,0	898,6	858,0	765,9	663,5	579,3	360
1 145,5	1 115,0	1 086,2	1 050,0	992,1	947,4	845,6	732,6	639,6	400
1 400,0	1 362,2	1 362,2	1 281,4	1 229,3	1 181,3	1 042,8	922,0	808,6	450
1 550,0	1 508,1	1 468,4	1 418,6	1 361,0	1 307,8	1 154,5	1 020,7	895,2	500
1 680,0	1 634,6	1 591,6	1 537,6	1 473,1	1 417,5	1 268,8	1 127,0	986,1	550
1 813,3	1 764,3	1 717.9	1 659,7	1 592,2	1 530,0	1 369,5	1 216,4	1 064,3	600



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

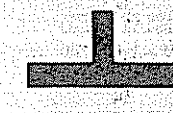
Medio perfil HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longit						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2
120	17,0	61,2	36,9	26,6	19,8	14,9	11,7	9,3	
140	21,5	77,4	54,9	42,3	32,5	25,0	19,7	16,0	1
160	27,1	97,6	76,8	72,3	51,3	40,3	32,6	26,3	2
180	32,6	117,4	99,5	86,9	72,9	58,4	47,7	39,3	3
200	39,0	140,4	123,2	110,6	95,5	81,6	67,5	56,2	4
220	45,5	163,8	147,6	136,5	121,3	106,4	90,5	76,2	6
240	53,0	190,8	*176,7*	163,1	150,2	133,4	116,3	100,4	8
260	59,2	213,1	*193,7*	188,6	174,7	157,9	141,1	121,8	10
280	65,7	236,5	*215,0*	*213,1*	202,2	186,2	167,7	151,6	13
300	74,5	268,2	*243,8*	*241,6*	235,3	219,8	204,7	182,4	163
320	80,7	290,5	*266,5*	*264,1*	259,4	248,3	232,4	212,1	192
340	85,4	307,4	*284,7*	*282,1*	*279,5*	269,7	256,2	140,2	218
360	90,3	325,1	*301,0*	*298,2*	*295,5*	290,3	277,8	264,3	248
400	98,9	356,0	332,7	329,7	326,6	323,7	320,8	309,6	296,

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

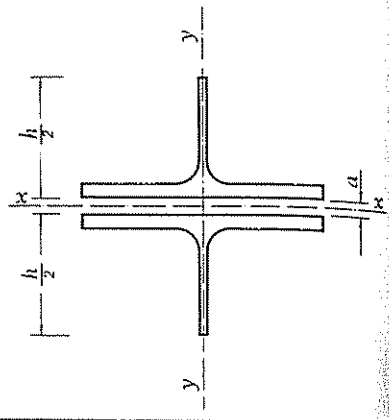
3.9.19



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
7,7	6,3	5,4	4,6						120
13,1	10,9	9,2	7,9	6,8	6,0				140
21,6	18,3	15,4	13,2	11,5	10,0	8,8	7,6		160
32,6	27,5	23,4	20,1	17,5	15,3	13,6	10,8	8,7	180
47,0	39,5	33,8	29,1	25,3	22,1	19,6	15,6	12,8	200
64,5	54,8	46,9	40,5	35,3	31,0	27,4	21,9	18,0	220
85,9	73,7	63,8	54,7	47,9	42,2	37,6	30,1	24,7	240
106,0	91,1	79,8	69,0	61,1	53,5	47,9	38,4	31,4	260
132,9	115,9	101,1	88,6	79,1	69,8	61,9	49,7	41,1	280
163,5	145,8	127,1	112,7	100,4	88,2	79,1	63,6	52,8	300
192,4	171,9	155,4	137,7	122,1	108,8	98,5	79,6	65,3	320
218,0	199,6	181,9	164,4	145,7	131,4	118,7	96,4	80,5	340
248,2	227,3	208,4	189,0	173,8	156,3	141,3	115,7	97,3	360
296,7	280,3	263,7	242,2	223,9	207,0	190,4	160,4	135,4	400

3.9.19



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

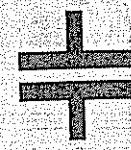
Dos medios perfiles HEB

HEB	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una longi						
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
120	34,0	122,40	11,0	104,6	93,4	78,5	64,4	53,2	43,6	3
140	43,0	154,80	11,5	*138,2*	125,9	111,4	96,1	79,8	67,3	5
160	54,3	195,48	13,0	*179,3*	*169,9*	156,4	138,6	121,4	104,5	8
180	65,3	235,08	14,0	*213,7*	*209,8*	*197,5*	180,8	162,1	143,3	12
200	78,1	281,16	15,0	*257,9*	*257,9*	*246,6*	*228,5*	211,4	191,3	16
220	91,0	327,60	16,0	*294,2*	*294,2*	*291,6*	*276,7*	*261,3*	239,1	21
240	106,0	381,60	16,0	*340,7*	*340,7*	*340,7*	*331,8*	*312,7*	293,5	27
260	118,4	426,24	17,0	*377,2*	*377,2*	*377,2*	*377,2*	*361,2*	340,9	31
280	131,4	473,04	18,0	*411,3*	*411,3*	*411,3*	*411,3*	*411,3*	394,2	37
300	149	536,40	18,5	*462,4*	*462,4*	*462,4*	*462,4*	*462,4*	458,4	436

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

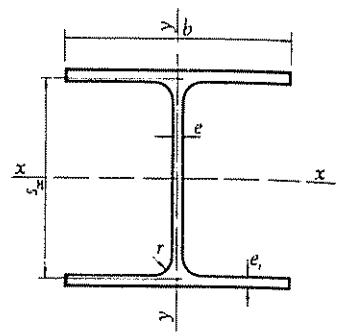
3.9.20



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEB
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
36,1	30,3	26,0	22,3	19,3	17,1	15,0	12,0	9,7	120
56,9	47,8	41,2	35,8	30,8	27,2	24,1	19,2	15,6	140
89,7	77,0	66,1	58,5	51,2	45,1	40,0	31,9	26,1	160
125,7	109,3	95,6	83,7	73,7	65,3	58,2	46,3	38,0	180
169,4	150,4	133,3	116,2	103,4	92,5	81,7	66,6	54,6	200
217,0	193,8	175,2	155,3	137,6	122,7	111,1	89,8	73,6	220
270,6	247,8	221,9	200,8	180,9	160,3	145,1	117,8	98,6	240
315,7	294,0	268,1	243,6	219,7	198,3	179,1	147,0	123,9	260
372,4	345,2	321,8	293,8	270,3	243,8	224,2	182,6	153,1	280
436,1	412,6	380,4	355,2	333,2	306,5	282,3	233,2	197,2	300

3.9.20



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longi							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4
120	25,3	91,08	46,0	41,0	35,9	30,9	27,3	24,2	21,6	
140	31,4	113,04	71,1	63,5	56,2	50,0	44,5	39,7	34,9	
160	38,8	139,68	99,1	90,7	82,7	73,5	66,2	59,7	53,1	
180	45,3	163,08	128,4	119,0	110,9	101,3	93,2	84,1	77,3	
200	53,8	193,68	161,4	152,5	143,5	133,6	124,2	114,6	105,3	8
220	64,3	231,48	201,3	192,9	185,2	174,1	161,9	153,3	141,1	12
240	76,2	276,48	244,7	238,3	222,9	221,2	211,1	196,1	185,6	16
260	86,8	312,48	284,1	276,1	269,4	260,4	249,9	238,5	224,8	20
280	97,3	350,28	324,3	318,4	310,0	301,9	291,9	280,2	269,4	24
300	113	406,80	380,2	373,2	366,5	360,0	347,7	330,0	328,1	30
320	124	446,40	417,2	409,5	402,2	395,0	381,5	372,0	360,0	33
340	133	478,80	447,5	439,3	431,4	420,0	409,2	399,0	383,0	35
360	143	514,80	481,1	472,3	463,8	451,6	440,0	429,0	411,8	37
400	159	572,40	535,0	525,1	511,1	502,1	485,1	469,2	457,9	41
450	178	640,80	598,9	582,5	572,1	557,2	543,1	525,2	504,6	46
500	198	712,80	660,0	648,0	636,4	619,8	604,1	579,5	561,3	51
550	212	763,20	706,7	693,8	675,4	663,7	641,3	620,5	596,3	54
600	226	813,60	753,3	739,6	720,0	701,4	678,0	656,1	625,8	56

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

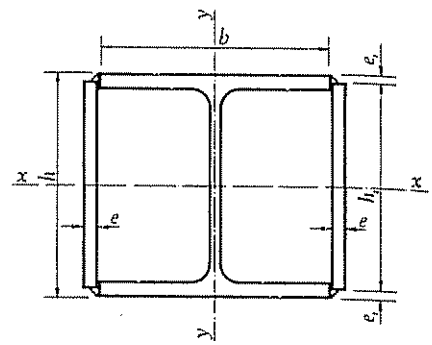
3.9.21

Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEA
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
17,3	14,1	11,8	9,9	8,5	7,3				120
28,4	23,4	19,6	16,6	14,2	12,3	9,5			140
43,8	36,1	30,5	25,8	22,3	19,3	14,9	11,9		160
63,0	53,6	44,7	38,2	32,9	28,7	22,2	17,7	14,5	180
88,8	74,8	63,7	54,6	46,6	40,7	31,6	25,3	20,7	200
121,8	104,3	89,4	77,4	67,3	58,9	46,1	37,7	30,3	220
163,6	142,5	122,3	106,7	93,7	81,6	64,7	51,7	42,1	240
202,9	178,6	155,5	138,3	120,6	105,9	84,2	68,2	55,6	260
245,0	220,3	193,5	171,7	152,3	135,2	108,1	86,7	71,6	280
300,9	273,0	248,0	221,1	195,6	176,9	140,3	114,6	93,9	300
330,7	299,6	272,2	242,6	214,6	194,1	153,9	125,7	103,1	320
354,7	321,3	288,4	260,2	230,2	204,6	165,1	133,0	110,6	340
375,8	345,5	310,1	275,3	247,5	220,0	174,5	143,0	117,3	360
417,8	379,1	338,7	301,3	266,2	240,5	191,4	154,3	128,6	400
461,0	416,1	379,2	337,3	288,0	264,9	210,8	172,7	141,8	450
512,8	462,9	414,4	367,4	327,0	289,8	234,5	189,6	155,6	500
541,3	489,2	436,1	387,4	343,8	305,3	243,1	197,2	162,4	550
569,0	511,7	457,1	404,8	360,0	320,3	255,0	204,4	168,4	600

3.9.21



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEA con dos platabandas soldadas

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	□ mm	Resistencia en t para una long						
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	37,8	136	104 · 6	104,7	96,5	88,4	80,5	74,0	66,7	60,2
140	51,1	184	123 · 8	153,3	144,9	136,3	126,9	117,9	108,9	100,0
160	61,2	220	140 · 8	195,0	186,7	179,1	172,1	160,8	151,9	143,1
180	70,9	255	160 · 8	232,0	225,9	220,0	214,5	205,8	196,3	186,3
200	89,8	323	180 · 10	299,3	293,9	286,1	281,1	271,7	262,8	254,5
220	104	374	200 · 10	353,2	349,9	343,5	337,3	328,4	320,0	312,0
240	130	468	220 · 12	445,7	441,5	437,4	429,4	421,6	414,2	403,4
260	144	518	240 · 12	498,5	493,7	489,1	484,5	475,6	471,3	458,8
280	160	576	260 · 12	559,2	553,8	548,6	543,4	538,3	533,3	523,6
300	180	648	280 · 12	629,1	623,1	623,1	617,1	611,3	605,6	600,0
320	214	770	300 · 15	755,3	748,0	740 8	733 7	733,7	726,8	720,0
340	229	824	320 · 15	808,2	800,4	792,7	785,1	785,1	777,7	770,5
360	245	882	340 · 15	856,3	856,3	848,1	840,0	840,0	932,1	824,3
400	273	982	380 · 15	954,2	954,2	945,0	936,0	936,0	972,2	918,5
450	346	1 245	420 · 20	1 221,2	1 209,3	1 209,3	1 187,7	1 186,3	1 186,3	1 164,1
500	386	1 389	470 · 20	1 362,4	1 349,1	1 349,1	1 336,2	1 323,4	1 323,4	1 298,7
550	420	1 512	520 · 20	1 482,4	1 468,0	1 468,0	1 453,8	1 440,0	1 440,0	1 426,4
600	454	1 634	570 · 20	1 602,4	1 586,8	1 586,8	1 571,5	1 556,6	1 556,6	1 541,9

$\lambda > 200$

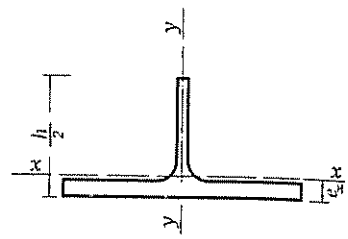
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y

3.9.22

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEA
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
50,0	41,4	35,2	29,7	25,8	22,2	17,4	13,8	11,3	120
84,4	71,0	60,5	51,8	44,9	39,1	30,5	24,3	19,8	140
123,8	105,9	92,6	79,8	69,1	61,2	47,5	38,3	31,4	160
169,0	148,4	129,6	115,0	100,5	88,0	69,9	56,5	46,6	180
232,6	209,9	188,0	166,6	148,3	131,4	104,6	84,6	69,7	200
292,5	269,4	247,9	221,5	200,2	180,0	129,6	119,2	99,6	220
383,6	360,0	331,9	303,9	281,9	254,3	207,1	172,1	144,4	240
443,1	421,5	398,8	367,7	343,3	316,1	263,1	221,5	187,8	260
509,7	488,1	464,5	439,7	414,4	386,6	329,1	276,9	238,0	280
583,8	563,5	544,5	518,4	494,7	466,2	407,5	352,2	301,4	300
700,4	681,8	658.5	631,5	601,9	570,7	510,2	440,2	583,3	320
749,5	729,6	704,6	675,7	644,1	610,7	546,0	471,1	410,1	340
801,8	780,5	753,8	717,1	689,1	653,3	572,7	495,5	432,4	360
893,5	869,7	840,0	799,0	767,8	728,0	638,2	552,1	481,8	400
1 142,8	1 112,1	1 083,1	1 046,7	1 004,5	958,2	859,0	759,5	666,1	450
1 274,9	1 240,7	1 208,3	1 167,7	1 120.6	1 068,9	958,3	847,3	742,1	500
1 400,0	1 362,2	1 326,3	1 281,4	1 229,3	1 181,3	1 042,8	922,0	808,6	550
1 513,3	1 472,4	1 433,7	1 385,1	1 328,8	1 276,9	1 127,2	996,6	874,0	600

3.9.22



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Medio perfil HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longi						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	
120	12,7	45,7	26,1	18,9	13,9	10,4	8,1	6,5	
140	15,7	56,5	39,0	30,2	23,0	17,7	14,0	11,3	
160	19,4	69,8	54,6	44,8	35,5	27,9	22,2	18,0	1
180	22,6	81,4	66,7	57,7	47,3	38,6	30,9	25,1	2
200	26,9	96,8	*79,4*	75,7	64,1	53,5	44,4	36,8	3
220	32,2	115,9	*95,0*	*94,2*	84,6	72,9	61,0	51,3	4
240	38,4	138,2	*115,2*	*112,4*	108,0	94,0	81,8	70,2	5
260	43,4	156,2	*127,0*	*125,0*	*123,0*	114,0	100,2	86,3	7
280	48,6	175,0	*141,1*	*137,8*	*136,7*	*134,6*	122,3	108,7	9
300	56,7	204,1	*166,0*	*163,3*	*159,5*	*157,0*	*153,0*	142,7	12
320	62,2	223,9	*189,8*	*186,6*	*183,5*	*182,0*	*174,9*	161,1	14
340	66,7	240,1	*207,0*	*203,5*	*201,8*	*200,1*	*195,8*	183,3	16
360	71,4	257,0	*225,5*	*221,6*	*219,7*	*217,8*	*214,2*	207,3	19
400	79,5	286,2	*253,3*	*248,9*	*244,6*	*242,5*	*242,5*	*240,5*	234

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo, con flexión y torsión.

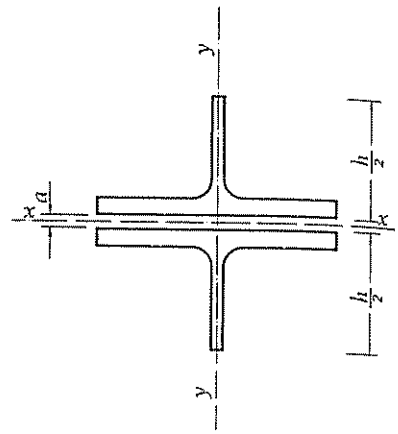
3.9.23



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

ngitud de pandeo l_k en metros									HEA
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,3	4,4	3,7	3,2						120
9,2	7,7	6,5	5,5	4,8	4,2				140
14,9	12,4	10,4	8.9	7,7	6.8	6,0			160
21,0	17,5	14,8	12.8	11,1	9,8	8.6	6,8		180
30,4	25,8	22,1	19,1	16,4	14,4	12.8	10,1	8,3	200
43.4	36,9	31,8	27.1	23.7	20,9	18.5	14,7	12.0	220
59.1	50.8	44.0	37.0	33,2	29,4	25,9	20.6	17.0	240
75,1	64,6	55,6	48,2	42,8	37,6	33.2	26,8	21,8	260
95,1	82,9	72,3	63,4	55.7	49.3	44,0	35.3	29,0	280
128,4	112,8	100.1	88.7	75,9	70.4	63,0	50,5	41,7	300
145,4	130.2	115,4	102.7	91.0	81,1	72.5	58,6	48.3	320
167,9	153,9	137,2	123,8	110.1	99,2	89.9	73,0	60.3	340
193,3	177,3	161.7	146,9	132,5	119,6	108,0	88,6	74,7	360
234,6	223,6	208,9	192.1	177.8	163,5	150,6	126,6	107,2	400

3.9.23



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

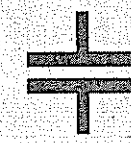
Dos medios perfiles HEA

HEA	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una					
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
120	25,4	91,44	8,0	73,8	62,2	50,6	40,4	32,0	26,2
140	31,4	113,04	8,5	97,4	87,0	74,8	61,4	51,0	41,6
160	38,8	139,68	9,0	*116,4*	116,4	103,4	87,8	74,6	63,0
180	45,2	162,72	9,5	*130,2*	*130,2*	127,2	112,2	98,0	83,8
200	53,8	193,68	10,0	*151,4*	*151,4*	*151,4*	147,8	130,0	114,6
220	64,4	231,84	11,0	*178,4*	*178,4*	*178,4*	*178,4*	169,2	153,6
240	76,8	276,48	12,0	*212,6*	*212,6*	*212,6*	*212,6*	*212,6*	196,0
260	86,8	312,48	12,5	*235,0*	*235,0*	*235,0*	*235,0*	*235,0*	*235,0*
280	97,2	349,92	13,0	*255,4*	*255,4*	*255,4*	*255,4*	*255,4*	*255,4*
300	113,4	408,24	14,0	*298,0*	*298,0*	*298,0*	*298,0*	*298,0*	*298,0*

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

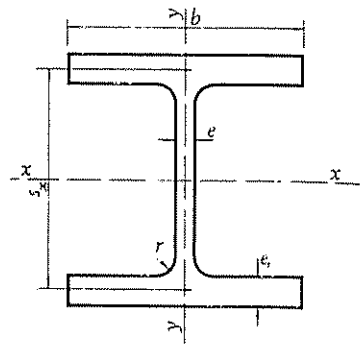
3.9.24



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEA
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
21,6	18,2	15,4	13,2	11,4	10,0	8,8	7,0		120
34,8	29,2	25,0	21,6	18,6	16,4	14,6	11,6	9,4	140
53,2	45,2	38,8	33,6	29,4	25.8	22,8	18,2	14,8	160
70,8	61,0	52,6	45,8	39,6	35,0	31,2	24,8	20,4	180
99,8	85.6	74,8	65,6	57,2	50,8	45,4	36,2	29,6	200
134,8	119,6	104,4	92.8	81,4	71,6	64,4	52,0	42,4	220
177,2	158,0	140,4	124,6	112,4	100,2	99,4	72,4	59,6	240
215,6	194,0	172,6	155,4	138,2	125.0	111,2	90,8	75,2	260
255,4	238,0	217,4	193,4	174,0	157,6	142,2	117,0	97,2	280
298,0	298,0	281,6	261,6	237,4	218,4	196,2	163,2	138,4	300

3.9.24



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una [illegible]or						
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
120	64,4	281,8	136,5	118,8	105,7	92,2	81,0	72,6	64,4
140	80,6	290,1	197,4	176,9	157,7	142,2	126,2	114,2	101,8
160	97,1	349,5	262,8	241,1	224,1	203,2	183,9	165,7	149,4
180	113	406,8	330,7	310,5	288,5	269,4	248,0	224,8	206,5
200	131	471,6	403,1	383,4	362,8	339,3	320,8	296,6	274,2
220	149	536,4	474,7	458,5	436,1	419,1	397,3	369,9	348,3
240	200	720,0	654,5	637,2	615,4	590,2	566,9	541,4	510,6
260	220	792,0	733,3	713,5	700,9	676,9	649,2	633,6	604,6
280	240	864,0	807,5	792,7	771,4	757,9	738,5	708,2	691,2
300	303	1 090,8	1 029,1	1 019,4	991,6	973,9	956,8	932,3	909,0
320	312	1 123,2	1 059,6	1 040,0	1 021,1	1 002,9	985,3	960,0	936,0
340	316	1 137,6	1 073,2	1 053,3	1 034,1	1 015,7	997,9	972,3	932,5
360	319	1 148,4	1 083,4	1 063,3	1 044,0	1 016,3	998,6	973,2	941,3
400	326	1 173,6	1 107,2	1 086,7	1 066,9	1 038,6	1 020,5	986,2	954,1
450	335	1 206,0	1 127,1	1 116,7	1 086,5	1 067,3	1 039,7	1 013,4	972,6
500	344	1 238,4	1 157,4	1 136,1	1 115,7	1 086,3	1 058,5	1 032,0	990,7
550	354	1 274,4	1 191,0	1 169,2	1 137,9	1 117,9	1 080,0	1 044,6	1 019,5
600	364	1 310,4	1 213,3	1 191,3	1 159,6	1 139,5	1 110,5	1 065,4	1 031,8

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

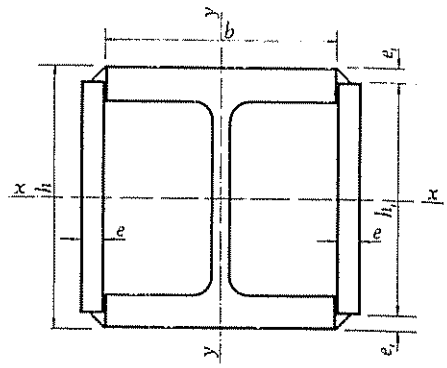
3.9.25

Acero A 52

σ_u = 3 600 kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
52,1	42,5	35,6	30,0	25,8	22,4	17,2			120
83,1	68,0	57,1	48,6	41,8	36,0	27,9	22,1		140
124,4	103,1	86,5	73,4	63,0	55,1	42,4	33,9	27,5	160
173,8	144,8	123,6	105,1	91,4	79,0	61,4	48,9	39,8	180
234,6	198,2	170.9	145,6	127,1	110,4	86,1	68,7	56,1	200
301,3	262.9	225.4	197,3	170,8	149.0	117,1	94,3	76,4	220
461,5	404,5	352,9	307,7	269,7	236,8	188,5	151,3	125,0	240
546,2	491,9	430,4	380,8	338,5	301,1	237,1	193,2	157,8	260
630,7	572,2	520,5	462,0	409,5	363,0	292,9	236,7	196,8	280
852,2	773,6	708,3	645,4	583,3	517.0	421,2	341,9	285,5	300
864,0	796,6	729,4	664,6	591,2	532,3	427,1	352,1	290,2	320
875,1	806,8	729,2	661.4	598,7	529,1	432,5	351,1	289.5	340
883,4	803,1	736,2	656,2	592,0	534,1	430,1	349,1	288,5	360
895,9	809,4	738,1	659,3	591,7	528,6	425,2	346,2	286,2	400
906,8	820,4	749,1	666,3	591,2	533,6	429,2	345,6	285.8	450
917,3	831,1	746,0	673,0	595,4	529,2	427.0	344,0	286,0	500
930,2	844,0	754,1	670,7	604,0	535,5	426,2	349,2	286.4	550
942,7	850,9	761,9	675,5	601.1	532,7	424,1	343,0	282,4	600

3.9.25



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil HEM con dos platabandas soldadas

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	mm	Resistencia en t para una longitu							
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,5
120	95,2	342	120 12	274,2	257,7	239,7	219,7	202,8	186,3	168,0	141
140	120	432	130 15	375,7	360,0	345,6	324,8	306,4	286,1	268,3	231
160	142	511	150 15	460,5	448,4	433,2	415,6	399,4	378,7	352,6	311
180	164	590	170 15	546,7	531,9	517,9	504,6	483,9	464,9	450,7	401
200	188	676	190 15	632,5	620,9	609,7	598,9	578,5	564,0	545,8	501
220	233	838	210 20	798,9	791,3	783,9	769,5	755,7	742,3	723,1	682
240	310	1 160	230 24	1 073,1	1 062,9	1 052,8	1 043,0	1 033,3	1 014,5	987,6	953,
260	340	1 224	250 24	1 188,3	1 176,9	1 165,7	1 154,7	1 143,9	1 133,3	1 112,7	1 073,
280	370	1 332	270 24	1 293,2	1 280,8	1 280,8	1 268,6	1 256,6	1 244,9	1 233,3	1 189,
300	447	1 609	300 24	1 562,3	1 562,3	1 547,3	1 532,6	1 532,6	1 503,9	1 490,0	1 462,
320	504	1 814	320 30	1 778,8	1 765,6	1 744,6	1 744,6	1 728,0	1 711,7	1 695,7	1 664,
340	520	1 872	340 30	1 835,3	1 817,5	1 817,5	1 800,0	1 782,9	1 782,9	1 749,5	1 717,
360	529	1 904	350 30	1 867,1	1 848,9	1 848,9	1 831,2	1 813,7	1 813,7	1 779,8	1 747,
400	560	2 016	390 30	1 976,5	1 957,3	1 957,3	1 938,5	1 920,0	1 920,0	1 901,9	1 866,7
450	599	2 156	440 30	2 114,1	2 093,6	2 093,6	2 073,5	2 053,7	2 053,7	2 034,3	1 996,7
500	632	2 275	480 30	2 230,6	2 208,9	2 208,9	2 187,7	2 166,9	2 166,9	2 146,4	2 106,7
550	672	2 419	530 30	2 371,8	2 348,7	2 348,7	2 326,2	2 304,0	2 304,0	2 282,3	2 240,0
600	712	2 563	580 30	2 512,9	2 512,9	2 488,5	2 464,6	2 464,6	2 441,1	2 418,1	2 373,3

$\lambda > 200$

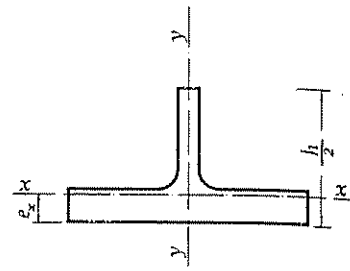
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.26

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									HEM
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
141,6	118,2	99,6	86.1	73,9	64,1	50,0	39,6	32,4	120
231,0	198,2	170,1	146,4	127,4	111.6	87,3	69,8	56,5	140
311,7	273,4	237,8	207,8	181,9	160.3	126,5	101,8	83,5	160
401,6	360,0	320,9	283,8	248,1	221,1	176,8	141,9	116.2	180
501,3	460,4	412,7	367.8	331,8	294,3	237,5	190,6	158,5	200
682,0	645,2	594,7	544,7	505,3	455,9	371,2	308.4	255,0	220
953,8	907,3	858,5	791,5	739,1	680,5	575,3	476.9	404.3	240
1 073,7	1 028,6	987,1	934,4	868,1	810,6	687,6	588,5	497,6	260
1 189,3	1 158,3	1 110,0	1 048,8	1 001,5	931,5	812,2	701,1	600,0	280
1 462,9	1 424,1	1 363,7	1 308,3	1 237,8	1 174,6	1 031,5	904,0	773,7	300
1 664,6	1 620,0	1 577,7	1 524,7	1 463,2	1 395,7	1 234.6	1 093,0	954,9	320
1 717,4	1 671,4	1 627,8	1 573,1	1 509,7	1 440,0	1 291,0	1 141,5	1 001,1	340
1 747,2	1 700,4	1 656,0	1 600,3	1 535,8	1 464,9	1 313,4	1 161,2	1 018,4	360
1 866,7	1 816,2	1 768,4	1 708,5	1 639,0	1 575.0	1 390,3	1 229,3	1 078,1	400
1 996,7	1 942,7	1 891,6	1 827,5	1 753,2	1 684,7	1 529,4	1 356,2	1 191,4	450
2 106,7	2 049,7	1 995,8	1 928.1	1 849,8	1 777,5	1 613,6	1 430,9	1 267.0	500
2 240,0	2 199,3	2 140,9	2 067,7	1 983,0	1 904,9	1 715,7	1 521.5	1 336,6	550
2 373,3	2 330,2	2 268,3	2 190,8	2 101,0	2 018,3	1 817,9	1 643,1	1 440.0	600

3.9.26



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

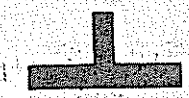
Medio perfil HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitud						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
120	33,2	119,52	84,8	66,0	50,2	38,7	30,4	24,7	20,3
140	40,3	145,08	114,2	94,2	74,8	59,0	47,7	38,6	31,7
160	48,5	174,60	146,7	127,4	106,5	86,9	69,8	57,4	47,8
180	56,6	203,76	178,7	160,4	138,6	118,5	98,0	81,5	68,1
200	65,6	236,16	212,8	196,8	174,9	151,4	128,3	108,3	91,2
220	74,7	268,02	249,0	231,8	211,7	188,1	164,0	141,5	121,1
240	99,8	359,28	335,8	320,8	299,4	274,3	244,4	216,4	185,2
260	110	396,00	373,6	360,0	341,4	316,8	284,9	257,1	226,3
280	120	432,00	411,4	400,0	382,3	360,0	332,3	302,1	268,3
300	152	547,20	526,2	511,4	493,0	471,7	441,3	405,3	372,2
320	156	561,60	540,0	529,8	515,0	497,0	468,0	438,8	404,0
340	158	568,80	552,2	541,7	526,7	507,9	490,3	462,4	434,2
360	159	572,40	555,7	550,4	534,9	520,4	506,5	481,0	457,9
400	163	586,80	569,7	569,7	558,9	548,4	533,5	519,3	497,3

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión y torsión.

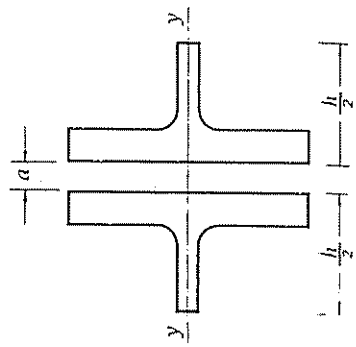
3.9.27



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
20,3	16,9	14,2	12,2	10,5	9,2				120
31,7	26,5	22,4	19,2	16,8	14,6	12,9	10,2		140
47,8	40,3	34,4	29,2	25,5	22,3	19,8	15,6	12,8	160
68,1	57,4	49,0	42,2	36,7	32,1	28,4	22,6	18,6	180
91,2	77,7	66,5	58,5	50,9	44,7	39,6	31,5	25,7	200
121,1	103,8	89,9	77,1	67,6	59,5	52,9	42,4	34,8	220
185,2	161,8	141,4	123.9	107,6	95,6	85.1	68,0	56,0	240
226,3	197,0	172,2	152,9	134,2	118,6	106,7	85,3	70,5	260
268,3	238,7	211,8	187,8	166,8	149,0	131,3	106,9	88,3	280
372,2	333,7	302.3	268,2	237,9	215,4	192,0	156,8	129,7	300
404,0	371,9	338,3	305,2	270,0	244,2	221,1	181,7	149,4	320
434,2	397,8	369,4	336,6	304,2	273,5	247,3	206,1	170.3	340
457,9	424.0	394,8	366,9	332,8	306,1	275,2	229,0	194,0	360
497,3	473,2	451,4	422.2	393,8	364,5	335,3	287,6	242.5	400

3.9.27



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos medios perfiles HEM

HEM	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	a mm	Resistencia en t para una longitud de pandeo l_k (m) igual a:						
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
120	66,4	239,04	17,5	223,4	213,4	199,2	182,5	162,6	144,0	123,2
140	80,6	290,16	19,0	276,3	266,2	252,3	235,9	214,9	194,7	171,7
160	97,0	349,20	21,0	335,8	326,4	314,6	298,5	279,4	254,9	234,4
180	113,2	407,52	22,5	391,8	384,5	373,9	360,6	339,6	318,4	293,2
200	131,2	472,32	24,5	*454,2*	449,8	441,4	425,5	407,2	384,0	363,3
220	149,4	537,84	26,0	*512,2*	*512,2*	507,4	493,4	476,0	455,8	433,7
240	199,6	718,56	30,0	*690,9*	*690,9*	684,3	671,6	653,2	635,9	614,2
260	220	792,00	31,5	*761,5*	*761,5*	761,5	747,2	733,3	713,5	688,7
280	240	864,00	33,0	*822,9*	*822,9*	*822,9*	822,9	807,5	785,5	764,6
300	304	1 094,40	36,5	*1 052,3*	*1 052,3*	*1 052,3*	1 052,3	1 042,3	1 022,8	994,9

El pandeo con flexión se presenta en el plano *y-y*.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con torsión pura.

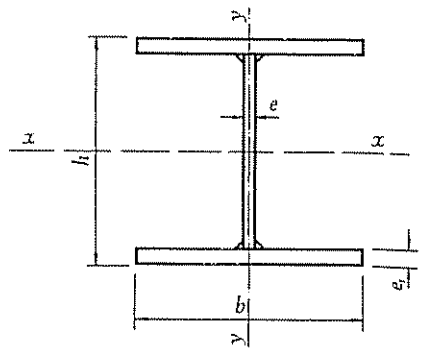
3.9.28



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									HEM
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
123,2	107,7	94,1	82,4	71,6	63,6	56,6	45,3	37,3	120
171,7	152,7	133,1	118,0	103,3	92,4	81,7	66,1	54,2	140
234,4	210,4	186,7	165,5	149,2	132,8	118,4	97,0	79,5	160
293,2	269,9	245,5	217,9	195,9	177,2	160,4	129,8	108,4	180
363,3	335.0	306,7	279,5	256,7	231,5	209,0	173,6	143,6	200
433,7	404,4	376,1	349,2	318,2	292,3	267,6	222,2	185,5	220
614,2	584,2	561,4	524,5	488.8	460,6	425.2	364,8	307.1	240
688,7	665,5	638,7	604,6	569,8	531,5	398,1	430.4	368,4	260
764,6	744,8	708,2	680,3	649,6	612,8	579,9	502,3	438,6	280
994,9	968,5	943,4	912,0	882,6	841,8	798,8	710,6	636,3	300

3.9.28



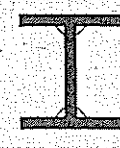
Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil PCS[1] (h = b)

PCS	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Valor de N^*, en t, para una longitud de							
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
400/138	176,3	634,68	610,3	610,3	604,5	598,8	587,7	582,3	577,0	556,7
400/169	215,2	774,72	752,2	744,9	737,8	730,9	724,0	717,3	704,4	685,6
400/191	243,8	877,68	852,1	843,9	835,9	828,0	820,3	812,7	797,9	776,7
400/228	290,3	1 045,08	1 014,6	1 004,9	995,3	995,3	976,7	967,7	958,8	924,8
400/267	340,0	1 224,00	1 188,3	1 176,9	1 165,7	1 165,7	1 143,9	1 133,3	1 112,7	1 083,2
400/297	378,9	1 364,04	1 324,3	1 311,6	1 299,1	1 299,1	1 274,8	1 263,0	1 251,4	1 207,1
400/323	411,3	1 480,68	1 437,6	1 423,7	1 410,2	1 410,3	1 383,8	1 371,0	1 358,4	1 310,3
400/365	465,0	1 674,00	1 625,2	1 609,6	1 599,3	1 594,3	1 579,2	1 550,0	1 535,8	1 481,4
500/223	283,8	1 021,68	1 001,6	991,9	991,9	982,4	973,0	973,0	963,8	946,0
500/268	342,2	1 231,92	1 231,9	1 207,8	1 196,0	1 184,5	1 184,5	1 173,3	1 162,2	1 151,3
500/309	393,2	1 415,52	1 415,5	1 387,8	1 374,3	1 361,1	1 361,1	1 348,1	1 335,4	1 310,7
500/346	441,3	1 588,68	1 588,7	1 557,5	1 542,4	1 527,6	1 527,6	1 513,0	1 498,8	1 471,0
500/384	489,4	1 761,84	1 761,8	1 727,3	1 710,5	1 694,1	1 694,1	1 677,9	1 677,9	1 646,6
500/437	556,8	2 004,48	2 004,5	1 965,2	1 946,1	1 946,1	1 927,4	1 909,0	1 909,0	1 873,3
500/460	586,0	2 109,60	2 109,6	2 068,2	2 048,2	2 048,2	2 028,5	2 009,1	2 009,1	1 971,6
600/372	474,2	1 707,12	1 707,1	1 707,1	1 673,6	1 673,6	1 657,4	1 657,4	1 641,5	1 625,8
600/418	532,3	1 916,28	1 916,3	1 916,3	1 916,3	1 878,7	1 860,5	1 860,5	1 842,6	1 825,1
600/463	590,4	2 125,44	2 125,4	2 125,4	2 125,4	2 083,8	2 063,5	2 063,5	2 043,7	2 024,2
600/491	625,3	2 251,08	2 251,1	2 251,1	2 251,1	2 206,9	2 185,5	2 185,5	2 164,5	2 143,9
600/527	671,8	2 418,48	2 418,5	2 418,5	2 418,5	2 371,1	2 348,0	2 348,0	2 325,5	2 303,3
600/555	707,0	2 545,20	2 545,2	2 545,2	2 545,2	2 495,3	2 471,1	2 471,1	2 447,3	2 424,0

[1] Ver los valores estáticos en PUBLICACIONES ENSIDESA Tomo 2
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x

3.9.29

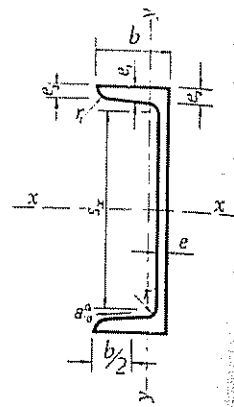


Acero A 52

$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									PCS
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
556,7	533,3	507,7	477,2	443,8	412,1	350,7	295,2	249.9	400/138
685,6	656,5	624,8	595,9	557,4	519,9	442,7	379,8	320,1	400/169
776,7	743,8	707,8	675,1	631,4	589,0	510,3	430,2	362,7	400/191
924,8	893,2	849,7	816.5	762,8	710,9	618,4	530,5	446,6	400/228
1 083,2	1 046,2	995,1	956,3	893,4	832,7	724,3	608,9	523,1	400/267
1 207,1	1 165,8	1 118.1	1 065,7	1 010,4	940,7	821,7	692,4	582,9	400/297
1 310,3	1 265,5	1 213,7	1 156,8	1 080,8	1 007,3	876,1	751.6	632,8	400/32ε
1 481,4	1 443,1	1 372,1	1 307,8	1 240,0	1 154,5	1 008,4	862,9	727,8	400/365
946,0	928,8	904,1	873,2	837,4	804,5	724,6	642,6	564,5	500/223
1 151,3	1 119,9	1 090,2	1 062,0	1 026,6	985,5	799,9	799,9	703.9	500/268
1 310,7	1 286,8	1 252,7	1 209,8	1 160,3	1 114,6	1 018,4	907,4	795,2	500/309
1 471,0	1 444,3	1 405,9	1 369,6	1 323,9	1 270,9	1 159,6	1 031,6	907,8	500/346
1 646,6	1 601,7	1 559.2	1 532,0	1 480,5	1 420.8	1 286,0	1 166,8	1 024,3	500/384
1 873,3	1 838,9	1 789,7	1 743,0	1 684.4	1 629,7	1 484,8	1 345,3	1 119.8	500/437
1 971,6	1 935,4	1 883,6	1 834,4	1 787.8	1 715,1	1 586,2	1 415,8	1 270,8	500/460
1 625,8	1 595,4	1 580.7	1 551,9	1 510,7	1 471,7	1 387,9	1 283,5	1 177,3	600/372
1 825,1	1 807,8	1 774,3	1 742,1	1 695,8	1 666,3	1 570,7	1 462,8	1 340,1	600/418
2 024,2	2 005,1	1 968.0	1 932,2	1 897,7	1 864,4	1 742,2	1 634,9	1 507,4	600/463
2 143,9	2 123,7	2 084,3	2 046,4	2 009,9	1 974,6	1 875,9	1 731,6	1 596,5	600/491
2 303.3	2 281.6	2 260,3	2 218,8	2 159,4	2 121,5	2 015,4	1 889.4	1 739.9	600/527
2 424,0	2 401,1	2 378,7	2 335,0	2 292,9	2 232,6	2 121,0	1 988,4	1 831,1	600/555

3.9.29



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil UPN

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitud
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
80	11,0	39,60	22,6	16,4	12,0	9,1	7,2	5,7	4,8
100	13,5	48,60	31,2	23,4	17,6	13,5	10,6	8,5	7,1
120	17,0	61,20	42,8	33,3	25,3	19,5	15,6	12,5	10,3
140	20,4	73,44	56,1	44,8	35,3	27,5	22,0	17,9	14,8
160	24,0	76,40	69,1	58,0	46,2	36,9	29,8	24,3	20,0
180	28,0	100,80	75,8	71,4	59,6	47,8	38,9	31,6	26,4
200	32,2	115,92	99,1	87,2	74,3	59,8	48,7	40,7	33,7
220	37,4	134,64	118,1	106,0	91,6	76,9	63,8	53,0	44,3
240	42,3	152,28	134,8	123,8	108,0	92,9	77,3	65,1	55,2
260	48,3	173,88	156,6	146,1	130,7	112,9	96,1	80,9	68,5
280	53,3	191,88	176,0	165,4	151,1	132,3	115,6	98,9	84,9
300	58,8	211,69	196,0	185,7	172,1	154,5	135,7	116,9	101,8

$\lambda > 200$

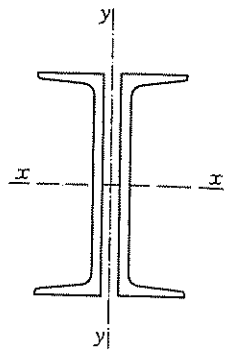
El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.30

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
4,8	4,0	3,3	2,8						80
7,1	5,8	4,9	4,2	3,7					100
10,3	8,5	7,3	6,2	5,4	4,7				120
14,8	12,3	10,5	9,0	7,8	6,8	6,0			140
20,0	16,8	14,3	12,3	10,7	9,4	8,2	6,6		160
26,4	22,0	18,8	16,3	14,1	12,4	11,0	8,7	7,1	180
33,7	28,3	24,4	20,9	18,1	16,0	14,1	11,1	9,1	200
44,3	37,4	31,9	27,5	24,3	21,2	18,8	15,1	12,3	220
55,2	46,3	39,9	34,2	30,0	26,4	23,5	18,7	15,2	240
68,5	58,9	50,5	43,7	38,0	33,3	29,8	23,7	19,5	260
84,9	73,0	62,1	54,1	47,5	41,9	37,3	29,9	24,3	280
101,8	87,5	76,7	66,4	58,0	51,6	45,6	36,8	29,9	300

3.9.30



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN con distintas separaciones entre almas

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	s mm	Resistencia en t para una longitud							
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
80	22,0	79,2	8	26,0	22,0	18,7	16,2	14,0	12,4	11,0	8,7
100	27,0	97,2	8	36,4	30,4	26,2	22,7	19,8	17,3	15,3	12,3
120	34,0	122,4	8	48,9	42,2	36,1	31,1	27,0	24,0	21,2	16,8
140	40,8	146,8	8	67,3	57,8	49,7	43,3	37,9	33,4	29,6	23,7
160	48,0	127,8	10	89,0	76,4	66,7	58,5	50,9	45,2	40,4	32,3
180	56,0	201,6	10	109,5	95,5	83,3	73,0	65,2	57,7	51,3	41,2
200	64,4	231,8	10	137,1	122,0	106,3	92,7	82,5	72,6	65,3	52,1
220	74,8	269,2	12	172,6	153,8	136,6	121,3	107,7	95,8	85,7	69,5
240	84,6	304,5	12	204,4	183,4	165,5	146,4	130,1	115,8	105,0	84,6
260	96,6	347,7	12	243,1	222,9	198,7	179,2	159,5	143,7	130,2	105,7
280	107,0	385,2	12	285,3	262,0	239,2	216,4	195,5	176,7	159,1	130,5
300	118,0	424,8	12	326,7	305,6	281,8	225,9	230,8	211,3	191,3	159,1

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

3.9.32

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
8,7	7,1	5,9							80
12,3	9,9	8,3	6,9						100
16,8	13,8	11,4	9,7						120
23,7	19,2	15,9	13,5	11,5					140
32,3	26,3	22,1	18,6	15,8	13,8				160
41,2	33,7	28,1	23,7	20,3	17,5				180
52,1	42,7	35,7	30,3	25,9	22,5	17,3			200
69,5	57,2	47,9	40,6	34,8	30,1	23,2			220
84,6	70,3	59,1	49,7	42,9	36,9	28,7	22,8		240
105,7	87,3	73,0	62,6	53,6	46,4	35,7	28,5		260
130,5	108,5	90,2	76,7	66,0	57,4	44,4	35,4	28,8	280
159,1	131,1	111,2	95,4	81,3	71,1	54,9	43,6	35,7	300

3.9.32

Dos perfiles UPN empresillados ($\lambda_x = \lambda_y$)

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitud
			2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50
80	22,0	79,2	(4) 42,4	(5) 36,8	(5) 32,2	(5) 28,2	(6) 24,8	(6) 22,0	(7) 19,6	(7) 15,
100	27,0	97,2	(4) 68,0	(4) 62,3	(5) 55,5	(5) 50,1	(5) 44,6	(6) 40,2	(6) 36,4	(7) 29,
120	34,0	122,4	(4) 97,9	(4) 90,7	(4) 84,4	(5) 78,5	(5) 71,2	(5) 65,5	(6) 58,8	(6) 49,
140	40,8	146,9	(4) 126,6	(4) 122,4	(4) 115,7	(4) 108,8	(4) 102,7	(5) 95,4	(5) 89,6	(6) 75,
160	48,0	172,8	(4) 155,7	(4) 151,6	(4) 146,4	(4) 140,5	(4) 135,0	(4) 128,0	(5) 120,8	(5) 107,
180	56,0	201,6	(4) 186,7	(4) 181,6	(4) 178,4	(4) 172,3	(4) 168,0	(4) 161,3	(4) 153,9	(5) 139,
200	64,4	231,8	(4) 218,7	(4) 214,7	(4) 210,8	(4) 205,2	(4) 201,6	(4) 194,8	(4) 188,5	(5) 177,
220	74,8	269,3	(4) 256,5	(4) 254,0	(4) 249,3	(4) 244,8	(4) 240,4	(4) 236,2	(4) 230,2	(4) 217,
240	84,6	304,6	(4) 292,8	(4) 290,1	(4) 284,6	(4) 282,0	(4) 276,9	(4) 271,9	(4) 269,5	(4) 255,
260	96,6	347,8	(4) 334,4	(4) 331,2	(4) 331,2	(4) 325,0	(4) 322,0	(4) 316,1	(4) 313,3	(4) 302,
280	107	385,2	(4) 374,0	(4) 478,0	(4) 366,9	(4) 366,9	(4) 363,4	(4) 360,0	(4) 353,4	(4) 343,
300	118	424,8	(4) 416,5	(4) 412,4	(4) 408,5	(4) 404,6	(4) 404,6	(4) 400,8	(4) 397,0	(4) 386,

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.
Los números entre paréntesis indican el número de tramos entre presillas.

UPN	Separación s, en cm, entre perfiles, para un número n de tramos entre presillas
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
80	7,15	6,48	6,18	6,01	5,91	5,84	5,79	5,76	5,73	5,71
100	10,05	8,75	8,21	7,93	7,75	7,64	7,56	7,50	7,46	7,43
120	13,06	10,90	10,07	9,65	9,39	9,23	9,12	9,04	8,98	8,93
140	17,01	13,49	12,26	11,66	11,30	11,08	10,92	10,81	10,73	10,67
160	21,45	16,04	14,35	13,55	13,09	12,79	12,60	12,45	12,35	12,27
180	26,95	18,73	16,48	15,44	14,86	14,49	14,24	14,07	13,94	13,84
200	34,99	21,76	18,76	17,44	16,70	16,25	15,94	15,74	15,57	15,44
220	43,49	24,68	21,00	19,41	18,55	18,01	17,66	17,40	17,22	17,08
240	*	28,06	23,37	21,44	20,40	19,77	19,35	19,05	18,83	18,67
260	*	31,55	25,80	23,52	22,31	21,57	21,09	20,75	20,50	20,31
280	*	35,57	28,60	25,92	24,52	23,68	23,12	22,73	22,45	22,23
300	*	39,19	31,08	28,04	26,47	25,53	24,91	24,48	24,16	23,92

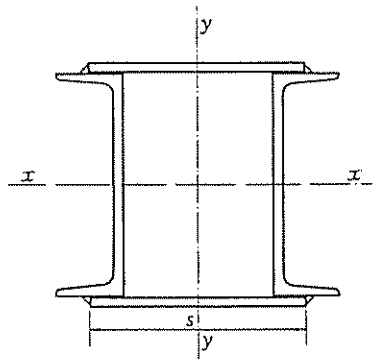
* No se representan por corresponder a valores de s imaginarios, o no cumplir la condición $s < 20\, i_1$ impuesta para la confección de esta tabla, por razones de dimensionamiento de presillas.

3.9.33

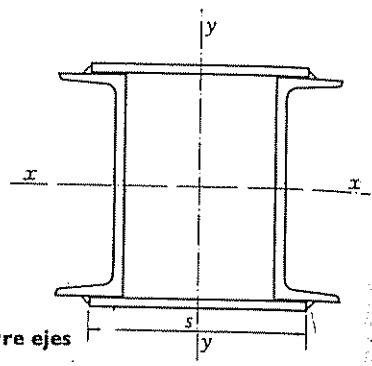
Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
7) 15,8	(8) 12,9	(9) 10,8	(10) 9,1	(10) 7,8	6,7				80
7) 29,5	(7) 24,4	(8) 20,4	(9) 17,5	(9) 15,0	(10) 13,0	(11) 10,0	(13) 8,0		100
6) 49,8	(7) 41,5	(7) 35,1	(8) 29,9	(9) 25,7	(9) 22,3	(11) 17,4	(12) 13,8	(13) 11,4	120
6) 75,7	(6) 65,0	(7) 55,8	(7) 48,3	(8) 42,1	(8) 36,9	(10) 28,5	(11) 22,9	(12) 18,4	140
5) 107,3	(6) 92,4	(6) 80,4	(7) 70,2	(7) 61,5	(8) 54,2	(9) 42,8	(10) 34,4	(11) 28,2	160
5) 139,0	(5) 125,2	(6) 111,4	(6) 98,8	(7) 86,2	(7) 76,7	(8) 61,3	(9) 49,2	(10) 40,7	180
5) 177,0	(5) 159,9	(6) 145,8	(6) 130,2	(7) 117,7	(7) 104,4	(8) 84,0	(9) 68,4	(10) 56,5	200
4) 217,2	(5) 202,5	(5) 185,7	(6) 169,4	(6) 153,9	(7) 138,8	(7) 115,1	(8) 94,5	(9) 78,3	220
4) 255,9	(5) 243,6	(5) 225,6	(5) 210,0	(6) 195,2	(6) 177,1	(7) 146,4	(8) 121,8	(9) 101,9	240
4) 302,4	(4) 289,8	(5) 273,8	(5) 257,6	(6) 239,8	(6) 222,9	(7) 189,0	(8) 159,5	(8) 134,3	260
4) 343,9	(4) 332,1	(5) 321,0	(5) 303,3	(5) 285,3	(6) 269,4	(6) 234,9	(7) 198,6	(8) 170,4	280
4) 386,2	(4) 375,9	(4) 363,1	(5) 348,2	(5) 331,9	(5) 314,7	(6) 281,3	(7) 242,7	(7) 208,2	300

13	14
5,71	5,70
7,43	7,40
8,93	8,89
10,67	10,62
12,27	12,20
13,84	13,76
15,44	15,35
17,08	16,97
18,67	18,54
20,31	20,16
22,23	22,07
23,92	23,74



3.9.33



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles UPN empresillados, con distintas separaciones entre ejes

UPN	s mm	Valor de N*, en t, para una longitud
		2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	5,5
80	150	42,4	36,8	32,2	28,2	24,8	22,0	19,6	15,8	12,9	10,7
	200	42,4	36,8	32,2	28,2	24,8	22,0	19,6	15,8	12,9	10,7
	250	42,4	36,8	32,2	28,2	24,8	22,0	19,6	15,8	12,9	10,7
100	150	68,0	62,3	55,5	50,1	44,6	40,2	36,4	29,5	24,4	20,0
	200	68,0	62,3	55,5	50,1	44,6	40,2	36,4	29,5	24,4	20,0
	250	68,0	62,3	55,5	50,1	44,6	40,2	36,4	29,5	24,4	20,0
120	150	97,9	90,7	84,4	78,5	71,2	65,5	58,8	49,8	41,5	35,1
	200	97,9	90,7	84,4	78,5	71,2	65,5	58,8	49,8	41,5	35,1
	250	97,9	90,7	84,4	78,5	71,2	65,5	58,8	49,8	41,5	35,1
140	150	119,4	117,5	114,8	108,8	102,7	95,4	89,6	75,7	63,2	55,6
	200	126,6	122,4	115,7	108,8	102,7	95,4	89,6	75,7	63,2	55,8
	250	126,6	122,4	115,7	108,8	102,7	95,4	89,6	75,7	63,2	55,8
160	150	141,6	138,2	135,0	131,9	128,0	122,6	119,2	107,3	92,4	80,4
	200	147,7	146,4	144,0	140,5	135,0	128,0	120,8	107,3	92,4	80,4
	250	150,3	149,0	147,7	140,5	135,0	128,0	120,8	107,3	92,4	80,4
180	150	165,2	162,6	157,5	153,9	149,3	143,0	139,0	129,2	117,2	107,8
	200	172,3	170,8	168,0	165,2	162,6	161,3	153,9	139,0	125,2	111,4
	250	175,3	173,8	173,8	170,8	168,0	161,3	153,9	139,0	125,2	111,4
200	150	190,0	187,0	182,6	177,0	171,7	164,4	159,9	148,6	139,8	124,0
	200	198,2	196,5	193,2	190,0	187,0	185,5	181,1	174,3	159,9	145,8
	250	201,6	201,6	199,9	196,5	194,8	193,2	188,5	177,0	159,9	145,8
220	200	230,2	228,2	224,4	220,7	217,2	215,4	210,4	202,5	193,0	180,7
	250	234,2	234,2	232,1	230,2	226,3	224,4	220,7	217,2	202,5	185,7
	300	238,3	236,2	234,2	234,2	232,1	230,2	228,2	224,4	202,5	185,7
240	200	260,3	258,1	253,8	249,6	245,6	243,6	237,9	229,0	218,0	204,4
	250	264,8	264,8	262,6	260,3	255,9	253,8	249,6	245,6	237,9	225,6
	300	269,5	267,2	264,8	264,8	262,6	260,3	258,1	253,8	243,6	225,6
260	200	297,2	294,7	292,2	285,0	282,7	278,2	271,7	261,5	248,6	233,4
	250	302,4	302,4	299,8	297,2	292,2	289,8	285,0	285,0	271,7	261,5
	300	307,8	305,1	302,4	302,4	299,8	297,2	294,7	289,8	282,7	273,8
280	200	328,0	325,2	322,5	314,6	312,0	307,0	299,8	288,5	277,2	261,1
	250	333,7	333,7	330,8	328,0	325,2	319,8	314,6	309,5	299,8	288,5
	300	339,6	336,6	333,7	333,7	330,8	328,0	325,2	319,8	314,0	307,0
300	200	361,8	358,8	355,8	347,0	344,2	338,7	333,4	318,3	304,6	288,0
	250	371,4	368,1	365,0	361,8	358,8	352,8	347,0	341,4	330,8	318,3
	300	374,7	371,4	368,1	368,1	365,0	361,8	358,8	352,8	341,2	338,7

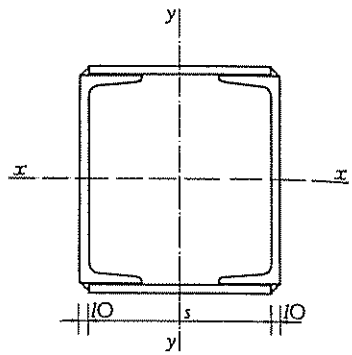
$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.
Los valores expresados en cursiva corresponden al pandeo con flexión que se presenta en el plano y-y.
Los números en color indican el número de tramos entre presillas.



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros							Presilla mm	a mm	s mm	UPN
5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00				
40,8	9,1	7,8	6,7				150 · 100 · 6	4	150	
40,8	9,1	7,8	6,7				200 · 100 · 6	4	200	80
40,8	9,1	7,8	6,7				250 · 100 · 6	4	250	
20,4	17,5	15,0	13,0	10,0	8,0		150 · 100 · 6	4	150	
20,4	17,5	15,0	13,0	10,0	8,0		200 · 100 · 6	4	200	100
20,4	17,5	15,0	13,0	10,0	8,0		250 · 100 · 6	4	250	
35,1	29,9	25,7	22,3	11,4	13,8	11,4	150 · 100 · 6	4	150	
35,1	29,9	25,7	22,3	11,4	13,8	11,4	200 · 100 · 6	4	200	120
35,1	29,9	25,7	22,3	11,4	13,8	11,4	250 · 100 · 6	4	250	
55,8	51,9	42,1	36,9	28,5	22,9	18,8	150 · 100 · 8	4	150	
55,8	51,9	42,1	36,9	28,5	22,9	18,8	200 · 100 · 8	4	200	140
55,8	51,9	42,1	36,9	28,5	22,9	18,8	250 · 100 · 8	4	250	
80,4	70,2	61,5	54,2	42,8	34,4	28,3	150 · 150 · 6	4	150	
80,4	70,2	61,5	54,2	42,8	34,4	28,3	200 · 150 · 6	4	200	160
80,4	70,2	61,5	54,2	42,8	34,4	28,3	250 · 150 · 6	4	250	
107,8	96,9	86,2	76,7	61,3	49,9	40,7	150 · 150 · 8	4	150	
111,4	98,8	86,2	76,7	61,3	49,9	40,7	200 · 150 · 8	4	200	180
111,4	98,8	86,2	76,7	61,3	49,9	40,7	250 · 150 · 8	4	250	
124,0	111,5	102,6	92,7	76,3	63,5	53,5	150 · 150 · 8	4	150	
145,8	130,2	117,7	104,4	84,0	68,4	56,5	200 · 150 · 8	4	200	200
145,8	130,2	117,7	104,4	84,0	68,4	56,5	250 · 150 · 8	4	250	
180,7	169,4	153,9	138,8	115,1	94,5	78,3	200 · 200 · 6	4	200	
185,7	169,4	153,9	138,8	115,1	94,5	78,3	250 · 200 · 6	4	250	220
185,7	169,4	153,9	138,8	115,1	94,5	78,3	300 · 200 · 6	4	300	
204,4	191,5	180,2	168,3	146,4	121,8	103,2	200 · 200 · 8	4	200	
225,6	210,0	195,2	177,1	146,4	121,8	103,2	250 · 200 · 8	4	250	240
225,6	210,0	195,2	177,1	146,4	121,8	103,2	300 · 200 · 8	4	300	
233,4	218,7	205,8	192,1	167,2	143,7	120,3	200 · 200 · 8	4	200	
261,5	250,2	239,8	222,9	189,0	159,5	120,3	250 · 200 · 8	4	250	260
273,8	257,6	239,8	222,9	189,0	159,5	120,3	300 · 200 · 8	4	300	
261,1	246,0	234,0	215,6	184,5	158,6	139,0	200 · 250 · 8	4	200	
288,5	276,1	264,7	254,1	231,2	197,8	169,8	250 · 250 · 8	4	250	280
307,0	299,8	284,3	268,4	234,0	197,8	169,8	300 · 250 · 8	4	300	
288,0	271,4	255,0	237,8	203,5	177,9	153,4	200 · 250 · 8	4	200	
318,3	304,6	292,0	280,4	255,0	226,4	200,6	250 · 250 · 8	4	250	300
338,7	330,8	323,2	309,0	280,4	241,9	210,6	300 · 250 · 8	4	300	



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

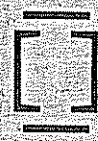
Dos perfiles UPN con dos platabandas soldadas ($\lambda_x \approx \lambda_y$)

UPN	Sección A cm²	$A\sigma_u$ / t	▭ mm	Resistencia en t para una longitu							
				2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,5
100	44,6	160	110 · 8	125,4	117,2	107,8	99,7	90,2	81,5	74,7	62,
120	54,8	197	130 · 8	168,6	161,7	154,1	144,0	134,2	126,5	116,7	100,
140	72,8	262	160 · 10	238,3	231,9	224,0	214,8	206,4	197,1	185,9	164,
160	84	302	180 · 10	280,0	274,9	267,6	263,0	254,1	245,9	236,3	214,
180	96	345	200 · 10	326,0	323,0	317,1	308,6	303,2	295,4	288,0	270,
200	108	388	220 · 10	370,3	366,8	363,4	356,7	350,3	344,1	338,1	318,
220	123	442	240 · 10	425,8	421,7	417,7	413,8	410,0	402,5	395,4	381,
240	135	486	250 · 10	471,8	467,3	462,9	458,5	454,2	450,0	441,8	430,1
260	153	550	280 · 10	534,8	534,8	529,6	524,6	519,6	514,8	510,0	500,7
280	167	601	300 · 10	589,4	583,7	583,7	578,1	572,6	572,6	561,9	551,6
300	194	698	320 · 12	698,4	684,7	678,1	671,5	671,5	665,1	658,9	652,7

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta, indistintamente, en cualquiera de los dos planos de simetría.

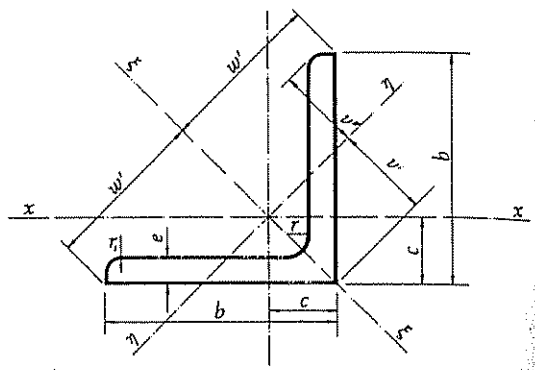
3.9.35



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

gitud de pandeo l_k en metros									UPN
4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,00	
62,0	52,0	44,0	37,1	32,0	27,9	21,7	17,3	14,0	100
100,1	84,3	72,5	62,8	54,0	47,4	36,9	29,4	24,2	120
164,8	147,2	128,5	112,0	98,2	86,2	67,7	55,1	45,0	140
214,5	193,8	175,8	155,9	138,7	122,9	97,9	79,2	65,2	160
270,0	248,6	224,4	204,5	184,8	166,2	133,4	110,1	90,5	180
318,7	303,8	279,7	257,5	237,1	214,8	178,3	145,6	121,9	200
381,7	360,0	340,6	318,6	297,2	275,0	228,2	192,5	162,8	220
430,1	411,9	395,1	373,8	349,6	326,2	282,6	238,2	204,2	240
500,7	483,2	466,8	444,2	423,7	402,0	353,1	304,3	261,0	260
551,6	536,8	522,8	505,2	484,8	462,5	414,6	366,6	321,5	280
652,7	634,9	618,1	602,1	582,0	563,2	509,8	453,5	406,0	300

3.9.35



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil L

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitu						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,5
50 × 5	4,80	17,28	6,35	4,28	3,04	2,28	1,76	1,39	
50 × 6	5,69	20,48	7,53	5,07	3,60	2,71	2,08	1,65	
60 × 5	5,82	20,95	10,42	7,22	5,26	3,92	3,05	2,44	1,
60 × 6	6,91	24,88	12,38	8,58	6,25	4,65	3,63	2,90	2,
60 × 8	9,03	32,51	15,94	11,02	8,05	6,00	4,68	3,72	3,
70 × 6	8,13	29,27	17,85	13,18	9,79	7,35	5,76	4,62	3,
70 × 7	9,40	33,84	20,39	14,97	11,13	8,38	6,57	5,28	4,
70 × 8	10,60	38,16	22,99	16,88	12,55	9,45	7,41	5,95	4,
80 × 8	12,30	44,28	30,97	24,06	18,30	14,10	11,13	8,95	7,
80 × 10	15,10	54,36	37,49	29,07	22,10	17,04	13,46	10,83	8,
90 × 8	13,90	50,04	38,49	31,47	24,90	19,70	15,44	12,57	10,3
90 × 10	17,10	61,56	47,35	38,72	30,18	23,77	19,00	15,24	12,5
100 × 8	15,50	55,80	45,74	39,02	31,89	25,95	20,90	16,96	14,0
100 × 10	19,20	69,12	56,66	48,34	39,50	32,15	25,41	21,01	17,3
120 × 10	23,20	83,52	73,91	67,35	58,41	50,31	41,55	35,09	29,3
120 × 12	27,50	99,00	87,61	79,84	69,23	59,64	49,25	40,91	34,7
150 × 12	34,80	125,28	117,08	110,87	102,69	94,20	82,97	72,84	62,3
150 × 15	43,00	154,80	144,67	136,99	126,89	114,67	102,52	88,46	77,01
180 × 15	52,10	187,56	178,63	173,67	165,98	157,61	146,53	131,16	117,96
200 × 16	61,80	222,48	213,92	209,89	202,25	195,16	182,36	171,14	157,79
200 × 18	69,10	248,76	239,19	234,68	226,15	216,31	203,90	191,35	173,96

$\lambda > 200$

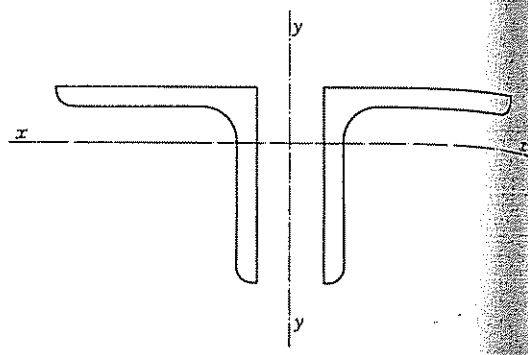
El pandeo con flexión se presenta en el plano ξ-ξ.

3.9.36

Acero A 52
$\sigma_u = 3.600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									50 × 5
									50 × 6
1,98	1,65								60 × 5
2,35	1,96								60 × 6
3,02	2,51								60 × 8
3,79	3,12	2,64	2,26						70 × 6
4,28	3,57	3,00	2,58						70 × 7
4,83	4,03	3,39	2,90						70 × 8
7,33	6,11	5.16	4,42	3,83	3,34				80 × 8
8,88	7.42	6,21	5,32	4,61	4,04				80 × 10
10,36	8,69	7.37	6,27	5,45	4,77	4,21			90 × 8
12,59	10,56	8,97	7.62	6,63	5,81	5,14			90 × 10
14.02	11.87	10.05	8.61	7.45	6.57	5,78	4,58		100 × 8
17,37	14.52	12.30	10.54	9.23	8,06	7,10	5,62		100 × 10
29.31	24,64	21.25	18,24	16,00	13,99	12,45	9,84	8,03	120 × 10
34,74	29,20	24,87	21.62	21.34	16.39	14.58	11.66	9.44	120 × 12
62,33	54.47	46.92	41.21	35,90	31.88	28.15	22,86	18,67	150 × 12
77.01	66,15	57.98	50.10	44,36	38,89	34,25	27,54	22.57	150 × 15
117.96	105,37	93,31	82,99	73.84	65.81	58.80	47.73	39.40	180 × 15
157.79	142.62	129,35	117.09	103,48	93,48	83,36	68,67	56,61	200 × 16
173.96	159.46	144.63	128,23	115.70	104.52	93.17	76,78	63.30	200 × 18

3.9.36



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longitud						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
50 × 5	9,60	34,56	23,5	18,1	13,6	10,5	8,1	6,6	5,.
50 × 6	11,38	40,97	27,5	21,1	15,8	12,0	9,5	7,6	6,.
60 × 5	11,64	41,90	32,9	27,2	22,0	17,3	13,7	11,1	9,.
60 × 6	13,82	49,75	39,1	32,3	26,1	20,5	16,3	13,2	11,(
60 × 8	18,06	65,02	50,8	42,2	33,5	26,4	21,0	16,8	14,(
70 × 6	16,26	58,54	50,0	44,0	37,5	30,8	25,0	20,5	17,2
70 × 7	18,80	67,68	57,8	50,8	42,5	34,8	28,9	23,7	19,6
70 × 8	21,20	76,32	65,2	57,3	48,0	39,3	32,0	26,3	22,1
80 × 8	24,60	88,56	79,0	72,5	63,7	55,0	46,6	38,5	32,5
80 × 10	30,20	108,72	97,0	88,3	78,2	66,2	56,0	47,2	39,3
90 × 8	27,80	100,08	92,6	86,2	78,8	69,9	61,0	52,6	45,0
90 × 10	34,20	123,12	112,9	106,1	96,9	86,1	74,1	63,4	54,4
100 × 8	31,00	111,60	104,3	99,6	93,7	85,8	76,9	67,2	58,7
100 × 10	38,40	138,24	129,2	123,4	116,1	105,5	94,0	83,2	72,7
120 × 10	46,40	167,04	160,6	156,1	149,1	141,5	133,6	121,9	110,6
120 × 12	55,00	198,00	190,3	185,0	176,7	167,8	155,9	142,4	131,1
150 × 12	69,60	250,52	243,26	240,9	234,1	227,7	221,7	210,5	200,4
150 × 15	86,00	309,60	300,5	297,6	289,3	281,4	271,5	260,1	243,7
180 × 15	104,20	375,12	—	364,1	360,6	353,8	347,3	334,9	326,1
200 × 16	123,60	444,96	—	436,2	432,0	423,7	419,7	408,2	397,2
200 × 18	138,20	497,52	—	487,7	483,0	473,8	464,9	456,1	444,2

$\lambda > 200$

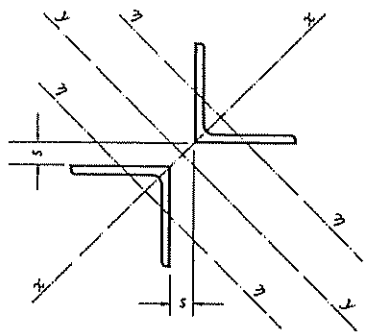
El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

3.9.37

Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
5,3	4,5	3,8	3,2	2,8					50 × 5
6,2	5,2	4,4	3,7	2,8					50 × 6
9,2	7,7	6,5	5,5	4,8	4,2	3,7	2,9		60 × 5
11,0	9,1	7,7	6,6	5,8	5,0	4,4	3,5		60 × 6
14,0	11,7	9,9	8,5	7,4	6,4	5,7	4,5		60 × 8
17,2	14,4	12,3	10,5	9,2	8,0	7,1	5,6	4,6	70 × 6
19,6	16,5	14,0	12,1	10,3	9,2	8,1	6,5	5,2	70 × 7
22,1	18,6	15,3	13,5	11,5	10,3	9,0	7,2	5,9	70 × 8
32,5	27,7	23,8	20,4	17,8	15,7	13,5	11,1	9,0	80 × 8
39,3	33,5	28,9	24,7	21,6	18,3	16,4	13,3	10,9	80 × 10
45,0	38,6	33,4	29,5	25,1	22,1	19,7	15,7	12,9	90 × 8
54,4	46,8	40,5	35,2	30,4	26,8	23,9	18,7	15,5	90 × 10
58,7	51,1	44,6	39,1	34,4	30,0	26,8	21,6	17,8	100 × 8
72,7	63,4	54,4	47,6	42,0	37,2	32,7	26,4	21,8	100 × 10
110,6	98,8	87,9	77,6	70,1	62,5	55,8	45,0	37,5	120 × 10
131,1	117,1	104,2	92,0	81,8	72,7	65,1	53,3	43,8	120 × 12
200,4	185,6	172,8	157,5	145,6	131,8	120,4	100,2	83,8	150 × 12
243,7	229,3	210,6	194,7	176,9	162,9	146,7	123,8	103,5	150 × 15
326,1	312,6	300,1	282,0	266,0	248,4	232,9	197,4	168,9	180 × 15
397,2	386,9	373,9	358,8	342,2	324,7	306,8	271,3	237,9	200 × 16
444,2	432,6	418,0	401,2	382,7	363,1	343,1	303,3	261,8	200 × 18

3.9.37



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

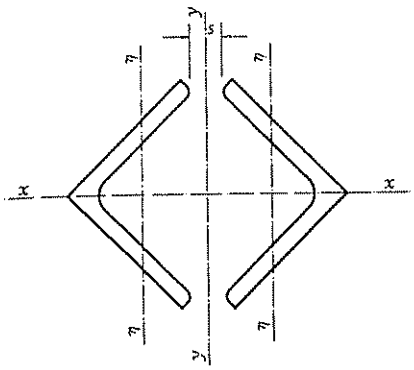
Dos perfiles L con distintas separaciones

L	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para λ = longitud / i						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
50 × 5	9,6	34,5	27,8	23,8	19,4	15,2	12,3	10,0	8,1
50 × 6	11,3	40,9	33,0	27,8	22,6	17,8	14,3	11,7	9,7
60 × 5	11,6	41,9	37,0	33,5	18,9	24,3	20,1	16,7	14,0
60 × 6	13,8	49,7	43,6	39,1	33,8	28,9	23,9	19,9	16,3
60 × 8	18,0	64,9	56,9	51,1	44,1	37,0	30,7	25,0	21,0
70 × 6	16,2	58,5	53,7	50,0	45,7	40,3	34,6	29,7	25,4
70 × 7	18,8	67,6	62,0	57,8	52,8	46,0	40,0	34,3	28,9
70 × 8	21,2	76,3	69,3	65,2	59,6	51,9	45,1	37,9	32,6
80 × 8	24,6	88,5	82,7	79,0	74,4	68,1	61,0	53,3	46,6
80 × 10	30,2	108,7	101,6	97,0	90,6	82,9	73,9	65,4	56,0
90 × 8	27,8	100,0	95,3	92,6	88,5	82,0	76,4	69,0	62,1
90 × 10	34,2	123,1	117,2	114,0	108,0	100,9	93,9	83,7	75,0
100 × 8	31,0	111,6	107,8	105,2	101,4	97,0	90,7	85,1	76,9
100 × 10	38,4	138,2	132,9	130,4	125,6	119,1	112,3	103,9	95,3
120 × 10	46,4	167,0	162,1	160,6	157,5	151,8	147,8	140,3	133,6
120 × 12	55,0	198,0	192,2	190,3	185,0	180,0	175,2	166,3	158,4
150 × 12	69,6	250,5	250,5	243,2	240,9	238,6	234,1	227,7	221,7
150 × 15	86,0	309,6	309,6	300,5	297,6	294,8	286,6	281,4	273,9
180 × 15	104,2	375,1	375,1	375,1	364,1	360,6	357,2	353,8	347,3
200 × 16	123,6	444,9	444,9	444,9	432,0	427,8	423,7	419,7	412,0
200 × 18	138,2	497,5	497,5	497,5	497,5	483,0	478,3	473,8	469,3

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano y-y.

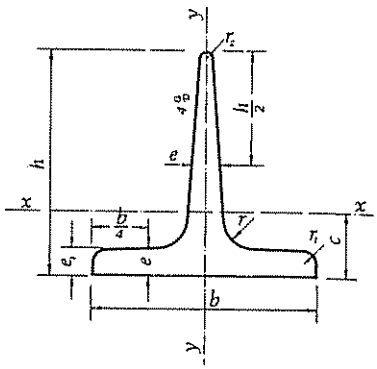
3.9.38



Acero A 52
σ_u = **3 600 kg/cm²**

Longitud de pandeo l_k en metros									L
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
8,1	6,8	5,8	5,0	4,3	3,8	3,3	2,6		50 × 5
9,7	8,0	6,8	5,9	5,1	4,5	3,9	3,1		50 × 6
14,0	12,0	10,2	8,8	7,6	6,6	5,9	4,6	3,8	60 × 5
16,3	14,0	11,9	10,3	8,9	7,8	6,9	5,5	4,5	60 × 6
21,0	17,7	15,2	13,1	11,4	10,0	8,8	7,0	5,7	60 × 8
25,4	21,5	18,6	16,2	14,0	12,4	11,0	8,2	7,1	70 × 6
28,9	24,8	21,5	18,5	16,2	14,4	12,6	10,0	8,3	70 × 7
32,6	28,0	23,9	20,9	18,0	16,0	14,2	11,3	9,2	70 × 8
46,6	40,6	35,4	31,0	27,3	23,8	21,2	17,2	14,1	80 × 8
56,0	48,9	42,8	37,4	32,5	28,9	25,7	20,5	16,9	80 × 10
62,1	54,3	48,1	42,7	38,0	33,4	29,9	24,4	19,9	90 × 8
75,0	66,9	59,1	51,7	46,1	41,1	36,3	39,6	24,2	90 × 10
76,9	70,1	62,7	56,6	50,2	45,3	40,4	32,9	27,2	100 × 8
95,3	85,8	77,6	68,7	62,2	55,3	50,0	40,7	33,2	100 × 10
133,6	125,5	115,2	107,0	97,1	89,3	81,8	67,9	56,6	120 × 10
158,4	146,6	136,5	124,5	115,1	104,2	95,1	79,2	66,2	120 × 12
221,7	214,1	203,7	195,7	185,6	172,8	162,7	140,7	122,8	150 × 12
273,9	262,3	251,7	241,8	225,9	213,5	201,0	173,9	148,8	150 × 15
347,3	337,9	331,9	320,6	312,6	300,1	288,5	258,7	232,9	180 × 15
412,0	404,5	393,7	386,9	377,0	361,7	333,6	311,1	311,1	200 × 16
469,3	460,6	452,2	440,2	432,6	418,0	404,4	379,7	343,1	200 × 18

3.9.38



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Un perfil T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia, en t, para una longi					
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
25 × 25	1,64	5,90	0,66	0,43				
30 × 30	2,26	8,14	1,31	0,86	0,60			
35 × 35	2,97	10,69	2,36	1,56	1,08	0,80		
40 × 40	3,77	13,57	3,77	2,50	1,77	1,31	1,01	
45 × 45	4,67	16,81	5,70	3,83	2,71	2,04	1,57	1,25
50 × 50	5,66	20,38	8,15	5,58	4,01	3,00	2,33	1,84
60 × 60	7,94	28,58	15,04	10,70	7,83	5,91	4,61	3,69
70 × 70	10,6	38,16	24,00	18,08	13,58	10,45	8,22	6,54
80 × 80	13,6	48,96	34,72	27,97	21,66	16,88	13,41	10,83
100 × 100	20,9	75,24	60,67	52,61	43,74	35,66	29,05	23,96

$\lambda > 200$

El pandeo se presenta con flexión y torsión.

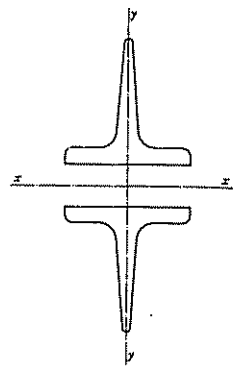
3.9.39



Acero A 52
$\sigma_u = 3\,600$ kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									T
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
1,50									50 × 50
3,02	2,51	2,12							60 × 60
5,38	4,49	3,77	3,24	2,81					70 × 70
8,93	7,46	6,33	5,43	4,70	4,12	3,60			80 × 80
20,01	16,91	14,41	12,29	10,72	9,43	8,34	6,61	5,41	100 × 100

3.9.39



Perfiles sometidos a compresión centrada
Solicitación de agotamiento N*

Dos perfiles T

T	Sección A cm²	$A\sigma_u$ t	Resistencia en t para una ... longi						
			1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,
25 × 25	3,28	11,81	1,3	0,86					
30 × 30	4,52	16,28	2,6	1,7	1,2				
35 × 35	5,94	21,39	4,7	3,1	2,2	1,6			
40 × 40	7,54	27,15	7,6	5,0	3,6	2,6	2,0		
45 × 45	9,34	33,63	11,4	7,7	5,4	4,1	3,2	2,5	
50 × 50	11,32	40,76	16,6	11,2	8,0	6,0	4,6	3,7	3
60 × 60	15,88	57,17	30,6	21,7	15,9	11,8	9,2	7,4	6
70 × 70	21,20	76,32	48,9	36,7	27,2	20,9	16,5	13,1	10
80 × 80	27,20	97,92	71,5	56,9	44,1	34,4	26,8	21,7	17
100 × 100	41,80	150,48	125,4	108,3	90,7	72,4	59,3	72,0	40

$\lambda > 200$

El pandeo con flexión se presenta en el plano x-x.

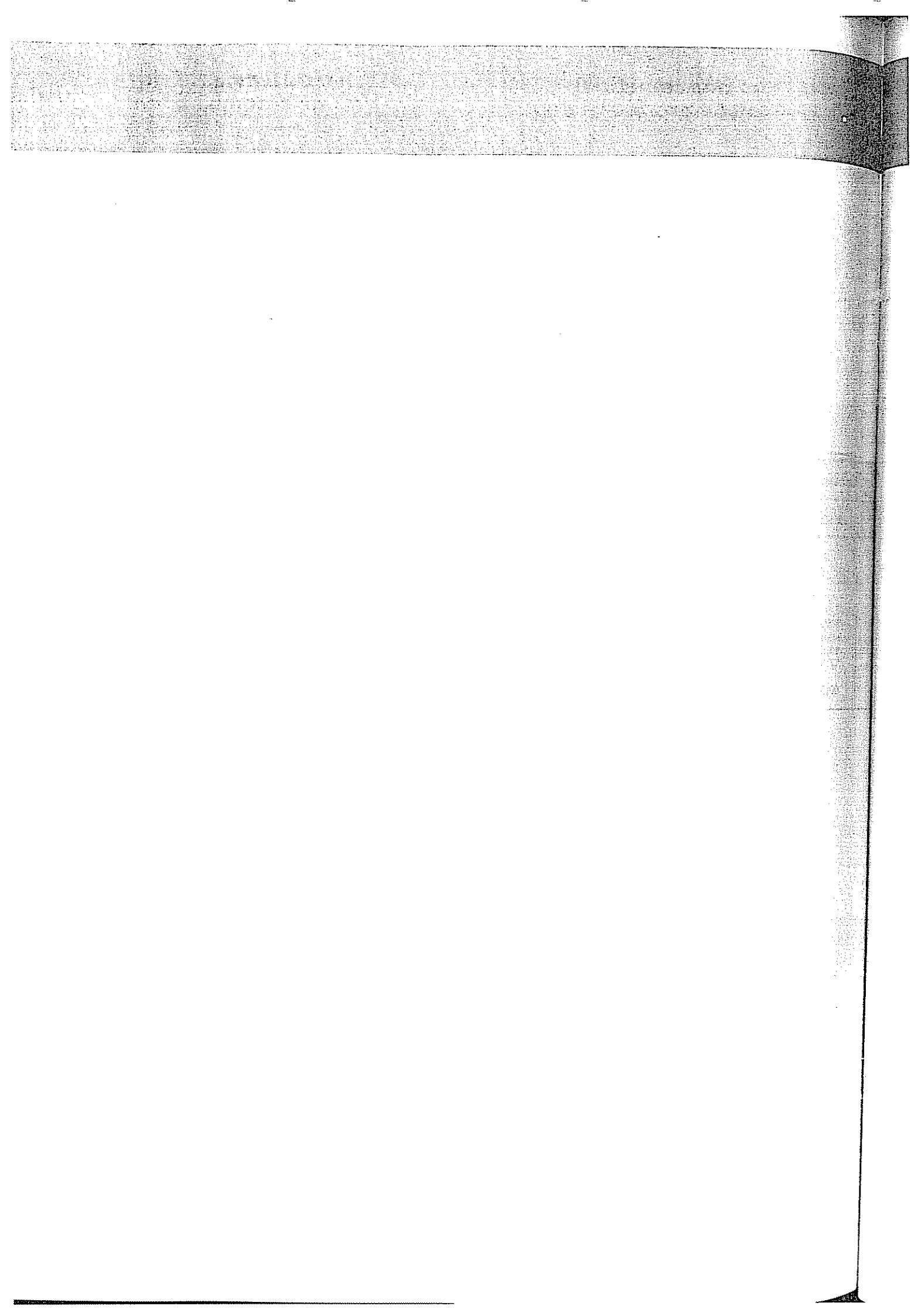
3.9.40



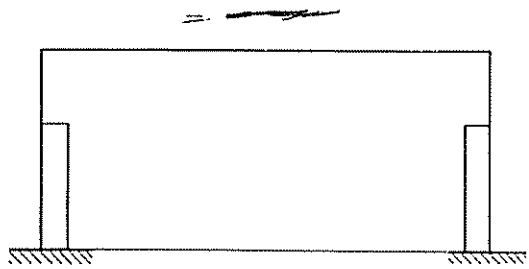
Acero A 52
σ_u = 3 600 kg/cm²

Longitud de pandeo l_k en metros									T
2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	
									25 × 25
									30 × 30
									35 × 35
									40 × 40
									45 × 45
									50 × 50
3,0									60 × 60
6,0	5,0	4,3							70 × 70
10,8	9,0	7,6	6,5	5,6					80 × 80
17,9	14,9	12,7	10,9	9,3	8,2	7,2			
40,0	33,8	28,8	24,9	21,4	18,9	16,7	13,2	10,7	100 × 100

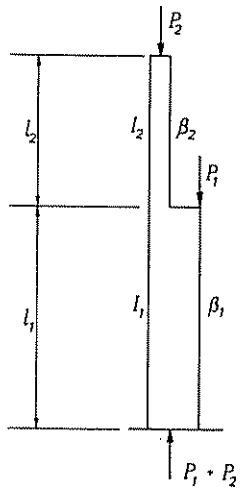
3.9.40



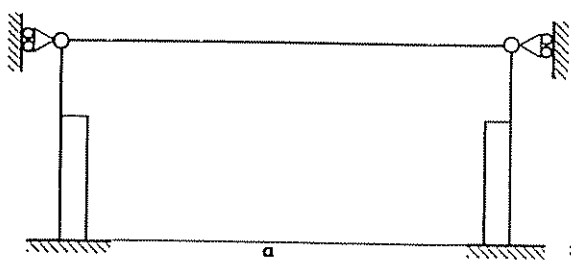
Apéndice I. Longitud de pandeo en pórticos con pilares de sección variable por escalones

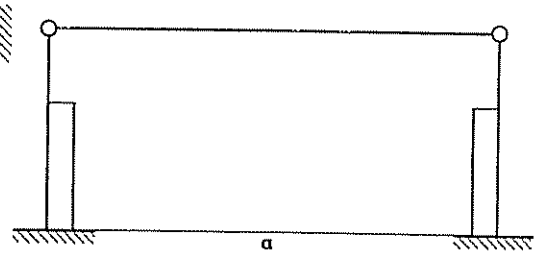


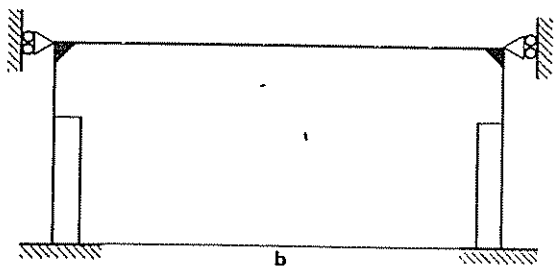
[3.62]



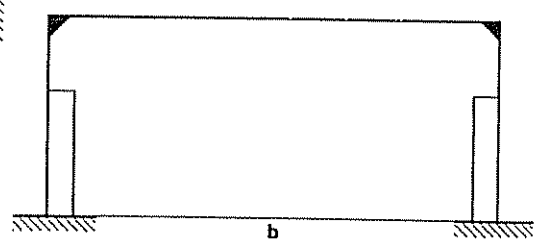
[3.63]







[3.64]



[3.65]

En las naves industriales con puentes grúa son frecuentes las estructuras del tipo de la croquizada en [3.62]. En el escalón que se forma en el soporte [3.63] apoya la viga carrilera. La parte inferior del pilar tiene por tanto mayor sección que la parte superior o fuste que no recibe más que la reacción de la cubierta.

Para la obtención de los coeficientes β que determinan la longitud de pandeo de un pilar de este tipo, pueden distinguirse dos disposiciones fundamentales:

— Nave o naves en las que la cubierta está arriostrada con contravientos longitudinales y transversales, ambos continuos o cuyo material de cobertura sea una placa de hormigón, de tal manera que la cubierta puede considerarse como un elemento plano, rígido y continuo, de manera que el extremo superior de un pilar cualquiera no puede desplazarse libremente, sino que es coartado por el conjunto [3.64].

— La disposición más frecuente, en que la no existencia de las condiciones anteriores permite considerar los pórticos como estructuras planas independientes y con posibilidad de desplazamiento horizontal de la cabeza de los pilares [3.65].

Con la primera disposición, la parte superior del pilar puede suponerse que no sufre desplazamientos horizontales, y el cálculo puede realizarse de acuerdo con los artículos 3.3.2 o por las tablas **A I.1** y **A I.2** que se incluyen en este Apéndice.

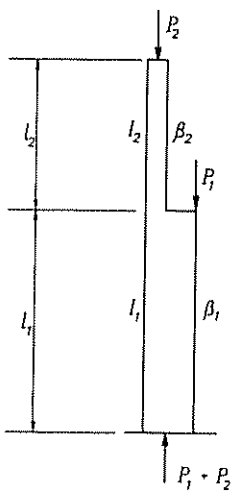
Los coeficientes β para pórticos de un solo vano, con pilares escalonados y posibilidad de desplazamiento de cabezas, pueden obtenerse con auxilio de las tablas **A I.3** y **A I.4,** tanto en el caso de cabeza articulada como empotrada.

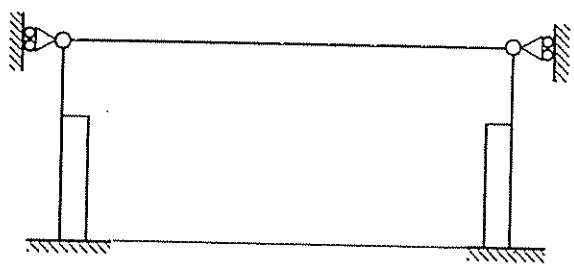
Estas tablas están tomadas del interesante trabajo *Dimensionamiento de soportes metálicos de edificios industriales*[1], de JOSE RIVACOBA, en el que el autor, entre otras, comenta las normas rusas SN y PII-B.3.62. En dicho estudio figura la justificación teórica para la obtención de las tablas que figuran en este Apéndice.

---

[1] Conferencia pronunciada en el Cursillo sobre *Proyecto y Cálculo de Estructuras Metálicas*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Bilbao. Mayo, 1975.

A I.1 Pilares con escalón, articulados en cabeza sin desplazamiento horizontal.





$$\mu = \frac{I_2}{I_1} \qquad m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} \qquad n = \frac{l_2}{l_1} \qquad c = n\sqrt{\frac{I}{m\,\mu}}$$

El coeficiente de pandeo β_1, de la parte inferior del pilar, se calcula con la fórmula:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\beta^2_{11}(m-1) + \beta^2_{12}}{m}}$$

los coeficientes auxiliares β_{11} y β_{12} se obtienen por **A I.1**.

El valor de β_2, coeficiente de pandeo de la parte superior del pilar, se calcula por la relación

$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{c} \leqslant 3$$

Valores del coeficiente β_{11}

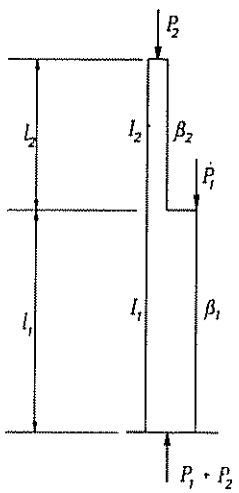
n	Valores del coeficiente μ								
	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
0,1	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
0,2	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
0,3	0,83	0,81	0,75	0,73	0,69	0,67	0,67	0,67	0,67
0,4	1,25	1,07	0,93	0,93	0,75	0,71	0,69	0,69	0,68
0,5	1,43	1,27	1,19	1,11	0,89	0,80	0,75	0,73	0,71
0,6	1,55	1,41	1,32	1,25	1,02	0,90	0,84	0,81	0,74
0,7	1,65	1,51	1,43	1,36	1,12	0,99	0,92	0,87	0,78
0,8	1,70	1,60	1,51	1,45	1,21	1,08	1,00	0,94	0,82
0,9	1,75	1,64	1,58	1,52	1,29	1,15	1,07	1,01	0,87
1.0	1,78	1,70	1,63	1,57	1,36	1,22	1,13	1,07	0,91
1,2	1,84	1,78	1,72	1,66	1,46	1,33	1,24	1,17	0,99
1,4	1,87	1,82	1,77	1.72	1,54	1,41	1,33	1,26	1,07
1,6	1,88	1,84	1,81	1,77	1,60	1,48	1,40	1,33	1,13
1.8	1,90	1,87	1.82	1,80	1,65	1,54	1,47	1,39	1,19
2,0	1,92	1,88	1,84	1,82	1,69	1,59	1,51	1,44	1,24

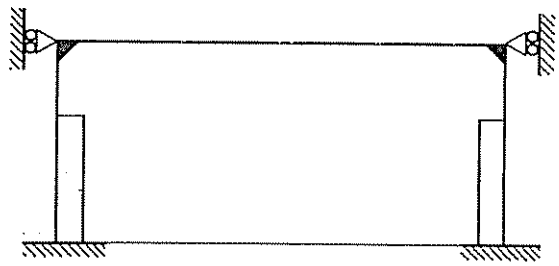
Valores del coeficiente β_{12}

n	Valores del coeficiente μ								
	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
0,1	1,02	0,91	0,86	0,83	0,79	0,78	0,78	0,73	0,73
0,2	1,81	1,47	1,31	1,21	0.93	0,90	0.86	0,86	0,85
0,3	2,25	1,93	1,73	1,57	1,23	1,09	1,02	0,99	0,92
0,4	2.59	2,26	2,05	1,95	1,46	1,27	1,17	1,10	0,99
0,5	2,85	2,57	2,31	2,14	1,67	1,44	1,32	1,22	1,06
0,6	3,03	2,74	2,49	2,33	1,85	1,60	1,45	1,35	1,13
0,7	3,24	2,90	2,68	2,46	2,02	1.74	1,58	1.47	1,20
0,8	3,42	3,05	2,85	2,60	2,15	1,86	1,69	1,57	1,27
0,9	3,70	3,24	3,00	2,76	2,28	1,98	1,81	1,67	1,34
1,0	4,00	3.45	3,14	2,91	2,40	2,11	1,92	1,76	1,41
1,2	4,55	3,88	3,53	3,28	2,67	2,35	2,14	1,96	1,54
1,4	5,25	4.43	3,93	3,61	2.88	2,51	2.31	2,15	1.68
1,6	5,80	4.90	4,37	4,03	3,11	2,76	2,51	2,34	1,82
1,8	6,55	5,43	4,85	4,48	3,42	2,99	2.68	2,50	1,97
2,0	7,20	5,94	5,28	4,85	3,71	3,25	2.88	2,76	2,10

A 1.1

A 1.2 Pilares con un escalón, empotrados en el dintel, sin desplazamiento horizontal.





$$\mu = \frac{I_2}{I_1} \qquad m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} \qquad n = \frac{l_2}{l_1} \qquad c = n\sqrt{\frac{1}{m\,\mu}}$$

El coeficiente de pandeo β_1, de la parte inferior del pilar, se calcula con la fórmula:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{\beta^2_{11}\,(m-1) + \beta^2_{12}}{m}}$$

los coeficientes auxiliares β_{11} y β_{12} se obtienen por **A 1.2.**

El valor de β_2, coeficiente de pandeo de la parte superior del pilar, se calcula por la relación

$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{c} \leqslant 3$$

Valores del coeficiente β_{11}

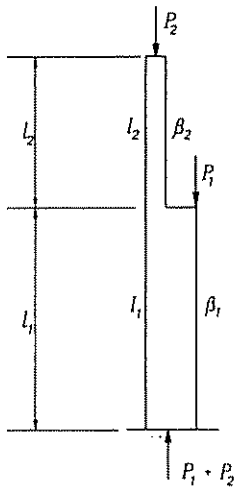
n	Valores del coeficiente μ								
	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
0,1	0,66	0,65	0,64	0,64	0,62	0,60	0.58	0,57	0,55
0,2	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,61	0.58
0,3	0,75	0,68	0,67	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,60
0,4	0,84	0,86	0,68	0.65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,61
0,5	1,08	0,34	0,84	0,73	0,68	0,66	0,64	0,64	0,62
0.6	1,24	1,10	1,00	0,92	0,78	0,67	0,66	0,65	0,63
0,7	1,37	1,25	1,12	1,05	0,83	0,73	0,68	0,68	0,65
0,8	1,47	1.35	1,25	1.15	0,92	0,81	0,75	0,72	0,67
0.9	1,55	1.44	1,34	1,25	1,01	0,89	0,82	0,77	0,70
1,0	1,64	1,50	1,41	1,33	1,09	0,94	0,88	0,83	0,73
1,2	1,72	1.61	1,53	1,45	1,23	1,09	1,01	0,94	0,80
1,4	1,78	1.69	1.62	1,55	1,33	1,20	1,10	1,04	0,88
1.6	1,81	1,74	1,68	1,62	1,41	1,28	1,19	1,12	0,93
1,8	1,85	1,79	1.75	1,68	1.48	1,35	1.26	1,19	1,01
2,0	1,89	1.82	1,79	1,71	1,54	1,41	1,32	1,25	1,05

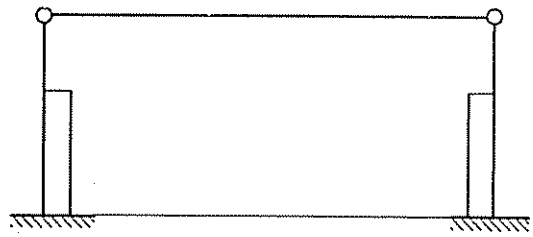
Valores del coeficiente β_{12}

n	Valores del coeficiente μ								
	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
0,1	0,78	0,70	0,68	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55
0,2	1,02	0,86	0,79	0.76	0,70	0,68	0,66	0,65	0,60
0,3	1,53	1,23	1,05	1,00	0,79	0.74	0,71	0.70	0,65
0,4	1.73	1.47	1,31	1,20	0,93	0,85	0,78	0,77	0,70
0.5	2,01	1,73	1,54	1,42	1,07	0,95	0,87	0,82	0,75
0,6	2,21	1,93	1,74	1,61	1,23	1,06	0,99	0,93	0,80
0,7	2,38	2,08	1,91	1,78	1,41	1,18	1,07	0,99	0,85
0,8	2,54	2,23	2,05	1,92	1.50	1,28	1,16	1,08	0,90
0,9	2,65	2,38	2.20	2,04	1,60	1,32	1.26	1,17	0,95
1,0	2,85	2,49	2,31	2,20	1,72	1,48	1,34	1,23	1,00
1,2	3.24	2,81	2,55	2,40	1,92	1,67	1,50	1,39	1,10
1.4	3,70	3,17	2,80	2,60	2,11	1,82	1,65	1,53	1,20
1,6	4,20	3,50	3,11	2,86	2,28	1,96	1,79	1,66	1,30
1,8	4,76	3,92	3,45	3,18	2,45	2,12	1,94	1,79	1,40
2,0	5,23	4,30	3,73	3,41	2,64	2,20	2,08	1,92	1,50

A I.2

A 1.3 Pilares con escalón, articulados en cabeza, con posibilidad de desplazamiento.





$$\mu = \frac{I_2}{I_1} \qquad m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} \qquad n = \frac{l_2}{l_1} \qquad c = n\sqrt{\frac{1}{m\,\mu}} \qquad K_1 = \frac{\mu}{n}$$

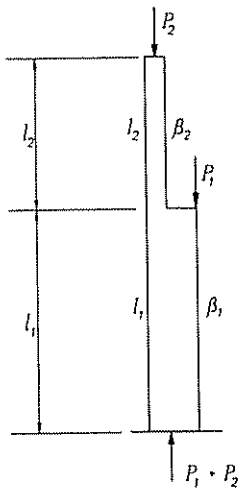
Valores de β_1, coeficiente de pandeo de la parte inferior del pilar.

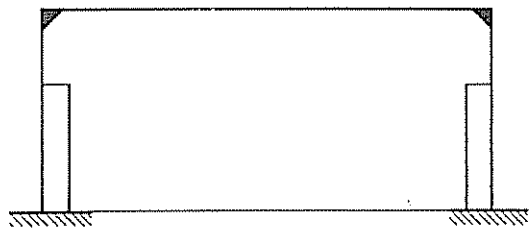
K_1	Valores del coeficiente c									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3
0,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
0,1	2,00	2,01	2,04	2,11	2,25	2,50	3,43	4,44	5,55	6,65
0,2	2,00	2,02	2,08	2,20	2,42	2,73	3,77	4,90	6,08	7,25
0,3	2,00	2,03	2,11	2,28	2,58	2,94	4,07	5,29	6,56	7,82
0,4	2,00	2,04	2,13	2,36	2,70	3,13	4,35	5,67	7,00	—
0,5	2,00	2,05	2,18	2,44	2,83	3,29	4,61	6,03	—	—
0,6	2,00	2,06	2,21	2,52	2,96	3,44	4,86	—	—	—
0,7	2,00	2,06	2,25	2,59	3,07	3,59	5,08	—	—	—
0,8	2,00	2,07	2,28	2,66	3,17	3,74	—	—	—	—
0,9	2,00	2,08	2,32	2,73	3,27	3,87	—	—	—	—
1,0	2,00	2,09	2,35	2,80	3,36	4,00	—	—	—	—
1,2	2,00	2,10	2,42	2,93	3,55	—	—	—	—	—
1,4	2,00	2,12	2,48	3,05	3,74	—	—	—	—	—
1,6	2,00	2,14	2,54	3,17	—	—	—	—	—	—
1,8	2,00	2,15	2,60	3,28	—	—	—	—	—	—
2,0	2,00	2,17	2,66	3,39	—	—	—	—	—	—
2,5	2,00	2,21	2,80	—	—	—	—	—	—	—
5,0	2,00	2,40	—	—	—	—	—	—	—	—
10,0	2,00	2,76	—	—	—	—	—	—	—	—
20,0	2,00	3,38	—	—	—	—	—	—	—	—

El valor de β_2, coeficiente de pandeo de la parte superior del pilar, se calcula por la relación

$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{c} \leqslant 3$$

A 1.4 Pilares con un escalón, empotrados en el dintel con posibilidad de desplazamiento.





$$\mu = \frac{I_2}{I_1} \qquad m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} \qquad n = \frac{l_2}{l_1} \qquad c = n\sqrt{\frac{1}{m\,\mu}} \qquad K_1 = \frac{\mu}{n}$$

Valores de β_1, coeficiente de pandeo de la parte inferior del pilar.

K_1	Valores del coeficiente c									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3
0,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	3,00
0,1	1,92	1,93	1,94	1,95	1,97	2.00	2,12	2,45	2,94	3,43
0,2	1,86	1,87	1,88	1,91	1,94	2,00	2,25	2,66	3,17	3,70
0,3	1,80	1,82	1,83	1,86	1,92	2,00	2,33	2,81	3,34	3.93
0,4	1,76	1,76	1,77	1,83	1,90	2,00	2,28	2,91	3,50	4,12
0,5	1,70	1,71	1,75	1,79	1,88	2,00	2,43	3,00	—	—
0,6	1,67	1,68	1,72	1,77	1,87	2,00	2,48	—	—	—
0,7	1,64	1,64	1.69	1,76	1,86	2,00	2,52	—	—	—
0,8	1,60	1,62	1,66	1.72	1,85	2,00	—	—	—	—
0,9	1,57	1,59	1,62	1,71	1,83	2,00	—	—	—	—
1,0	1,55	1,56	1,61	1,69	1,82	2,00	—	—	—	—
1,2	1,50	1,52	1,57	1,66	1,80	—	—	—	—	—
1,4	1,46	1,48	1,53	1,63	1,79	—	—	—	—	—
1,6	1,43	1,45	1,50	1,61	—	—	—	—	—	—
1,8	1,40	1,41	1,48	1,59	—	—	—	—	—	—
2,0	1,37	1,39	1,41	—	—	—	—	—	—	—
2,5	1,32	1,33	1,40	—	—	—	—	—	—	—
5,0	1,18	1,20	—	—	—	—	—	—	—	—
10,0	1,10	1,11	—	—	—	—	—	—	—	—
20,0	1,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—

El valor de β_2, coeficiente de pandeo de la parte superior del pilar, se calcula por la relación

$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{c} \leqslant 3$$

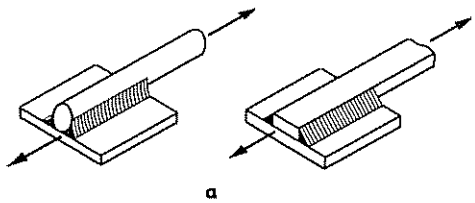
4. Piezas sometidas a tracción

4.1. Clases de piezas

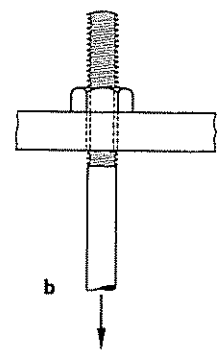
4.2. Piezas sometidas a tracción centrada

4.3. Piezas solicitadas a tracción excéntrica

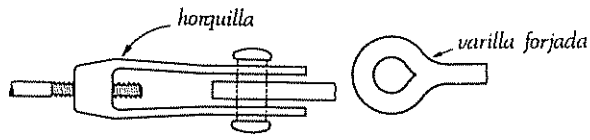
4.4. Solicitación de agotamiento a tracción para perfiles laminados



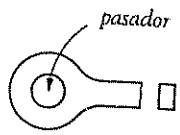
a



b



c

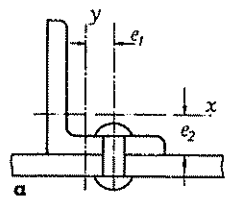


d

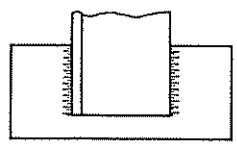


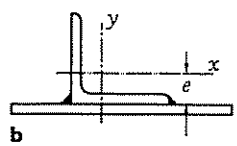
e

[4.1]

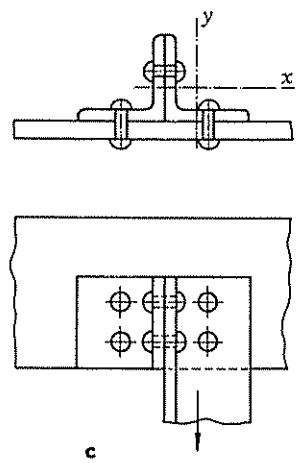


a

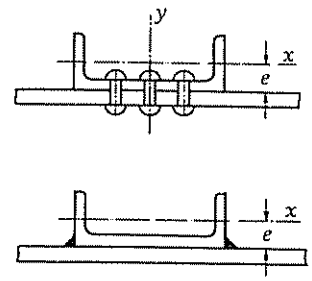




b



c



d

[4.2]

4. PIEZAS SOMETIDAS A TRACCION

4.1. CLASES DE PIEZAS

Una pieza está sometida a tracción cuando está solicitada en sus extremos por dos fuerzas axiles extensoras iguales y opuestas. En general las piezas a tracción son de cuatro tipos: alambres y cables, redondos y pletinas, perfiles simples y piezas compuestas.

Los alambres y cables, cuya aplicación es muy extensa, sobre todo en aplicaciones específicas no se tratan en este Prontuario, ni en la Norma Básica MV-103.

Sobre los restantes tipos de piezas, hacemos a continuación algunas consideraciones complementarias al articulado de la Norma, que se reproduce en 4.1 5.

4.1 1. Redondos y pletinas.

En piezas con tracciones no muy importantes, se utilizan con frecuencia redondos, cuadrados y pletinas.

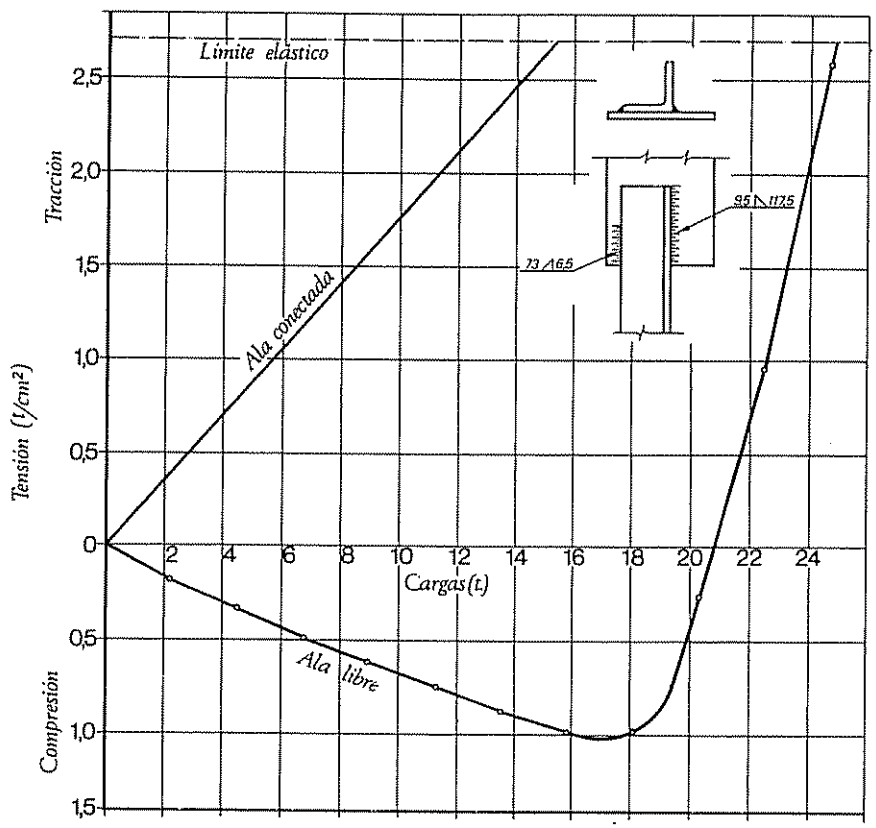
La gran esbeltez de estas piezas hace que su resistencia a compresión pueda considerarse nula.

Los redondos y las pletinas se usan como tirantes o elementos a tracción de arriostramientos, aunque también pueden emplearse como barras principales en estructuras ligeras, tales como antenas, postes y mástiles.

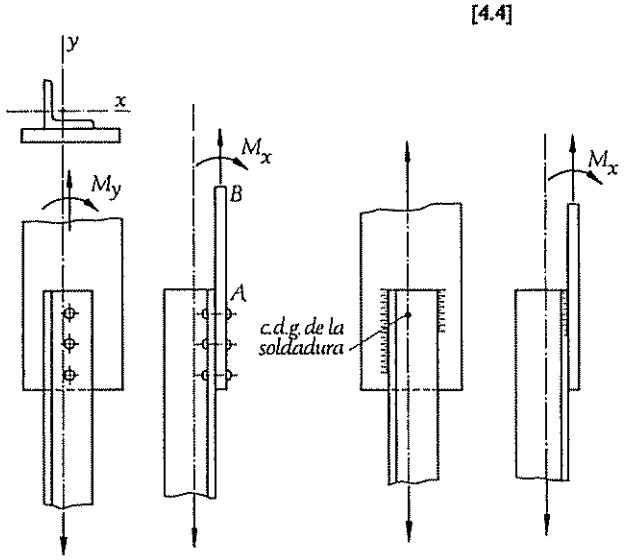
En el caso de pletinas la dimensión mayor debe situarse en un plano vertical con el fin de disminuir la flecha.

La unión en sus extremos, por soldadura de estas piezas, es muy simple y, en general, no es necesaria ninguna preparación especial [4.1a]. Los redondos pueden unirse por rosca, según distintas disposiciones [4.1b], la disminución de sección que implica el roscado no es en general importante; sin embargo, cuando se quiere mantener la capacidad resistente pueden retacarse los extremos antes del roscado, aunque esta solución en general no es económica. Otros tipos de unión, tales como ojales o tensores [4.1c] y [4.1d], se emplean también con frecuencia. La dificultad de obtener los redondos, con la longitud teórica exacta y su falta de rigidez, hace que su colocación pueda ser defectuosa; es decir, si son demasiado largos, con una curvatura inicial o si son demasiado cortos y se fuerzan para su colocación con una tensión inicial no deseable.

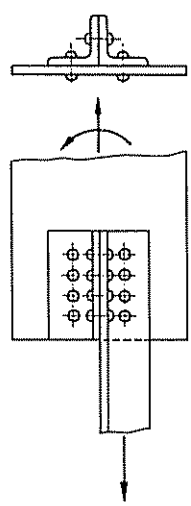
Ello puede obligar a la colocación de tensores intermedios [4.1e] con el consiguiente encarecimiento.


Límite elástico
Tracción
Tensión (t/cm²)
Compresión
Ala conectada
Ala libre
Cargas (t)
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0
0,5
1,0
1,5
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
73 A 65
95 A 1175

[4.4]


y
x
M_y
M_x
B
A
c.d.g. de la soldadura
M_x

a [4.3] b



[4.5]

4.1.2. Perfiles simples.

Cuando sea necesaria cierta rigidez de la pieza o cuando por variación de las cargas sea previsible su solicitación por compresión, aunque ésta sea pequeña, no es posible utilizar secciones de las descritas en 4.1.1. En estos casos pueden utilizarse perfiles simples o secciones compuestas.

Un inconveniente de los perfiles simples es la casi inevitable excentricidad de la unión. En [4.2] se indican algunos ejemplos de unión y las excentricidades producidas. Las uniones roblonadas o atornilladas tienen excentricidad tanto en el plano de la cartela como en el perpendicular a la misma. En uniones soldadas puede eliminarse la excentricidad en el plano de la cartela haciendo cordones de longitudes desiguales o con la misma longitud y diferente garganta [1] [4.3].

El estudio del comportamiento de las barras constituidas por un simple angular, unida por una de sus alas a una cartela [2] revela que si bien en la fase elástica la sección está sometida a tracción compuesta, presentándose compresiones en el ala no unida, la fluencia hace que en un estado final la sección trabaje uniformemente a tracción [4.4]. En el cálculo debe considerarse la excentricidad, lo que supone una disminución de la tracción solicitante respecto al caso de la tracción centrada. En 4.4 se dan los valores N* de agotamiento, para angulares y T simples, unidos excéntricamente. En algunas instrucciones americanas, como las AASHO y las AREA, se permite en este caso un cálculo simplificado suponiendo el perfil sometido a tracción centrada, pero con una sección igual a la del ala unida a la cartela más la mitad de la sección del ala perpendicular a la misma.

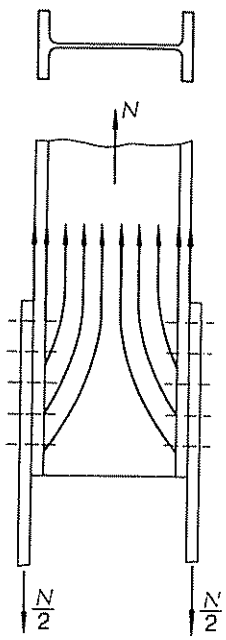
En la Norma Básica MV-103 se permite prescindir de la excentricidad de la unión, incrementando en un 25 % el valor de la tracción solicitante (ver artículo 4.5.2 que se reproduce más adelante).

Con la unión atornillada con casquillo de angular auxiliar [4.5] se consigue una mejor transmisión del esfuerzo al ala perpendicular a la cartela, al mismo tiempo que se reduce el número de tornillos de unión por línea, lo que a veces puede constituir una limitación en la capacidad resistente (ver artículo 6.1.6).

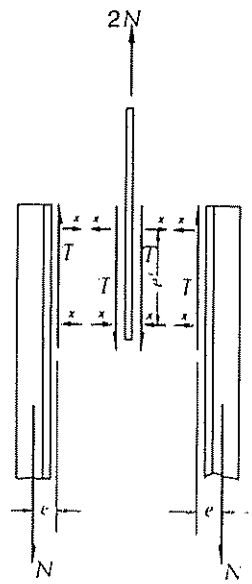
El perfil en U también se emplea como pieza a tracción y para la misma sección que un angular tiene menos excentricidad y puede unirse convenientemente por soldadura, tornillos o roblones. Su rigidez en sentido de la mínima inercia es muy pequeña, por lo que no es conveniente el uso, de barras largas, si no se arriostra en esa dirección.

---

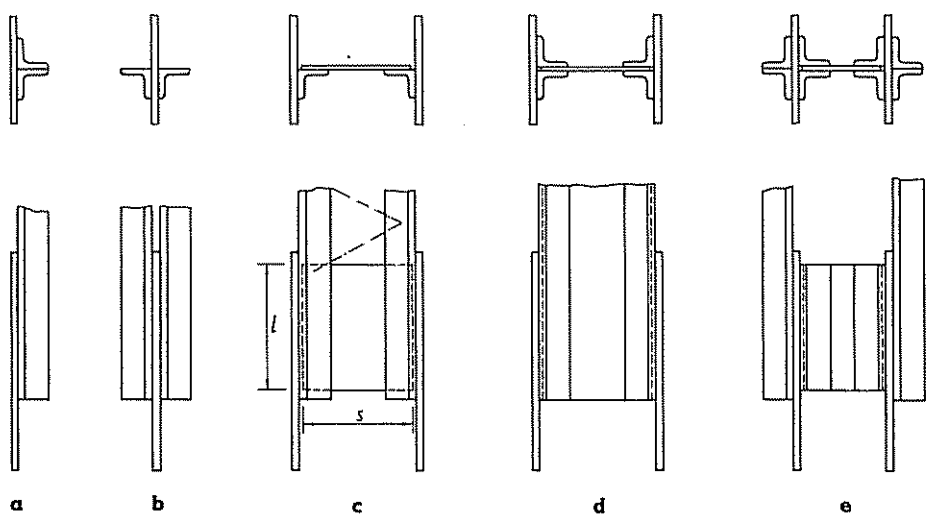
[1] Ver artículo 7.7.8.
[2] También está el caso de una simple T o doble T cortada, con la excentricidad en el plano normal al de la cartela.



[4.6]



[4.8]



[4.7]

Los perfiles I y H deben usarse con doble cartela, aunque con la complicación que puede presentar la variación de altura de los perfiles que concurren en un nudo y que puede obligar a la colocación de forros. Aunque en la zona cerca de la unión [4.6] las tensiones se concentran en las alas y el alma trabaja solo parcialmente, debido a la redistribución plástica de tensiones, el cálculo se efectúa considerando la sección neta total de la pieza.

En el apartado 4.4 se incluyen unas tablas que dan el valor de la solicitación de agotamiento de los perfiles laminados más usuales.

4.1 3. Piezas compuestas de varios perfiles.

Refiriéndonos concretamente al caso de dos o más angulares existen diferentes maneras de disposición con relación a la cartela de unión [4.7].

Cuando se unen del mismo lado de la cartela su comportamiento es análogo al del angular aislado y su capacidad resistente disminuida por la excentricidad de la unión [4.7a].

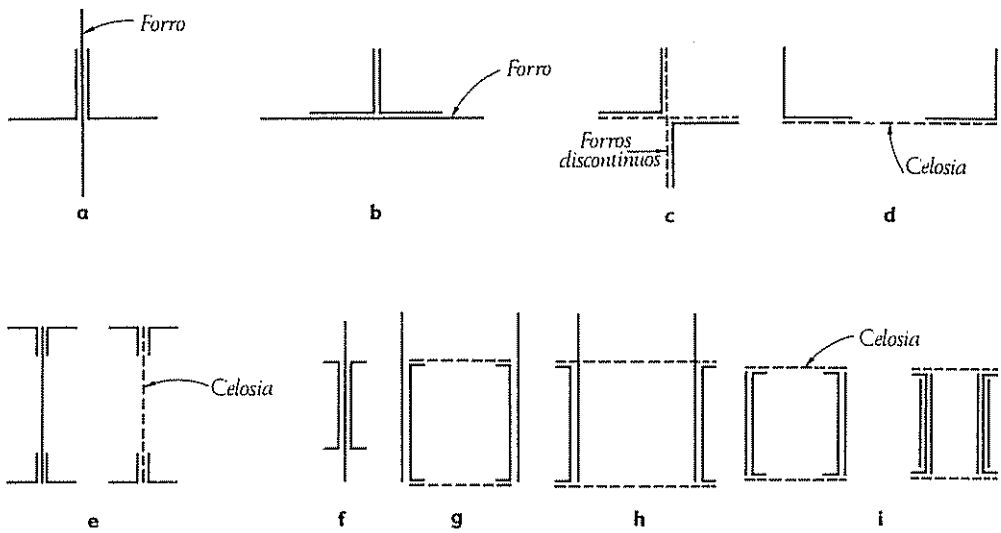
En el caso [4.7b] la simetría origina unas condiciones más favorables de trabajo. Esto se muestra de una manera esquemática en [4.8]. Los dos angulares tienden a presionar contra la cartela, en la parte final de su unión y a separarse en su principio, creando una tracción transversal que deben absorber los tornillos o la soldadura de la unión. La distribución de las fuerzas X, aunque indeterminada, no tiene importancia práctica con las longitudes normales de las uniones, ya que e' es siempre muy superior a e y, por tanto, X mucho menor que N. El momento Xe' contrapesa el momento Ne y el cálculo se realiza como si cada angular estuviese solicitado por una tracción centrada de valor N.

En el caso de dos angulares unidos por algunas de las disposiciones [4.7c], [4.7d] y [4.7e] la no consideración de la excentricidad está condicionada a la existencia de la chapa de unión entre angulares en la zona entre cartelas, y que ésta tenga una determinada longitud. Las normas AASHO indican, por ejemplo, que la dimensión l debe ser al menos 1,25 s.

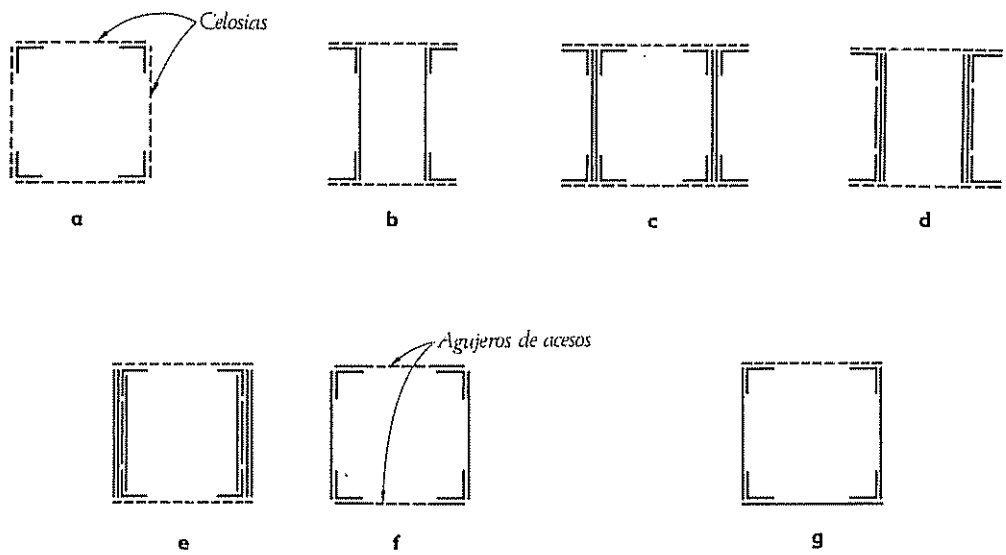
4.1 4. Piezas compuestas.

En [4.9] se indican algunas de las muchas disposiciones que pueden adoptarse para las piezas solicitadas a tracción, según la magnitud del esfuerzo solicitado.

Disposiciones con elementos de sección L y U



Disposiciones con elementos de sección L y chapas



[4.9]

4.1.5. Clases de piezas según la Norma Básica MV-103.

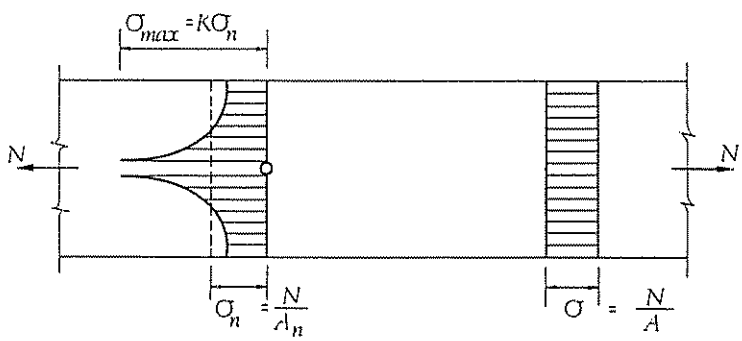
Transcribimos a continuación el artículo 4.1 de la Norma Básica MV-103, donde se definen las piezas simples y compuestas.

> 4.1. *CLASES DE PIEZAS*
>
> *Las piezas de directriz recta solicitadas a tracción, según su constitución, se clasifican en piezas simples y compuestas.*
>
> 4.1.1. *Piezas simples.*
>
> *Son las constituidas por:*
>
> *a) Un solo perfil.*
>
> *b) Perfiles y/o chapas yuxtapuestas (figura 3.1)*[1] *unidas mediante roblones o tornillos, a distancias s que cumplan las condiciones (Norma MV-104, artículo 2.2)*
>
> $$s \leqslant 15a \qquad s \leqslant 25e$$
>
> *siendo a el diámetro del agujero y e el mínimo espesor de las piezas unidas; o mediante soldadura continua o discontinua, a separaciones s, cumpliendo la condición (Norma MV-104, artículo 3.3.2):*
>
> $$s \leqslant 25e \qquad s \leqslant 300 \text{ mm}$$
>
> *c) Perfiles con forro discontinuo de chapa (figura 3.2)*[1] *con unión mediante roblones, tornillos o soldadura a distancia s; que cumpla la condición*
>
> $$s \leqslant 50i$$
>
> *siendo i el radio de giro mínimo del perfil que lo tenga menor*
>
> *Si puede existir tracción excéntrica cumplirán la condición del artículo 3.1.1c.*
>
> 4.1.2. *Piezas compuestas.*
>
> *Son las constituidas por dos o más cordones longitudinales enlazados entre sí. Cada cordón tendrá la constitución de una pieza simple. En general estos cordones van enlazados entre sí por medio de presillas o de celosía (véase artículo 3.1.2). Los enlaces cumplirán las condiciones siguientes:*
>
> *a) En las piezas con tracción centrada (véase artículo 4.2.1), el enlace es teóricamente innecesario. Pero, por razones de buena práctica de construcción, se recomienda no separar estas presillas más de doscientas veces el radio mínimo de cada cordón, ni más de dos metros.*
>
> *b) En las piezas con tracción excéntrica (artículo 4.2.2) los enlaces cumplirán las condiciones impuestas en el artículo 3.1.3 a los enlaces de las barras comprimidas.*

4.2. PIEZAS SOMETIDAS A TRACCION CENTRADA

Una pieza está solicitada a tracción centrada cuando en todas sus secciones transversales la resultante de las fuerzas exteriores se reduce a una fuerza extensora que pasa por su centro de gravedad, lo que corresponde, en piezas rectilíneas y de sección uniforme,

[1] Se representa en [3.1].



[4.10]

a que la pieza está solicitada en sus extremos por dos fuerzas iguales y opuestas y cuya dirección coincide con el eje de la pieza.

Si la pieza es tal que su longitud es varias veces mayor que su máxima dimensión transversal [1], las tensiones internas se distribuyen uniformemente en la sección transversal y su valor es el de la fuerza solicitante dividida por el área de la sección transversal de la pieza.

En el caso de actuación no brusca de la fuerza, el comportamiento de la pieza es análogo al de la probeta de tracción. La deformación dentro del límite de proporcionalidad es $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ y el alargamiento elástico $\Delta L = \frac{NL}{AE}$, siendo N la fuerza de tracción solicitante, A el área de la sección transversal y L la longitud de la pieza.

A diferencia del caso de compresión, pequeñas excentricidades debidas a inevitables imperfecciones en la forma de la sección, no ocasionan efectos importantes y pueden despreciarse.

Más adelante reproducimos los artículos de la Norma Básica MV-103, relativos al cálculo de las piezas sometidas a tracción centrada, que no necesitan comentario especial, pero antes es conveniente considerar los casos en que la distribución uniforme de tensiones puede alterarse y su repercusión en el dimensionamiento de la pieza.

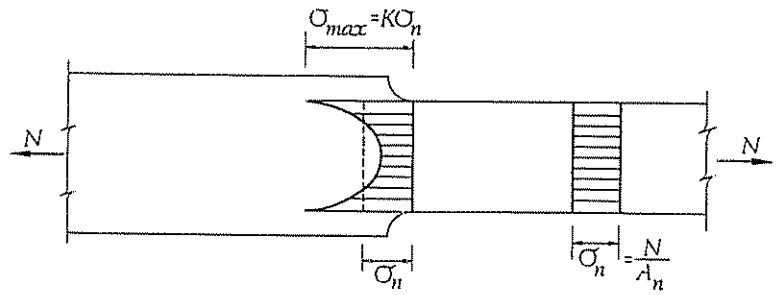
4.2.1. Concentración de tensiones.

Las distintas piezas de una estructura metálica se unen entre sí por medio de roblones, tornillos, bulones o soldaduras. En los tres primeros casos es necesario realizar agujeros en el alma o alas de las piezas, aunque también puede ser necesario, por otras causas (paso de tubos, conductos eléctricos, etc.), la realización de agujeros en las piezas que constituyen una estructura.

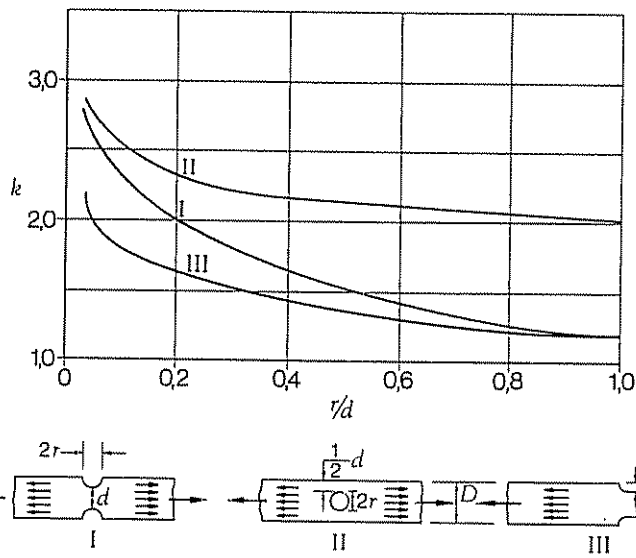
Experimentalmente se demuestra que un agujero realizado en una pieza sometida a tracción, por ejemplo y para mayor simplicidad una pletina, origina una distribución no uniforme de tensiones en una sección que corte al agujero; es decir, una verdadera concentración de tensiones en sus bordes de manera que las tensiones en los puntos adyacentes al agujero son más elevadas que en los restantes puntos de la sección [4.10].

---

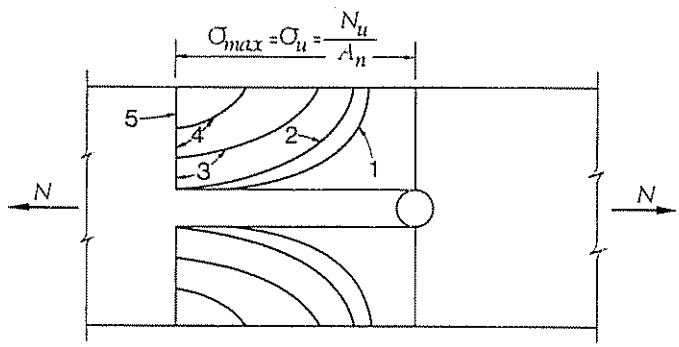
[1] Pieza prismática según la resistencia de materiales.


$\sigma_{max} = K\sigma_n$
N
N
σ_n
$\sigma_n = \frac{N}{A_n}$

[4.11]


3,0
2,0
1,0
k
II
I
III
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
r/d
2r
d
D
I
$\frac{1}{2}d$
2r
II
D
r
d
III

[4.12]


$\sigma_{max} = \sigma_u = \frac{N_u}{A_n}$
5
4
3
2
1
N
N

[4.13]

Otras circunstancias, tales como cambios bruscos de sección, cambios en las propiedades elásticas del material o la presencia de cordones de soldadura producen igualmente fenómenos de concentración de tensiones [4.11].

El grado de concentración de tensiones puede medirse por un coeficiente K que se define como el cociente:

$$K = \frac{\text{máxima tensión}}{\text{tensión media en la sección neta}}$$

siendo la sección neta la que se obtiene descontando los agujeros de la sección total.

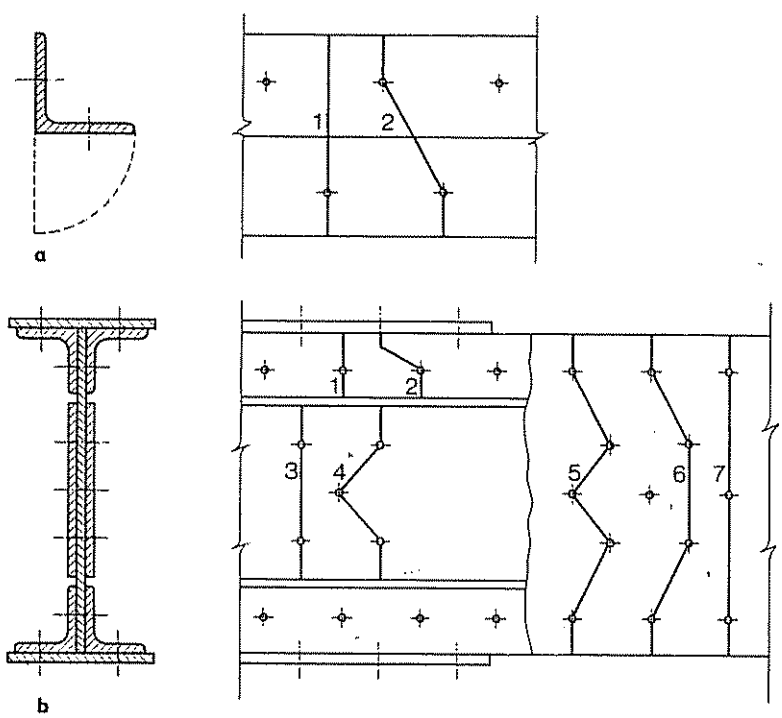
En algunos casos pueden obtenerse matemáticamente la curva de distribución de tensiones y el correspondiente coeficiente K. En [4.12] se representan algunos casos elementales.

En general, en piezas agujereadas, cuando el radio del agujero es suficientemente pequeño en comparación con la anchura de la pieza (igual o menor de 1/10), como es el caso corriente en construcción metálica, el valor de K suele variar entre 2,5 y 3 (de 1,8 a 2,4 en cordones de soldadura). Valores aplicables cuando el pico de tensiones es menor que el límite de proporcionalidad y de una manera aproximada cuando es menor que el límite elástico.

La acción debilitadora del agujero es menor que la que podría deducirse de las consideraciones anteriores, teniendo en cuenta el efecto de plasticidad en los materiales dúctiles. Este efecto se pone de manifiesto en [4.13], donde se han representado distintas y sucesivas distribuciones de las tensiones a medida que la fuerza N aumenta.

Con esta redistribución plástica de tensiones resulta que, considerando el agotamiento, la sección se ha debilitado en la relación A_n/A, independientemente del valor de K para la distribución elástica y justifica que el cálculo, en el caso de existencia de agujeros, pueda realizarse como en el caso de pieza sin perforar sin más que sustituir la sección bruta de la pieza por la sección neta de la misma.

Todo ello se refiere a aceros dúctiles, como son los que contempla la Norma Básica MV-103, sometidos a solicitaciones estáticas; es decir, cuando las cargas se aplican gradualmente y permanecen sustancialmente constantes durante períodos largos de tiempo, o por lo menos no fluctúan un número muy elevado de veces, entre límites amplios. Estas condiciones se cumplen en la mayor parte de las edificaciones. Sin embargo, en algunos tipos de estructuras, puentes, caminos de rodadura de grúas, mástiles de antenas, etc., las tensiones pueden cambiar de magnitud e incluso de signo con gran



[4.14]

frecuencia, debido a la naturaleza de las cargas (cargas móviles en puentes y caminos de rodadura, vientos racheados en torres). En este caso las estructuras pueden fallar por fatiga, debido a la repetición de las cargas más que por fluencia bajo carga estática. Entonces la redistribución plástica de tensiones no es determinante y la resistencia de la estructura puede disminuir sustancialmente debido a la concentración de tensiones. Igualmente sucede en casos en que aceros dúctiles, en situaciones normales; pueden fragilizar debido a algunas circunstancias o combinaciones de ellas [1], tales como bajas temperaturas, aplicación brusca de las cargas, inadecuada composición química del acero y ciertos estados tensionales.

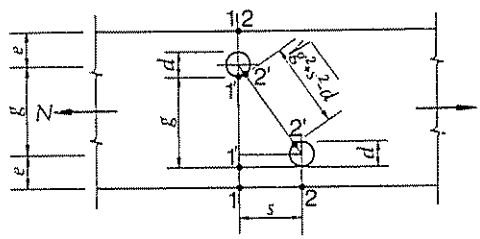
En estos casos la distribución teórica elástica de tensiones puede ser determinante y basar el dimensionamiento de la pieza en la máxima tensión de tracción que se produce en la distribución no uniforme; es decir, en el valor $\sigma_{máx} = \mathrm{KN/A}_n$ o bien tener en cuenta este efecto disminuyendo consecuentemente la tensión de agotamiento del acero.

4.2.1.1. *Sección neta de una pieza.*

Según la Norma Básica MV-103:

> 3.3. *TERMINOS DE SECCION*
>
> *En una pieza que tenga uniones realizadas mediante roblones o tornillos, se distinguen para el cálculo, según los casos, tres secciones:*
>
> — *Sección bruta, en la que no se excluyen los agujeros que llevan roblón o tornillo*
>
> — *Sección neta, en la que se excluyen los agujeros, lleven o no roblón o tornillo, no solamente los que atraviesan una sección recta, sino eligiendo la línea oblicua o quebrada que dé área mínima (figura 3.6)* [2].
>
> — *Sección semineta, en la que se excluyen los agujeros de la zona sometida a tracción, pero no los de la sometida a compresión.*
>
> *Los términos de sección: área, momento de inercia, módulo resistente, radio de giro, etc., se obtendrán de la sección bruta, neta o semineta, según los casos.*
>
> *En la sección neta, o en la sección semineta, dichos términos de sección se referirán a los ejes de inercia de la sección bruta, sin tener en cuenta su posible variación de posición debida a la existencia de agujeros.*
>
> *En las piezas sometidas a compresión centrada se considerará siempre la sección bruta, incluso cuando se trate de los fenómenos de pandeo.*

[1] Ver artículo 7.2.3.2.
[2] Se representa en [4.14].



[4.15]

Algunas Instrucciones, como la A. I. S. C. son más severas en cuanto a la estimación de la sección neta de una pieza a tracción. Esta norma fija que el ancho correspondiente a una sección diagonal o en zig-zag se obtendrá deduciendo del ancho de la sección bruta la suma de los diámetros de todos los agujeros de la sección quebrada y añadiendo para cada espacio entre agujeros la cantidad $s^2/4g$ con el significado de [4 15]. La sección crítica será la mínima de la sección quebrada que dé el ancho menor, pero en ningún caso puede ser mayor que el 85 % del ancho de la sección bruta.

4.2 2. Cálculo de las piezas sometidas a tracción centrada.

La Norma Básica MV-103 dice a este respecto:

4.2 1. *Tracción centrada.*

Se calcularán con solamente el esfuerzo normal de tracción las piezas en que se considere esta única solicitación en las hipótesis de cálculo, habida cuenta de su vinculación efectiva y de la forma de aplicación de las cargas.

En las estructuras, cerchas o vigas, trianguladas, cargadas sólo en los nudos, puede considerarse, en general, que las barras de tracción tienen solicitación de tracción, es decir, prescindir de los momentos flectores debidos a la rigidez de las uniones de nudos.

Se exceptúan las retículas muy irregulares, las que tengan barras que forman entre sí ángulos pequeños, las que tengan barras de gran rigidez, y algunas retículas con hiperestaticidad interna. En ellas se estudiará la posible influencia de los momentos secundarios para introducirlos en el cálculo, según el artículo 4.2 2. [1]

En las estructuras trianguladas puede prescindirse siempre de la flexión debida a la acción directa del viento sobre las barras. La flexión debida al peso propio sólo se considerará en las barras cuya proyección horizontal exceda de seis metros.

En las barras con solicitación de tracción de pequeño valor se investigará si pueden tener solicitación de compresión al modificar ligeramente los valores adoptados para concargas, sobrecargas u otras acciones. En este caso se comprobará también su seguridad a compresión según el capítulo III.

El cálculo a tracción centrada se realizará de acuerdo con el artículo 4.4.

4.4 *CALCULO DE PIEZAS SOLICITADAS A TRACCION CENTRADA*

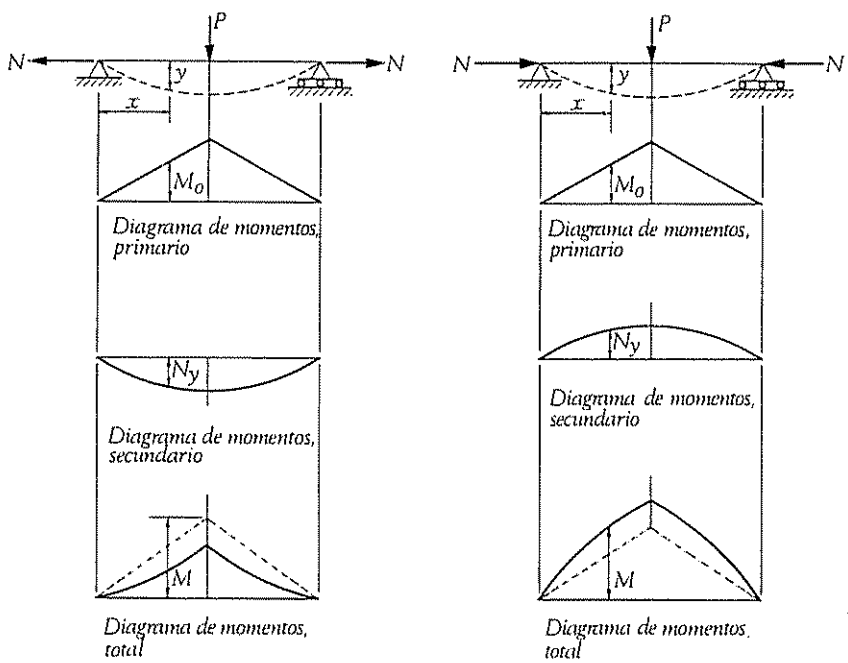
En toda pieza simple o compuesta, solicitada a tracción centrada, se verificará:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} < \sigma_u$$

siendo en esta expresión:

σ_u *Resistencia de cálculo del acero.*
N^* *Esfuerzo normal ponderado, en la sección considerada.*
A_n *Area de la sección neta (artículo 3.3).*

[1] Se reproduce en 4 3 1.


P
N
N
y
x
M_0
Diagrama de momentos, primario
N_y
Diagrama de momentos, secundario
M
Diagrama de momentos, total
a
P
N
N
y
x
M_0
Diagrama de momentos, primario
N_y
Diagrama de momentos, secundario
M
Diagrama de momentos, total
b

[4.16]

4.3. PIEZAS SOLICITADAS A TRACCION EXCENTRICA

En la práctica, debido a las imperfecciones de construcción y de realización de los nudos y al efecto del peso propio, es muy difícil que una pieza esté solicitada rigurosamente a tracción pura.

En estos casos, el cálculo de la pieza, se admite que se realice en la hipótesis de tracción centrada; sin embargo, pueden existir fuerzas transversales conocidas que incidan sobre la pieza, o puede existir una excentricidad apreciable y computable en la unión de sus extremos. Entonces, normalmente se aplican las fórmulas de la resistencia de materiales que más adelante se incluyen dentro del articulado de la MV-103.

La rigurosa determinación de la distribución de tensiones, aún dentro del límite elástico, es complicada debido a la deformación de la pieza y al efecto de la fuerza axil N en el momento, que rebaja siempre el valor del mismo, a diferencia del caso de flexión con compresión, según la expresión:

$$M = M_o - N \quad y$$

según se indica en [4.16].

Esta es una diferencia básica entre las piezas comprimidas y las traccionadas; en éstas la tracción tiende a disminuir las flexiones y, por tanto, puede prescindirse del lado de la seguridad de la deformación que produce la flexión, mientras que en las piezas comprimidas puede ser la deformación de la pieza y las flexiones inducidas las que determinen su resistencia.

En ocasiones la seguridad que se obtiene con esta primera aproximación puede ser excesiva, y ser conveniente un cálculo más exacto del momento.

En algunos casos simples pueden obtenerse los momentos y las flechas partiendo de la ecuación diferencial que se obtiene derivando dos veces la ecuación anterior de equilibrio de momentos.

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = \frac{d^2 M_o}{dx^2} - N \frac{d^2 y}{dx^2} = f_1(\omega) - N \frac{d^2 y}{dx^2}$$

$$f_1(\omega) = \frac{d^2 M_o}{dx^2}$$

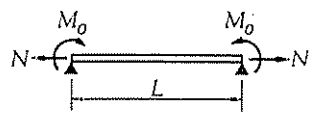
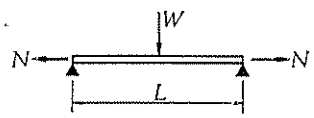
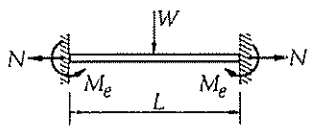
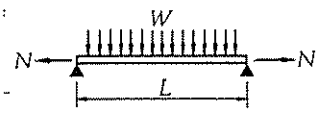
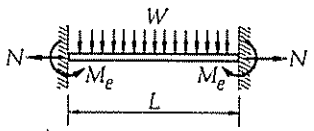
es una función de las cargas que actúan además de la tracción N.

Teniendo en cuenta que $\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{M}{EI}$

la ecuación puede ponerse en la forma:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} - \frac{N}{EI} M = f_1(\omega)$$

Piezas sometidas a tracción excéntrica. Momento máximo

Tipo de solicitación	Fórmula exacta	Fórmula aproximada
	$M_e = M_0$ $M_s = \frac{M_0}{\cosh z}$	M_0 $\frac{M_0}{1 + z^2/2}$
	$M_e = 0$ $M_s = \frac{WL}{4}\frac{\tanh z}{z}$	0 $\frac{WL}{4}\frac{1}{1 + z^2/3}$
	$M_e = \frac{WL}{4}\frac{(\cosh z - 1)}{\operatorname{senh} z}$ $M_s = \frac{WL}{4}\left(\frac{\tanh z}{z} - \frac{\cosh z - 1}{\operatorname{senh} z \cosh z}\right)$	$\frac{WL}{8}\frac{1}{1 + \frac{1}{12} z^2}$ —
	$M_e = 0$ $M_s = \frac{WL}{4}\frac{(\cosh z - 1)}{z^2 \cosh z}$	0 $\frac{WL}{8}\frac{1}{1 + \frac{1}{12} z^2}$
	$M_e = \frac{WL}{4}\frac{(z - \tanh z)}{z^2 \tanh z}$ $M_s = \frac{WL}{4}\frac{(\operatorname{senh} z - z)}{z^2 \operatorname{senh} z}$	$\frac{WL}{12}\frac{1}{1 + \frac{1}{15} z^2}$ $\frac{WL}{24}\frac{1}{1 + \frac{7}{60} z^2}$

M_s = Momento en el centro de la viga.

[4.17]

haciendo

$$a = \sqrt{\frac{EI}{N}}$$

la solución de la ecuación diferencial es

$$M = C_1 \operatorname{senh} \frac{x}{a} + C_2 \cosh \frac{x}{a} + f(\omega)$$

C_1 y C_2 son constantes que dependen de las cargas, de las características de la pieza y de la sustentación de la misma.

En [4.17] se dan, para algunos casos simples, los momentos máximos resultantes, en función del parámetro z, definido como:

$$z = \sqrt{\frac{N L^2}{4 EI}}$$

las flechas pueden obtenerse fácilmente teniendo en cuenta que:

$$y = \frac{M - M_o}{N}$$

El momento resultante puede expresarse como el producto del M_o (obtenido en el caso de piezas sin deformar) por un coeficiente ψ y la flecha igualmente multiplicando por φ la flecha correspondiente a la fuerza sin tracción:

$$M = \psi M_o \qquad f = \varphi f_o$$

En [4.18] se indican valores de ψ en función de z para el caso de sobrecarga uniforme sobre el tirante, tanto para el caso de biarticulación como de biempotramiento.

ψ_1 y φ_1 corresponden al caso de barra biempotrada
ψ_2 ψ_3 y φ_2 corresponden a los momentos de empotramiento, central y flecha, respectivamente, en el caso de barra biarticulada.

Como hemos visto, los momentos, esfuerzos cortantes y flechas son funciones no lineales de las cargas transversales puesto que dependen de la carga axil de forma no lineal. Sin embargo, en un sistema estáticamente determinado para una determinada carga axil, la respuesta es lineal con la carga transversal.

Por consiguiente, en una combinación de cargas transversales puede usarse el principio de superposición para determinar los valores de M, Q, y consiguientemente, tensiones y flechas, siempre que se tenga en cuenta la totalidad de la tracción en la evaluación de los efectos de cada carga transversal.

En los casos en que no puede obtenerse una solución para la ecuación diferencial, pueden utilizarse procedimientos de aproximaciones sucesivas partiendo de una curva de deformación prefijada.

Cuando se utiliza un solo angular, o media I como pieza a tracción, según hemos visto anteriormente, se produce una excentricidad en la unión que origina tensiones secundarias de flexión muy importantes. Como son conocidas la fuerza axil y la excentricidad puede aplicarse la fórmula de tracción compuesta de la resistencia de materiales.

Constantes para la determinación de flechas y momentos flectores máximos en barra con carga transversal.

z	φ_1	φ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_3	z	φ_1	φ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_3
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6,5	0,054	0,197	0,047	0,391	0,139
0,5	0,908	0,976	0,905	0,984	0,972	7,0	0,047	0,175	0,041	0,367	0,121
1,0	0,711	0,909	0,704	0,939	0,894	7,5	0,041	0,156	0,036	0,347	0,106
1,5	0,523	0,817	0,511	0,876	0,788	8,0	0,036	0,141	0,031	0,328	0,093
2,0	0,380	0,715	0,367	0,806	0,673	8,5	0,032	0,127	0,028	0,311	0,083
2,5	0,281	0,617	0,268	0,736	0,563	9,0	0,029	0,115	0,025	0,296	0,074
3,0	0,213	0,529	0,200	0,672	0,467	9,5	0,026	0,105	0,022	0,283	0,066
3,5	0,166	0,453	0,153	0,614	0,386	10,0	0,024	0,096	0,020	0,270	0,060
4,0	0,132	0,388	0,120	0,563	0,320	10,5	0,021	0,088	0,018	0,259	0,054
4,5	0,107	0,335	0,097	0,519	0,267	11,0	0,020	0,081	0,017	0,248	0,050
5,0	0,088	0,291	0,079	0,480	0,224	11,5	0,018	0,075	0,015	0,238	0,045
5,5	0,074	0,254	0,066	0,446	0,189	12,0	0,016	0,069	0,014	0,229	0,042
6,0	0,063	0,223	0,055	0,417	0,162	—	—	—	—	—	—

[4.18]



[4.19]

La Norma Básica MV-103 y algunas otras especificaciones, como la AASHO, mencionada anteriormente, permiten efectuar el cálculo despreciando la excentricidad, pero introduciendo un factor adicional de seguridad, que en el caso de la MV-103 es multiplicar por 1,25 la tensión actuante. Con este cálculo simplificado suelen obtenerse resultados más optimistas; es decir, valores de N* más elevados para el agotamiento de la sección, que con el cálculo elástico clásico.

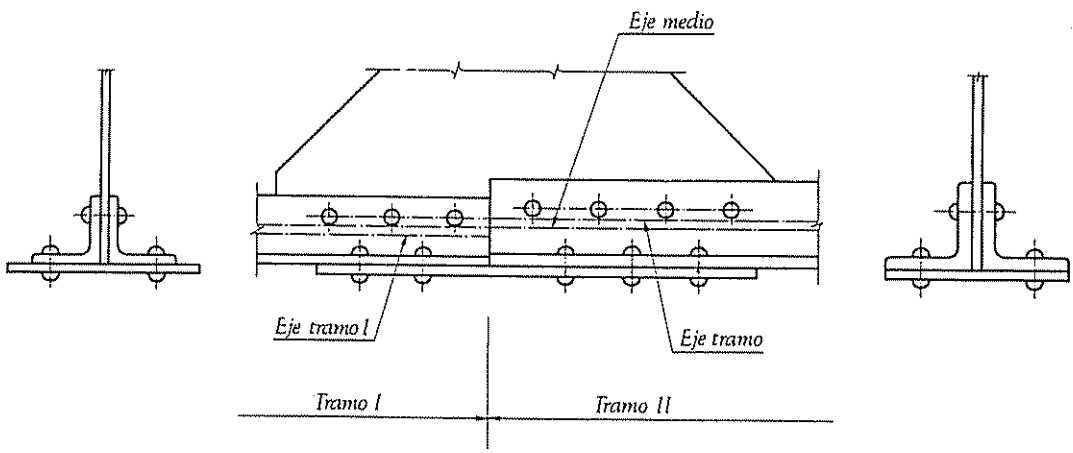
Esta aparente inseguridad se justifica teniendo en cuenta, en la pieza real, la adaptación de su directriz a la línea del esfuerzo [4.19] y la reserva de seguridad que supone el agotamiento en la fase plástica.

4.3.1. Cálculo según la Norma Básica MV-103 de las piezas solicitadas a tracción excéntrica.

La Norma Básica MV-103, dice a este respecto:

> 4.22 *Tracción excéntrica.*
>
> *La solicitación se compone de un esfuerzo normal de tracción y de un momento flector; equivale a un esfuerzo normal de tracción actuando con excentricidad Se tendrán en cuenta los momentos flectores transmitidos, los que provengan de excentricidades geométricas en las vinculaciones de extremo, o los debidos a la aplicación excéntrica de cargas.*
>
> *Puede prescindirse de la excentricidad debida a cambios de posición de la directriz en una cabeza de sección variable (figura 3,5)*[1] *si se toma como nudo el punto medio entre los baricentros de las dos secciones del cordón a un lado y otro de aquél.*
>
> *En las barras de arriostramiento cuya directriz no esté en el plano de la unión, puede prescindirse, en general, de esta excentricidad.*
>
> *El cálculo a tracción excéntrica se realizará según el artículo 4.5.*
>
> 4.5. *CALCULO DE LAS PIEZAS SOLICITADAS A TRACCION EXCENTRICA*
>
> *En todas las piezas, simples o compuestas, solicitadas a tracción excéntrica, se verificará en toda sección,*
>
> $$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leqslant \sigma_u$$
>
> *en cuya expresión son:*
>
> σ_u *Resistencia de cálculo del acero.*
> N^* *Esfuerzo normal ponderado, en la sección considerada.*
> M^* *Momento flector ponderado, en la sección considerada.*
> A_n *Area de la sección neta (artículo 3.3).*
> W_n *Módulo resistente de la sección neta (artículo 3.3).*

[1] La figura que inserta la Norma se reproduce en [4.20].



[4.20]

En las piezas de sección asimétrica se comprobará, además, la eventual tensión de compresión.

4.5.1. *Piezas unidas con tornillos de alta resistencia.*

Cuando los medios de unión de una pieza solicitada a tracción sean, exclusivamente, tornillos de alta resistencia, se verificarán las dos condiciones siguientes:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W} \leqslant \sigma_u$$

$$\sigma^* = \frac{N^* - 0{,}4\,F}{A_n} + \frac{M^*}{W_n} \leqslant \sigma_u$$

En cuyas expresiones todos los símbolos tienen la misma significación que en el artículo 4.5 y son, además:

A *Area de la sección bruta de la pieza*
W *Módulo resistente de la sección bruta, correspondiente al borde en el que el momento origina tensiones de tracción.*
F *Suma de los esfuerzos que transmiten los tornillos situados en la sección neta que se comprueba.*

4.5.2. *Barras constituidas por un solo perfil L o T.*

Cuando una pieza constituida por un angular enlazado por una de sus alas, o por un perfil T enlazado por su ala, esté sometida a tracción, se podrá prescindir del momento debido a la excentricidad de la unión, si se verifica que:

$$\sigma^* = \frac{1{,}25 \cdot N^*}{A_n} \leqslant \sigma_u$$

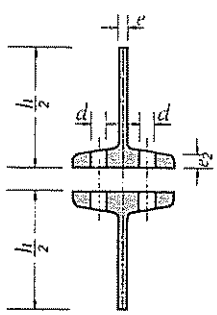
4.4. SOLICITACION DE AGOTAMIENTO A TRACCION PARA PERFILES LAMINADOS

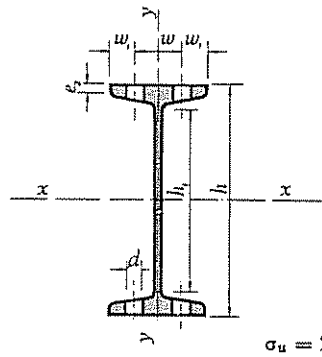
En las tablas siguientes se han indicado los valores de la carga de agotamiento a tracción de piezas formadas por un perfil simple o por ciertas combinaciones de éstos entre sí.

En el caso de medios perfiles y angulares se ha considerado la excentricidad que produce la unión cuando ésta se hace por un ala.

En este caso, para el cálculo de N*, se ha basado en el procedimiento simplificado que admite la Norma Básica MV-103. El cálculo directo teniendo en cuenta la excentricidad da valores de N* muy inferiores a los obtenidos aplicando el artículo 4.5.2 de la Norma.

Las razones que justifican esta decisión se indican en 4.1.2 y 4.3.



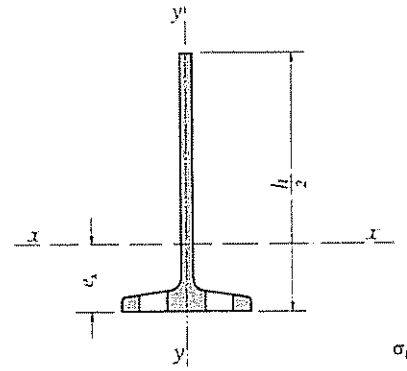


Un perfil I PN sometido a tracción

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

IPN	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t Sin descontar agujeros	Máxima N* t Descontando agujeros
80	6,4	5,83	7,57	6,09	19,7	15,8
100	6,4	6,59	10,6	8,91	27,5	23,1
120	8,4	7,49	14,2	11,7	36,9	30,4
140	11	8,53	18,2	14,5	47,3	37,7
160	11	9,29	22,8	18,7	59,3	48,6
180	13	10,19	27,9	22,6	72,5	58,7
200	13	11,09	33,4	27,7	86,8	72,0
220	13	11,99	39,5	33,4	102,7	86,8
240	17	12,89	46,1	37,3	119,8	97,0
260	17	13,86	53,3	44,0	138,6	114,4
280	17	15,03	61,0	50,9	158,6	132,3
300	21	16,10	69,0	55,6	179,4	144,5
320	21	16,99	77,7	63,5	202,0	165,1
340	21	17,92	86,7	71,7	225,4	186,4
360	23	19,19	97	79,4	252,2	206,4
380	23	19,98	107	88,6	278,2	230,3
400	23	21,01	118	98,7	306,8	356,6
450	25	23,67	147	123	382,2	319,8
500	28	26,48	179	150	465,4	390,0
550	28	29,30	212	180	551,2	468,0
600	28	31,53	254	219	660,4	569,4

4.41



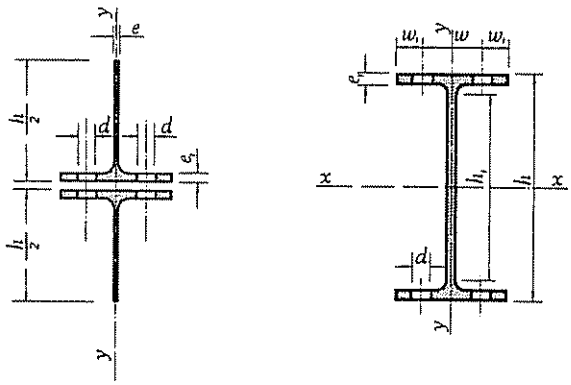
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

Medio perfil IPN sometido a tracción

IPN	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^*_t Sin excentricidad		Máxima N^*_t Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
80	6,4	5,83	3,78	3,04	9,85	7,90	7,86	6,32
100	6,4	6,59	5,30	4,45	13,75	11,55	11,02	9,26
120	8.4	7,49	7,10	5,80	18,45	15.20	14,77	12.06
140	11	8,53	9,10	7,20	23,65	18,85	18,93	14,93
160	11	9.29	11,40	9,30	29,65	24,30	23,71	19.34
180	13	10,19	13,90	11,30	36,25	29,35	28,91	23,50
200	13	11,09	16,70	15.80	43,40	36,00	34,74	28,70
220	13	11,99	19,70	16,70	51,35	43,40	41.08	34,74
240	17	12,89	23,00	18,60	59,90	48,50	47,92	38.80
260	17	13,86	26,60	22.00	69,30	57,20	55,44	45,76
280	17	15,03	30,50	25,40	79,30	66,15	63,44	52,83
300	21	16,10	34,50	27,80	89,70	72,25	71,76	57,82
320	21	16,99	38.80	31,70	101,00	82,55	80,70	65,94
340	21	17,92	43,30	35,80	112,70	93,20	90.06	74,46
360	23	19,19	48,50	39,70	126,10	103,20	100,88	82,58
380	23	19,98	53,50	44,30	139,10	115,15	111,28	92,14
400	23	21,01	59,00	49,30	153,40	128,30	122.72	102,54
450	25	23,67	73,50	61,50	191,10	159,90	152,88	127,42
500	28	26,48	89,50	75,00	232,70	195,00	186,16	156.00
550	28	29,30	106,00	90,00	275,60	234,00	220,48	187,20
600	28	31,53	127,00	109,50	330,20	284,70	264,16	227,76

4.4 2

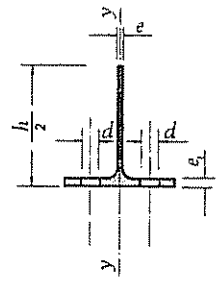


Un perfil IPE sometido a tracción

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

IPE	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^* t	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
80	6,4	5,2	7,64	6,31	19,8	16,4
100	8,4	5,7	10,3	8,38	26,8	21,8
120	8,4	6,3	13,2	11,1	34,3	28,9
140	11	6,9	16,4	13,4	42,6	34,8
160	13	7,4	20,1	16,3	52,2	42,4
180	13	8,0	23,9	19,7	62,1	51,2
200	13	8,5	28,5	24,1	74,1	62,7
220	17	9,2	33,4	27,1	86,8	70,5
240	17	9,8	39,1	32,4	102	84,2
270	21	10,2	45,9	37,3	119	97
300	23	10,7	53,8	44,0	140	114
330	25	11,5	62,6	51,1	163	133
360	25	12,7	72,7	60,0	189	156
400	28	13,5	84,5	69,4	220	180
450	28	14,6	98,8	82,4	257	214
500	28	16,0	116	98,1	302	255
550	28	17,2	134	115	348	299
600	28	19,0	156	135	406	351

4.4 3



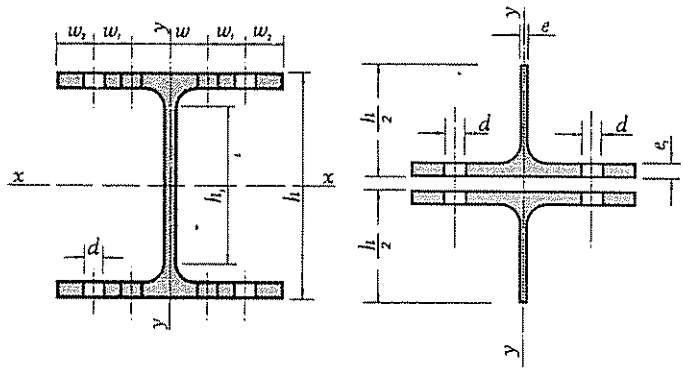
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

Medio perfil I PE sometido a tracción

I PE	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t Sin excentricidad		Máxima N* t Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
80	6,4	5,2	3,82	3,15	9,90	8,20	7,95	6,55
100	8,4	5,7	5,15	4,19	13,40	10,90	10,71	8,72
120	8,4	6,3	6,60	5,60	17,20	14,60	13,76	11,68
140	11	6,9	8,20	7,70	21,30	20,00	17,04	16,00
160	13	7,4	10,10	8,20	26,30	21,30	21,04	17,04
180	13	8,0	12,00	9,90	31,20	25,70	24,96	20,59
200	13	8,5	14,30	12,10	37,20	31,50	29,76	25,20
220	17	9,2	16,70	13,50	43,40	35,10	34,72	28,08
240	17	9,8	19,50	16,20	50,70	42,10	40,56	33,68
270	21	10,2	23,00	18,60	59,80	48,40	47,84	38,72
300	23	10,7	26,90	22,00	69,90	57,20	55,92	45,76
330	25	11,5	31,30	25,50	81,40	66,30	65,12	53,04
360	25	12,7	36,30	30,00	94,40	78,00	75,52	62,40
400	28	13,5	42,20	34,70	109,70	90,20	87,76	72,16
450	28	14,6	49,40	41,20	128,40	107,10	102,72	85,70
500	28	16,0	58,00	49,00	150,80	127,40	120,64	101,92
550	28	17,2	67,00	57,50	174,20	149,50	139,36	119,60
600	28	19,0	78,00	67,50	202,80	175,50	162,24	140,40

4.4.4

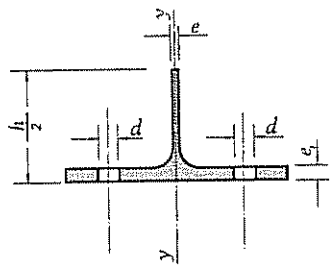


Un perfil HEB sometido a tracción

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

HEB	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^* t Sin descontar agujeros	Máxima N^* t Descontando agujeros
120	17	11	34	26,5	88,4	68,9
140	21	12	43	32,9	112	85,5
160	23	13	54,3	42,3	141	110
180	25	14	65,3	51,3	170	133
200	25	15	78,1	63,1	203	164
220	25	16	91,0	75,0	237	195
240	25	17	106	89	276	231
260	25	17,5	118	101	307	263
280	25	18	131	113	341	294
300	25	19	149	130	387	338
320	25	20,5	161	141	419	367
340	25	21,5	171	150	445	390
360	25	22,5	181	159	471	413
400	25	24	198	174	515	452
450	25	26	218	192	567	499
500	28	28	239	208	621	541
550	28	29	254	222	660	577
600	28	30	270	236	702	614

4.4 5

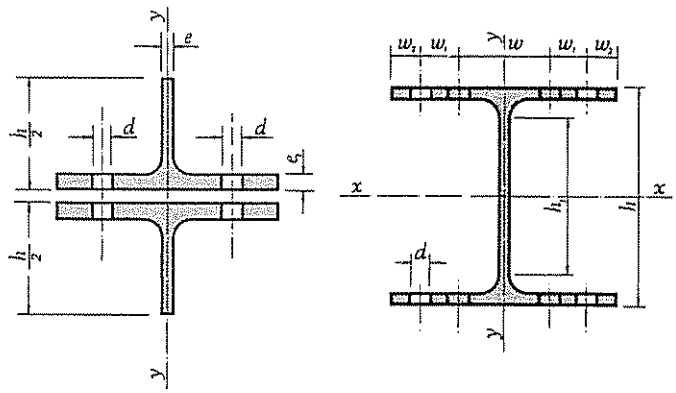


Acero A 42

Medio perfil HEB sometido a tracción $\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

HEB	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^* t			
					Sin excentricidad		Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
120	17	11	17,00	13,20	44,20	34,30	35,36	27,44
140	21	12	21,50	16,40	55,90	42,60	44,72	34,08
160	23	13	27,10	21,10	70,50	54,90	56,40	43,92
180	25	14	32,60	25,60	84,80	66,60	67,84	53,28
200	25	15	39,00	31,50	101,40	81,90	81,12	65,52
220	25	16	45,50	37,50	118,30	97,50	94,64	78,00
240	25	17	53,00	44,50	137,80	115,70	110,24	92,56
260	25	17,5	59,00	50,50	153,40	131,30	122,72	105,04
280	25	18	65,50	56,50	170,30	146,90	136,24	117,52
300	25	19	74,50	65.00	193,70	169,00	154,96	135,20
320	25	20,5	80,50	70,50	209,30	183,30	167,44	146,64
340	25	21,5	85,50	75,00	222,30	195,00	177,84	156,00
360	25	22,5	90,50	79,50	235,30	206,70	188,24	165,36
400	25	24	99,00	87,00	257,40	226,20	205,92	180,96
450	25	26	109,00	96,00	283,40	249,60	226,72	199,68
500	28	28	119,50	104,00	310,70	270,40	248,56	216,32
550	28	29	127,00	111,00	330,20	288,60	264,16	230,88
600	28	30	135,00	118,00	351,00	306,80	280,80	245,44

4.4 6

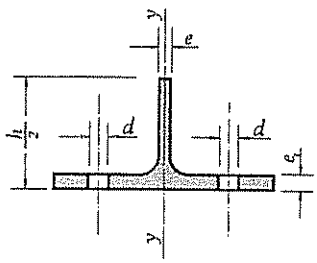


Acero A 42

Un perfil HEA sometido a tracción $\sigma_u = 2\,600$ **Kg/cm²**

HEA	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^*_t Sin descontar agujeros	Máxima N^*_t Descontando agujeros
120	17	8	25,3	19,9	65,8	51,7
140	21	8,5	31,4	24,3	81,6	63,2
160	23	9	38,8	30,5	100,9	79,3
180	25	9,5	45,3	35,8	117,8	93,1
200	25	10	53,8	43,8	139,9	113,9
220	25	11	64,3	53,3	167,2	138,6
240	25	12	76,8	64,8	199,7	168,5
260	25	12,5	86,8	74,3	225,7	193,2
280	25	13	97,3	84,3	253	219,2
300	25	14	113	99	293,8	257,4
320	25	15,5	124	108,5	322,4	282,1
340	25	16,5	133	116,5	345,8	302,9
360	25	17,5	143	125,5	371,8	326,3
400	25	19	159	140	413,4	364
450	25	21	178	157	462,8	408,2
500	28	23	198	172,2	514,8	447,7
550	28	24	212	185,1	551,2	481,3
600	28	25	226	198	587,6	514,8

4.4.7



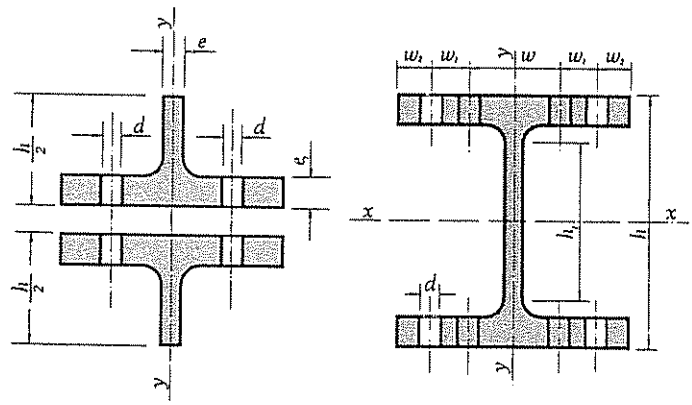
Acero A 42

Medio perfil HEA sometido a tracción

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

HEA	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t			
					Sin excentricidad		Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
120	17	8,00	12.70	10,00	33,00	26,00	26,40	20,80
140	21	8,50	15,70	12.10	40,80	31,50	32,64	25,20
160	23	9,00	19,40	15,20	50,40	39,50	40.32	31,60
180	25	9,50	22,60	17,90	58,80	46,50	47,04	37,20
200	25	10,00	26.90	21,90	69,90	56.90	55,92	45,52
220	25	11,00	32,20	26,60	83,70	69,20	66,96	55,36
240	25	12,00	38.40	32,40	99,80	84,20	79,84	67,36
260	25	12.50	43,40	37,10	112.80	96,50	90,24	77.20
280	25	13,00	48,60	42,10	126,40	109,50	101,10	87,60
300	25	14,00	56,70	49.00	147,40	127,40	117,92	101,92
320	25	15,50	62,20	54,50	161,70	141.70	129,36	113,36
340	25	16,50	66,70	58,50	173,40	152,10	138,72	121,68
360	25	17,50	71,40	63,00	185,60	163,80	148,48	131,04
400	25	19,00	79,50	70,00	206,70	182,00	165,36	145.60
450	25	21,00	89,00	78,50	231,40	204,10	185,12	163,28
500	28	23,00	98,80	86.00	256,90	223.60	205,52	
550	28	24,00	106,00	92,50	275.60	240,50		
600	28	25,00	113,00	99.00	293.80	257,40		

4.4 8

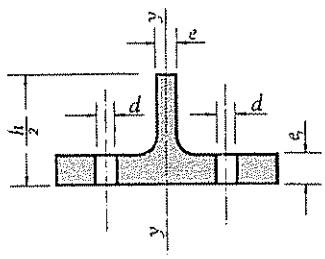


Un perfil HEM sometido a tracción centrada.

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ **Kg/cm²**

HEM	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^* t Sin descontar agujeros	Máxima N^* t Descontando agujeros
120	17	21	66,4	52,1	172,6	135,5
140	21	22	80,6	61,2	209,6	161,5
160	23	23	97,1	75,9	252,5	197,3
180	25	24	113	89	293,8	231,4
200	25	25	131	106	340,6	275,6
220	25	26	149	123	387,4	319,8
240	25	32	200	168	520	436,8
260	25	32,5	220	187,5	572	487,5
280	25	33	240	207	624	538,2
300	25	39	303	264	787,8	686,4
320	25	40	312	272	811,2	707,2
340	25	40	316	276	821,6	717,6
360	25	40	319	279	829,4	725,4
400	25	40	326	286	847,6	743,6
450	25	40	335	295	871	767
500	28	40	344	299,2	894,4	777,9
550	28	40	354	309,2	920,4	803,9
600	28	40	364	319,2	946,4	829,9

4.4 9



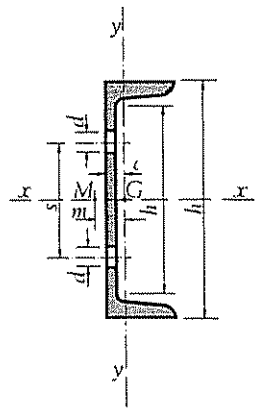
Acero A 42

Medio perfil HEM sometido a tracción

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

HEM	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t Sin excentricidad		Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
120	17	21	33,20	26,00	86,30	67,60	69,04	54,08
140	21	22	40,30	31,00	104,80	80.60	83,84	64,48
160	23	23	48,50	37,90	126,10	98,50	100,88	78,80
180	25	24	56,50	44,50	146,90	115,70	117,52	92,56
200	25	25	65.60	53,00	170,60	137.80	136,48	110,24
220	25	26	74,50	61.50	193,70	159.90	154,96	127,92
240	25	32	99,80	84,00	259,50	218,40	207,60	174,72
260	25	32,50	110,00	93,70	286.00	243,60	228.80	194,88
280	25	33	120,00	103,50	312.00	269,10	249,60	215,28
300	25	39	151,50	132.00	393,90	343,20	315,12	274,56
320	25	40	156,00	136,00	405,60	353,60	324,48	282.88
340	25	40	158,00	138,00	410.80	358.80	328,64	287,04
360	25	40	159,50	139,50	414,70	362,70	331,76	290,16
400	25	40	163,00	143.00	423.80	371,80	339.04	297,44
450	25	40	167,50	147,50	435,50	383,50	348,40	306,80
500	28	40	172.00	149,60	447,20	389,00	357,76	311,20
550	28	40	177.00	154,60	460,20	402,00	368,16	321,60
600	28	40	182.00	159,60	473,20	415.00	378.56	332.00

4.4 10



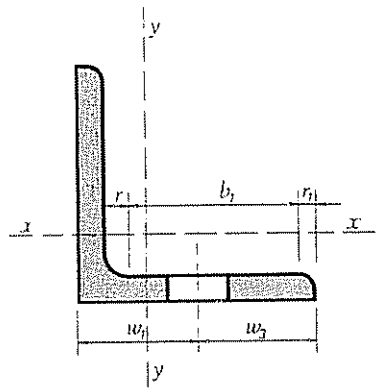
Acero A 42

Un perfil UPN sometido a tracción

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

UPN	Diámetro d mm		e_1 mm		A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²		Máxima N* t			
								Sin excentricidad		Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
	Alas	Alma	Alas	Alma		Alas	Alma	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
80	13	6,4	8	6	11,00	8,92	10,23	28,60	23,20	22,88	21,28
100	13	8,4	8,5	6	13,50	11,29	12,50	35,10	29,30	28,08	26,00
120	17	13	9	7	17,00	13,94	15,18	44,20	36,20	35,36	31,57
140	17	13	10	7	20,40	17,00	18,58	53,00	44,20	42,43	38,65
160	21	17	10,5	7,5	24,00	19,59	21,45	62,40	50,90	49,92	44,62
180	21	21	11	8	28,00	23,38	24,64	72,80	60,80	58,24	51,25
200	23	23	11,5	8.5	32,20	26,91	28,29	83,70	69,90	66,98	58,84
220	23	23	12,5	9	37,40	31,65	33,26	97,20	82,30	77,79	69,18
240	25	25	13	9,5	42,30	35,80	37,55	110,00	93,10	87,98	78,10
260	25	25	14	10	48,30	41,30	43,30	125.60	107,40	100,46	90,06
280	25	25	15	10	53,30	45,80	48,30	138,60	119,10	110,86	100,46
300	25	25	16	10	58,80	50,80	53,80	152,90	132,10	122,30	111,90

4.4 11



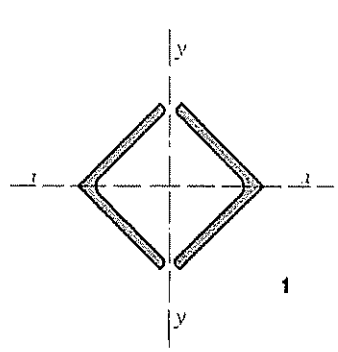
Un perfil L sometido a tracción

Acero A 42

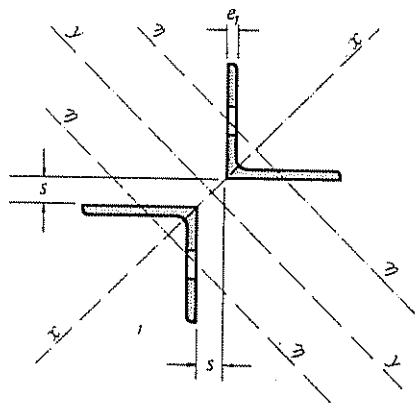
$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

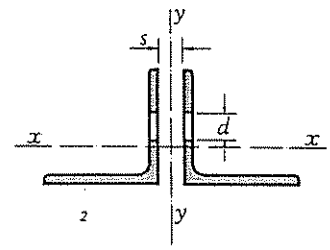
L	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t Sin excentricidad		Máxima N* t Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
50 × 5	13	5	4,80	4,15	12,48	10,79	9,98	8,63
50 × 6	13	6	5,69	4,91	14,79	12,76	11,83	10,12
60 × 5	17	5	5,82	4,97	15,13	12.92	12,10	10,33
60 × 6	17	6	6,91	5,89	17,96	15,31	14,37	12,25
60 × 8	17	8	9,03	7,67	23,47	19,94	18.78	15.95
70 × 6	21	6	8,13	6,87	21.13	17,86	16,91	14,28
70 × 7	21	7	9,40	7,93	24,44	20,61	19,55	16,49
70 × 8	21	8	10,60	8,92	27,56	23,19	22,04	18.55
80 × 8	23	8	12,3	10,46	31,9	27,19	25,58	21,75
80 × 10	23	10	15,1	12,80	39,3	33,28	31,40	26,62
90 × 8	25	8	13,9	11,90	36,1	30,9	28,91	24,75
90 × 10	25	10	17,1	14,60	44.5	38,0	35,56	30,36
100 × 8	25	8	15,5	13,50	40,3	35,1	32.24	28,08
100 × 10	25	10	19.2	16,7	49,9	43,4	39,93	34,73
120 × 10	25	10	23,2	20.7	60,3	53,8	48,25	43,05
120 × 12	25	12	27,5	24,5	71,5	63,7	57,20	50.96
150 × 12	28	12	34,8	31,44	90,5	81,7	72,38	65,39
150 × 15	28	15	43,0	38,8	111,8	100,9	89,44	80,70
180 × 15	28	15	52,1	47,9	135,5	124,5	108,36	99,63
200 × 16	28	16	61.8	57,32	160,7	149,0	128,54	119,22
200 × 18	28	18	69,1	64,06	179,7	166,6	143,72	133,24

4.4 12



1





2

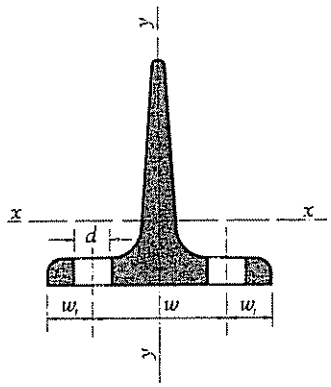
Dos perfiles L sometidos a tracción

Acero A 42
$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

L	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N* t Sin excentricidad [1]		Máxima N* t Con excentricidad [2] $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
50 × 5	13	5	9,60	8,30	24,90	21,50	19,92	17,20
50 × 6	13	6	11,40	9,80	29,60	25,50	23,68	20,40
60 × 5	17	5	11,60	9,90	30,10	25,70	24,08	20,56
60 × 6	17	6	13,80	11,80	35,90	30,70	28,72	24,56
60 × 8	17	8	18,10	15,30	47,00	39,80	37,60	31,84
70 × 6	21	6	16,20	13,70	42,10	35,60	33,68	28,48
70 × 7	21	7	18,80	15,80	48,90	41,10	39,12	32,88
70 × 8	21	8	21,20	17,80	55,10	46,30	44,08	37,04
80 × 8	23	8	24,60	20,90	63,90	54,30	51,12	43,44
80 × 10	23	10	30,20	25,60	78,50	66,50	62,80	53,20
90 × 8	25	8	27,80	23,80	72,30	61,90	57,84	49,52
90 × 10	25	10	34,20	29,20	88,90	75,90	71,12	60,72
100 × 8	25	8	31,00	27,00	80,60	70,20	64,48	56,16
100 × 10	25	10	38,40	33,40	99,80	86,80	79,84	69,44
120 × 10	25	10	46,40	41,40	120,60	107,60	96,48	86,08
120 × 12	25	12	55,00	49,00	143,00	127,40	114,40	101,92
150 × 12	28	12	69,60	62,90	180,90	163,50	144,72	130,80
150 × 15	28	15	86,00	77,60	223,60	201,70	178,88	161,36
180 × 15	28	15	104,20	95,80	270,90	249,10	216,72	199,28
200 × 16	28	18	123,60	114,60	321,30	297,90	257,04	238,32
200 × 18	28	18	138,20	128,10	359,30	333,00	287,44	266,40

[1] Disposición de angulares 1
[2] Disposición de angulares 2

4.4 13



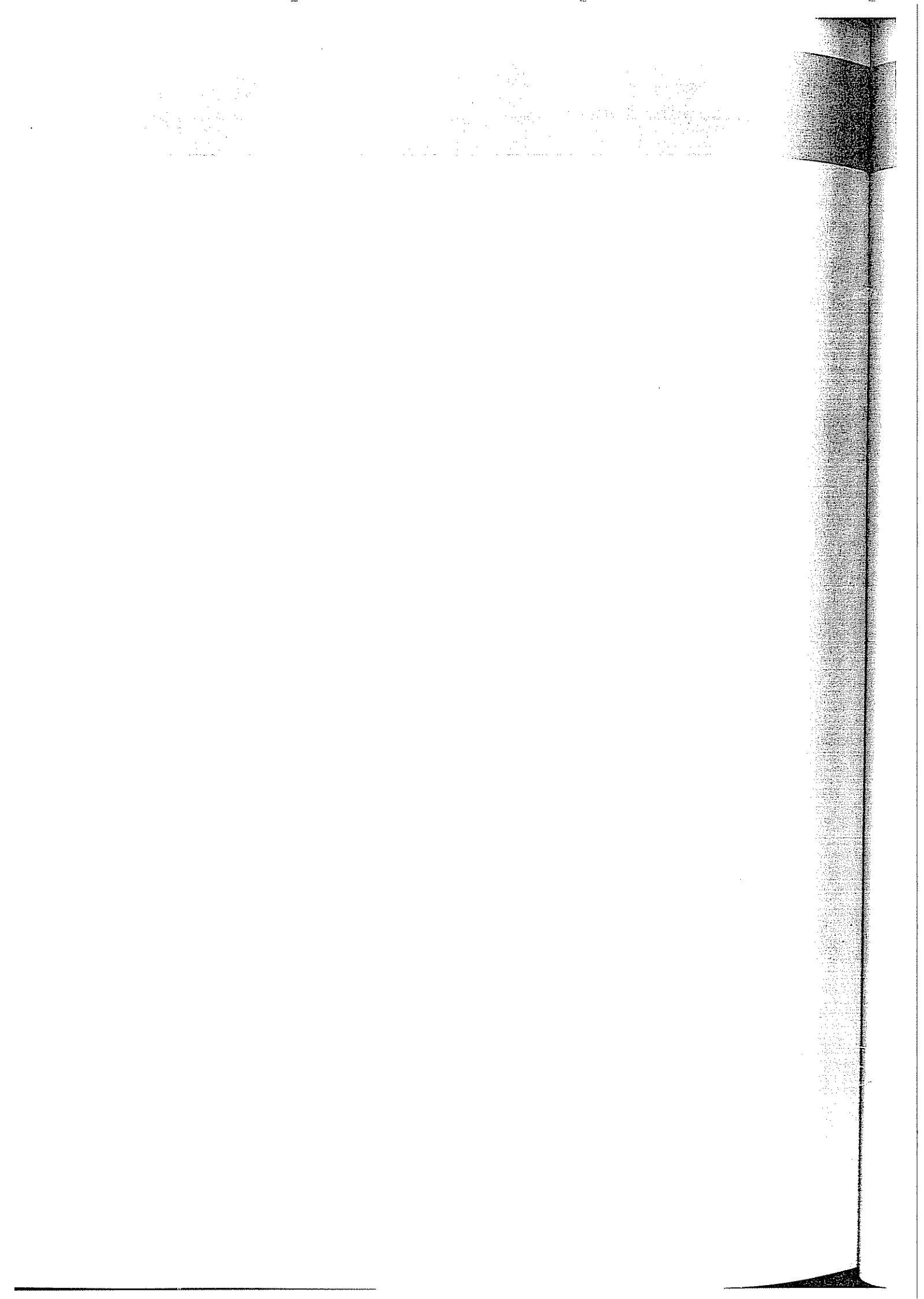
Un perfil T sometido a tracción centrada

Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ Kg/cm²

T	Diámetro d mm	e_1 mm	A Sección bruta cm²	A_n Sección neta cm²	Máxima N^*_t Sin excentricidad		Máxima N^*_t Con excentricidad $N^* = A\sigma_u/1{,}25$	
					Sin descontar agujeros	Descontando agujeros	Sin descontar agujeros	Descontando agujeros
25 × 25	3,2	3,5	1,64	1,42	4,20	3,70	3.36	2,96
30 × 30	4,3	4	2.26	1,92	5,90	5,00	4,72	4.00
35 × 35	4,3	4,5	2,97	2,58	7,70	6,70	6,16	5,86
40 × 40	6,4	5	3,77	3,13	9,80	8,10	7,84	6,48
45 × 45	6,4	5,5	4,67	3.97	12,10	10,30	9,68	8,24
50 × 50	6,4	6	5,66	4,89	14,70	12,70	11.76	10,16
60 × 60	8,4	7	7,94	6,76	20,60	17,60	16,48	14.08
70 × 70	11	8	10,60	8,84	27.50	23.00	22.00	18,40
80 × 80	11	9	13.60	11,62	35,30	30,20	28,24	24,16
100 × 100	13	11	20,90	18,04	54,30	46,90	43,44	37,52

4.4 14



5. Piezas sometidas a flexión

5.1. Diferentes tipos de flexión de piezas prismáticas

5.2. Vigas de alma llena

5.3. Vigas de celosía

5.4. Vigas aligeradas

5.5. Vigas carril de puente grúa

5.6. Tablas para el dimensionamiento de perfiles laminados a flexión simple

Apéndice I. Torsión de piezas prismáticas

Apéndice II. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases específicas para su cálculo

piezas sometidas a flexión

TABLA A 2-1

Tensiones normales	Sección asimétrica sometida a un momento de eje contenido en el plano XY.	$\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y$ $\sigma_z = \frac{M_x (I_y\, y - I_{xy}\, x) - M_y (I_{xy}\, y - I_x\, x)}{I_x I_y - I^2_{xy}}$	
	Sección asimétrica sometida a un momento de eje contenido en el plano XY, siendo los ejes X e Y principales de inercia.	$\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y$ $\sigma_z = \frac{M_x\, y}{I_x} + \frac{M_y\, x}{I_y}$	$I_{xy} = 0$ Este caso es también el de una sección que sea simétrica respecto a los ejes X e Y.
	Sección simétrica respecto a un eje normal al del momento.	$\vec{M} = \vec{M}_x \qquad \vec{M}_y = 0$ $\sigma_z = \frac{M_x\, y}{I_x}$	$I_{xy} = 0$ Eje Y = eje de simetría.
Tensiones tangenciales	Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante contenido en el plano XY $\vec{T} = \vec{T}_x + \vec{T}_y$	$\tau_o = \frac{-T_y}{t_o (I_x I_y - I^2_{xy})} \left[I_y \int_o^s y\, t\, ds - I_{xy} \int_o^s x\, t\, ds \right] +$ $+ \frac{-T_x}{t_o (I_x I_y - I^2_{xy})} \left[I_{xy} \int_o^s y\, t\, ds - I_x \int_o^s x\, t\, ds \right]$	Se supondrá que τ_o es paralela a la tangente a la línea media de la sección en el punto considerado
	Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante contenido en el plano XY, siendo los ejes X e Y principales de inercia. $\vec{T} = \vec{T}_x + \vec{T}_y$	t_o = espesor de la sección en el punto considerado $\tau_o = -\frac{T_y S_x}{t_o I_x} - \frac{T_x S_y}{t_o I_y}$	$I_{xy} = 0$ $S_x = \int_o^s y\, t\, ds$ $S_y = \int_o^s x\, t\, ds$
	Sección abierta de débil espesor sometida a un esfuerzo cortante paralelo a un eje de simetría $\vec{T} = \vec{T}_x$	$\tau_o = -\frac{T_x S_y}{t_o I_y}$	$\vec{T}_y = 0$ $I_{xy} = 0$
	Secciones en I y en simple cajón sometidas a un esfuerzo cortante paralelo a un eje de simetría $\vec{T} = \vec{T}_x$	$\tau = -\frac{T_x}{A_a}$	$\vec{T}_y = 0$ En las secciones en I la platabanda más pequeña debe representar al menos el 15 por 100 de la sección total
	Sección cerrada de débil espesor de pared	$\tau = \tau_o + \frac{\tau_1}{t}$ siendo: $\tau_1 = \frac{\int \tau_o ds}{\int \frac{ds}{t}}$	τ_o = Tensión tangencial en la sección supuesta abierta mediante un corte ficticio. τ_1 = Tensión tangencial complementaria

5. PIEZAS SOMETIDAS A FLEXION

5.1. DIFERENTES TIPOS DE FLEXION DE PIEZAS PRISMATICAS

Una pieza está sometida a flexión, cuando está solicitada por un sistema de fuerzas, o de fuerzas y momentos, perpendiculares a su directriz y en un plano que contiene o es paralelo a dicha directriz. Los esfuerzos que solicitan a una sección de la pieza son un momento flector y un esfuerzo cortante (este último puede ser cero en el caso de flexión pura). Según las características de la sección de la pieza y la posición relativa, con respecto al eje de la pieza del plano que contiene las fuerzas solicitantes, se producen diferentes tipos de solicitación por flexión. Esencialmente puede distinguirse la flexión recta o flexión sin torsión y la flexión alabeada que va acompañada de torsión.

El caso más elemental, básicamente estudiado por la resistencia de materiales, es el de una pieza prismática con al menos un plano de simetría solicitada por fuerzas y/o momentos contenidos en dicho plano.

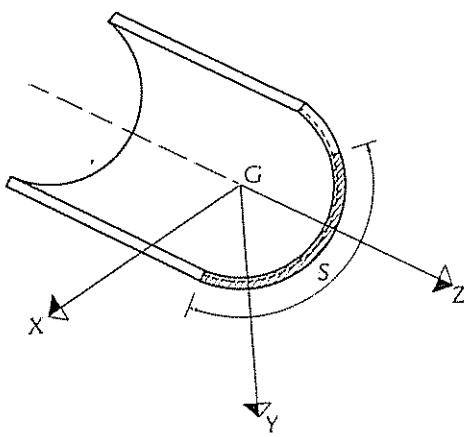
En el caso de secciones con un plano de simetría, cuando las cargas solicitantes no están contenidas en dicho plano, se produce una flexión asimétrica o esviada. En este tipo de flexión la fibra neutra no es perpendicular al plano de cargas y la viga no flecta en el plano que contiene las cargas, sino en un plano perpendicular al de la fibra neutra.

En el anejo número 2 de la Norma Básica MV-103 [5.1] se resumen las fórmulas de resistencia de materiales más usuales para el cálculo de tensiones normales y tangenciales según distintos tipos de sección y posición en relación a la misma de los esfuerzos M* y T* solicitantes. Se utilizará el triedro de referencia [5.2] con el origen en el baricentro de la sección.

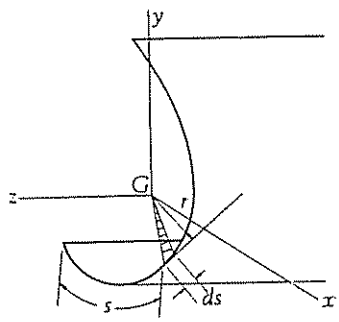
5.1.1. Centro de esfuerzos cortantes.

Si en el caso de una pieza solicitada a flexión pura (momento flector constante a lo largo de la directriz) se desplaza arbitrariamente el plano de solicitación paralelamente a sí mismo, el estado de deformación de la viga no se altera. Por el contrario, si además del momento flector solicitante existe un esfuerzo cortante, la posición del plano de solicitación no es indiferente: desplazándolo se hace variar la distancia de las fuerzas exteriores al eje de la viga y se introduce por ello un momento de torsión.

Si la sección de la viga tiene un eje principal de inercia que es también de simetría, es necesario que el plano de solicitación (o sea, el de actuación de las fuerzas exteriores) contenga al eje de simetría para que no se produzca torsión.



[5.2]



[5.3]

Si el eje principal de inercia no es un eje de simetría del perfil, se comprueba experimentalmente que un sistema de fuerzas actuando en un plano que contiene a este eje, producen torsión al mismo tiempo que flexión.

El problema es, pues, determinar el eje por el cual debe pasar el plano de solicitación para que la pieza flecte sin torsión. Este eje es el lugar geométrico de todos los centros de esfuerzos cortantes de las secciones transversales de la pieza y algunos autores le llaman eje de cizallamiento y, como veremos más adelante, es también el eje de torsión de la pieza.

Para determinar la posición de este centro M, se puede proceder de la siguiente forma:

Se supone que las fuerzas exteriores están aplicadas en un plano que contiene el eje de cizallamiento, en estas condiciones se determina la distribución de esfuerzos tangenciales en una sección transversal y la posición de su resultante. Ya que por definición no existe torsión, el esfuerzo cortante exterior debe equilibrar esta resultante y debe tener la misma línea de acción. Resulta, por tanto, que el centro de esfuerzos cortantes debe encontrarse sobre la línea de acción de la resultante de los esfuerzos cortantes interiores.

Esta propiedad proporciona el procedimiento de la obtención del centro de esfuerzos cortantes.

En secciones doblemente simétricos, el centro de esfuerzos cortantes coincide con el de simetría.

En secciones con un eje de simetría, el centro de esfuerzos cortantes se encuentra sobre este eje de simetría y su localización puede obtenerse hallando la línea de acción de la resultante de las tensiones interiores producidas por un esfuerzo cortante perpendicular a dicho eje de simetría. En el caso general se hallan las resultantes para esfuerzos cortantes, según cada uno de los ejes X e Y de la sección. El punto de intersección de las resultantes respectivas es el centro de esfuerzos cortantes.

Las coordenadas del centro de esfuerzos cortantes en su expresión general, son refiriéndonos a [5.3]

$$x_o = \frac{1}{Q_y}\int_o^m \tau\, e\, r\, ds = \frac{1}{I_x I_y - I_{xy}^2}\left[- I_y \int_o^m r\, ds \int_o^s y\, e\, ds + I_{xy} \int_o^m r\, ds \int_o^s x\, e\, ds \right]$$

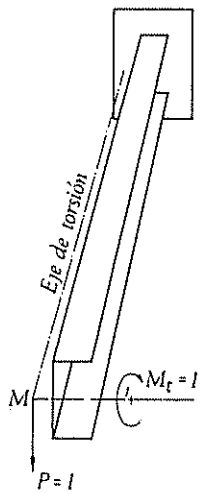
$$y_o = - \frac{1}{Q_x}\int_o^m \tau\, e\, r\, ds = \frac{1}{I_x I_y - I^2_{xy}}\left[I_x \int_o^m r\, ds \int_o^s x\, e\, ds - I_{xy} \int_o^m r\, ds \int_o^s y\, e\, ds \right]$$

m Longitud total de la línea media de la sección recta.

r Distancia del centro de gravedad a la tangente en un punto cualquiera a esta línea media y contado positivamente si un vector coincidente con la tangente y dirigido en dirección de las s crecientes da un momento positivo con relación a G (centro de gravedad y origen de coordenadas).

e Espesor de la sección.

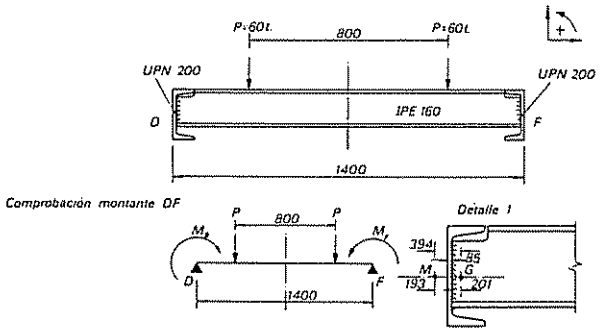
En [3 38] del capítulo 3, figuran las coordenadas de centro de esfuerzos cortantes para algunas secciones abiertas, así como los valores correspondientes del módulo de torsión y de alabeo.



[5.4]

5.1 2. EJEMPLO DE APLICACION

Comprobar la vigueta del esquema adjunto teniendo en cuenta los momentos de coacción que tiene que absorber debido a la torsión de los perfiles UPN.



Para hallar la posición del centro de esfuerzos cortantes, podría emplearse la fórmula de **5.1 2,** sin embargo la distancia entre éste y el centro de gravedad, así como la posición del centro de gravedad, viene dada en 1.1.6 del tomo primero de este Prontuario. La excentricidad de la reacción será:

$$m - c = 3{,}94 - 2{,}01 = 1{,}93 \text{ cm}$$

Refiriéndonos al eje del alma, y teniendo en cuenta que la rigidez a torsión de la UPN es despreciable frente a la rigidez de flexión del perfil IPE, se tiene:

$$M_D = -6 \left(1{,}93 - \frac{0{,}85}{2}\right) \times 10^{-2} = -0{,}0903 \text{ m} \cdot \text{t} = -M_F$$

Despreciable frente al momento positivo producido por las cargas

$$M = 6 \times 0{,}30 = 1{,}80 \text{ m} \cdot \text{t}$$

Propiedad fundamental del centro de esfuerzos cortantes.

El centro de esfuerzos cortantes de una sección es también el centro de torsión de la misma. La propiedad se demuestra teniendo en cuenta el teorema de reciprocidad de Maxwell. Para fijar ideas consideremos una ménsula constituida por un perfil U [5.4].

Una carga vertical unitaria P aplicada en el centro de esfuerzos cortantes M de la sección libre de la ménsula produce una flexión sin torsión de la misma, lo que equivale a decir que la rotación ψ_{1M} de un punto 1 cualquiera, unido rígidamente a la sección extrema es nula. Según el principio de la reciprocidad de Maxwell, la aplicación de un par de torsión unitaria en el punto 1, provoca un desplazamiento vertical del punto M, δ_{M1} igual a ψ_{1M}, es decir, cero.

El centro de esfuerzos cortantes M que no se desplaza cuando se somete al perfil a torsión, ya que por simetría tampoco existe desplazamiento horizontal, es por consiguiente el centro de torsión de la sección, y el eje que contiene los centros de esfuerzos cortantes de las diferentes secciones es el eje de torsión de la pieza.

5.1 2. **Flexión coaccionada.**

En todos los casos en que el plano de cargas no coincide con unos de los planos principales de la sección, la viga flecta en un plano diferente del de las cargas.

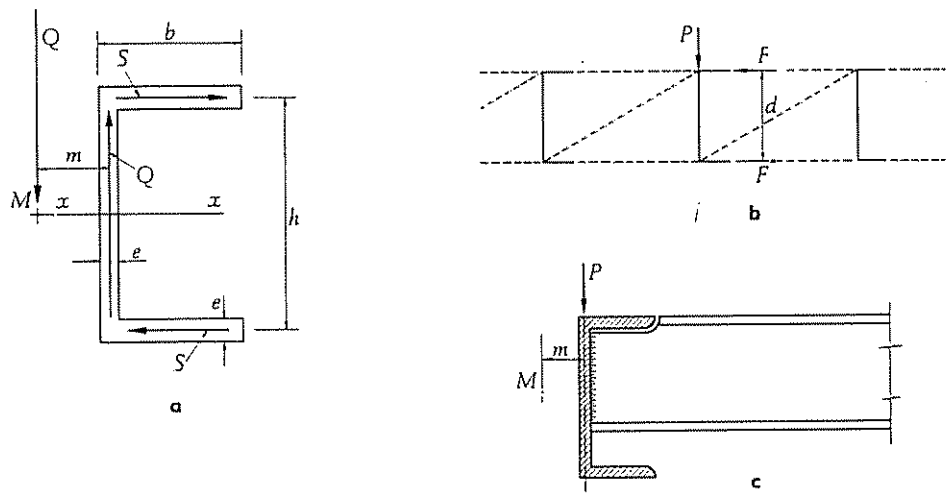
Además, hemos visto anteriormente, que para que no se produzca torsión. es preciso que el plano de cargas pase por el centro de esfuerzos cortantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, una pieza está sometida a flexión simple o recta (flexión sin torsión y con una deformada contenida en un plano paralelo a la de las cargas) solamente en el caso en que el plano de cargas sea paralelo a un plano principal de inercia y pase por el centro de esfuerzos cortantes.

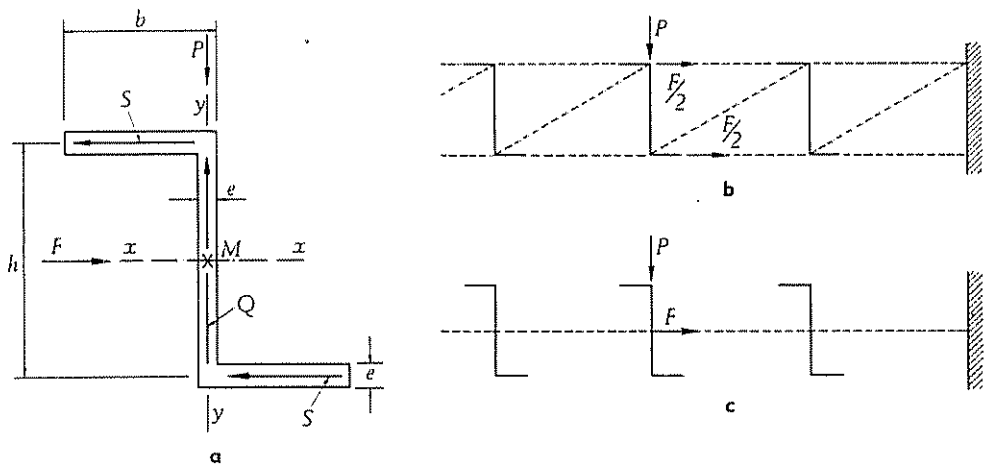
Si el plano de las cargas pasa por el centro de esfuerzos cortantes pero no es paralelo a un plano principal, las flexiones son oblicuas, produciéndose una torsión secundaria debido a que las reacciones en los apoyos no son coplanarias con las cargas y tiene que existir un momento torsor adicional de equilibrio.

Estas torsiones son secundarias y no suelen tenerse en cuenta.

Todo ello se refiere a vigas cuya flexión no está coaccionada en ningún plano, sin embargo, en muchos casos en que la flexión tendría una componente lateral o vendría acompañada de torsión, se adoptan disposiciones constructivas de manera que las



[5.5]



[5.6]

únicas deformaciones posibles son las que tiene lugar en el plano de las cargas. Se produce así una flexión coaccionada de la pieza, en la que ésta flecta en el plano de las cargas y le son aplicables las fórmulas del cálculo de tensiones y flechas de la flexión recta. Los esfuerzos de coacción deben ser contrarrestados y resistidos por los elementos de arriostramiento.

En el caso, por ejemplo, de una U, solicitada por fuerzas contenidas en el plano del alma y arriostrada horizontalmente en cada punto de aplicación de la carga, el momento que debe ser absorbido por el arriostramiento es Pm, siendo m la distancia entre el eje del alma y el centro de esfuerzo cortantes, cuyo valor refiriéndonos a [5.5a] es

$$m = \frac{b^2\, h^2\, e}{4\, I_x}$$

Este momento debe ser resistido por el perfil de [5.5b] o se descompone en dos fuerzas

$$F = \frac{Pm}{d}$$

en la disposición [5.5c].

El segundo caso a considerar es el de la flexión producida por fuerzas contenidas en un plano que pasa por el centro de esfuerzos cortantes pero que es oblicuo a los planos principales de inercia.

La flexión tiene lugar en el plano de las cargas solo si por arriostramientos adecuados se le obliga a ello.

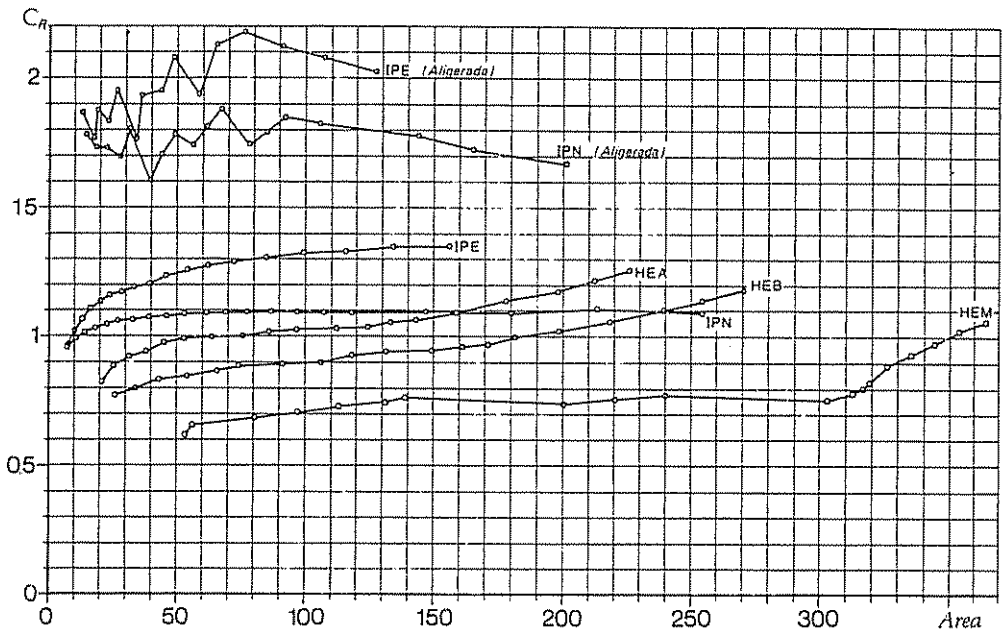
Como ejemplo tomamos el esquematizado en [5.6]. La resultante de los esfuerzos cortantes en cada ala es

$$S = \frac{P\, b^2\, e\, h}{4\, I_x}$$

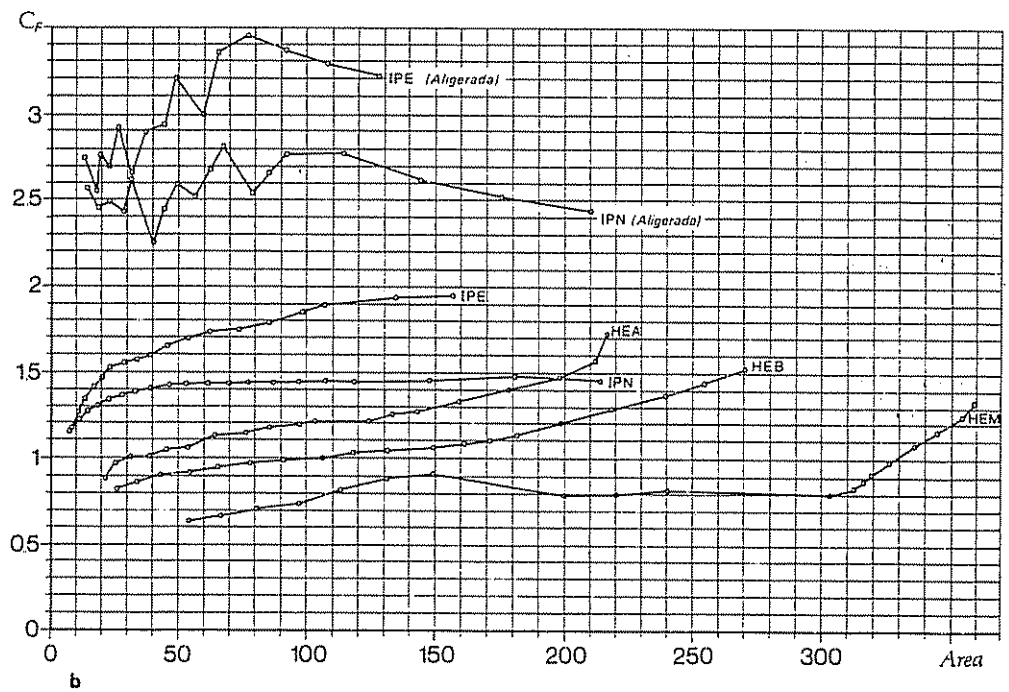
por tanto, los esfuerzos F en cada arriostramiento tendrán un mismo valor. La componente horizontal que es preciso absorber $F = 2\,S$ tiene por expresión general (válida para cualquier sección)

Ver ejemplo de aplicación en la página 624.

$$F = P\,\frac{I_{xy}}{I_x}$$


C_R
2
1.5
1
0.5
0
0
50
100
150
200
250
300
Area
IPE (Aligerada)
IPN (Aligerada)
IPE
HEA
HEB
IPN
HEM

a


C_F
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
50
100
150
200
250
300
Area
IPE (Aligerada)
IPN (Aligerada)
IPE
HEA
IPN
HEB
HEM

b

[5.7]

5.1.3. Flexión con torsión.

Para el caso en que la flexión vaya acompañada de torsión, ésta produce tensiones cortantes en la sección que es preciso tener en cuenta en la comprobación de la misma. El apéndice I de este capítulo está dedicado a la torsión, y en especial a la de secciones abiertas de débil espesor, que es el caso más frecuente en la construcción metálica.

5.2. VIGAS DE ALMA LLENA

Dos son los tipos de vigas de alma llena que normalmente se utilizan en la construcción metálica: los perfiles laminados y las vigas armadas soldadas. Su cálculo está basado en la hipótesis de la distribución plana de tensiones y se emplean las fórmulas clásicas de la Resistencia de Materiales. Normalmente las vigas son simétricas y las cargas actúan en el plano de simetría, produciéndose flexión sin torsión alrededor del eje principal de inercia.

El dimensionamiento de un perfil a flexión precisa de dos comprobaciones simultáneas: La comprobación de que las tensiones producidas no superan unas tensiones máximas preestablecidas y la comprobación de que las flechas tampoco superan unos máximos determinados. La primera fija un valor mínimo para el módulo resistente de la sección y la segunda un valor mínimo para su inercia.

La optimización de una sección doble T puede estudiarse según cada uno de estos dos criterios de comprobación (ver 5.2.4).

En estos estudios, además de definirnos las alturas óptimas para una viga de alma llena con un β determinado (puede fijarse el máximo para no necesitar rigidizadores) se obtienen dos expresiones C_R y C_F que podrían definirse como factor de aprovechamiento de la sección según cada uno de los dos criterios, siendo:

$$C_R = \frac{W_x^{\frac{2}{3}}}{A}$$

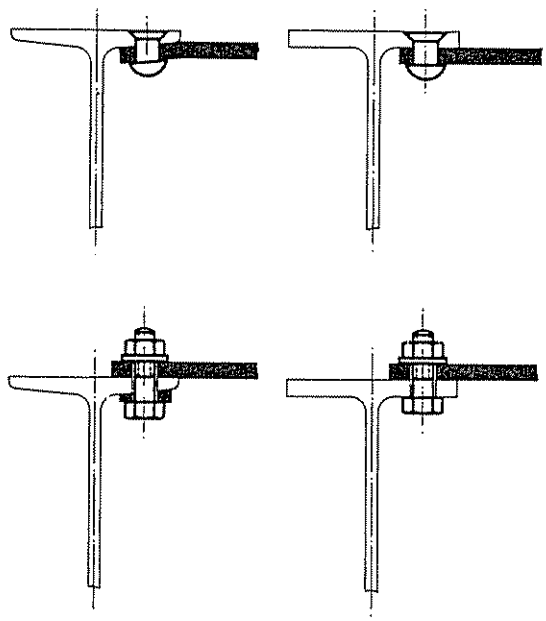
expresión adimensional función del módulo resistente e inversamente proporcional al área de la sección.

$$C_F = \frac{I_x^{\frac{1}{2}}}{A}$$

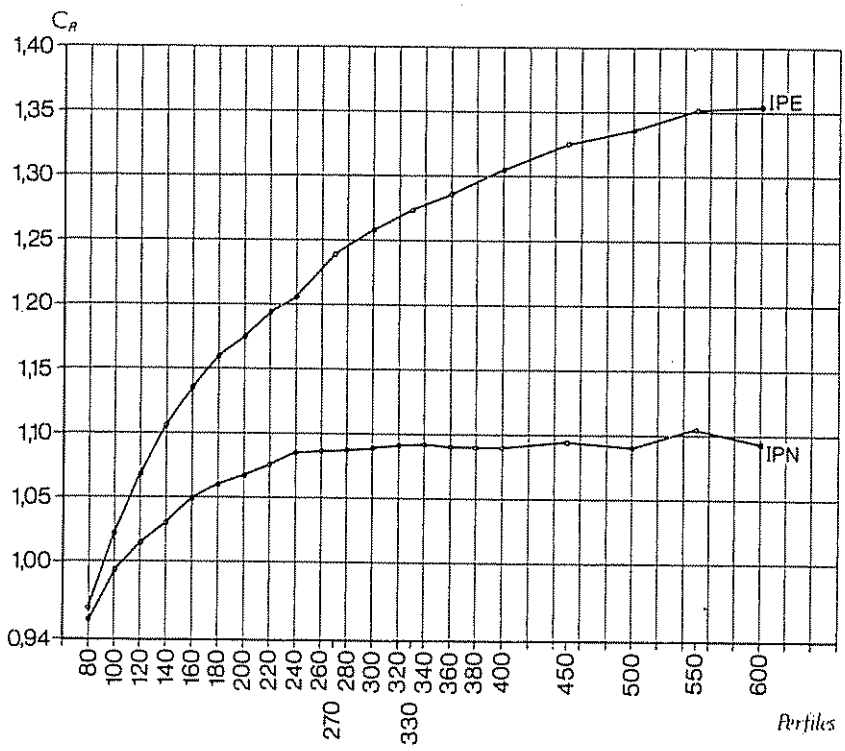
expresión adimensional función del momento de inercia e inversamente proporcional al área de la sección

Estos dos valores serán los que nos servirán más adelante para comparar las series de perfiles laminados.

En [5.7] se representan los valores de C_R y C_F para distintos tipos de secciones



[5.8]


C_R
1,40
1,35
1,30
1,25
1,20
1,15
1,10
1,05
1,00
0,94
IPE
IPN
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
270
280
300
320
330
340
360
380
400
450
500
550
600
Perfiles

[5.9a]

5.2.1. Perfiles laminados.

Siempre que sea posible se recomienda el empleo de perfiles laminados IPN, IPE o HE (cuando es preciso un canto reducido). El empleo de los perfiles IPE resulta más económico en general, tanto por su mayor rendimiento mecánico, como por la simplificación que en empalmes y uniones proporciona el espesor uniforme de las alas.

Las principales diferencias, en cuanto a forma, de los perfiles IPE con relación a los de la serie IPN son el paralelismo de sus caras, la reducción en el espesor del alma y la mayor anchura de las alas.

El paralelismo de las alas elimina todos los inconvenientes que en la construcción y el montaje presentan los perfiles de alas ataluzadas.

En [5.8] se puede observar la simplificación en las uniones remachadas o atornilladas, como consecuencia de no necesitarse arandelas especiales.

En las uniones con carteles se evita el doblado de las mismas o la colocación de cuñas.

Tampoco son necesarios forros ni cuñas en las uniones de vigas principales y secundarias, simplificándose enormemente el trazado y colocación de rigidizadores caso de ser necesarios.

Comparando dos perfiles, aproximadamente del mismo peso por metro, de las series IPN e IPE, puede observarse que el alma y las alas son más delgadas en la serie europea y que el material ahorrado con el aligeramiento se ha empleado en darlas un mayor canto. Esto supone una mejor distribución del material y un consiguiente aumento del módulo resistente de la sección.

El aligeramiento del alma en la serie europea es tal que nunca la relación espesor/altura de alma es inferior a las limitaciones que fija la Norma Básica MV-103, para hacer necesaria la comprobación del abollamiento del alma. Para acero A 42 esta limitación es 0,014.

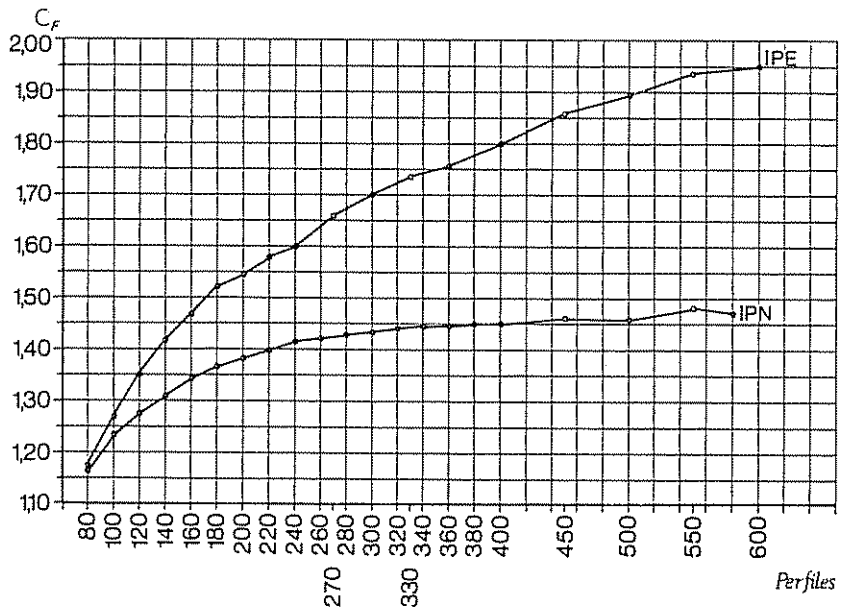
Con las alas más anchas se aumenta la rigidez del perfil, la superficie de apoyo y la resistencia al pandeo lateral. Otra ventaja adicional es la economía en el número de tornillos a emplear en uniones y empalmes.

En efecto, teniendo en cuenta que la distancia del centro de un taladro al borde del ala debe ser igual o superior a 1,5 d, en un perfil con las alas más anchas se pueden poner tornillos o remaches de mayor diámetro, disminuyendo el número de los mismos.

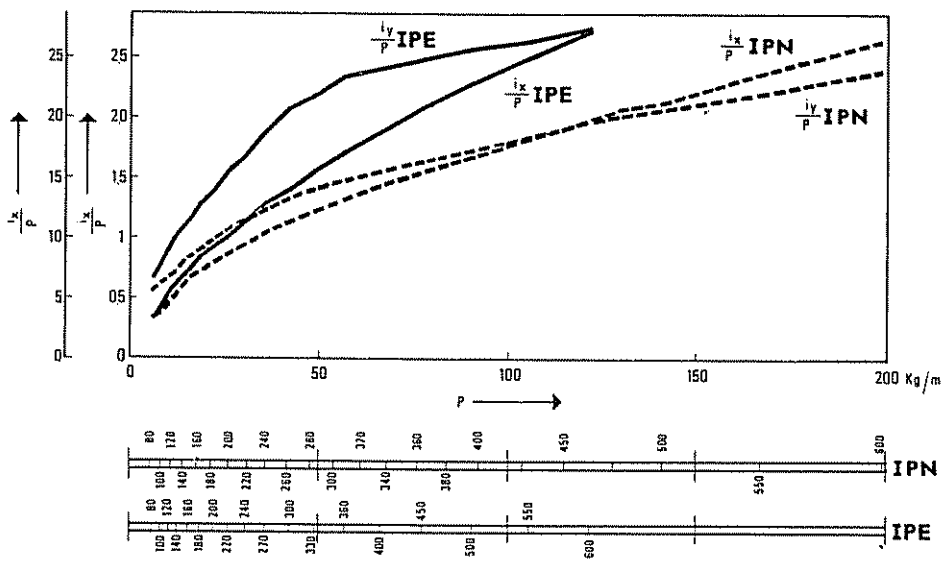
Sea cual sea la pieza a que se destine el perfil IPE, el proyectista obtiene una gran economía en peso al mejorar considerablemente los valores estáticos de la sección. Para la mejor comprensión de esta afirmación, analizaremos por separado el módulo resistente, el momento de inercia y el radio de giro.

El menor espesor en el alma y las alas de los IPE permiten disponer el material a mayor distancia del eje neutro, obteniéndose para un mismo peso un mayor módulo resistente por tener mejor coeficiente C_n de acuerdo con la definición de 5.2 [5.9a]. Las economías medias en peso son del 21,6 % para $\frac{W_z}{P}$ y del 42,9 % para $\frac{W_y}{P}$

piezas sometidas a flexión



[5.9b]



[5.10]

Para un mismo peso, es mayor el momento de inercia de los perfiles IPE que el de los IPN. Por este motivo la flecha, función lineal inversa del momento de inercia, será menor en los perfiles europeos. Así se podrá obtener un mayor aprovechamiento del material en todos los casos en los que el dimensionamiento se haga por razones de limitación de flechas. Todo ello se expresa gráficamente en [5.9b].

Para el mismo peso, los radios de giro son mayores en los perfiles IPE que en los IPN.

Por ser la esbeltez de una pieza función lineal inversa del radio de giro, cuando el perfil trabaja a compresión se podrá obtener un mayor rendimiento del acero utilizando perfil IPE, puesto que su esbeltez será menor.

En [5.10] se representa la relación radio de giro/peso, en función del peso y de la altura del perfil.

Debido a la mayor altura del IPE con respecto al IPN para un mismo módulo resistente del perfil, en las uniones frontales soldadas, la inercia y el módulo resistente de los cordones que unen las alas son mayores en los IPE que en los IPN y también existe una mayor longitud de cordón que une el alma. Todo ello implica una reducción en el espesor de la garganta y el consiguiente ahorro de electrodos y mano de obra. Así se explica que el material de soldadura ahorrado en los perfiles IPE alcance hasta un 38,9 %.

La serie IPE reduce con respecto a la IPN el número de perfiles. Así para el IPN son 21 y para el IPE, 18.

Esta reducción no rompe la continuidad en los pesos de los perfiles, ni el escalonamiento uniforme de los valores estáticos de la sección.

El menor número de perfiles supone para el almacenista, disponiendo de la gama completa, un ahorro de superficie y de inmovilizado.

El proyectista tendrá más seguridad de disponer de toda la gama, ya que al ser el número de perfiles menor, disminuye la probabilidad de falta de suministro.

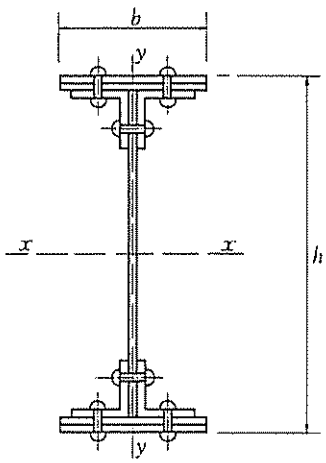
5.2.2. Perfiles laminados con platabandas.

Si se precisan valores del módulo resistente mayores que los correspondientes a los perfiles laminados, o cuando existen limitaciones de canto, se puede reforzar la sección del perfil con platabandas [1]

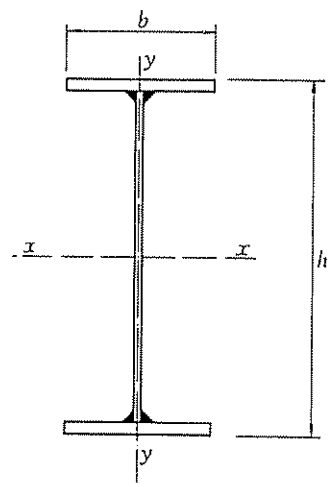
En el tomo 2 de Publicaciones ENSIDESA figuran las características mecánicas de los perfiles laminados necesarias para el cálculo (I.1) [2], así como la inercia suplementaria que proporcionan dos platabandas con distintas separaciones (I.3.7) [2].

[1] Para la determinación de las longitudes de platabandas y la unión de la platabanda al perfil ver artículo 5.2.4.2

[2] PUBLICACIONES ENSIDESA. Tomo 2



[5.11]



[5.12]

5.2.3. Vigas múltiples.

También pueden utilizarse dos o más perfiles trabajando conjuntamente formando una viga múltiple. Sobre este tipo de viga la Norma Básica MV-103 dice en su artículo 5.1.1:

> *Vigas múltiples*
>
> *Las vigas constituidas por dos o más perfiles adosados se proveerán de los elementos de unión necesarios, como presillas, tornillos, pasantes, etc., que solidaricen eficazmente los perfiles componentes. Habrá de justificarse la eficacia de esta solidarización siempre que la viga reciba carga diferente sobre cada uno de los perfiles componentes.*

5.2.4. Vigas armadas.

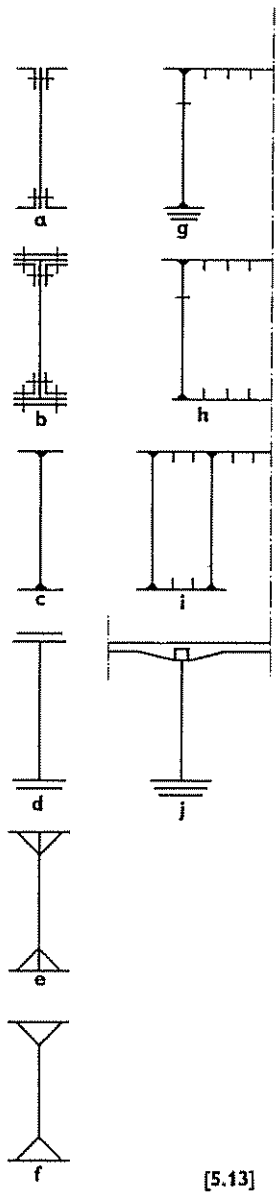
5.2.4.1. *Tipos de secciones.*

Como vigas armadas se entiende, en contraposición con las vigas laminadas, aquellas que se constituyen, ensamblan o arman partiendo de chapas o de chapas y angulares. Aunque teóricamente la unión de las chapas entre sí puede hacerse por roblonado [5.11] o por soldadura, puede decirse que actualmente solo se emplean las vigas armadas soldadas [5.12].

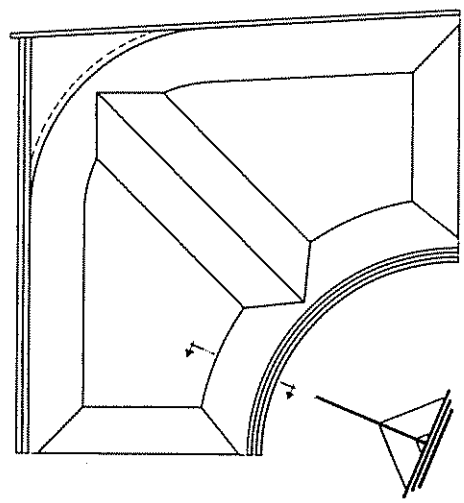
Para unas solicitaciones determinadas, M* y Q*, siempre es posible encontrar una viga armada de menor peso que el perfil laminado que correspondería a esas solicitaciones. Sin embargo, aun con mayor peso los perfiles laminados son siempre más económicos que las vigas armadas, debido al menor coste de fabricación.

Por estas razones, en edificación y construcción metálica en general, el empleo de las vigas armadas suele limitarse a casos especiales de grandes luces o de grandes cargas, como pueden ser la estructura principal de naves industriales, elementos de peso con sobrecargas importantes o caminos de rodadura de puentes grúa.

En la construcción de puentes por el contrario, la evolución de las técnicas constructivas, el siempre creciente coste de la mano de obra y la necesidad de cantos reducidos en obras de cruce, la economía de pintura y otras muchas razones, entre las que también se incluyen las de índole estética, han ocasionado el empleo cada vez más generalizado de soluciones estructurales con vigas armadas, en detrimento de las soluciones más tradicionales con vigas de celosía.



[5.13]



[5.14]

La variedad y extensión de sus aplicaciones consigue una igualmente amplia diversidad de soluciones para la sección transversal de las vigas armadas. En [5.13] se representa una serie de tipos de secciones de vigas de alma llena. [5.13a] y [5.13b] representan soluciones formadas con chapas y angulares roblonadas, con mayor o menor número de platabandas. En la actualidad no se emplea, más que en muy raras ocasiones, este tipo de secciones, ya que el roblonado en taller ha sido casi totalmente desplazado para este tipo de utilizaciones por la soldadura.

[5.13c] puede decirse que es el tipo que se emplea actualmente casi con exclusividad. El espesor de la platabanda suele limitarse a 30 mm, utilizándose soluciones del tipo [5.13d] cuando existen limitaciones en el canto. En 5.2.4.2 se trata específicamente de este tipo de secciones.

Una solución especial para platabandas de gran anchura es la [5.13e], con la inclusión de chapas oblicuas, con la consiguiente complicación constructiva debido al número de cordones de soldadura necesarios, por lo que se emplea muy poco en construcciones normales. Tiene ciertas ventajas en vigas curvas, por ejemplo, en las esquinas de pórticos [5.14], para evitar el efecto de doblado de la platabanda.

Una solución semejante a la anterior es la esquematizada en [5.13f], en la que se sustituyen las chapas inclinadas por un angular y también muy raramente empleada. Tiene el inconveniente adicional de concentrar las soldaduras en la esquina del angular, que siempre es una zona donde debe evitarse por las posibles segregaciones.

Las secciones [5.13g], [5.13h] y [5.13i] son secciones empleadas en la construcción de puentes en las que la chapa superior rigidizada se utiliza como tablero y platabanda de las vigas principales.

La sección [5.13j] es la típica para las construcciones mixtas hormigón-acero.

5.2.4.2. *Vigas de alma llena soldadas.*

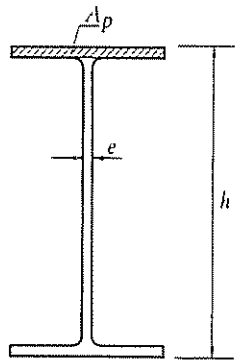
Son las más utilizadas en la construcción en general, tanto por la mayor simplificación de la sección [5.12] como por resultar más económica su construcción, sobre todo cuando se emplean los modernos equipos automáticos, que permiten en general la construcción de vigas de hasta 2,50 m de altura con un coste relativamente bajo de fabricación.

Dentro de la infinita variedad de secciones posibles para las vigas armadas, ENSIDESA ha tipificado una serie de secciones, cuyos valores estáticos figuran en el tomo 2 de Publicaciones [1]

Las series tipificadas son:

IPES prolongación de la serie **IPE**.
HES derivados de las series **HEB, HEA** y **HEM.**
PCS perfiles columna ($h = b$).
PVS otras composiciones variables.
PAS perfiles asimétricos.
TS perfil **T**.

[1] PUBLICACIONES ENSIDESA. Tomo 2. Capítulo 1.3: Perfiles formados por chapas soldadas



[5.15]

5.2 4. EJEMPLO DE APLICACION

Para el caso del ejemplo 5.2 5-C) determinar la viga armada de sección mínima, o sea de proporciones óptimas según el criterio de resistencia.

$$M^* = 36 \text{ m} \cdot \text{t} \qquad W_x = \frac{M^*}{\sigma_u}$$

$$W_x = \frac{36 \times 10^5}{2\,600} = 1.385 \text{ cm}^3$$

Hacemos dos tanteos con dos valores de β.

A) $\beta = 0{,}014$ En este caso no es preciso comprobar el alma a abollamiento

$$\text{Altura óptima:} \quad h = \sqrt[3]{\frac{3 \times 1.385}{2 \times 0{,}014}} = 52{,}94 \text{ cm}$$

$$A_{TOTAL} = 2 \times 0{,}014 \times 52{,}9^2 = 78{,}5 \text{ cm}^2$$

Como el área de las platabandas es igual al área del alma, el área A_p de una platabanda será:

$$A_p = \frac{A_T}{4} = \frac{78{,}5}{4} = 19{,}62 \text{ cm}^2 \qquad A_a = \frac{78{,}5}{2} = 39{,}25 \text{ cm}^2$$

Para el dimensionado de platabandas es preciso tener en cuenta el posible pandeo local (art. 5.12 de MV-103).

$$\frac{b}{e} < 15\sqrt{\frac{2.400}{2\,600}} = 14{,}41$$

b en este caso es el semiancho de platabanda.

$$2b \times e_p = 19{,}62 \qquad \frac{9{,}81}{e_p^{\,2}} < 14{,}41$$

$$e_p > \sqrt{\frac{9{,}81}{14{,}41}} = 0{,}82 \text{ cm}$$

adoptando $e_p = 1$ cm $\qquad 2b = 20$ cm

$$h_a = 53 - 2 = 51 \text{ cm} \qquad e_a = \frac{A_a}{h_a} = \frac{39{,}25}{51} = 0{,}769 \simeq 0{,}8 \text{ cm}$$

(Sigue en la página 640)

Dada la extensión del empleo de las secciones de este tipo, creemos interesante tratar algunos puntos adicionales relativos a su dimensionamiento y cálculo.

Proporciones óptimas de la sección.

La sección de una viga armada debe reunir diversas condiciones:

— Suficiente resistencia a la flexión, determinada por su módulo resistente (W_x).

— Suficiente rigidez a la deformación, determinada por su momento de inercia (I_x).

— Capacidad de resistencia a las tensiones cortantes, determinada por el área de su alma (A_a).

— Dimensionamiento adecuado para evitar el abollamiento del alma, determinado por la relación espesor/altura del alma (β)

En algunos casos el canto total no debe sobrepasar un determinado valor.

La elección de las alas y del alma no debe implicar dificultades constructivas adicionales (espesores no habituales, o demasiado elevados, dimensiones no comerciales...).

Una viga será eficiente si satisface todas esas condiciones con el mínimo peso, y será económica si además el coste de fabricación es mínimo. Esto supone que, a veces, la viga más económica no es la de menor peso. Por ejemplo, puede fijarse el espesor del alma de una viga de manera que no sean necesarios rigidizadores con el mínimo espesor admisible para ello, o con un espesor más delgado y colocar rigidizadores. Seguramente en este último caso la viga pesaría menos pero la construcción y la soldadura de los rigidizadores haría que fuese menos económica que si se hubiese adoptado el espesor del alma mínimo para que no fuesen necesarios.

Vamos a determinar a continuación las dimensiones óptimas de una viga armada en doble T, según los dos criterios que normalmente pueden condicionar su dimensionamiento, el criterio de resistencia y el criterio de deformación.

Criterio de resistencia.

La viga debe resistir un momento flector M* determinado y por consiguiente conocemos el módulo resistente necesario

$$W_x = \frac{M^*}{\sigma_u}$$

También fijamos la relación $\beta = \frac{e}{h}$ (puede fijarse con el criterio de que no sean necesarios rigidizadores (ver art. 5.6.1.2 de la Norma Básica MV-103)

Refiriéndonos a [5.15]

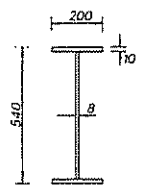
$$I = I_{alma} + I_{plat} \simeq \frac{1}{12} e h^3 + 2 A_p \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

$$W = \frac{I}{h/2} \simeq \frac{1}{6} e h^2 + A_p h$$

$$W = \frac{1}{6} \beta h^3 + A_p h$$

(Viene de la página 638)

Adoptamos las dimensiones, redondeadas, de la figura



$$I_{xx} = 2 \times 20 \times 1 \times 26{,}5^2 + \frac{1}{12} \times 0{,}8 \times 52^3 = 37\,464 \text{ cm}^4$$

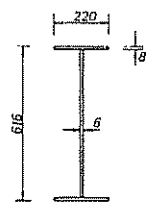
$$\sigma^*_{máx} = \frac{36 \times 10^5 \times 27}{37.464} = 2.594 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = \frac{0{,}8}{52} = 0{,}015 \qquad A_{TOTAL} = 81{,}6 \text{ cm}^2$$

$$f = \frac{5\,q\,L^4}{384\,EI} = 4{,}57 \text{ cm}$$

$$q_{caract.} = \frac{q^*}{1{,}5} \qquad \frac{f}{L} = \frac{1}{262}$$

B) Adoptamos $\beta = 0{,}009$, lo que supone que sería necesario comprobar el abollamiento, obtendríamos procediendo en forma análoga



$A_{TOTAL} = 71{,}2$ cm² (más ligera que la anterior)

$I_{xx} = 43.330$ cm⁴ $\qquad \sigma^*_{máx} = 2.559$ kg/cm²

$f = 3{,}69$ cm $\qquad f/L = \frac{1}{303}$

$$\tau^*_{máx} = \frac{2 \times 6 \times 10^3}{60 \times 0{,}6} = 333 \text{ kg/cm}^2 < \frac{2.600}{\sqrt{3}}$$

Comprobación a abollamiento, sin rigidizadores.
La efectuamos para la sección central

$$\sigma_1^* = \frac{36 \times 10^5 \times 30}{43.330} = 2\,492 \text{ kg/cm}^2 \qquad \tau^* = 0 \qquad \sigma_{co} = 2.492 \text{ kg/cm}^2$$

Refiriéndonos al caso 4 de [5.31] al no existir rigidizadores

$$\alpha > \frac{2}{3}$$

$$\sigma_E = 189{,}8 \times 10^4 \left(\frac{e}{h_a}\right)^4 = 189{,}8 \text{ kg/cm}^2 \qquad K_1 = 23{,}9$$

$\sigma_{coi} = \sigma_i = 23{,}9 \times 189{,}8 = 4\,536$ kg/cm² de [5.32] obtenemos

$\sigma_{cor} \simeq 3.300$ kg/cm²

$\sigma_{cor} > \sigma_{co}$ no hay abollamiento de alma

y de aquí

$$A_p = \frac{W}{h} - \frac{1}{6}\beta h^2$$

El área total del perfil será:

$$A_{TOTAL} = A_a + 2A_p = \beta h^2 + 2\left[\frac{W}{h} - \frac{1}{6}\beta h^2\right] = 2\left[\frac{W}{h} + \frac{1}{3}\beta h^2\right]$$

En esta expresión W y β son constantes y por tanto A es una función de h. Para hallar el valor de h que hace mínimo A, o sea, que determina la sección más eficiente, igualamos la derivada a cero

$$\frac{dA_T}{dh} = -\frac{2W}{h^2} + \frac{4\beta h}{3} = 0 \qquad W = \frac{2}{3}\beta h^3$$

resultando como altura óptima:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3W}{2\beta}}$$

por tanto:

$$A_p = \frac{W}{h} - \frac{1}{6}\beta h^2 = \frac{2}{3}\beta h^2 - \frac{1}{6}\beta h^2 = \frac{1}{2}\beta h^2 = \frac{1}{2}A_a$$

$2A_p = A_a$ el área del alma es igual al área de las alas

$$A_{TOTAL} = 2\beta h^2 = 2{,}62\,\beta^{\frac{1}{3}} W^{\frac{2}{3}}$$

y de aquí

$$\frac{W^{\frac{2}{3}}}{A_T} = \frac{1}{2{,}62\,\beta^{\frac{1}{3}}} = C_R$$

que es el coeficiente definido en 5.2.1.

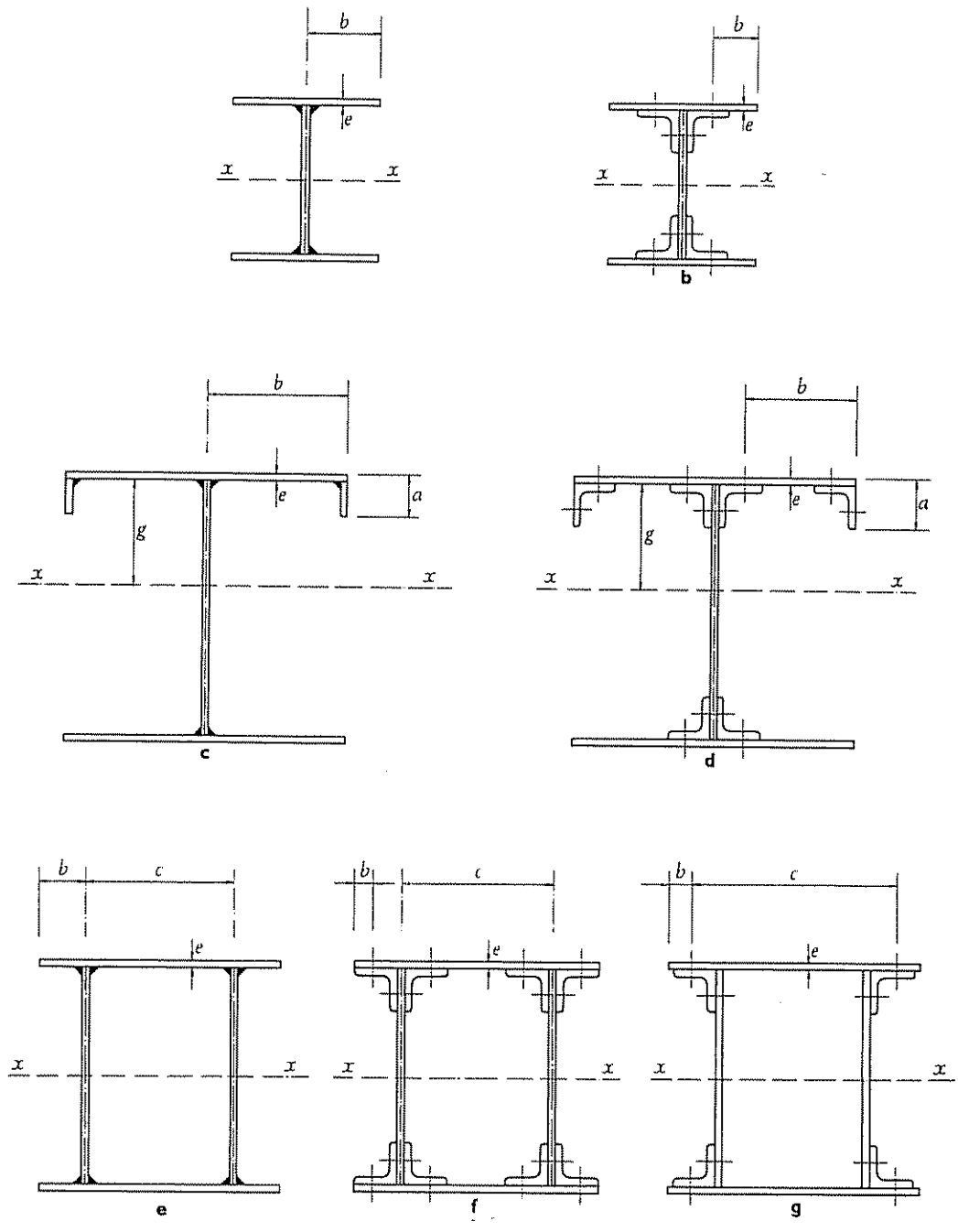
Criterio de deformación.

En este caso partimos además de una β prefijada de una I determinada por las condiciones de deformación.

$$I = I_{alma} + I_{plat} \simeq \frac{1}{12} e h^3 + 2A_p\left(\frac{h}{2}\right)^2$$

$$A_p \simeq \frac{2I}{h^2} - \frac{1}{6}\beta h^2$$

$$A_{TOTAL} = A_a + 2A_p = \beta h^2 + 2\left[\frac{2I}{h^2} - \frac{1}{6}\beta h^2\right]$$



[5.16]

La condición

$$\frac{d\,A_T}{d\,h} = 0 \quad \text{conduce a} \quad I = \frac{1}{6}\,\beta\,h^4$$

de donde se deduce como altura óptima:

$$h = \sqrt[4]{\frac{6\,I}{\beta}}$$

$$A_T = A_a + 2A_p = \beta\,h^2 + \frac{1}{3}\,\beta\,h^2 = \frac{4}{3}\,\beta\,h^2$$

$$A_T = 3{,}26\,\beta^{\frac{1}{2}}\,I^{\frac{1}{2}}$$

y de aquí

$$\frac{I^{\frac{1}{2}}}{A_T} = \frac{1}{3{,}26\,\beta^{\frac{1}{2}}} = C_F$$

siendo C_F el coeficiente definido en 5.2.1.

5.2.4.3. *Las vigas armadas según la MV-103.*

La Norma Básica MV-103 recoge distintas prescripciones sobre vigas armadas en sus artículos 5.1.2 al 5.1.5 que reproducimos a continuación [1]:

> 5.1.2. *Vigas armadas*
>
> *En las vigas armadas con alas compuestas de una o varias platabandas, el diagrama de momentos de agotamiento a lo largo de la viga deberá envolver al de momentos flectores ponderados que actúa sobre ella.*
>
> *Las platabandas sobrepasarán el punto, a partir del cual teóricamente ya no son necesarias, en una longitud que para vigas remachadas sea por lo menos la que permita la colocación de dos filas de roblones o tornillos, y, en platabandas soldadas, sea por lo menos igual a la mitad del ancho de dicha platabanda.*
>
> 5.1.3. *Alas comprimidas*
>
> *En la elección de la anchura del ala comprimida de una viga armada se deberá considerar el pandeo lateral.*

[1] La figura citada en la Norma se reproduce en [5.16].

Las platabandas que constituyen el ala comprimida de una viga armada, cuya dimensión b (figura 5.1) satisfaga las condiciones que se indican a continuación, no necesitarán ser comprobadas a pandeo local.

a) Ala con borde libre (figura 5.1, a y b):

$$\frac{b}{e} \leqslant 15 \sqrt{\frac{2.400}{\sigma_u}}$$

b) Ala con borde rigidizado (figura 5.1, c y d):

$$\frac{b}{e} \leqslant \left(15 + 30 \sqrt{\frac{a}{g}}\right) \sqrt{\frac{2.400}{\sigma_u}}$$

siendo:

g *La altura de la parte comprimida del alma, y*
a *La altura del rigidizador.*

c) Ala entre dos almas (figura 5.1, e, f y g):

$$\frac{c}{e} \leqslant 45 \sqrt{\frac{2.400}{\sigma_u}}$$

siendo:

σ_u *La resistencia de cálculo del acero expresada en kg/cm².*

Pueden disponerse platabandas que no satisfagan estas condiciones siempre que se efectúe su comprobación a pandeo local.

5.1.4. *Unión de alas y alma.*

La unión de las platabandas a los angulares o al alma y la unión de los angulares al alma, se calculará para resistir el esfuerzo de deslizamiento longitudinal H^*, *que por unidad de longitud vale:*

$$H^* = \frac{T^* S_x}{I_x}$$

siendo:

T^* *El esfuerzo cortante ponderado.*
S_x *El momento estático respecto al eje X de la sección del ala hasta el plano de la unión.*
I_x *El momento de inercia respecto al eje X.*

Por simplificación puede adoptarse:

$$H^* = \frac{T^*}{h_a}$$

siendo:

h_a *La altura del alma.*

5.1.5 *Rigidizadores.*

En las vigas de alma llena se colocarán rigidizadores transversales en las secciones de apoyo y en todas aquellas en que actúen cargas concentradas. Para dimensionar los rigidizadores se calculará la solicitación local, considerando la sección compuesta por el rigidizador y una zona eficaz del alma igual a veinte veces su espesor.

La longitud de pandeo es, en las vigas roblonadas, igual a la distancia entre los gramiles de los angulares de unión y, en las vigas soldadas, igual a la altura del alma.

Podrá prescindirse de la colocación de rigidizadores, efectuando la comprobación del pandeo local del alma, considerando comprimida una zona eficaz del alma igual a veinte veces su espesor y con la longitud de pandeo anteriormente indicada.

Se dispondrá además, si fuesen necesarios, rigidizadores para evitar el abolsamiento del alma según el artículo 5.6.

Ver ejemplo de aplicación en la página 638.

5.2.5. **Cálculo de tensiones.**

Reproducimos los artículos 5.3.1 a 5.3.5 de la Norma Básica MV-103:

5.3.1 *Luz de cálculo.*

Se tomará como luz de cálculo la distancia entre ejes de los apoyos.

Cuando las vigas apoyen sobre elementos de fábrica u hormigón, se tomará como eje de apoyo el punto de paso de la reacción.

En elementos secundarios puede tomarse como luz de cálculo el vano incrementado en el 5 %.

5.3.2. *Tensiones normales.*

Las tensiones normales ponderadas σ^* se calcularán teniendo en cuenta las características geométricas de la sección y la magnitud y posición respecto a los ejes de la misma de los esfuerzos solicitantes ponderados.

Para su cálculo se utilizarán los momentos de inercia y módulos resistentes de la sección semineta. Por simplificación pueden utilizarse los valores de la sección neta. En todo caso, sus valores pueden calcularse con relación a los ejes que pasan por el baricentro de la sección bruta.

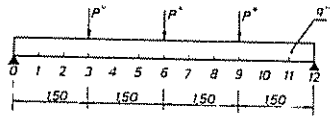
En el anejo 2 se resumen algunas de las fórmulas más usuales para el cálculo de las tensiones.

5.3.3 *Tensiones tangenciales.*

El valor de las tensiones tangenciales ponderadas τ^* se calculará teniendo en cuenta las características geométricas de la sección y la magnitud y posición respecto a los ejes de la misma de los esfuerzos solicitantes ponderados.

5.2 5. EJEMPLO DE APLICACION

A) Determinar el perfil más económico para la viga del esquema:



$P^* = 9{,}5$ t

$q^* = 1$ t/m

Acero A 42

Se supone el pandeo lateral impedido y el peso propio incluido en q^*. La flecha debe cumplir la relación $f/L < 250$.

De acuerdo con 5.2 5 se consideran tres secciones:

Sección 6	$M^* = 33$ m/t	$Q^* = 4{,}75$ t
Sección 3	$M^* = 24{,}75$ m/t	$Q^* = 15{,}75$ t
Sección 0	$M^* = 0$	$Q^* = 17{,}25$ t

Del ábaco **5.2 5 1** se obtienen que a efectos de resistencia son válidos los siguientes perfiles:

Perfil	IPN 400	IPE 450	HEB 280
Area	118 cm²	98,8 cm²	131 cm²
f/L	1/467	1/540	1/308

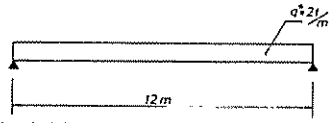
El perfil más económico es IPE 450.

Las flechas se han calculado con el procedimiento de la carga equivalente de 5.6 2 1 (ver Ejemplo de aplicación 5.6 2).

B) Si para la misma viga de A) se impone la condición $f/L < 1/500$, se obtendría:

Perfil	IPN 450	IPE 450	HEB 320
Area	147 cm²	98,8 cm²	161 cm²
f/L	1/733	1/540	1/492

C) Determinar el perfil laminado más económico para la viga del esquema:



$f/L < 250$

$q^* = 2$ t/m

En q^* se supone incluido el peso propio e impedido el pandeo lateral.

En este caso basta comprobar la sección central.

$$M^* = 36 \text{ m t} \qquad W_x \text{ necesario} = \frac{M^*}{\sigma_u} = \frac{36 \times 10^5}{2.600} = 1.385 \text{ cm}^3$$

se obtiene

Perfil	W_x cm³	A cm²	$\sigma_{máx}$ kg/cm²	f mm	f/L
IPE 450	1 500	98,8	2 400	50,6	1/236
IPN 400	1 460	118	2.465	59,2	1/202
HEB 280	1.380	131	2.608	89,4	1/134

Las flechas se han calculado por la fórmula exacta

$$f = \frac{5}{384} \frac{q\,L^4}{EI} \qquad \text{siendo } q = \frac{q^*}{1{,}5}$$

Vemos que no cumplen la limitación de flechas. Es preciso dimensionar por flecha. Para ello utilizamos las tablas **5.6 1 1.**

(Sigue en la página 660)

En secciones asimétricas, y en las simétricas cuando el esfuerzo cortante solicitante no pasa por el centro de esfuerzos cortantes de la sección, la flexión va acompañada de una torsión que produce tensiones tangenciales suplementarias que deberán sumarse a las producidas por la flexión.

En el anejo 2 se resumen algunas de las fórmulas más usuales utilizadas para el cálculo de las tensiones tangenciales.

En el anejo 3 se resumen igualmente las fórmulas más usuales utilizadas para el cálculo de tensiones tangenciales producidas por una solicitación de torsión.

5.3.4. *Secciones en I y en cajón*

En el caso frecuente de vigas constituidas por dos platabandas y un alma de sección A_a, con la condición de que la platabanda más pequeña represente, al menos, el 15 % de la sección total, se puede admitir como tensión tangencial para todos los puntos del alma el valor:

$$\tau^* = \frac{T^*}{A_a}$$

Esta fórmula simplificada es aplicable a las vigas I y a las vigas en simple cajón rectangular, tomando para estas últimas como valor de A_a la suma de las áreas de las almas.

5.3.5 *Comprobación de la sección*

En todo punto de la sección se debe verificar:

$$\sqrt{\sigma^{*2} + 3\,\tau^{*2}} \leqslant \sigma_u$$

siendo:

σ^* *La tensión normal ponderada en dicho punto.*
τ^* *La tensión tangencial ponderada en dicho punto.*

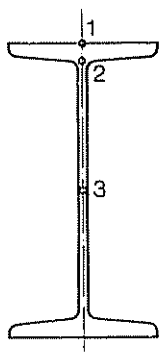
5.2.5.1. *Flexión simple de perfiles laminados*

En el caso de flexión simple las fórmulas de comprobación se reducen a:

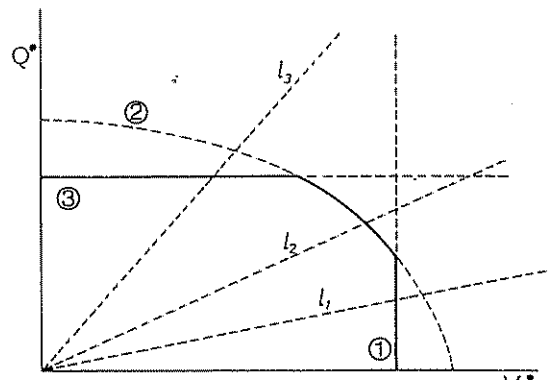
$$\sigma^* = \frac{M^*}{W}$$

$$\tau^* = \frac{Q^*}{A_a}$$

$$\sqrt{\sigma^{*2} + 3\,\tau^{*2}} \leqslant \sigma_u$$



a



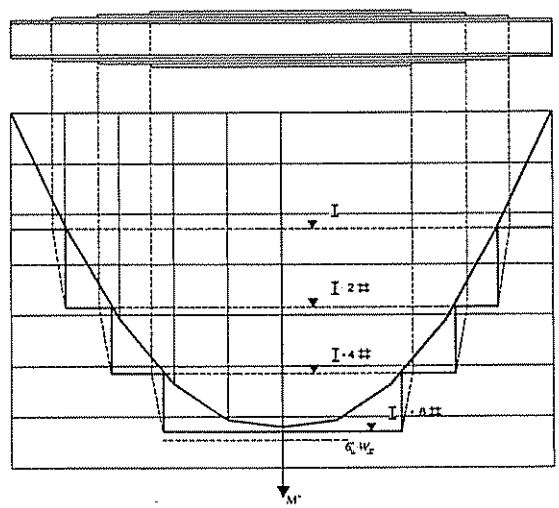
b

Curva ① $M^* = \sigma_u W_{x1} = constante$

Curva ② $\frac{M^{*2}}{W_{x2}^2 \sigma_u^2} + \frac{Q^{*2}}{\frac{\sigma_u^2 I_x^2 e^2}{3 S_{x2}^2}} = 1$

Curva ③ $Q^* = \frac{\sigma_u \cdot I_x \cdot e}{\sqrt{3} \cdot S_{x3}} = constante$

[5.17]



[5.18]

Abacos para el dimensionado.

Se calculará para la viga los pares de valores M* y Q* que puedan ser más desfavorables (en general se tratará de los pares formados por $M^*_{máx}$ y su Q* correspondiente, y por $Q^*_{máx}$ con su M* correspondiente) y con cada uno de ellos se entra en **5.2 5 1.** Se adoptará un perfil cuya curva envuelva todos los puntos considerados para esa viga.

En general, en vigas de luces medias y grandes, es determinante el valor del momento máximo, siendo por el contrario determinante el valor del esfuerzo cortante para vigas cortas o con distribuciones de cargas especiales (cargas puntuales importantes cerca de los apoyos, etc.).

Obtención de ábacos. Los ábacos **5.2 5 1** han sido obtenidos estudiando los valores de M*, Q*, que agotan cada perfil en los tres puntos 1, 2, 3 [5.17a].

En el punto 1, solo existe la tensión normal σ^*

En 2, existen σ^* y τ^* y es preciso determinar la tensión de comparación.

En 3, no existe más que τ^* (se ha calculado $\tau^*_{máx}$ con la distribución parabólica).

Para cada tipo de carga, $M^*_{máx}$ y $Q^*_{máx}$ (en general producidas en secciones diferentes), están en la relación

$$\frac{M^*_{máx}}{Q^*_{máx}} = kl$$

k función del tipo de carga, lo que supone para cada uno de estos tipos de carga que

$$\frac{M^*_{máx}}{Q^*_{máx}}$$

constituyan un haz de rectas para los distintos valores de l, con límite en el eje de ordenadas para l, tendiendo a 0, y en el de las abscisas, para $l = \infty$. Esto quiere decir que para luces pequeñas, el agotamiento se produce en 3, al aumentar la luz, sobre la curva 2 y para luces mayores en 1 [5.17b].

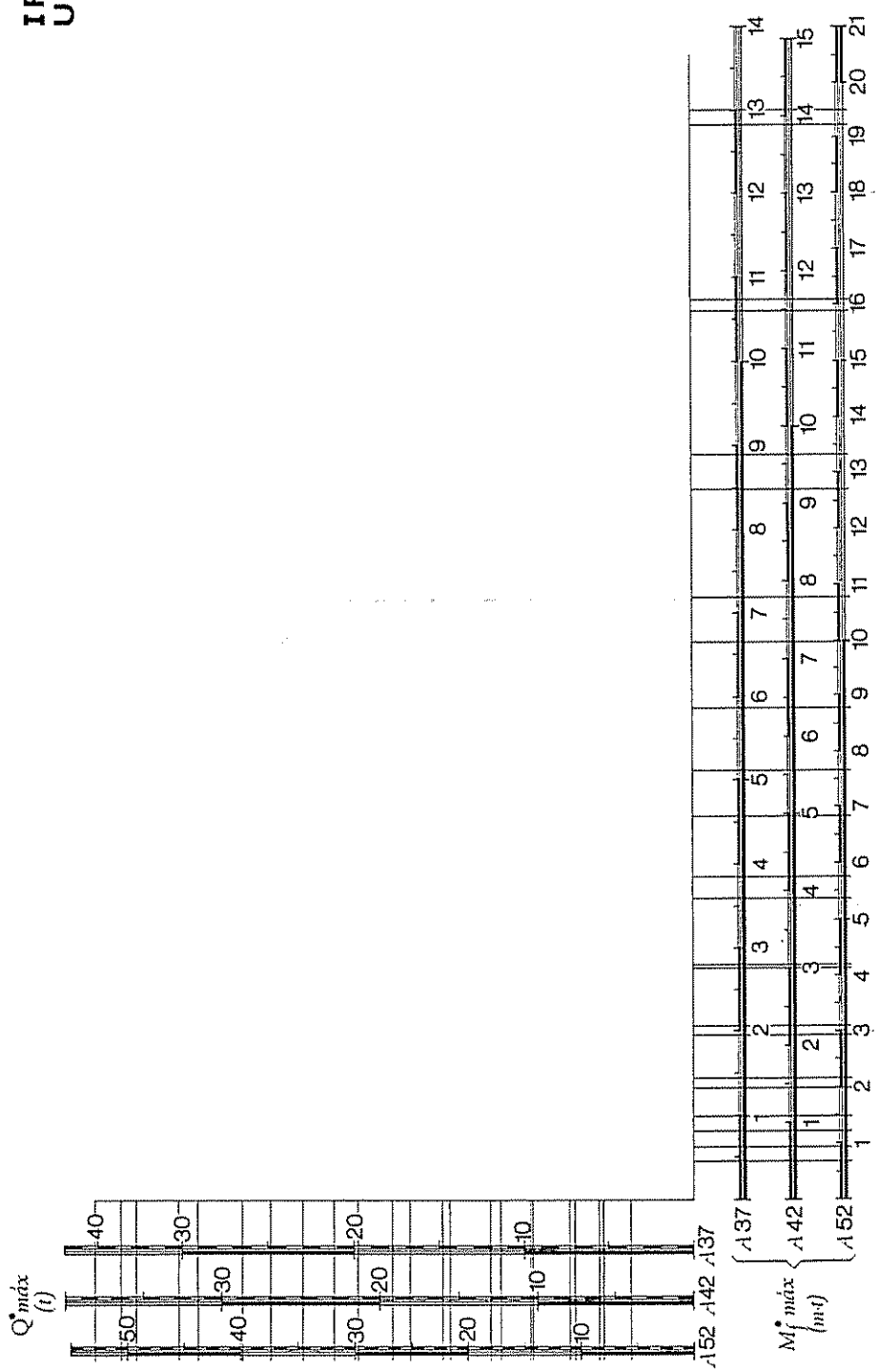
5 2 5 2. *Cálculo de platabandas.*

En vigas de cierta longitud puede ser conveniente, en lugar de dimensionar el ala para el máximo momento solicitante, utilizar una o más platabandas de longitudes adecuadas para que la curva de momentos absorbidos por cada sección ($M^* = W_x\sigma_u$) envuelva la curva de momentos solicitantes [5.18]. Esto es aplicable al caso de perfiles reforzados con platabandas (art. 5.2 2).

Las platabandas deben extenderse más allá del límite en que son teóricamente nece-

piezas sometidas a flexión

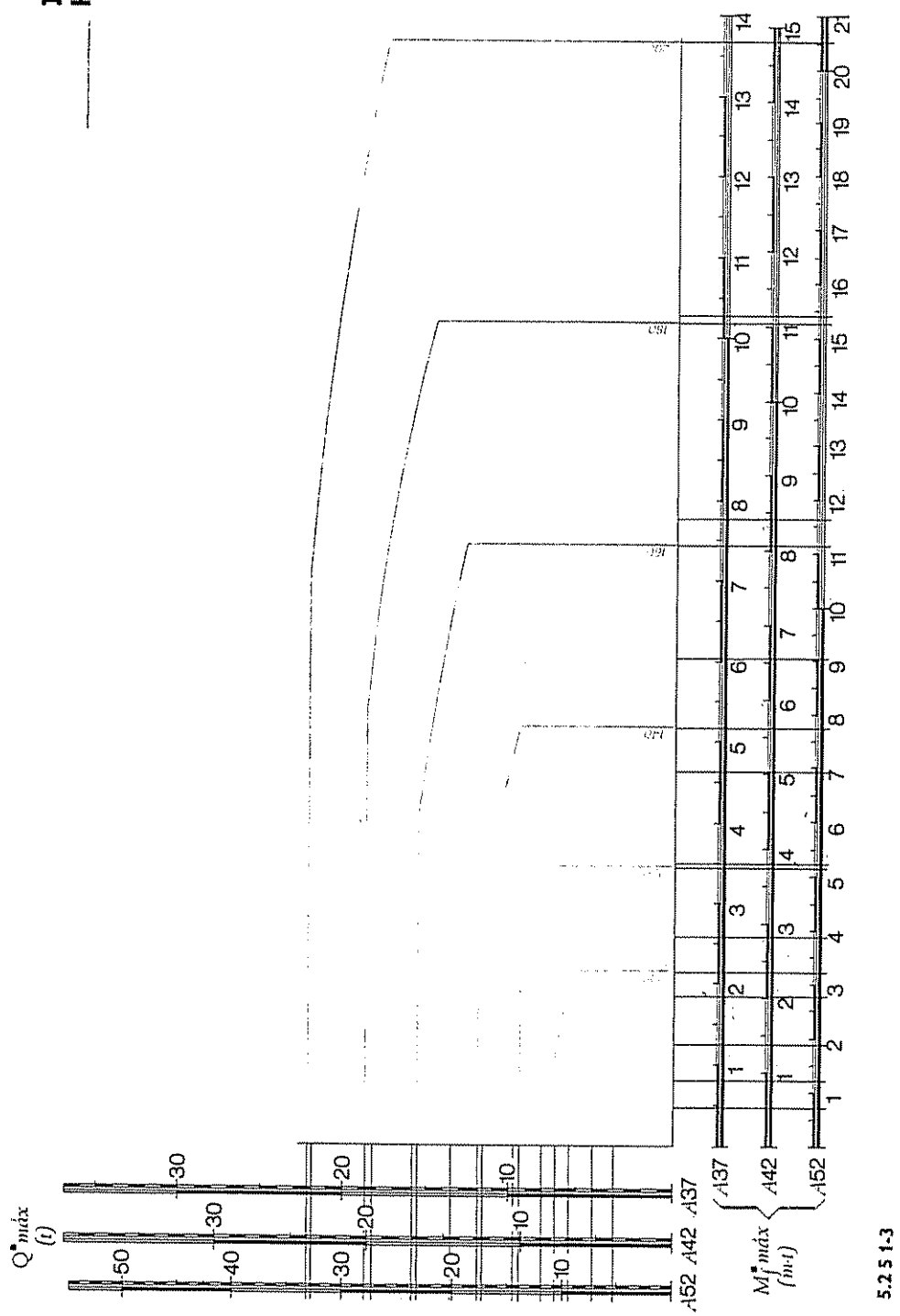
IPN
UPN



5.2.5.1-1

5.2.5.1-2

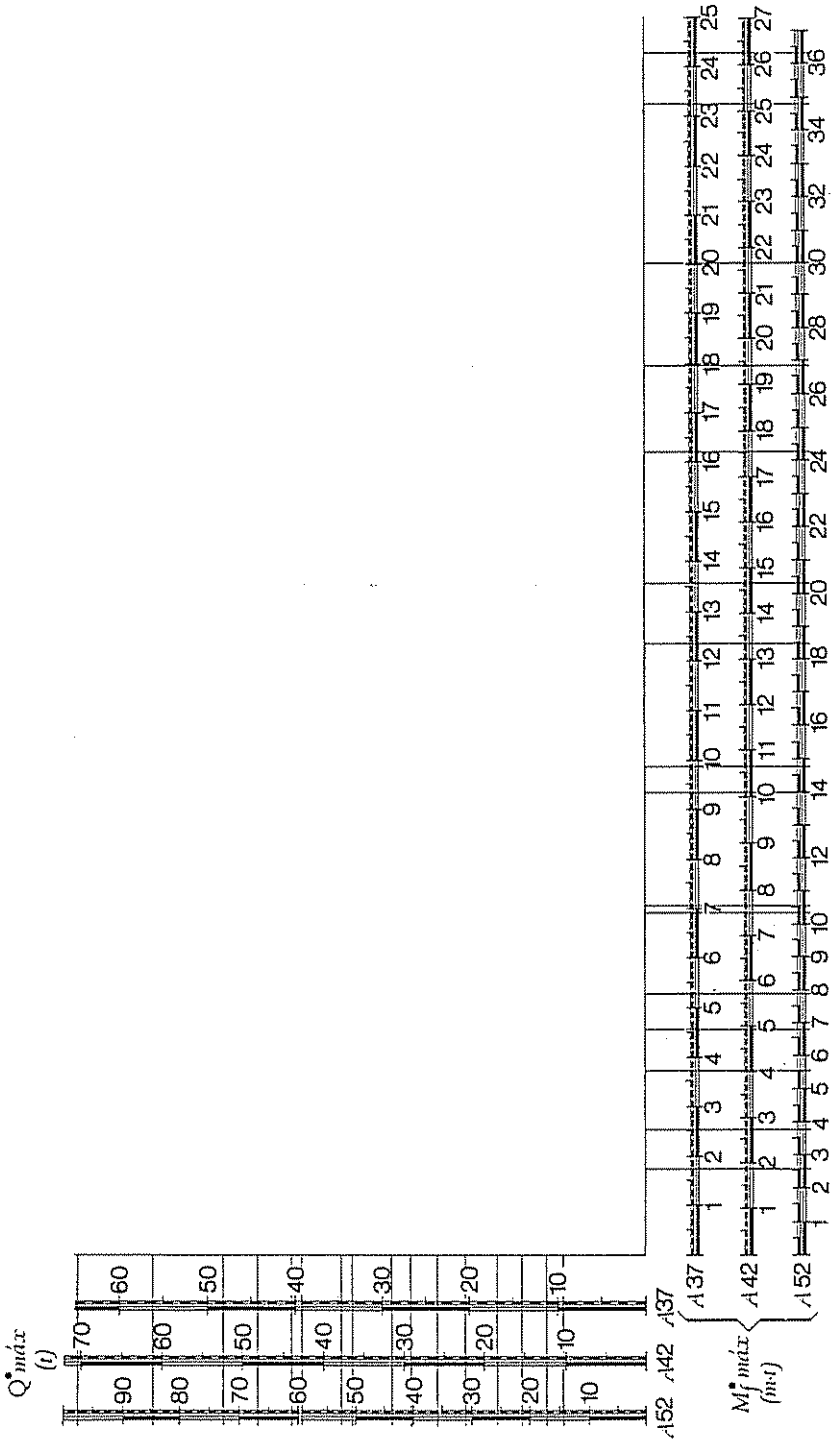
piezas sometidas a flexión



5.2 5 1-4

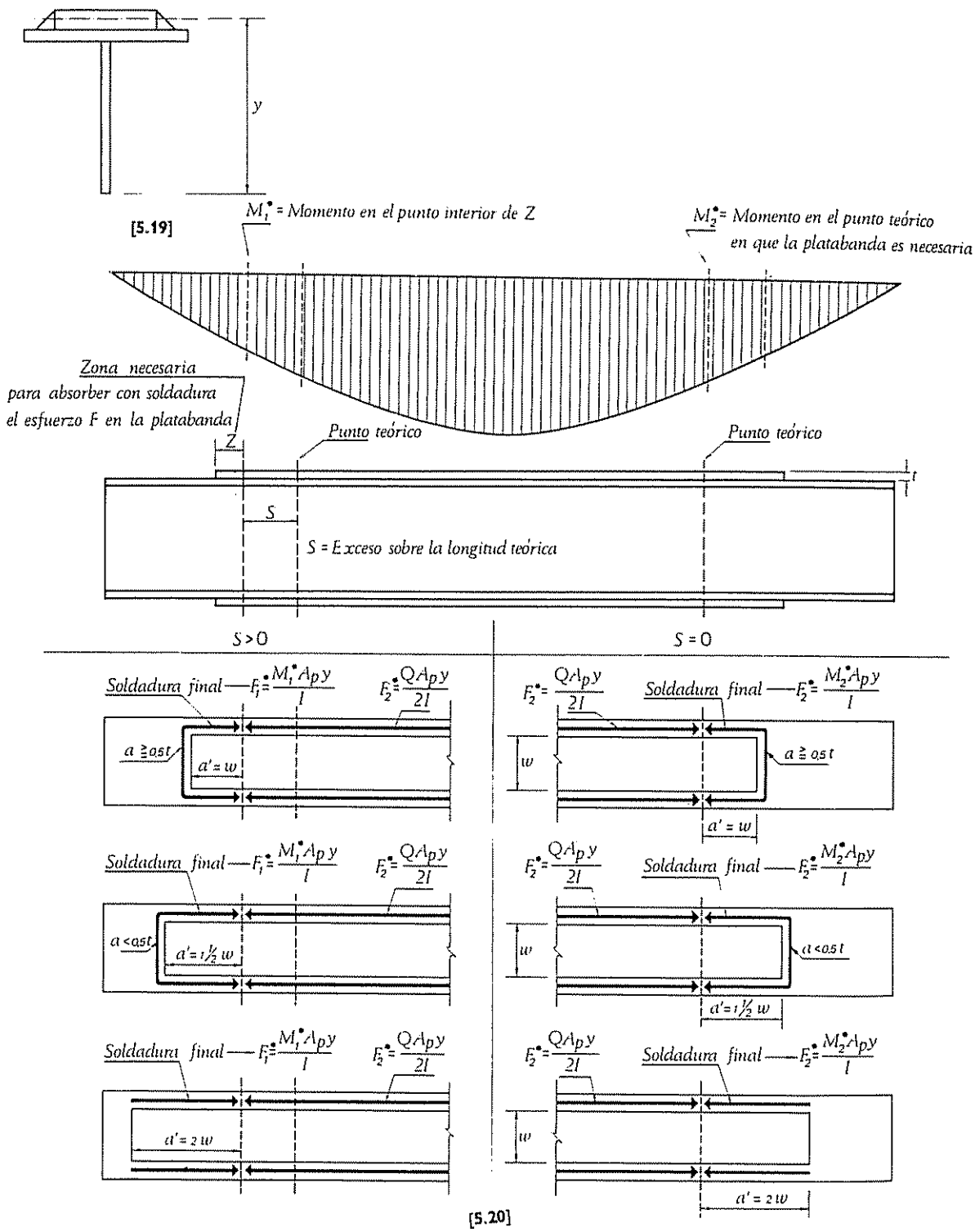
piezas sometidas a flexión

HEA HEM



5.2.5 1-5

HEA
HEM
$Q^{\bullet}_{máx}$ (t)
$M^{\bullet}_{f\,máx}$ (mt)
A152
A142
A137
5.2.5.1-6


y
[5.19]
M_1^* = Momento en el punto interior de Z
M_2^* = Momento en el punto teórico en que la platabanda es necesaria
Zona necesaria para absorber con soldadura el esfuerzo F en la platabanda
Z
Punto teórico
Punto teórico
t
S
S = Exceso sobre la longitud teórica
S > 0
S = 0
Soldadura final
$F_1^* = \frac{M_1^* A_p y}{I}$
$F_2^* = \frac{Q A_p y}{2I}$
$F_2^* = \frac{M_2^* A_p y}{I}$
a ≧ 0,5 t
a' = w
a < 0,5 t
a' = 1½ w
a' = 2 w
w
[5.20]

sarias en la longitud adecuada para que las soldaduras que las unen al ala puedan absorber el esfuerzo F* canalizado por la platabanda cuyo valor es [5.19].

$$F^*_1 = \frac{M^*_1 A_p y}{I}$$

A lo largo de la zona en que la platabanda es necesaria, cada una de las soldaduras de unión platabanda-ala, deben ser capaces de resistir un esfuerzo

$$F^*_2 = \frac{Q^* A_p y}{2 I}$$

siendo Q* el esfuerzo cortante correspondiente a la sección de que se trate.

La Norma AISC recomienda para la distancia a' medida desde el extremo real de la platabanda, los siguientes valores [5.20]:

— Un valor igual al ancho de la platabanda cuando la unión es un cordón continuo de garganta igual 0,5 su espesor.

— Un valor igual a vez y medio el ancho de la platabanda cuando el cordón continuo es menor de 0,5 el espesor de la misma.

— Un valor igual a 2 veces el ancho de la platabanda, cuando no existe cordón frontal y la unión se hace solamente con dos cordones laterales de longitud a'.

En los tres casos los cordones deben ser capaces de resistir el esfuerzo F^*_1 antes indicado.

Ver ejemplo de aplicación en la página 646.

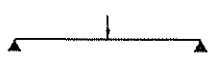
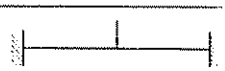
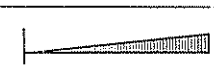
5.2.6. **Flechas.**

La Norma Básica MV-103 especifica a este respecto, en su apartado 5.4 [1]:

> *Las flechas se calcularán con el momento de inercia de la sección bruta.*
>
> *La flecha de una viga de celosía puede estimarse en primera aproximación asimilándola a una viga de alma llena cuyo momento de inercia sea igual al de los cordones multiplicado por 0,75.*

[1] La figura inserta en la Norma se reproduce en [5.21]

Valores del coeficiente α

Clase de sustentación y tipo de carga	α
	1,000
	0,800
	0,300
	0,250
	0,340
	0,400
	2,380
	1,930
	2,650
	3,180
	0,415
	0,448

[5.21]

5.4.1. *Flechas en vigas de alma llena.*

La flecha f en el centro del vano de una viga apoyada de sección constante y perfil simétrico de canto h y luz l puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$f\,(\mathrm{mm}) \simeq \alpha\,\frac{\sigma\,(\mathrm{kg/mm^2})\;l^2\,(\mathrm{m^2})}{h\,(\mathrm{cm})}$$

siendo:

σ *La máxima tensión producida por el máximo momento flector característico* M *en kg/mm²*
α *Un coeficiente que depende de la clase de sustentación y del tipo de carga.*

En la tabla 5.1 figuran los valores de α *para algunos casos usuales.*

5.4.2. *Limitaciones de las flechas.*

Las flechas serán compatibles con las necesidades específicas en cada caso. A menos que se establezcan exigencias especiales, se adoptarán los siguientes valores máximos de la relación flecha/luz bajo la acción de la carga característica.

Vigas o viguetas de cubierta	*1/250*
Vigas hasta 5 m de luz y viguetas de forjado, que no soporten muros de fábrica	*1/300*
Vigas de más de 5 m de luz, que no soporten muros de fábrica	*1/400*
Vigas y viguetas de forjado, que soporten muros de fábrica	*1/500*
Ménsulas, medida en el extremo libre	*1/300*

En cualquier otro elemento solicitado a flexión y no mencionado anteriormente, la relación flecha/luz no excederá de 1/500, a menos que se justifique debidamente que superarla no acarree consecuencias perjudiciales para el servicio o buen aspecto de la construcción

Se aconseja que en todos los elementos importantes se prevean contraflechas de ejecución que igualen, por lo menos, a las calculadas para las cargas permanentes. Estas contraflechas se indicarán en los planos.

5.2.7. Pandeo lateral.

5.2.7.1 *Pandeo lateral en el dominio elástico*

Hemos expuesto en 5.1 que una viga solo flecta en su plano cuando el plano de las cargas contiene uno de los ejes principales de la sección, o cuando sin cumplirse esta condición existen disposiciones constructivas que coaccionan la flexión, condicionando a que ésta se produzca en el plano de las cargas.

Por razones de economía, en los perfiles laminados el momento de inercia según el eje principal normal al alma es considerablemente mayor que el momento de inercia

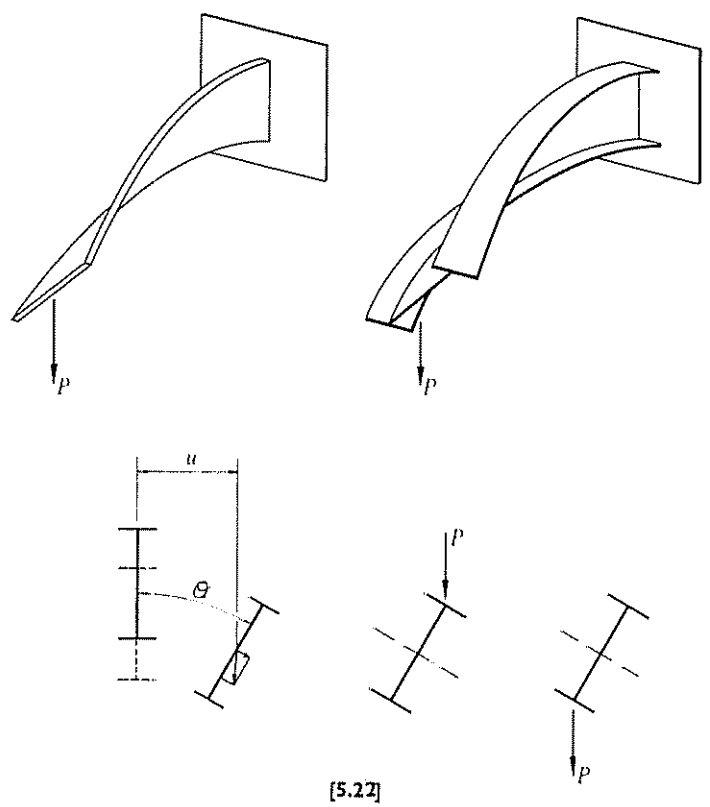
(Viene de la página 646)

Si entrásemos con el valor de $K_f = \frac{f}{L} \times \frac{1.000}{L\,(m)} = \frac{1}{250} \times \frac{1.000}{12} = 0{,}333$, obtendríamos un perfil que tendría una flecha de $\frac{f}{L} = \frac{1}{250}$ para la q^* de la tabla que es superior a la real, y sería necesario corregir el valor de la flecha reduciéndolo en la relación $\frac{q_1}{q_2}$ (art. 5.6.1.1).

Parece más conveniente tantear el perfil siguiente al estrictamente necesario por resistencia y comprobar la relación

$$\frac{f}{L} = \frac{K_f}{1.000} L \frac{q_1}{q_2}$$

Perfil	K_f	q_2	f/L	A/cm²
IPE 500	0,366	2,79	1/318	116
IPN 450	0,407	3,97	1/406	147
HEB 300	0,611	2,43	1/166	—
HEB 340	0,539	3,12	1/241	171
HEA 400	0,469	3,34	1/296	159
HEA 360	0,522	1,76	1/217	—



[5.22]

respecto al eje principal contenido en el plano del alma. Esto, unido a la pequeña rigidez torsional de los perfiles abiertos de débil espesor, hace que una viga de este tipo cargada en el plano de simetría por fuerzas verticales, si no está convenientemente arriostrada [1] puede, cuando las cargas sobrepasan un cierto valor, llamado CARGA CRITICA, flectar también transversalmente. Este fenómeno, acompañado siempre de torsión, se llama pandeo lateral [5.22]. Cualquier viga simétrica o no, puede pandear lateralmente si su rigidez torsional e inercia transversal son pequeñas comparadas con su inercia máxima.

El estudio de una viga de sección rectangular estrecha solicitada a flexión pura por dos momentos M_x, actuando en sus extremos conduce análogamente al caso de pandeo por compresión centrada, al concepto de momento crítico, es decir, a un valor del momento solicitante tal que con él se produce una bifurcación de equilibrio, o sea, la coexistencia de la deformada de flexión lateral y torsión con la deformada normal de flexión en el plano de solicitación.

Este valor tiene por expresión:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{E\, I_y\, G\, I_T}$$

siendo:

l Longitud teórica de pandeo lateral, o sea, máxima distancia entre puntos del cordón comprimido firmemente inmovilizados en sentido normal a la viga.

I_y Momento de inercia de la sección total de la viga respecto al eje contenido en el plano de flexión.

E Módulo de elasticidad del acero.

G Módulo de rigidez del acero.

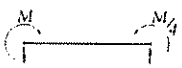
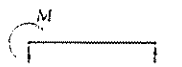
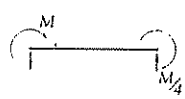
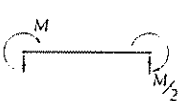
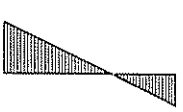
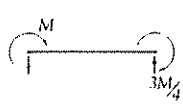
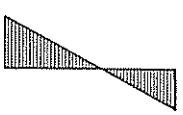
I_T Módulo de torsión de la sección total de la viga.

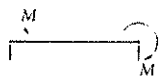
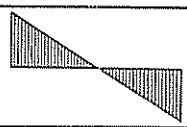
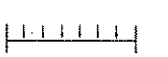
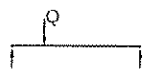
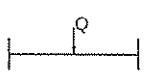
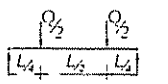
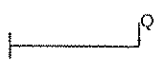
Los apoyos se suponen tales que permiten el giro en torno a los ejes X, e Y, pero no respecto del Z.

---

[1] En gran parte de las vigas de las estructura s ordinarias, el pandeo lateral está impedido y no es preciso considerarlo

Valores del coeficiente K_1

N.º	Esquema de cargas	Diagrama del momento flector	K_1
1			1,00
2			1,14
3			1,31
4			1,56
5			1,77
6			2,28
7			2,33
8			2,42

N.º	Esquema de cargas	Diagrama del momento flector	K_1
9			2,56
10			1,13
11			1,30
12			1,35
13			1,44
14			1,70
15			1,04
16			1,28
17			2,04

5.2 7 1-1

Valores del coeficiente K_2

Valores de L/a		2	4	10	20
Carga concentrada	En ala superior	0,63	0,71	0,85	0,92
	En ala inferior	1,57	1,39	1,17	1,08
Carga uniforme	En ala superior	0,69	0,76	0,88	0,93
	En ala inferior	1,46	1,33	1,14	1,07

5.2 7 1-2

El momento crítico de vigas rectangulares con cualquier tipo de carga tiene como expresión general

$$M_{cr} = \frac{K\,\pi}{l}\sqrt{E\,I_y\,G\,I_T}$$

El valor de K depende del tipo de carga y siempre es mayor que la unidad.

La expresión del momento crítico para vigas de sección no rectangular es más complicada. Para todas las secciones cuyo eje X es de simetría (I, U) y para las secciones con centro de simetría (Z), el valor del momento crítico es:

$$M_{cr} = \frac{K\,\pi}{l}\sqrt{E\,I_y\,G\,I_T}\sqrt{1 + \frac{\pi^2\,E\,I_A}{l^2\,G\,I_T}}$$

que difiere del obtenido para secciones rectangulares en el segundo radical, en el que figura la relación entre la rigidez torsional al alabeo $E\,I_A$ y la rigidez a la torsión uniforme $G\,I_T$.

l Distancia entre apoyos o la distancia parcial entre puntos en los cuales está impedido el giro y desplazamiento horizontal.

K Coeficiente, que en realidad puede desdoblarse en dos K_1 y K_2 $\quad K = K_1\,K_2$.

K_1 Función de la distribución de las cargas a lo largo del eje longitudinal de la viga. Sus valores para algunos casos de cargas vienen dados en la tabla **5.2 7 1-1**.

K_2 Depende de la cota de aplicación de las cargas con relación a la sección y es función de la longitud l y de la relación

$$a = \sqrt{\frac{E\,I_A}{G\,I_T}}$$

En **5.2 7 1-2** se indica la variación de K_2 en función de l/a para el caso de carga concentrada y de carga uniformemente distribuida.

De una manera global pueden adoptarse como coeficientes:

$K_2 = 1$ para cargas aplicadas en el baricentro.
$K_2 = 0{,}7$ para cargas aplicadas en el ala superior.
$K_2 = 1{,}3$ para cargas aplicadas en el ala inferior.

Pandeo lateral anelástico.

Tensión crítica ideal $\sigma_{cr,t}$ kg/cm²	Coeficiente K_r para acero:			Tensión crítica ideal $\sigma_{cr,t}$ kg/cm²	Coeficiente K_r para acero:		
	A 37	A 42	A 52		A 37	A 42	A 52
1 920	1,000	—	—	3 600	0,616	0,662	0,872
2 000	0,990	—	—	3 800	0,587	0,631	0,835
2 080	0,966	1,000	—	4 000	0,560	0,602	0,800
2 100	0,960	0,999	—	4 200	0,535	0,576	0,768
2 200	0,930	0,980	—	4 400	0,512	0,552	0,738
2 300	0,900	0,953	—	4 600	0,492	0,530	0,710
2 400	0,872	0,926	—	4 800	0,473	0,509	0,684
2 500	0,844	0,898	—	5 000	0,455	0,490	0,660
2 600	0,817	0,872	—	5 500	0,416	0,448	0,606
2 700	0,792	0,846	—	6 000	0,383	0,413	0,560
2 800	0,768	0,821	—	6 500	0,355	0,383	0,518
2 880	0,750	0,802	1,000	7 000	0,330	0,357	0,485
2 900	0,745	0,798	0,999	8 000	0,290	0,314	0,428
3 000	0,724	0,775	0,987	10 000	0,234	0,253	0,346
3 200	0,684	0,734	0,950	20 000	0,119	0,128	0,177
3 400	0,649	0,696	0,910	99 999	0,024	0,026	0,036

NOTA: Para valores intermedios de la tabla, tomar el correspondiente de K_r menor.

[5.23]

5.2.7.2. *El pandeo lateral según la Norma Básica MV-103.*

La expresión del pandeo lateral en secciones abiertas es una expresión complicada, la Norma Básica MV-103 ha adoptado una expresión envolvente del lado de la seguridad, consistente en la supresión del segundo radical y en la adopción del valor mínimo de K, o sea, $K = 1$.

El valor de

$$\sqrt{1 + \frac{\pi^2 E I_A}{l^2 G I_T}}$$

es siempre mayor que la unidad, y se aproxima tanto más a la unidad cuanto mayor es el valor de *l*.

La adopción de $K = 1$, implica la de $K_2 = 1$, y en vigas cargadas en el ala superior es una hipótesis optimista. En general, los valores de la fórmula de la MV-103 son demasiado pesimistas, sobre todo para vigas en que la relación *l/h* es pequeña.

Por ello, en vigas importantes o que se repiten mucho en una estructura, es aconsejable, por la economía que se obtiene, utilizar las fórmulas más exactas del apartado anterior, teniendo en cuenta el coeficiente K_r para el cálculo del momento crítico, cuando el pandeo tiene lugar en el dominio anelástico.

A continuación reproducimos los artículos 5.5 de la Norma Básica MV-103, relacionados con el pandeo lateral [1]:

Pandeo lateral de vigas

En las piezas flectadas deberá comprobarse su seguridad al pandeo lateral. Cuando la viga sea de celosía, se comprobará el pandeo del cordón comprimido fuera del plano de la viga, de acuerdo con las indicaciones del capítulo 3. Para las vigas de alma llena podrán utilizarse los métodos expuestos en los artículos 5.5.1, 5.5.2 y 5.5.3.

No es necesaria la comprobación de seguridad al pandeo lateral cuando la viga soporte o esté unida a un forjado o cubierta de rigidez suficiente para que, si los elementos de anclaje son los adecuados, pueda considerarse que se realiza un arriostramiento continuo del cordón comprimido. En estos casos hay que asegurarse de que no se producirá un pandeo prematuro en alguna de las fases de la construcción.

[1] La figura inserta en la Norma se reproduce en [5.23].

Tampoco es necesaria la comprobación cuando el cordón comprimido de la viga esté firmemente inmovilizado en sentido transversal en puntos aislados, cuya distancia sea igual o menor que 40 veces el radio de giro, i_y, de dicho cordón comprimido.

Se entiende por i_y, el radio de giro correspondiente al eje de inercia contenido en el plano del alma y que, a los efectos de este artículo, el cordón comprimido de la viga esté constituido por:

- *Las platabandas y las alas horizontales de los angulares, en las vigas armadas roblonadas.*
- *Las platabandas en las vigas armadas soldadas.*
- *El ala, más las eventuales platabandas de refuerzo, en las vigas laminadas.*

5.5.1. *Comprobación a pandeo lateral.*

Se deberá cumplir en las vigas la condición:

$$M^* < M_{cr}$$

Siendo:

M^* *El máximo momento flector ponderado que actúa sobre la viga, o tramo de la misma considerado.*

M_{cr} *El momento crítico de pandeo lateral.*

5.5.2. *Momento crítico.*

El momento crítico de pandeo lateral depende: de la forma de la sección, de la distribución de las cargas solicitantes y de la posición de las mismas respecto al baricentro.

Para vigas de sección simétrica con relación a un eje horizontal que pase por el baricentro (eje GX), como son I, H, U y también las secciones con centro de simetría, para cualquier tipo de solicitación y posición de cargas puede adoptarse el siguiente valor del momento crítico:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{E\,G\,I_y\,I_T}$$

Siendo:

l *La longitud teórica de pandeo lateral, o sea, máxima distancia entre puntos del cordón comprimido firmemente inmovilizados en sentido normal a la viga.*

I_y *El momento de inercia de la sección total de la viga respecto al eje contenido en el plano de flexión.*

E *El módulo de elasticidad del acero.*

G *El módulo de rigidez del acero.*

I_T *El módulo de torsión de la sección total de la viga.*

La fórmula anterior es una fórmula envolvente aproximada aplicable, como se indica anteriormente, para vigas, con eje de simetría horizontal o centro de simetría, simplemente apoyadas.

Si se quiere realizar una comprobación más exacta, o considerar otros tipos de sustentación, pueden utilizarse las fórmulas incluidas en el anejo 4.

5 5 3 *Pandeo lateral en el dominio anelástico*

Todas las fórmulas anteriores son válidas para el caso de pandeo lateral en el dominio elástico. Por tanto, será preciso comprobar que la tensión crítica ideal

$$\sigma_{cr,\,i} = \frac{M_{cr}}{W_x}$$

producida por el momento crítico cumple que

$$\sigma_{cr,\,i} \leqslant \sigma_p$$

siendo:

W_x *Módulo resistente de la sección.*
σ_p *Límite de proporcionalidad del acero.*

Si esta condición no se verifica, la comprobación indicada en el artículo 5 5 1 se efectuará como sigue: se hallará la tensión crítica ideal indicada anteriormente; entrando con su valor en la tabla 5.2 se obtiene el coeficiente K_r (función del tipo de acero).

El valor del momento crítico real, $M_{cr,\,r}$, viene dado por:

$$M_{cr,\,r} = K_r\, M_{cr}$$

debiendo verificarse, al igual que en el artículo 5 5 3, que:

$$M^* \leqslant M_{cr,\,r}$$

siendo:

M^* *El máximo momento flector ponderado que actúa sobre la viga.*

5 5 4. *Arriostramientos*

Siempre que no se realice una comprobación más detallada, los elementos de arriostramiento del cordón comprimido de una pieza sometida a flexión se dimensionarán para resistir un esfuerzo normal al plano medio de la pieza de valor:

$$\frac{N^*}{100}$$

siendo:

N^* *Máximo esfuerzo ponderado de compresión existente a uno u otro lado del punto de arriostramiento considerado*

Como cordón comprimido de las vigas de alma llena se considerará el definido en el artículo 5 5.

5.2 7. EJEMPLO DE APLICACION

En el caso de carga del Ejemplo de aplicación 5.2 5-A), se supone:

A) El pandeo lateral no está impedido, calcular los perfiles necesarios de cada una de las series.

La condición es $M_{cr} > M^*$ Del cuadro **5.2 7 1-1** se deduce que puede adoptarse $K_1 = 1$ y de **5.2 7 3** obtenemos ($K_2 = 1$).

IPN 400 $l = 6$ m $M_{cr} = 3.029$ cm · t = 30,29 m · t < 33 m t
sería necesario pasar a IPN 450 $M_{cr} = 47,17$ m · t > 33 m t

IPE 450 $M_{cr} = 28,97$ m · t es preciso adoptar IPE 500 $M_{cr} = 39,92$ m t

HEB 280 $M_{cr} = 78,01 > 33$ m · t admisible

B) Los mismos para el caso C) del Ejemplo de aplicación 5.2 5.

IPE 500 $M_{cr} = 15,25 < 36$ m t IPE 600 $M_{cr} = 26,91 < 36$ m t
no existe ningún perfil IPE que cumpla la condición.

IPN 450 $M_{cr} = 21,71$ m · t es preciso adoptar IPN 550 con $M_{cr} = 45,7$ m t

HEB 340 $M_{cr} = 54,12$ m · t admisible

HEA 400 $M_{cr} = 45,23$ m t admisible

C) El mismo caso A), pero suponiendo la colocación de un arriostramiento horizontal en el punto medio.

De **5.2 7 1** se deduce que podría adoptarse un valor para K_1 comprendido entre 1,77 y 1,56, adoptamos 1,60 $l = 6$ m

IPE 500 $M_{cr} = 1,60 \times 39,92 = 63,87 > 36$ m t

IPN 450 $M_{cr} = 1,60 \times 47,17 = 75,47 > 36$ m t

No es preciso arriostrar los perfiles H.

5.2.7.3. *Comprobación del pandeo lateral en el caso de perfiles laminados.*

En **5.2.7.3** se ha tabulado para las series de perfiles laminados los valores de la expresión:

$$M_{cr\,(1,1)} = \frac{\pi}{l}\sqrt{E\,I_y\,G\,I_T}\sqrt{1+\frac{\pi^2\,E\,I_A}{l^2\,G\,I_T}}$$

para el caso $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$. La obtención del momento crítico para un caso real se hará eligiendo el valor de K_1 de **5.2.7.1-1**, teniendo en cuenta la forma de la ley de momentos flectores solicitante y el valor de K_2 correspondiente a la situación de la carga con relación a la viga de **5.2.7.1-2** y operando de la siguiente manera:

En el caso de perfiles laminados, repetimos, el valor de $M_{cr\,(1,1)}$ para el perfil y la luz de que se trate, se puede obtener directamente de **5.2.7.3.**

Este valor de $M_{cr\,(1,1)}$ multiplicado por K_1 y K_2 y dividido por el módulo resistente del perfil nos da una tensión crítica ideal $\sigma_{cr,i}$

$$\sigma_{cr,i} = \frac{K_1\,K_2\,M_{cr\,(1,1)}}{W_x} = \frac{M_{cr,i}}{W_x}$$

Si $\sigma_{cr,i} < \sigma_p$ debe verificarse que $M^* < M_{cr,i}$

Ahora bien, si $\sigma_{cr,i} > \sigma_p$ se entra con el valor de $\sigma_{cr,i}$ en **5.2.3**, obteniéndose un valor de K_r a partir del cual se calcula el valor del momento crítico real $M_{cr,r}$

$$M_{cr,r} = K_r\,M_{cr,i}$$

teniendo que verificarse que

$$M^* \leqslant M_{cr,r}$$

Es preciso hacer notar que para valores pequeños de la luz las tensiones $\sigma_{cr,i}$ son muy elevadas y los valores de K_r se obtienen en [5.23] con poca precisión y con a veces aparentes contradicciones para los momentos $M_{cr,r}$ (puede suceder, por ejemplo, en perfiles grandes, que el valor de $M_{cr,r}$ correspondiente a $l = 1{,}50$ sea mayor al de $l = 1{,}00$).

Este hecho podría subsanarse ampliando los valores de [5.23], pero no tiene objeto práctico, pues para los valores en cuestión el valor de $M_{cr,r}$ es muy próximo al de M_u.

En **5.2.7.3** se han omitido los valores de $M_{cr,r}$ para luces pequeñas, correspondientes a los casos en que no es necesario la comprobación de pandeo por ser:

$$l < 40\,i_y$$

Ver ejemplo de aplicación en la página 668

Valores del momento crítico ideal (cm · t) para $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$

IPN	Longitud del perfil m											
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
80	—	59,77	43,60	34,41	28,47	24,29	21,19	18,80	16,89	15,34	14,05	12,96
100	—	119,80	86,04	67,37	55,47	47,20	41,10	36,41	32,69	29,66	27,15	25,04
120	—	220,99	155,98	121,00	99,08	84,00	72,98	64,54	57,88	52,48	48,01	44,24
140	—	373,58	259,36	199,31	162,27	137,08	118,78	104,88	93,93	85,08	77,77	71,63
160	—	606,23	413,24	314,06	253,93	213,52	184,45	162,49	145,29	131,43	120,03	110,47
180	—	939,83	629,96	473,67	380,31	318,30	274,06	240,86	214,98	194,23	177,19	162,95
200	—	1 420,91	937,65	697,64	556,17	463,21	397,45	348,42	310,40	280,03	255,18	234,46
220	—	2 069,72	1 345,38	990,37	783,67	649,25	554,96	485,13	431,29	388,45	353,53	324,50
240	—	2 961,38	1 899,98	1 385,07	1 088,29	897,03	763,88	665,90	590,73	531,18	482,79	442,68
260	—	4 080,52	2 592,52	1 875,65	1 465,45	1 202,86	1 021,13	888,04	786,36	706,09	641,05	587,25
280	—	5 457,18	3 442,86	2 476,90	1 926,93	1 576,54	1 335,08	1 158,91	1 024,73	919,08	833,67	763,15
300	—	7 125,68	4 464,20	3 193,36	2 473,26	2 016,64	1 703,33	1 475,59	1 302,70	1 166,94	1 057,45	967,22
320	—	9 216,54	5 740,63	4 086,45	3 152,74	2 562,95	2 159,74	1 867,60	1 646,44	1 473,19	1 333,76	1 219,06
340	—	11 744,97	7 268,59	5 145,66	3 952,27	3 201,63	2 690,52	2 321,57	2 043,15	1 825,67	1 651,06	1 507,72
360	—	14 957,96	9 215,61	6 498,46	4 975,24	4 019,94	3 371,30	2 904,29	2 552,71	2 278,63	2 058,97	1 878,93
380	—	18 619,64	11 413,26	8 011,69	6 110,54	4 922,11	4 117,78	3 540,42	3 106,94	2 769,85	2 500,26	2 279,69
400	—	23 091,07	14 088,89	9 848,47	7 484,77	6 011,48	5 017,28	4 305,61	3 772,65	3 359,15	3 029,12	2 759,59
450	—	37 981,14	22 940,19	15 884,57	11 973,00	9 550,00	7 925,37	6 769,68	5 909,25	5 245,23	4 717,80	4 288,88
500	—	59 618,84	35 697,39	24 510,70	18 335,29	14 529,25	11 991,13	10 195,48	8 865,66	7 844,47	7 037,01	6 383,06
550	—	—	54 078,42	36 837,41	27 353,41	21 533,64	17 671,45	14 952,85	12 949,61	11 418,69	10 213,66	9 241,81
600	—	—	78 017,75	52 858,75	39 048,64	30 597,18	25 005,98	21 083,51	18 202,98	16 008,97	14 287,53	12 903,37

5.2 7 3-1

Longitud del perfil m											IPN
00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10.00	10,50	11,00	11,50	12,00	
12,03	11.22	10,52	9,90	9,34	8,85	8.41	8,00	7,64	7,31	7.00	80
23,23	21,67	20,30	19,10	18,03	17,08	16,22	15,44	14,74	14,09	13,50	100
41,03	38,26	35,83	33,70	31,81	30,12	28,60	27,23	25,99	24,85	23,81	120
66,40	61,88	57,95	54,49	51,42	48,68	46,22	44,00	41,98	40,14	38,45	140
02,34	95,34	89,24	83,88	79,13	74.90	71,10	67,67	64,55	61,71	59,12	160
50,86	140,46	131,42	123.48	116,46	110,20	104,58	99,52	94,92	90,73	86,90	180
16,91	201,84	188,75	177,28	167,14	158,11	150,02	142,72	136,10	130,07	124,56	200
99,95	278,92	260,70	244,74	230,65	218,11	206,89	196,77	187,61	179,27	171,65	220
08,85	379,92	354,89	333,00	313,70	296,55	281,20	267,38	254,87	243,49	233,10	240
41,97	503,32	469,92	440.76	415,06	392,25	371,84	353,49	336,88	321,79	308,00	260
03,89	653,37	609,76	571,72	538,23	508,52	481,96	458,08	436,49	416,87	398,96	280
91,53	827,09	771,54	723,13	680,55	642,80	609,09	578,79	551,41	526,54	503,85	300
22,98	1 041,29	970,94	909,70	855,87	808,19	765,63	727,40	692,88	661,53	632,93	320
37,86	1 286,11	1 198,60	1 122,51	1 055,70	996,56	943,82	896,49	853,75	814,98	779,62	340
28,59	1 601,10	1 491,57	1 396,40	1 312,92	1 239,07	1 173,24	1 114,19	1 060,91	1 012,57	968,52	360
95,82	1 940,11	1 806,49	1 690,53	1 588,89	1 499,05	1 419,04	1 347,30	1 282,61	1 223,95	1 170,52	380
35,24	2 345,52	2 182,90	2 041,92	1 918,47	1 809,43	1 712,39	1 625,45	1 547,08	1 476,06	1 411,39	400
13,22	3 633,44	3 377,26	3 155,73	2 962,19	2 791,59	2 640,03	2 504,46	2 382,43	2 272,00	2 171,55	450
42,80	5 388,96	5 002,25	4 668,72	4 378,01	4 122,30	3 895,56	3 693.07	3 511,09	3 346,60	3 197,19	500
41,98	7 772.39	7 203,65	6 714,50	6 289,24	5 916,03	5 585,77	5 291,38	5 027,24	4 788,87	4 572,62	550
57,38	10 818,82	10 015,00	9 325,15	8 726,55	8 202,14	7 738,83	7 326,42	6 956,89	6 623,79	5 321,93	600

5.2 7 3-1

Valores del momento crítico ideal (cm · t) para $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$

IPE	Longitud del perfil m												
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
80	109,99	66,16	47,60	37,30	30,73	26,16	22,78	20,18	18,12	16,45	15,06	13,89	12,8
100	219,60	124,45	86,85	66,94	54,59	46,17	40,04	35,37	31,69	28,72	26,26	24,19	22,4
120	415,41	224,32	152,03	115,12	92,86	77,97	67,28	59,22	52,92	47,85	43,69	40,20	37,2
140	730,12	377,58	248,23	184,21	146,59	121,94	104,53	91,57	81,54	73,53	66,99	61,54	56,9
160	1 213,82	608,18	389,82	283,96	223,00	183,73	156,41	136,32	120,91	108,71	98,80	90,58	83,6
180	1 969,24	963,91	605,17	433,66	336,34	274,53	232,07	201,17	177,69	159,23	144,34	132,05	121,7
200	3 024,16	1 453,38	896,54	632,90	484,99	392,15	329,07	283,61	249,37	222,66	201,25	183,69	169,0
220	4 728,94	2 240,55	1 362,12	948,98	719,15	576,22	479,98	411,25	359,88	320,10	288,41	262,56	241,0
240	—	3 310,62	1 988,05	1 368,95	1 026,72	815,44	674,28	574,24	500,01	442,92	397,70	361,03	330,6
270	—	5 369,02	3 168,22	2 143,41	1 581,19	1 237,36	1 010,08	850,78	733,90	644,95	575,23	519,21	473,2
300	—	8 450,66	4 931,95	3 297,48	2 404,21	1 860,72	1 503,66	1 255,11	1 074,09	937,35	830,95	746,08	676,9
330	—	12 036,99	6 986,20	4 642,39	3 363,52	2 587,15	2 078,55	1 725,68	1 469,61	1 276,94	1 127,61	1 008,96	912,6
360	—	—	9 999,10	6 622,39	4 781,32	3 664,91	2 934,57	2 428,72	2 062,33	1 787,24	1 574,48	1 405,80	1 269,2
400	—	—	13 928,00	9 177,52	6 590,11	5 023,48	4 000,67	3 293,96	2 783,53	2 401,47	2 106,96	1 874,27	1 686,5
450	—	—	19 799,66	12 994,89	9 291,11	7 050,83	5 590,22	4 582,77	3 856,62	3 314,34	2 897,38	2 568,84	1 304,5
500	—	—	27 928,39	18 281,27	13 032,54	9 859,69	7 792,82	6 368,72	5 343,59	4 579,18	3 992,39	3 530,86	3 150,2
550	—	—	38 127,72	24 897,20	17 701,17	13 353,37	10 523,08	8 574,76	7 173,81	6 130,52	5 330,83	4 702,84	4 199,4
600	—	—	52 667,92	34 347,46	24 384,61	18 366,59	14 450,40	11 755,80	9 819,32	8 378,18	7 274,37	6 408,29	5 714,6

5.2.7.3-2

Longitud del perfil m											IPE
7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	
12,88	12,02	11,26	10,59	10,00	9,47	8,99	8,56	8,17	7,82	7,49	80
22.43	20,90	19,58	18,41	17,37	16,45	15,62	14,87	14,19	13,56	13,00	100
37,23	34.68	32.45	30,50	28,77	27.23	25,85	24,60	23,47	22,43	21,49	120
56,92	52,95	49,52	46,50	43,84	41.47	39,34	37,42	35.69	34,11	32,66	140
83,65	77,73	72.60	68,12	64.17	60,66	57,52	54,69	52,13	49,80	47,68	160
21,75	112,96	105.39	98,79	92,98	87,83	83,23	79,10	75,36	71,97	68,87	180
69,02	156.57	145.88	136,58	128,43	121,21	114,78	109.01	103,80	99,08	94,77	200
41,07	222,92	207,38	193.91	182,13	171.74	162,49	154,21	146,75	139,99	133.84	220
30,69	305,18	283.42	264,63	248,24	233,82	221.02	209,58	199,29	189,99	181,54	240
73,28	434,95	402.49	374,65	350,50	329,36	310,69	294,08	279,20	265,79	253,65	270
76,95	619,64	571,40	530,25	494,75	463.81	436,60	412.49	390,98	371,65	354,20	300
12,69	833,18	766.49	709,80	661,04	618,68	581,53	548,69	519.46	493,26	469,65	330
69.26	1 156,72	1 062,52	982,60	914,00	854,50	802,42	756,46	715,60	679,03	646,12	360
86,56	1 532,39	1 403,78	1 295.03	1 201,98	1 121,52	1 051,29	989,49	934,69	885,77	841,83	400
04,53	2 088,05	1 907,98	1 756,14	1 626,57	1 514.82	1 417,54	1 332,13	1 256,57	1 189,27	1 128,96	450
50,25	2 857,29	2 605,78	2 394,12	2 213,85	2 058,68	1 923,84	1 805.67	1 701,31	1 608,52	1 525,49	500
99,43	3 788.65	3 448.24	3 162,30	2 919.22	2 710,37	2 529,21	2 370,72	2 231,01	2 106,98	1 996,18	550
14,64	5 149,17	4 681,04	4 288,21	3 954,61	3 668,26	3 420,14	3 203,30	3 012,32	2 842,94	2 691.77	600

5.2 7 3-2

Valores del momento crítico ideal (cm · t) para $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$

HEB	Longitud del perfil m											
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
100	2 105,39	1 171,96	809,41	620,08	503,88	425,11	368,07	324,77	290,74	263,26	240,58	221,55
120	—	2 293,40	1 528,07	1 144,42	916,42	765,60	658,35	578,06	515,61	465,58	424,58	390,32
140	—	4 200,43	2 710,74	1 984,84	1 564,58	1 292,64	1 102,69	962,50	854,69	769,12	699,49	641,68
160	—	—	4 582,32	3 287,52	2 552,05	2 084,56	1 763,09	1 528,97	1 350,93	1 210,93	1 097,88	1 004,62
180	—	—	7 395,10	5 208,61	3 983,85	3 216,39	2 695,72	2 321,15	2 039,35	1 819,81	1 643,96	1 499,88
200	—	—	—	7 993,98	6 034,00	4 818,67	4 002,92	3 422,02	2 989,11	2 654,70	2 388,86	2 172,52
220	—	—	—	11 912,37	8 888,73	7 028,07	5 789,36	4 914,55	4 267,79	3 771,95	3 380,48	3 063,89
240	—	—	—	17 302,91	12 785,38	10 020,40	8 190,94	6 907,29	5 964,47	5 246,25	4 682,63	4 229,38
260	—	—	—	—	17 326,82	13 441,86	10 886,53	9 105,29	7 805,99	6 823,09	6 057,04	5 445,05
280	—	—	—	—	23 216,42	17 865,74	14 359,80	11 926,81	10 160,76	8 831,61	7 801,13	6 982,14
300	—	—	—	—	—	24 235,85	19 381,52	16 021,29	13 589,18	11 764,42	10 354,28	9 237,28
320	—	—	—	—	—	27 953,70	22 366,71	18 498,36	15 697,66	13 595,68	11 970,77	10 683,21
340	—	—	—	—	—	31 077,85	24 851,03	20 540,92	17 421,41	15 081,05	13 272,54	11 840,07
360	—	—	—	—	—	34 342,02	27 442,79	22 668,74	19 214,69	16 624,32	14 623,48	13 039,34
400	—	—	—	—	—	40 392,91	32 209,95	26 552,90	22 464,44	19 401,99	17 039,53	15 171,56
450	—	—	—	—	—	48 815,13	38 839,91	31 950,20	26 976,25	23 255,03	20 388,11	18 124,37
500	—	—	—	—	—	58 019,47	46 079,24	27 838,25	31 893,84	27 450,77	24 031,28	21 334,21
550	—	—	—	—	—	65 432,23	51 808,80	42 416,46	35 650,43	30 600,99	26 721,23	23 666,54
600	—	—	—	—	—	73 228,00	57 836,60	47 234,17	39 604,06	33 916,33	29 551,81	26 120,29

5.2 7 3-3

Longitud del perfil m											HEB
7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9.50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	
205,33	191,35	179,16	168.44	158,95	150,47	142,85	135,98	129,73	124.04	118,83	100
361,26	336,29	314,58	295,54	278,70	263,69	250,23	238,09	227,08	217,05	207,87	120
592,88	551,11	514,94	483,30	455,37	430,54	408,32	388,30	370,17	353,68	338.61	140
926,33	859,62	802,07	751,89	707,74	668,58	633,60	602.15	573,72	547.89	524,31	160
1379,63	1 277,69	1 190,14	1 114,09	1 047,39	988,40	935,83	888,67	846,13	807,55	772,38	180
1993,00	1 841,60	1 712,15	1 600,16	1 502,27	1 415,96	1 339,26	1 270,63	1 208,84	1 152,90	1 102,02	200
2802,67	2 583,48	2 396,91	2 236,15	2 096,14	1 973,08	1 864,04	1 766,71	1 679,29	1 600,32	1 528,60	220
3857,35	3 546,66	3 283,34	3 057,34	2 861,22	2 689,38	2 537,56	2 402,40	2 281,29	2 172,12	2 073,17	240
4945,86	4 531,40	4 182,06	3 883,71	3 626,01	3 401,17	3 203,28	3 027,76	2 870,97	2 730,06	2 602,70	260
6317,48	5 768,35	5 307,62	4 915,87	4 578,87	4 285,98	4 029,11	3 802,01	3 599,79	3 418,54	3 255,16	280
8333,76	7 589,70	6 967,41	6 439,88	5 987,38	5 595,18	5 252,09	4 949,51	4 680,68	4 440,24	4 223,93	300
9641,36	8 783,08	8 065,01	7 456,10	6 933,63	6 480,65	6 084,30	5 734,63	5 423,88	5 145,90	4 895,76	320
10 681,44	9 727,34	8 929,40	8 253,02	7 672,88	7 170,06	6 730,23	6 342,34	5 997,72	5 689,53	5 412,27	340
11 758,57	10 704,36	9 823,06	9 076,33	8 436,09	7 881,40	7 396,37	6 968,75	6 588,95	6 249,41	5 944,02	360
13 663,39	12 423,66	11 388,66	10 512,82	9 762,82	9 113,82	8 546,95	8 047,73	7 604,80	7 209,18	6 853,67	400
16 299,19	14 801,00	13 551,97	12 496,46	11 593,80	10 813.68	10 133,15	9 534,50	9 003,95	8 530,55	8 105,59	450
19 162,11	17 381,20	15 898,19	14 646,36	13 576,99	12 653,80	11 849,29	11 142,28	10 516,27	9 958,22	9 457,68	500
21 211,01	19 201.52	17 531,36	16 124,25	14 924,47	13 890,59	12 991,21	12 202,19	11 504,72	10 883,91	10 327,93	550
23 365,96	21 115,39	19 247,78	17 676,77	16 339,38	15 188,67	14 189,16	13 313,59	12 540,68	11 853,68	11 239,20	600

5.2 7 3-3

Valores del momento crítico ideal (cm · t) para $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$

HEA	Longitud del perfil m												
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,0
100	1 521,21	813,89	548,21	413,52	332,71	278,85	240,33	211,37	188,77	170,61	155,70	143,22	13
120	—	1 428,55	914,54	665,58	522,33	430,14	366,05	318,94	282,82	254,23	231,02	211,79	19
140	—	2 610,80	1 616,60	1 144,97	879,75	712,88	599,21	517,14	455,19	406,78	367,91	336,00	30
160	—	—	2 725,96	1 887,16	1 422,19	1 134,21	941,14	803,81	701,59	622,71	560,06	509,11	46
180	—	—	4 398,05	2 990,23	2 216,41	1 742,03	1 427,56	1 206,46	1 043,74	919,53	821,87	743,19	67
200	—	—	6 866,19	4 608,59	3 373,35	2 620,61	2 125,13	1 779,46	1 527,09	1 336,00	1 186,94	1 067,75	97
220	—	—	—	7 260,81	5 275,75	4 069,50	3 278,29	2 728,54	2 328,94	2 027,76	1 793,90	1 607,76	1 45
240	—	—	—	11 069,22	7 993,73	6 128,64	4 908,43	4 063,18	3 450,90	2 991,11	2 635,46	2 353,47	2 12
260	—	—	—	—	11 207,21	8 528,11	6 779,99	5 572,97	4 701,91	4 050,51	3 548,88	3 152,99	2 83
280	—	—	—	—	15 425,40	11 672,64	9 227,85	7 543,24	6 330,46	5 426,03	4 731,68	4 185,48	3 74
300	—	—	—	—	21 714,36	16 380,13	12 907,74	10 517,43	8 798,70	7 518,78	6 537,73	5 767,34	5 14
320	—	—	—	—	25 792,00	19 486,27	15 379,95	12 551,91	10 517,24	9 000,99	7 837,89	6 923,77	6 19
340	—	—	—	—	29 231,30	22 085,87	17 432,67	14 227,95	11 922,21	10 203,92	8 885,81	7 849,82	7 01
360	—	—	—	—	32 901,57	24 862,23	19 626,74	16 020,84	13 426,32	11 492,72	10 009,33	8 843,36	7 90
400	—	—	—	—	39 709,21	29 978,32	23 642,68	19 280,33	16 142,67	13 805,27	12 012,96	10 604,91	9 47
450	—	—	—	—	49 402,77	37 254,63	29 347,21	23 904,48	19 991,39	17 077,77	14 844,86	13 091,75	11 68
500	—	—	—	—	60 139,14	45 315,98	35 668,98	29 030,39	24 258,86	20 707,23	17 986,40	15 851,09	14 14
550	—	—	—	—	68 844,63	51 766,26	40 656,57	33 015,88	27 528,07	23 446,85	20 323,41	17 874,86	15 91
600	—	—	—	—	78 064,25	58 596,02	45 935,92	37 232,88	30 985,60	26 342,69	22 792,20	20 011,33	17 78

5.2 7 3-4

Longitud del perfil m										HEA
00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	
12,62	123,49	115,56	108,59	102,43	96,93	92,00	87,54	83,51	79,83	76,46	100
15,57	181,71	169,72	159,24	150,00	141,79	134,44	127,83	121,84	116,40	111,43	120
09,31	286,64	267,15	250,20	235,32	222,14	210,39	199,84	190,32	181,68	173,80	140
56,88	431,28	400,86	374,55	351,57	331,32	313,33	297,23	282,75	269,64	257,71	160
78,50	624,39	578,46	538,99	504,70	474,63	448,02	424,32	403,07	383,90	366,51	180
10,44	889,59	821,38	763,09	712,71	668,72	629,99	595,62	564,90	537,28	512,30	200
56,46	1 331,28	1 226,11	1 136,57	1 059,44	992,33	933,41	881,26	834,79	793,09	755,48	220
15,15	1 936,94	1 779,39	1 645,71	1 530,94	1 431,39	1 344,24	1 267,31	1 198,92	1 137,72	1 082,62	240
13,95	2 572,21	2 354,10	2 169,88	2 012,41	1 876,38	1 757,77	1 653,48	1 561,09	1 478,68	1 404,73	260
16,82	3 388,19	3 090,41	2 839,77	2 626,28	2 442,48	2 282,75	2 142,74	2 019,08	1 909,11	1 810,70	280
19,79	4 645,89	4 228,33	3 877,59	3 579,43	3 323,26	3 101,07	2 906,69	2 735,33	2 583,22	2 447,33	300
10,32	5 591,29	5 094,39	4 676,60	4 321,08	4 015,32	3 749,85	3 517,39	3 312,27	3 130,02	2 967,07	320
18,58	6 339,64	5 776,45	5 302,89	4 899,91	4 553,33	4 252,39	3 988,88	3 756,35	3 549,73	3 364,99	340
17,75	7 143,50	6 509,50	5 976,35	5 522,62	5 132,35	4 793,46	4 496,69	4 234,79	4 002,06	3 793,95	360
15,67	8 553,79	7 789,48	7 147,15	6 600,82	6 131,20	5 723,65	5 366,95	5 052,34	4 772,93	4 523,21	400
16,70	10 540,45	9 590,79	8 793,28	8 115,47	7 533,24	7 028,33	6 586,73	6 197,50	5 852,06	5 543,53	450
10,49	12 745,64	11 590,59	10 621,07	9 797,49	9 090,41	8 477,52	7 941,75	7 469,77	7 051,06	6 677,26	500
15,69	14 320,19	13 000,75	11 894,77	10 956,59	10 152,23	9 456,02	8 848,25	8 313,55	7 839,85	7 417,50	550
18,42	15 980,02	14 486,16	13 235,40	12 175,65	11 268,14	10 483,58	9 799,49	9 198,36	8 666,41	8 192,66	600

5.2 7 3-4

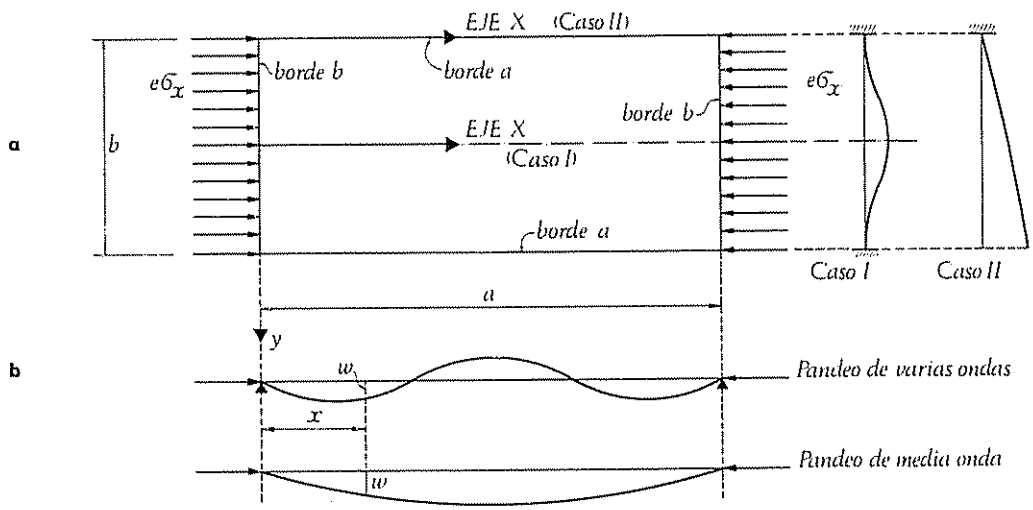
Valores del momento crítico ideal (cm · t) para $K_1 = 1$ y $K_2 = 1$

HEM	Longitud del perfil m											
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
100	7 606,70	4 639,49	3 358,95	2 641,28	2 180,02	1 857,62	1 619,17	1 435,43	1 289,42	1 170,54	1 071,83	988,55
120	—	7 673,19	5 430,22	4 218,54	3 457,25	2 932,87	2 548,80	2 254,89	2 022,48	1 833,95	1 677,86	1 546,45
140	—	—	8 374,21	6 407,67	5 202,93	4 387,43	3 797,43	3 349,92	2 998,36	2 714,58	2 480,53	2 284,07
160	—	—	12 627,30	9 502,80	7 634,14	6 391,83	5 504,98	4 839,02	4 319,84	3 903,23	3 561,20	3 275,18
180	—	—	18 440,37	13 634,14	10 822,05	8 985,58	7 692,95	6 732,96	5 991,02	5 399,74	4 917,00	4 515,09
200	—	—	—	19 180,66	15 035,01	12 370,92	10 521,02	9 162,45	8 121,96	7 298,91	6 631,01	6 077,73
220	—	—	—	26 496,18	20 511,47	16 718,35	14 116,90	12 226,78	10 792,31	9 666,27	8 758,36	8 010,32
240	—	—	—	—	37 158,72	30 291,80	25 581,34	22 158,30	19 560,08	17 520,26	15 875,39	14 520,04
260	—	—	—	—	47 276,15	38 154,82	31 969,16	27 520,63	24 175,00	21 569,34	19 482,66	17 773,45
280	—	—	—	—	59 768,16	47 774,52	39 717,39	33 975,12	29 692,37	26 381,82	23 748,32	21 603,87
300	—	—	—	—	—	76 824,69	63 895,12	54 676,09	47 797,25	42 477,93	38 244,96	34 797,02
320	—	—	—	—	—	81 294,19	67 485,19	57 658,95	50 340,93	44 691,84	40 203,54	36 552,76
340	—	—	—	—	—	83 362,88	68 966,19	58 757,33	51 179,71	45 348,30	40 728,32	36 979,94
360	—	—	—	—	—	84 810,69	69 949,69	59 442,41	51 665,54	45 696,90	40 979,92	37 161,60
400	—	—	—	—	—	88 605,88	72 638,19	61 408,50	53 140,83	46 827,98	41 862,98	37 861,81
450	—	—	—	—	—	94 370,13	76 819,44	64 543,29	55 555,84	48 731,49	43 393,01	39 112,81
500	—	—	—	—	—	99 513,63	80 522,06	67 291,44	57 646,59	50 355,05	44 676,00	40 141,86
550	—	—	—	—	—	105 922,50	85 220,50	70 846,31	60 406,30	52 544,03	46 444,37	41 593,52
600	—	—	—	—	—	111 533,31	89 310,75	73 918,56	62 769,70	54 398,46	47 924,05	42 791,14

5.2 7 3-5

Longitud del perfil m										HEM
7,00	7,50	8,00	8,50	9.00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	
917,32	855,70	801.87	754,42	712,29	674,62	640,75	610,12	582,29	556,89	533,62	100
434,25	1 337,33	1 252,75	1 178,27	1 112,19	1 053,16	1 000,10	952,14	908,59	868,86	832,46	120
116,76	1 972,49	1 846,80	1 736,27	1 638,32	1 550,89	1 472,38	1 401,46	1 337,10	1 278,41	1 224,68	140
032,30	2 823,40	2 641,75	2 482,30	2 341,18	2 215,38	2 102,52	2 000,68	1 908,32	1 824.16	1 747,15	160
175,05	3 883,47	3 630,56	3 409,02	3 213,31	3 039,10	2 883,02	2 742,35	2 614,89	2 498,86	2 392,76	180
611,58	5 213,22	4 868.72	4 567,70	4 302,33	4 066.56	3 855,65	3 665,82	3 494,03	3 337,81	3 195,10	200
382,93	6 848,88	6 388,53	5 987,42	5 634,68	5 321.94	5 042,68	4 791,75	4 564.98	4 359,00	4 171,07	220
383,21	12 415,43	11 581,17	10 854,23	10 214.93	9 648,09	9 141,94	8 687,11	8 276,06	7 902,70	7 562,03	240
347,13	15 138,24	14 100,06	13 198,43	12 407.73	11 708,45	11 085,37	10 526,53	10 022,37	9 565,13	9 148,47	260
823,56	18 321,47	17 036,61	15 924,61	14 952,41	14 094,92	13 332,70	12 650,52	12 036,22	11 480,04	10 973,99	280
933,73	29 517,29	27 449,86	25 660,25	24 095,38	22 714,93	21 487,68	20 389,16	19 399,87	18 504,08	17 688,96	300
524,87	30 972,33	28 790,62	26 903,71	25 255,04	23 801,61	22 510,32	21 355,07	20 315,20	19 374,04	18 517,93	320
878,24	31 268,80	29 042,52	27 120,13	25 442,88	23 966,13	22 655,58	21 484,36	20 431,02	19 478,43	18 612,59	340
008,50	31 360,70	29 105,40	27 160,88	25 466,52	23 976,49	22 655,57	21 476,16	20 416,38	19 458,68	18 588,82	360
571,11	31 818,11	29 481,08	27 472,17	25 726,49	24 195,11	22 840,54	21 633,49	20 550,84	19 574,09	18 688,21	400
609,46	32 691,43	30 224,36	28 111,57	26 281,83	24 681,66	23 270,21	22 015,69	20 893,07	19 882,41	18 967,53	450
445,67	33 378,77	30 795,08	28 589,70	26 685,63	25 025,18	23 564,35	22 269,04	21 112,46	20 073,29	19 134,34	500
654,10	34 397,38	31 663,28	29 337,16	27 335,04	25 594,07	24 066.48	22 715,35	21 511,66	20 432,47	19 459,28	550
635,70	35 210,77	32 343,90	29 911,75	27 823,91	26 013,00	24 427,82	23 028,80	21 785,10	20 672,18	19 670,37	600

5.2 7 3-5


a
b
EJE X (Caso II)
borde b
borde a
$e\sigma_x$
EJE X
(Caso I)
borde b
borde a
$e\sigma_x$
Caso I
Caso II
a
y
b
w
Pandeo de varias ondas
x
Pandeo de media onda
w

[5.24]

5.2 8. Abollamiento del alma en las vigas de alma llena.

5.2 8 1. *Planteamiento teórico.*

Una placa plana de débil espesor solicitada en sus bordes por fuerzas coplanarias puede abollarse, es decir, sufrir deformaciones perpendiculares a su plano medio, cuando las fuerzas solicitantes alcanzan unos ciertos valores llamados críticos.

El problema teórico de la abolladura es un problema de bifurcación de equilibrio que puede investigarse partiendo de la ecuación diferencial del desplazamiento transversal ω de los puntos de una placa delgada sometida a la acción de fuerzas contenidas en su plano medio. La ecuación es de la forma:

$$\frac{E\,I}{1-\nu^2}\left(\frac{\delta^4\omega}{\delta x^4}+2\,\frac{\delta^4\omega}{\delta x^2 y^2}+\frac{\delta^4\omega}{\delta y^4}\right)+e\left(\sigma_x\,\frac{\delta^2\omega}{\delta x^2}+\sigma_y\,\frac{\delta^2\omega}{\delta y^2}+2\,\tau_{xy}\,\frac{\delta^2\omega}{\delta x\,\delta y}\right)=0$$

σ_x, σ_y, τ_{xy} son tensiones debidas a fuerzas que actúan en los bordes de la placa y que se consideran como funciones dadas y, por tanto, conocidas de x e y.

En el análisis matemático se consideran las hipótesis que definen un material ideal: comportamiento elástico indefinido, isotropia planicidad absoluta y espesor constante, con la hipótesis complementaria de que los desplazamientos de la placa normalmente a su plano sean muy pequeños con relación a su espesor.

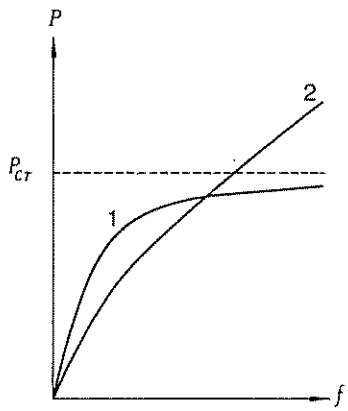
El problema tiene una gran analogía al del pandeo de piezas comprimidas axilmente. En efecto, considerando el caso [5.24] en que la solicitación de borde es una compresión uniforme σ_x, la ecuación diferencial del desplazamiento transversal se reduce a:

$$\frac{E\,I}{1-\nu^2}\left(\frac{\delta^4\omega}{\delta x^4}+2\,\frac{\delta^4\omega}{\delta x^2\,\delta y^2}+\frac{\delta^4\omega}{\delta y^4}\right)+\sigma_x\,e\,\frac{\delta^2\omega}{\delta x^2}=0$$

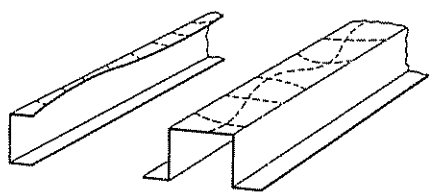
Ecuación diferencial homogénea que juega el mismo papel en la teoría de la inestabilidad de las placas que la ecuación

$$E\,I\,\frac{d^2y}{dx^2}+Py=0$$

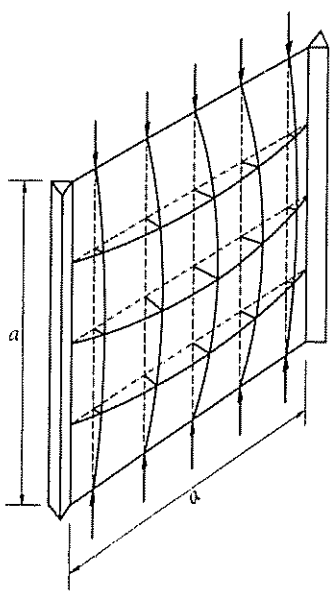
en la teoría de las columnas.



[5.25]



[5.26]



[5.27]

Análogamente al caso de las columnas, existen solo soluciones ω de la ecuación anterior para ciertos valores σ_c, característicos o críticos, a los cuales se asocia una forma de equilibrio inestable de la placa. Si el valor de σ_x es distinto de σ_c la ecuación de la deformación solo admite el valor $\omega = 0$, suponiendo que σ_x aumente gradualmente de cero al valor característico inferior se llega a un punto en que además de la forma de equilibrio plano $\omega = 0$, es posible otra deformada inestable de equilibrio, es decir, existe una bifurcación de equilibrio.

5.2.8.2. *El fenómeno experimental. Resistencia pos-abollamiento*

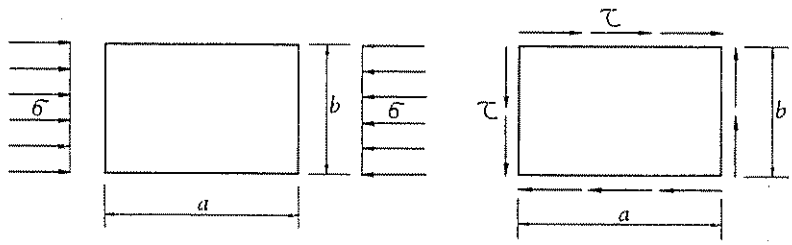
La analogía entre el abollamiento de placas y el pandeo de piezas comprimidas que hemos mencionado anteriormente no está enteramente confirmado por la experimentación. El fenómeno experimental varía considerablemente según el tipo de apoyo de la placa en sus bordes:

— Si se trata de una placa con uno o más bordes libres o con apoyos poco rígidos, el diagrama de la flecha transversal en función de la carga aplicada P, curva 1 en [5.25], no difiere esencialmente del que se observa en las piezas comprimidas axilmente.

— Por el contrario, si la placa está fuertemente mantenida en sus bordes, como es el caso del alma de una viga de alma llena, la curva P-*f* tiene la forma 2 en [5.25], y no presenta ningún fenómeno de inestabilidad ostensible. Esto es debido al hecho de que la placa solo trabaja como tal para pequeños desplazamientos transversales y cuando éstos aumentan el rectángulo de chapa trabaja como membrana.

Por ejemplo, en el caso de una placa de longitud indefinida comprimida longitudinalmente, pero mantenida sólidamente en sus bordes longitudinales [5.26], el abollamiento se produce según una serie de ondas longitudinales y transversales. Si consideramos una posición entre nodos longitudinales el esquema de deformación es el de [5.27], en el que se comprende que la deformación de las fibras longitudinales están, en cierto modo, impedidas por las fibras transversales, de manera que este a modo de emparrillado es capaz de soportar cargas adicionales a las que inicialmente producen la fluencia de las fibras centrales.

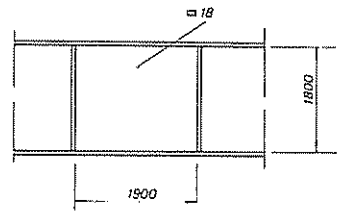
De ello se deduce que existe una resistencia considerable pos-abollamiento, que hace que la carga última de una placa sea considerablemente superior a la carga crítica teórica y que las imperfecciones de planicidad iniciales no ejerzan una influencia desfavorable sobre la carga última.



[5.28]

5.2 8. EJEMPLO DE APLICACION

Comprobar el abollamiento del alma de una viga en cuya sección más desfavorable las tensiones tienen los valores:



$\sigma_1^* = 1.046$ kg/cm²

$\tau^* = 775$ kg/cm²

Acero A 42

Es necesaria su comprobación, pues $\frac{e}{h_a} = \frac{18}{1\,800} = 0{,}010 < 0{,}014$

Supongamos que se coloquen rigidizadores transversales a distancias de 1.900 mm.

La comprobación del abollamiento del rectángulo, coincidente con las tensiones máximas, se puede realizar por dos caminos:

A) Aplicación directa de la fórmula:

$$\sigma_{coi} = \frac{\sqrt{\sigma_1^{*2} + 3\tau^{*2}}}{\frac{1+\psi}{4}\frac{\sigma_1^{*2}}{\sigma_i} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4}\frac{\sigma_1^{*2}}{\sigma_i}\right)^2 + \left(\frac{\tau^*}{\tau_i}\right)^2}}$$

Los valores de cada variable son:

$\alpha = \frac{1.900}{1.800} = 1{,}055$

$\sigma_1^* = 1\,046$ kg/cm²

$\tau^* = 775$ kg/cm²

$\psi = -1$

(Sigue en la página 688)

El cálculo de la resistencia última de una placa, teniendo en cuenta el efecto membrana, es complicado y por ello no se recoge en la mayor parte de las normas de cálculo de estructuras y puentes, aunque en casi todas ellas sí tienen en cuenta esta reserva de resistencia para reducir algo el coeficiente de seguridad aplicable a los valores obtenidos mediante el método de comprobación que podríamos llamar teórico o convencional.

5.2.8.3. *Método de cálculo convencional.*

Su base es la obtención de unos valores críticos que determinan la iniciación del abollamiento y que se calculan partiendo de la fórmula general citada en 5.2.8.1.

La integración directa solo es posible en algunos casos de forma muy sencilla y tipos de carga muy simples, como es, por ejemplo, la chapa rectangular con esfuerzos normales uniformemente en sus bordes. Otros casos, aun siendo también sencillos como el de placa rectangular solicitada por esfuerzos tangenciales en sus cuatro bordes, tienen que ser resueltos mediante métodos energéticos.

En general se obtiene para solicitaciones simples que la tensión crítica de abollamiento de una placa sometida a tensiones en su plano, es de la forma [5.28]:

$$\sigma_{cr} = K_\sigma \, \sigma_E \quad \text{o} \quad \tau_{cr} = K_\tau \, \sigma_E$$

σ_E es la tensión de referencia de Euler, que representa la tensión crítica de pandeo de una placa de anchura unitaria y de luz igual a la dimensión b de la misma, simplemente apoyada en sus extremos, cuyo valor es:

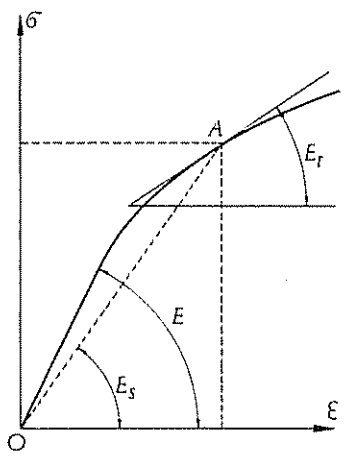
$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left(\frac{e}{b} \right)^2$$

que para $E = 2{,}1 \times 10^6$ kg/cm² y $\nu = 0{,}3$ se convierte en:

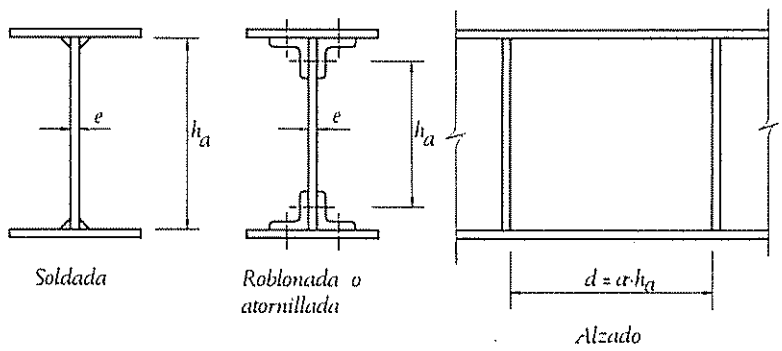
$$\sigma_E = 189{,}8 \times 10^4 \left(\frac{e}{b} \right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

K_σ y K_τ Coeficientes numéricos que dependen de:

— La relación α entre las dimensiones de la placa.
— El tipo de apoyo de los bordes.
— El tipo de solicitación de la placa.
— La existencia de rigidizadores (no ultrarígidos) intermedios


σ
A
E_r
E
E_s
ε
O

[5.29]


e
h_a
e
h_a
Soldada
Roblonada o
atornillada
$d = \alpha \cdot h_a$
Alzado

[5.30]

Cuando la tensión crítica σ_{cr} o τ_{cr} o en general la tensión crítica de comparación σ_{ccr} sobrepasa el límite de proporcionalidad en compresión del material, el abollamiento está acompañado de deformaciones plásticas. La teoría de la abolladura en el dominio plástico es sumamente compleja y existen diversas teorías simplificativas para abordar el problema. Una de las más defendidas, iniciada por Timoshenko y continuada por Bleich y Kollbrunner, es la hipótesis de la plastificación no isótropa de la placa.

La Norma Básica MV-103, a semejanza de la DIN 4114, desarrollan el cálculo práctico en el dominio anelástico, suponiendo que la relación entre la tensión crítica ideal deducida de la teoría del abollamiento en el dominio elástico y la tensión crítica real es la misma que existe entre la carga crítica de pandeo y, por tanto, entre los módulos de elasticidad E y E_t [5-29].

5.2.8.4. *Abollamiento del alma de las vigas de alma llena, según la Norma Básica MV-103.*

En la Norma Básica MV-103 se estudia el abollamiento del alma cuando ésta tiene sus cuatro bordes firmemente inmovilizados, es decir, entre platabandas y rigidizadores transversales o entre rigidizadores longitudinales y transversales, siempre que los rigidizadores sean ultrarrígidos, o sea, rigidizadores que no son arrastrados en la deformación por la chapa, permaneciendo absolutamente rectilíneos.

También se supone, en el caso de flexión simple, que las tensiones normales y cortantes a los dos lados del rectángulo de alma son iguales y opuestos, dado que la distancia entre rigidizadores transversales es en general pequeña, comparada con la luz de la viga.

A continuación incluimos los artículos de la Norma referentes al abollamiento del alma, con unos comentarios a los puntos más importantes de los mismos:

5.6. *Abollamiento del alma en las vigas de alma llena*

5.6.1. *Se deberá comprobar que las cargas ponderadas que actúan sobre la viga no producen la abolladura del alma de la misma.*

Para ello, podrán seguirse las reglas simplificadas que se exponen a continuación:

5.6.1.1 *Notación*

Las dimensiones geométricas empleadas en los artículos siguientes, y que se expresan en la figura 5.2[1]*, son:*

[1] Se reproduce en [5.30]

(Viene de la página 684)

$$\sigma_i = k_1\ \sigma_E \qquad \sigma_E = 189{,}8 \times 10^4 \times \left(\frac{e}{h_a}\right)^2 = 189{,}8\ \text{kg/cm}^2$$

$$k_1 = 29{,}9 \text{ de [5.31]} \Bigg\} \sigma_i = 5.678{,}01\ \text{kg/cm}^2$$

$$\tau_i = k_2 \cdot \sigma_E \qquad \sigma_E = 189{,}8\ \text{kg/cm}^2$$

$$k_2 = 6{,}66 + \frac{5{,}00}{\alpha^2} = 11{,}15 \text{ de [5.31]} \Bigg\} \tau_i = 2.116{,}69\ \text{kg/cm}^2$$

sustituyendo en la fórmula

$$\sigma_{coi} = 4.147\ \text{kg/cm}^2$$

De [5.32] $\sigma_{cor} \simeq 3.187\ \text{kg/cm}^2 > \sigma_{co} = 1\,700\ \text{kg/cm}^2$

B) *Aplicación del ábaco* **5.2 8 4 3**

$\alpha = 1{,}055$

$$\sigma_{co} = \sqrt{1.046^2 + 3.775^2} = 1\,700\ \text{kg/cm}^2$$

$$\xi = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{co}} = \frac{1.046}{1.700} = 0{,}615$$

$\lambda = 0{,}0452$

$$\zeta = \frac{\tau^*}{\sigma_{co}} = \frac{775}{1\,700} = 0{,}456$$

$$\sigma_{coi} = \frac{\sigma_E}{\lambda} = \frac{189{,}80}{0{,}0452} = 4.199\ \text{kg/cm}^2$$

La aproximación del ábaco es suficiente.

El valor de $\sigma_p = 0{,}8\ \ \sigma_e = 0{,}8 \times 2\,600 = 2.080\ \text{kg/cm}^2$ es menor que $\sigma_{coi} = 4\,199\ \text{kg/cm}^2$, de [5.32] se obtiene el valor de $\sigma_{cor} = 3\,187\ \text{kg/cm}^2$.

No se produce abollamiento, pues

$$\sigma_{cor} = 3\,187\ \text{kg/cm}^2 > \sigma_{co} = 1.700\ \text{kg/cm}^2$$

h_a La altura del alma contada entre caras interiores de las platabandas en el caso de vigas soldadas y entre ejes de costuras de los angulares de unión en las vigas roblonadas o atornilladas.

e El espesor del alma.

d La distancia entre ejes de dos rigidizadores transversales consecutivos.

5.6.1.2. En vigas sometidas a flexión simple o compuesta no será preciso comprobar el alma a abolladura ni colocar más rigidizadores intermedios que los indicados en el artículo 5.1.5 cuando la relación

$\frac{e}{h_a}$ sea no menor a:

0,013 para acero A 37
0,014 para acero A 42
0,016 para acero A 52

5.6.1.3. En el caso de que la relación $\frac{e}{h_a}$ sea inferior al valor indicado en 5.6.1.2, será preciso estudiar el comportamiento del alma frente a la abolladura, según se indica en los artículos siguientes:

No es recomendable que el valor de la relación $\frac{e}{h_a}$ sea menor de 0,006 para cualquier tipo de acero.

5.6.2. Se considerarán independientemente los distintos rectángulos comprendidos entre los dos cordones de la pieza y dos rigidizadores transversales ultrarrígidos, o entre dos longitudinales y dos transversales, todos ellos ultrarrígidos.

Se califica de ultrarrígido un rigidizador que pueda considerarse que permanece rectilíneo durante el proceso de abolladura del alma, para lo cual deberá cumplir las condiciones de los apartados 5.7.1 y 5.7.2.

5.6.2.1. Los rectángulos de alma indicados en el artículo anterior se supondrán simplemente apoyados en sus cuatro bordes.

La tensión crítica ideal de abolladura de uno de estos rectángulos sometidos a tensiones normales en dos de sus bordes opuestos es:

$$\sigma_i = K_1 \sigma_E$$

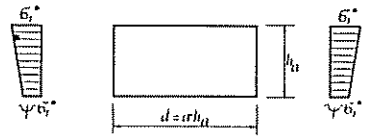
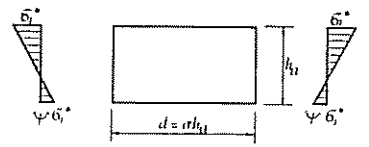
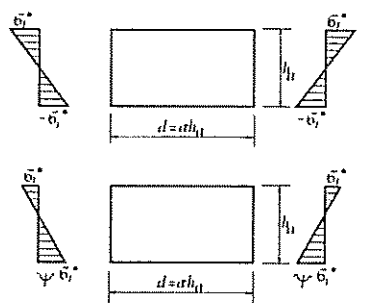
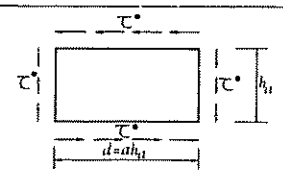
Cuando sobre los bordes del rectángulo actúan únicamente tensiones tangenciales, la tensión crítica ideal de abolladura es:

$$\tau_i = K_2 \sigma_E$$

En las expresiones anteriores es:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left(\frac{e}{h_a} \right)^2$$

Valores del coeficiente K de abolladura.

1		Solicitación	Tensión de abollamiento	Dominio de validez	Coeficiente de abollamiento
2	Tensiones de compresión con ley de repartición lineal. $0 \leqslant \Psi \leqslant 1$		$\sigma_i = k_1 \sigma_E$	$\alpha \geqslant 1$	$k_1 = \dfrac{10{,}5}{\Psi + 1{,}1}$
				$\alpha < 1$	$k_1 = \left(\alpha + \dfrac{1}{\alpha}\right)^2 \dfrac{2{,}63}{\Psi + 1{,}1}$
3	Tensiones de compresión y tracción con ley de repartición lineal y predominio de la compresión. $-1 < \Psi < 0$		$\sigma_i = k_1 \sigma_E$	—	$k_1 = (1 + \Psi) k' - \Psi k'' + 12{,}5\, \Psi (1 + \Psi)$, siendo k' el coeficiente para $\Psi = 0$ (línea 2) y k'' el coeficiente para $\Psi = -1$ (línea 4).
4	Tensión de compresión y tracción con ley de repartición lineal e iguales valores de borde $\Psi = -1$ o con predominio de la tracción $\Psi < -1$		$\sigma_i = k_1 \sigma_E$	$\alpha \geqslant \dfrac{2}{3}$	$k_1 = 29{,}9$
				$\alpha < \dfrac{2}{3}$	$k_1 = 19{,}84 + \dfrac{2{,}34}{\alpha^2} + 10{,}75\, \alpha^2$
5	Tensiones tangenciales repartidas uniformemente.		$\tau_i = k_2 \sigma_E$	$\alpha \geqslant 1$	$k_2 = 6{,}68 + \dfrac{5{,}00}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$	$k_2 = 5{,}00 + \dfrac{6{,}68}{\alpha^2}$

tensión crítica de Euler y tomando:

$$E = 2{,}1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \qquad y \qquad \nu = 0{,}3$$

resulta:

$$\sigma_E = 189{,}8 \times 10^4 \left(\frac{e}{h_a}\right)^2 \text{kg/cm}^2$$

k_1 y k_2 *Coeficientes de abolladura que se obtienen de la tabla 5.3*[1] *en función del tipo de cargas sobre los bordes del rectángulo y de la relación*

$$\alpha = \frac{d}{h_a}$$

5.6.2.2 *Cuando sobre un rectángulo actúen simultáneamente tensiones normales cuyo valor máximo en compresión es* σ^*_1 *y tensiones tangenciales de valor* τ^*, *se calculará una tensión de comparación ideal de abolladura* σ_{coi}, *cuyo valor viene dado por:*

$$\sigma_{coi} = \frac{\sqrt{\sigma^{*2}_1 + 3\,\tau^{*2}}}{\frac{1+\Psi}{4}\,\frac{\sigma^*_1}{\sigma_i} + \sqrt{\left(\frac{3-\Psi}{4}\,\frac{\sigma^*_1}{\sigma_i}\right)^2 + \left(\frac{\tau^*}{\tau_i}\right)^2}}$$

La significación de Ψ *viene indicada en la tabla 5.3*[1]

En la fórmula anterior:

si

$$\tau^* = 0, \quad \sigma_{coi} = \sigma_i \qquad y \text{ si} \qquad \sigma^*_1 = 0, \quad \sigma_{coi} = \tau_i \sqrt{3}$$

5.6.2.3 *En todos los rectángulos en los que se haya dividido el alma deberá cumplirse:*

$$\sigma_{coi} > \sigma_{co}$$

en donde:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2}_1 + 3\,\tau^{*2}}$$

5.6.2.4 *Dominio anelástico*

Las fórmulas anteriores solo son válidas en el dominio elástico, es decir, cuando

$$\sigma_{coi} < \sigma_p$$

Se puede tomar

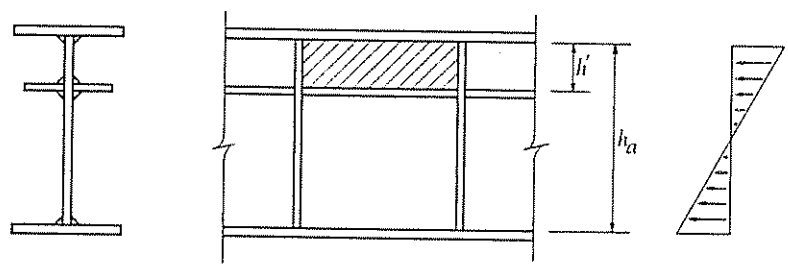
$$\sigma_p = 0{,}8\,\sigma_e$$

[1] Se reproduce en [5.31]

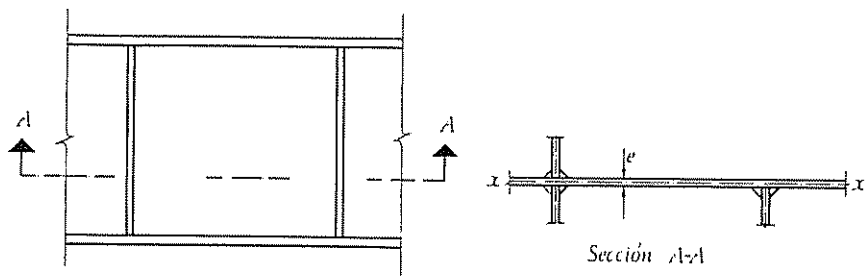
Abollamiento de alma anelástico.

Tensión de comparación ideal σ_{col} kg/cm²	Tensión de comparación real σ_{cor} en kg/cm² para acero			Tensión de comparación ideal σ_{col} kg/cm²	Tensión de comparación real σ_{cor} en kg/cm² para acero		
	A 37	A 42	A 52		A 37	A 42	A 52
1 920	1 920	1 920	1 920	3 600	2 825	2 929	3 362
2 000	1 990	2 000	2 000	3 800	2 911	3 018	4 372
2 080	2 044	2 080	2 080	4 000	2 993	3 103	3 578
2 100	2 057	2 099	2 100	4 200	3 072	3 187	3 680
2 200	2 122	2 178	2 200	4 400	3 148	3 269	3 780
2 300	2 182	2 245	2 300	4 600	3 226	3 349	3 876
2 400	2 241	2 309	2 400	4 800	3 301	3 424	3 970
2 500	2 298	2 369	2 500	5 000	3 372	3 500	4 062
2 600	2 350	2 428	2 600	5 500	3 547	3 681	4 281
2 700	2 403	2 483	2 700	6 000	3 713	3 856	4 490
2 800	2 454	2 537	2 800	6 500	3 873	4 022	4 678
2 880	2 494	2 579	2 880	7 000	4 021	4 182	4 875
2 900	2 503	2 591	2 899	8 000	4 308	4 483	5 234
3 000	2 553	2 641	2 930	10 000	4 838	5 030	5 883
3 200	2 646	2 741	3 119	20 000	6 900	7 154	8 416
3 400	2 739	2 836	3 243	99 999	15 160	16 130	18 970

[5.32]



[5.33]



[5.34]

En el caso de que $\sigma_{cot} > \sigma_p$, *se obtendrá la tensión de comparación real de abolladura* σ_{cor} *mediante la fórmula:*

$$\sigma_{cor} = \sqrt{K_r}\,\sigma_{cot}$$

siendo:

K_r *El indicado en 5.5.3 y se cumplirá*

$$\sigma_{cor} > \sigma_{co}$$

Los valores σ_{cor} *en función de* σ_{cot} *vienen recogidos en la tabla 5.4* [1].

5.7 *Rigidizadores.*

Cuando no fuesen suficientes los rigidizadores transversales para asegurar la estabilidad del alma frente al fenómeno de abolladura, se dispondrá además un rigidizador longitudinal en la zona comprimida de forma que la relación $\frac{h'}{h_a}$ *sea* $\frac{1}{4}$ *ó* $\frac{1}{5}$ *(figura 5.3)* [2], *volviéndose a comprobar el rectángulo superior (rayado en la figura), utilizándose en el cálculo de* σ_E, h' *en sustitución de* h_a.

5.7.1. *Rigidizador transversal.*

El momento de inercia de un rigidizador transversal deberá cumplir la condición:

$$I_r > 1{,}5\left(\frac{h_a}{50}\right)^4$$

para que pueda considerarse como ultrarrígido.

Este momento de inercia deberá tomarse respecto a un eje contenido en el plano de simetría del alma (figura 5.4) [3]

5.7.2. *Rigidizador longitudinal.*

El momento de inercia medido respecto al plano de simetría del alma, de un rigidizador longitudinal, deberá cumplir la condición:

$$I_r > h_a\, e^3\,(2{,}4\,\alpha^2 - 0{,}13)$$

para que pueda considerarse como ultrarrígido, siendo:

$$\alpha = \frac{d}{h_a}$$

[1] Se representa en [5.32].
[2] Se representa en [5.33].
[3] Se reproduce en [5.34].

5.2.8.4.1. *Límites de espesores.*

Los valores que se fijan en 6.5.1.2 de la Norma Básica MV-103, pueden justificarse fácilmente.

Valores superiores. En la tabla 5.3 de la Norma [5.3.2] el menor valor de K (si se exceptúa el de compresión simple $\Psi = 1$), que no debe considerarse dentro de una solicitación de flexión, puede corresponder a

$$K_i = 6{,}57 \qquad \text{para} \qquad \Psi = 0{,}5$$

En este caso la condición para que el alma plastifique antes de que se inicie el abollamiento es:

$$\sigma = 189{,}8 \times 10^4 \left(\frac{e}{h_a}\right)^2 \times 6{,}57 \geqslant \sigma_u$$

que para $\sigma_u = 2\,400$ kg/cm² nos da $\frac{e}{h_a} > 0{,}013$.

Análogamente se obtienen los valores límites para los aceros A 42 y A 52. De esta limitación se deduce que no es necesaria la comprobación de abollamiento para el alma de los perfiles laminados.

Valores inferiores. Partiendo del valor $K = 29{,}9$ y actuando en forma semejante se llega a los valores que indica la Norma.

5.2.8.4.2. *Constantes de abollamiento y coeficientes de seguridad.*

Los coeficientes K para la comprobación al abollamiento de la Norma Básica MV-103 están basados en la teoría convencional, análogamente a los que figuran en las Normas DIN 4114, EM 62 y la norma italiana Al-N2 de 1957. Sin embargo, tienen distinto valor numérico, ya que en estas normas las tensiones se obtienen a partir de las cargas características y no de las cargas ponderadas como en la MV-103.

Las tensiones ideales σ_i y τ_i dependen exclusivamente de las características geométricas del rectángulo de chapa considerado y del tipo de solicitación, y es fácil demostrar que lo mismo sucede para la tensión de comparación ideal σ_{coi} dada por la fórmula del apartado 5.6.2.2 de la Norma Básica MV-103.

Las normas anteriormente citadas fijan una seguridad al abollamiento de 1,35, es decir

$$\frac{\sigma_{coi}}{\sigma_{co}} \geqslant 1{,}35$$

σ_{co} obtenido a partir de las cargas características. En el caso de actuar con cargas ponderadas se puede suponer en general que $\sigma^*_{co} = 1{,}5\,\sigma_{co}$. En el cálculo con coeficientes de ponderación, la tensión ideal σ^*_i, τ^*_i o σ^*_{coi} debe cumplir la condición:

$$\frac{\sigma^*_{coi}}{\sigma^*_{co}} \geqslant 1$$

es decir:

$$\sigma^*_{coi} \geqslant 1{,}5\,\sigma_{co}.$$

y como en el límite

$$\sigma_{co} = \frac{\sigma_{coi}}{1,35}$$

resulta

$$\sigma^*_{coi} \geqslant \frac{1,50}{1,35}\,\sigma_{coi} \geqslant 1,11\,\sigma_{coi}$$

Es decir, para obtener el mismo grado de seguridad al abollamiento en el cálculo con cargas ponderadas, que el que se fija en las normas DIN 4114, EM 62 y Al-N2, habría que multiplicar los coeficientes K que fijan las tensiones ideales por 1,11.

Sin embargo, la tendencia actual en el cálculo del abollamiento, como dijimos anteriormente, es tener en cuenta implícitamente la resistencia pos-abollamiento y reducir en consecuencia los coeficientes de seguridad. Por ello, en la Norma Básica MV-103, los coeficientes K se han obtenido multiplicando los valores de K, correspondientes al cálculo con acciones características, por 1,25. Esto supone el rebajar el coeficiente de seguridad de 1,35 a 1,20, en total acuerdo con las tendencias actuales.

5.2.8.4.3. *Tensión de comparación ideal en el caso de solicitaciones compuestas.*

Cuando se superponen dos estados de solicitación los valores críticos de σ y τ no son los mismos que se han determinado para cada una de las solicitaciones actuando independientemente. La comprobación, según la Norma Básica MV-103, se realiza en este caso, mediante una tensión ideal de abolladura cuya expresión figura en el apartado 5.6.2.2 de dicha Norma. Esta expresión es complicada y por esta razón proponemos la fórmula simplificada que deducimos a continuación y que da valores muy próximos a la de la Norma, y en casi todos los casos del lado de la seguridad.

En la Nota Técnica B.10-51 del C. E. C. M., demuestra Massonet que si P^*_{1cr} y P^*_{2cr} son las cargas críticas de una pieza cuando actúa P_1 o P_2 por separado las cargas críticas P_{1cr} y P_{2cr} cuando actúan simultáneamente cumplen la relación:

$$\frac{P_{1cr}}{P^*_{1cr}} + \frac{P_{2cr}}{P^*_{2cr}} = 1$$

En el caso que nos ocupa, las cargas actuantes son σ y τ.

σ_i y τ_i los valores críticos cuando actúan simultáneamente y σ_{1Ki} y τ_{1Ki} estos mismos valores cuando actúan por separado y suponiendo que las tensiones σ y τ crecen proporcionalmente hasta alcanzar sus valores críticos, es decir:

$$\frac{\sigma}{\tau} = \frac{\sigma_i}{\tau_i}$$

la expresión anterior toma la forma:

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_{1Ki}} + \frac{\tau_i}{\tau_{1Ki}} = 1$$

Tensión de Euler

e/h_a	σ_E
0,0060	68,3280
0,0065	80,1905
0,0070	93,0020
0,0075	106,7625
0,0080	121,4720
0,0085	137,1305
0,0090	153,7380
0,0095	171,2945
0,0100	189,8000
0,0105	209,2545
0,0110	229,6580
0,0115	251,0105
0,0120	273,3120
0,0125	296,5625
0,0130	320,7620
0,0135	345,9105
0,0140	372,0080
0,0145	399,0545
0,0150	427,0500
0,0155	455,9945
0,0160	485,8880

[5.35]

y por tanto

$$\sigma_t = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_{1Kt}} + \frac{\tau/\sigma}{\tau_{1Kt}}} = \frac{\tau_{1Kt} \cdot \sigma_{1Kt} \cdot \sigma}{\sigma\, \tau_{1Kt} + \tau\, \sigma_{1Kt}}$$

Análogamente

$$\tau_t = \frac{\tau\, \tau_{1Kt}\, \sigma_{1Kt}}{\sigma\, \tau_{1Kt} + \tau\, \sigma_{1Kt}}$$

La tensión de comparación buscada σ_{cot} puede ponerse en la forma:

$$\sigma_{cot} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\, \tau_t^2} = \frac{\tau_{1Kt}\, \sigma_{1Kt}}{\sigma\, \tau_{1Kt} + \tau\, \sigma_{1Kt}} \sqrt{\sigma^2 + 3\, \tau^2}$$

y finalmente

$$\sigma_{cot} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\, \tau^2}}{\frac{\sigma}{\sigma_{1Kt}} + \frac{\tau}{\tau_{1Kt}}}$$

que es una expresión más simple que la de la Norma Básica MV-103 y que da valores muy semejantes y del lado de la seguridad, con relación a la de la MV-103 y EM-62.

Para la obtención de σ_{cot} en algunos casos frecuentes puede utilizarse los ábacos **5.2 8 4 3-1** a **5.2 8 4 3-6,** que proporcionan, para algunos casos de solicitaciones compuestas, la obtención directa del valor de σ_{cot} del artículo 5.6 2 2 de la Norma Básica MV-103.

Uso de los ábacos.

Se parte de los valores conocidos de las tensiones solicitantes y las dimensiones del rectángulo, es decir, son conocidos; σ^*_1, τ^*, h_a y d.

Se calcula:

$$\alpha = \frac{d}{h_a} \qquad \sigma_{co} = \sqrt{\sigma^*_1 + 3\, \tau^*} \qquad \sigma_E = 189{,}8 \times 10^4 \left(\frac{e}{h_a}\right)^2 \text{kg/cm}^2$$

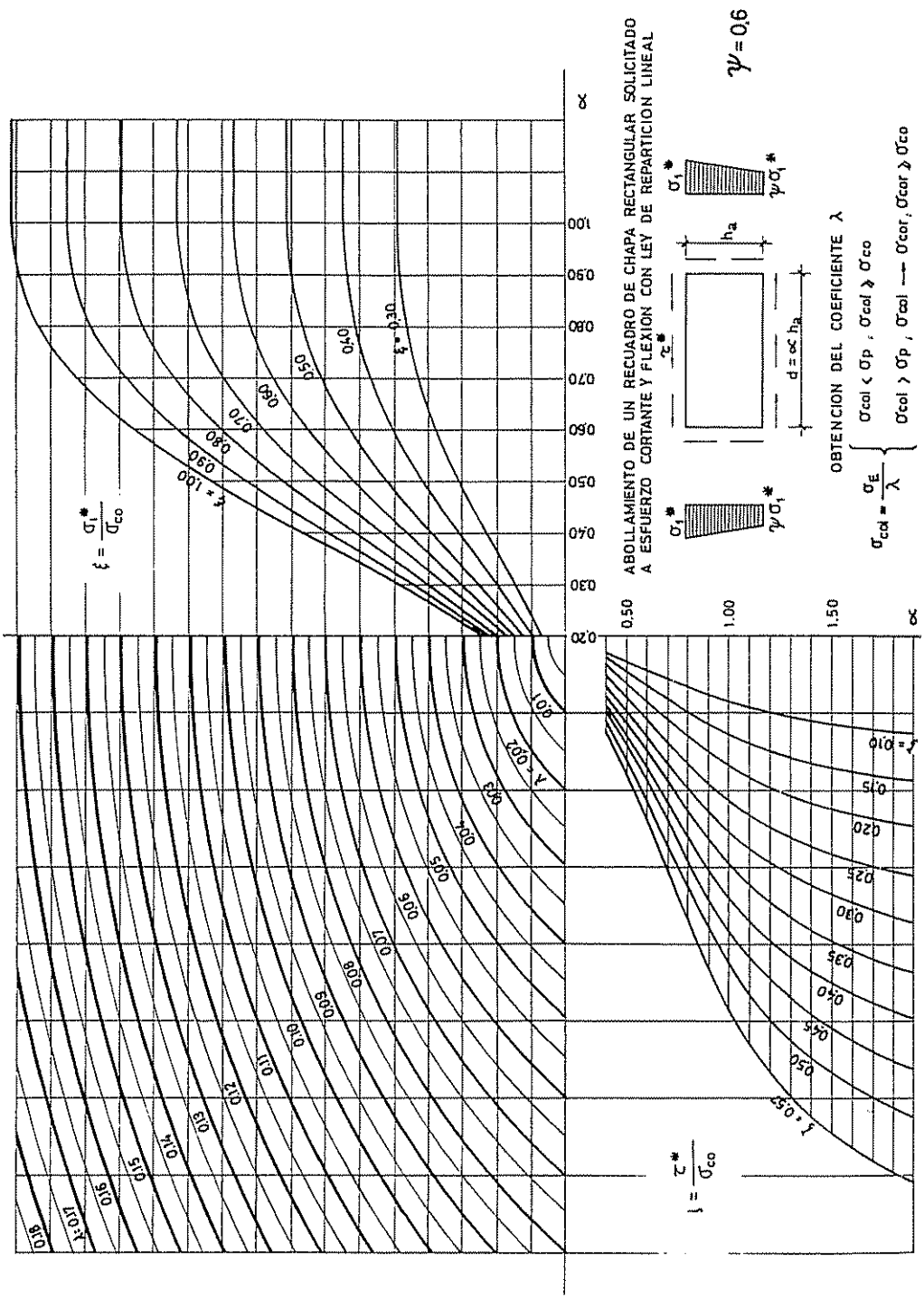
Entrando en los ábacos con los valores

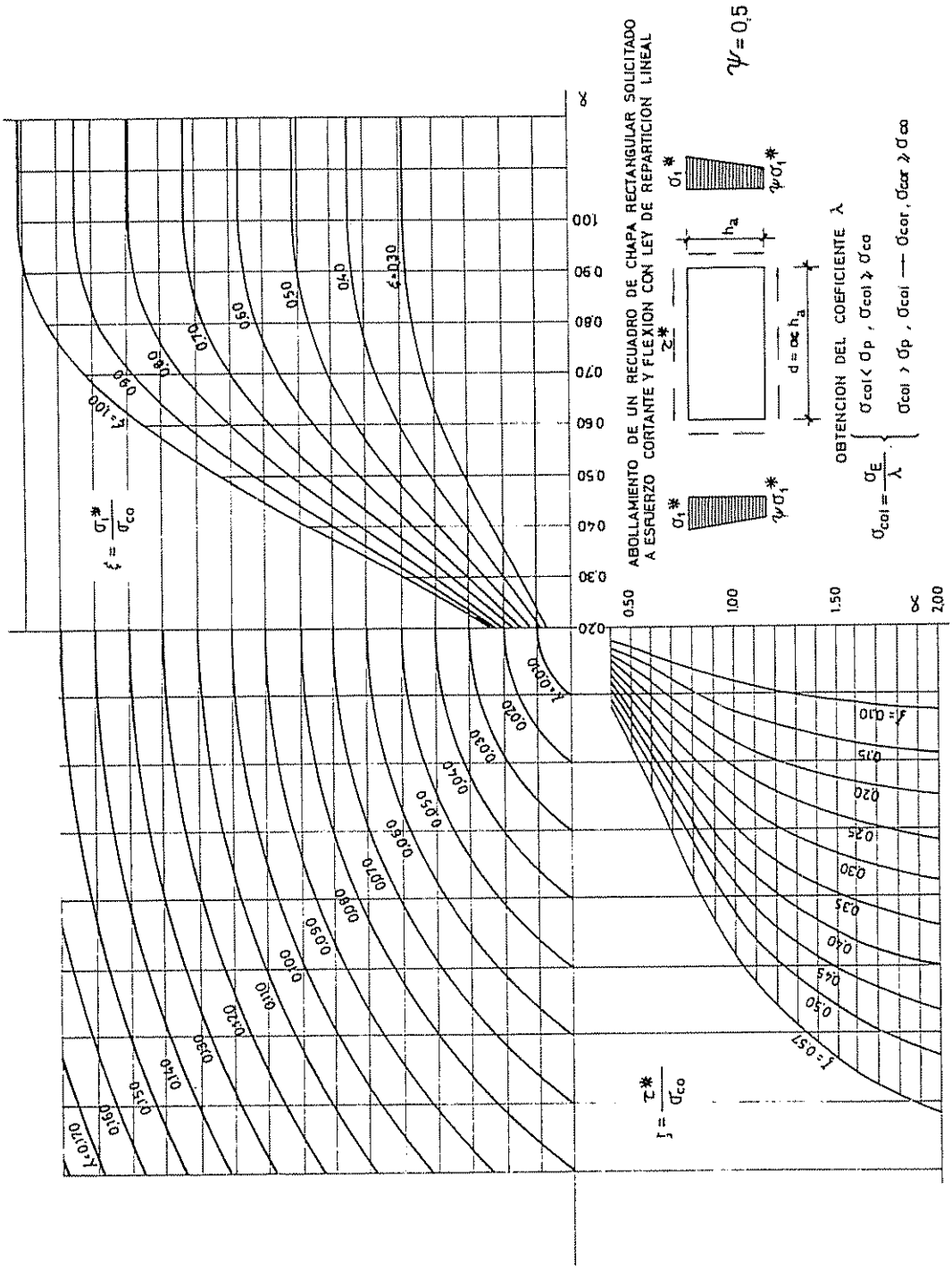
$$\xi = \frac{\sigma^*_1}{\sigma_{co}} \qquad \zeta_2 = \frac{\tau^*}{\sigma_{co}}$$

Se obtiene el valor de λ que determina σ_{cot}:

$$\sigma_{cot} = \frac{\sigma_E}{\lambda}$$

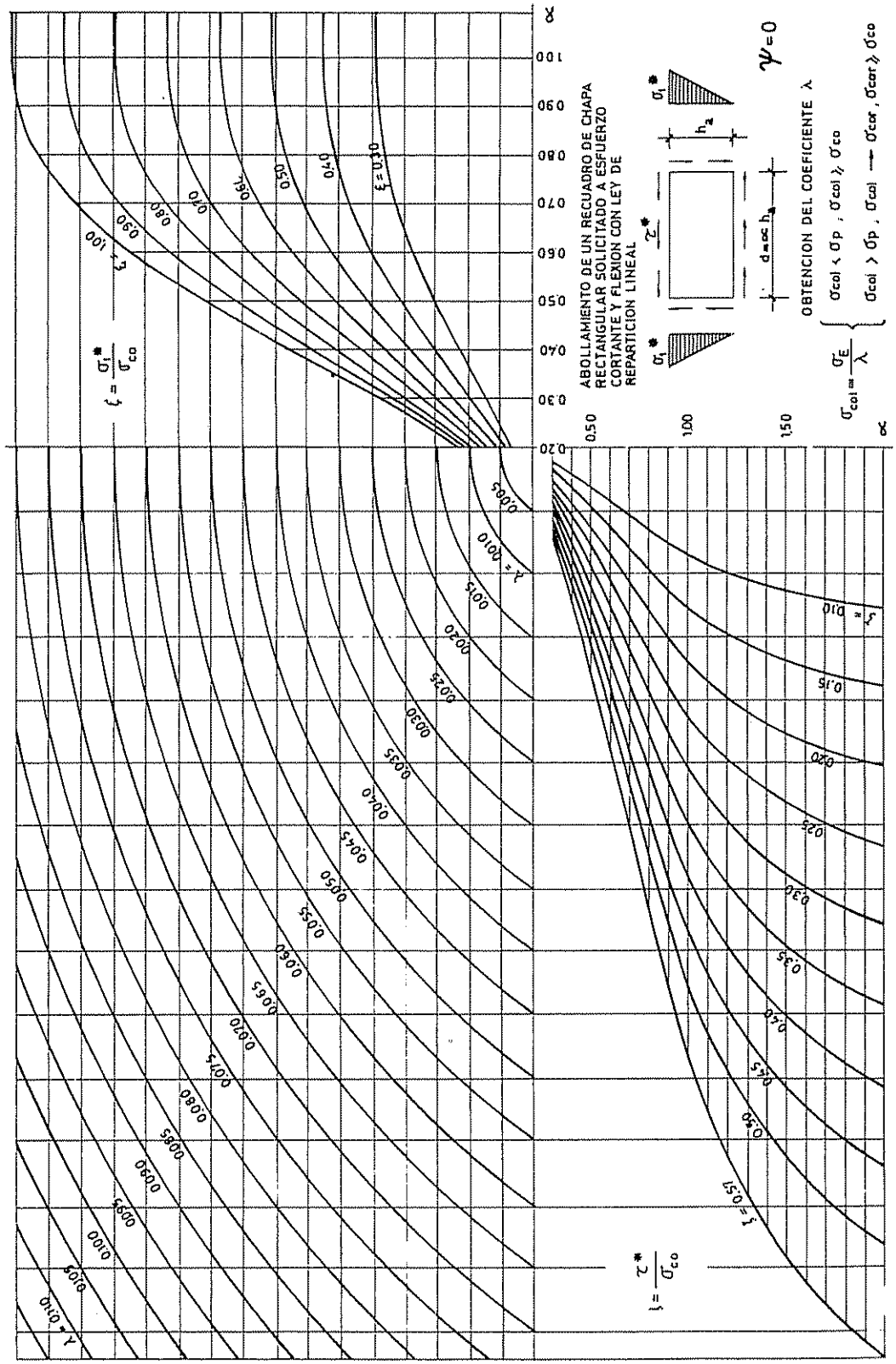
en [5.35] se dan los valores de σ_E para distintas relaciones de $\frac{e}{h_a}$

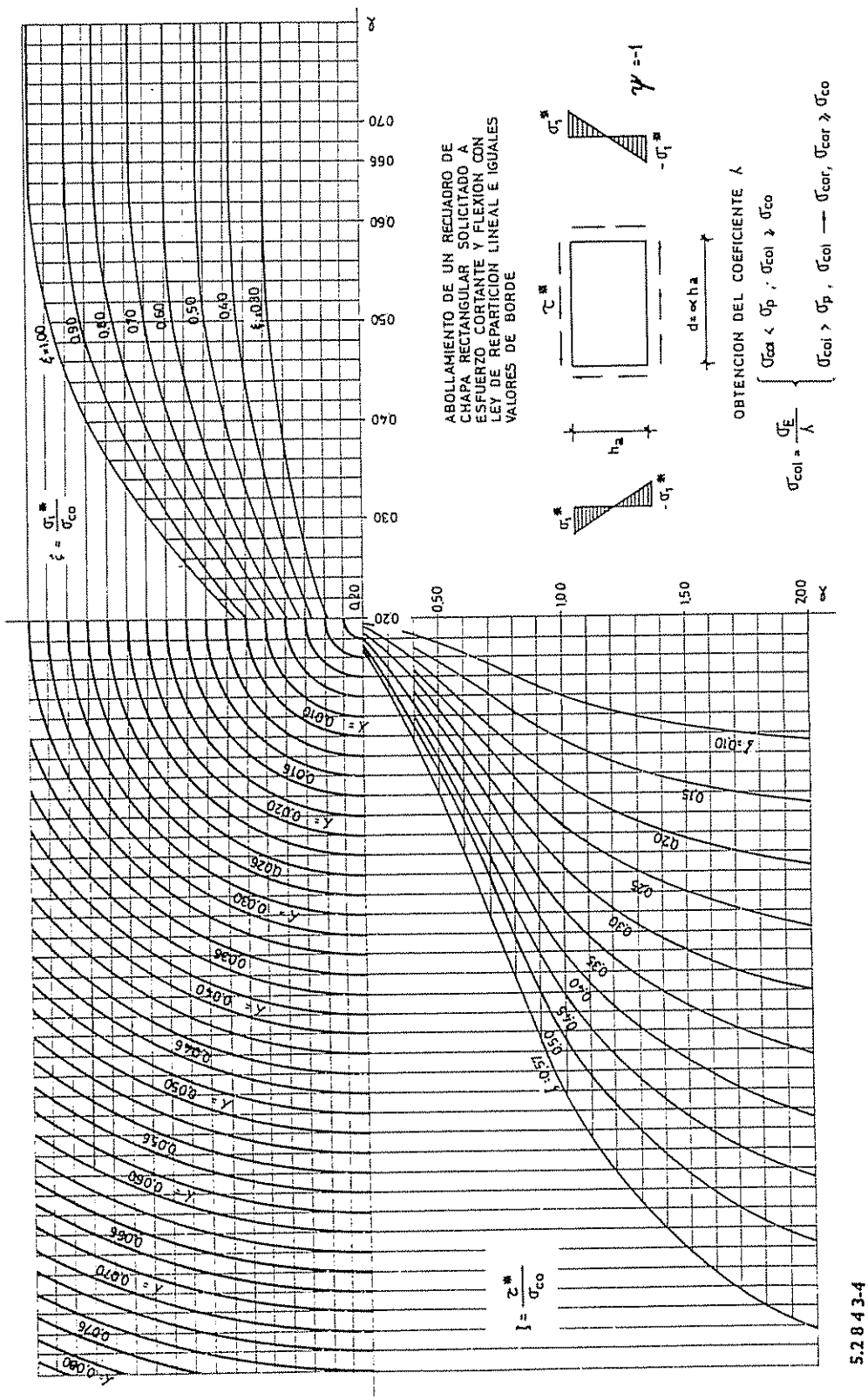

ABOLLAMIENTO DE UN RECUADRO DE CHAPA RECTANGULAR SOLICITADO A ESFUERZO CORTANTE Y FLEXION CON LEY DE REPARTICION LINEAL
ψ = 0,6
OBTENCION DEL COEFICIENTE λ
σ'cal < σ'p , σ'cal ⩾ σ'co
σ'cal > σ'p , σ'cal → σ'cor , σ'cor ⩾ σ'co
5.2.8.4.3-1

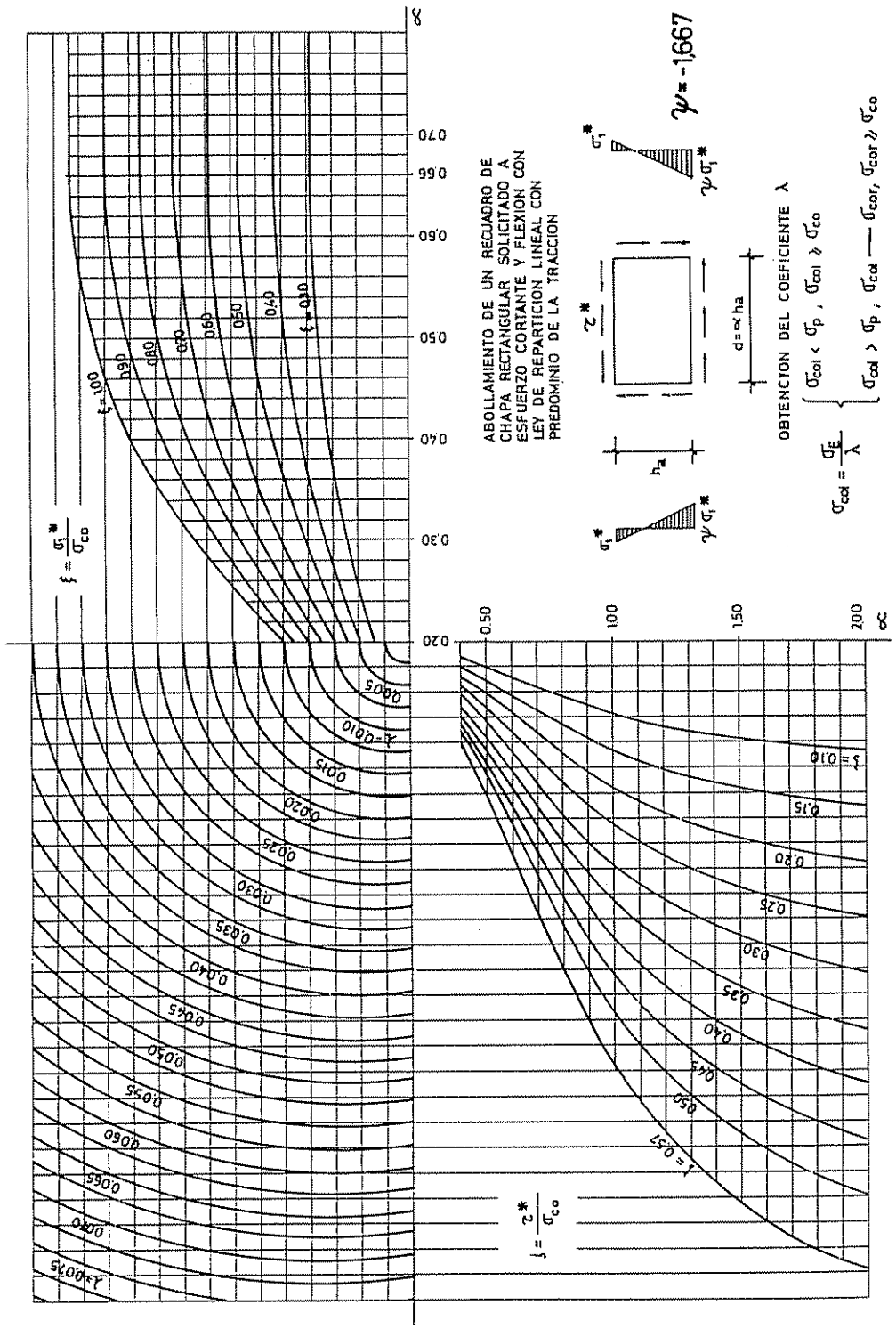

ABOLLAMIENTO DE UN RECUADRO DE CHAPA RECTANGULAR SOLICITADO A ESFUERZO CORTANTE Y FLEXION CON LEY DE REPARTICION LINEAL
ψ = 0,5
OBTENCION DEL COEFICIENTE λ
σcal < σp , σcal ≥ σa
σcal > σp , σcal — σcar , σcar ≥ σa
d = αc h_a
h_a
ξ = σ1* / σco
τ* / σco
0.50
1.00
1.50
2.00

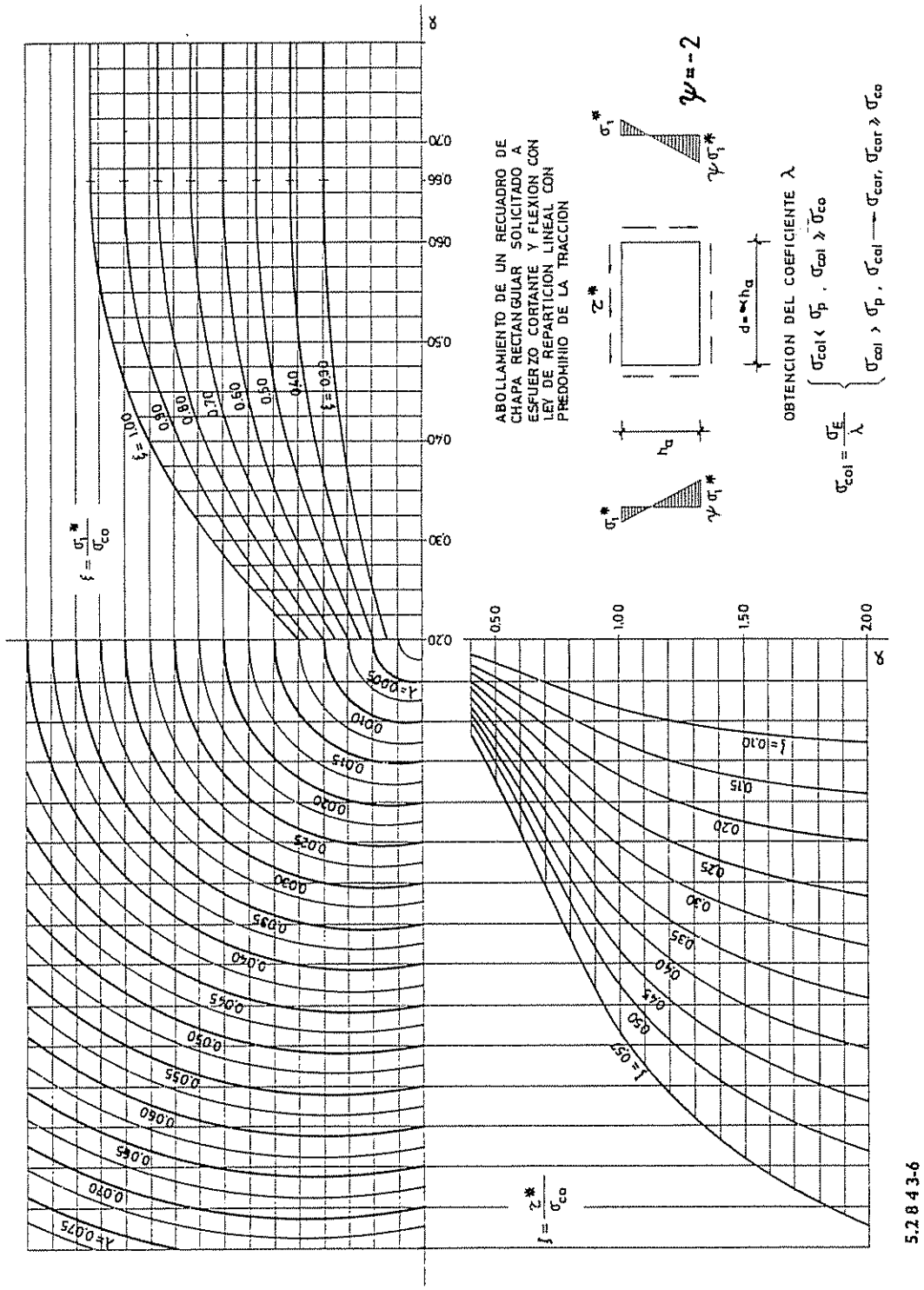
5.2.8.4.3-2

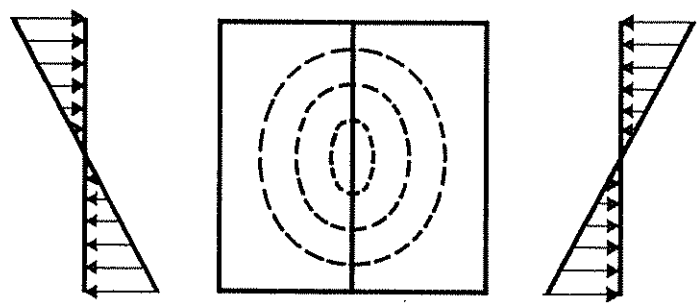
piezas sometidas a flexión




ABOLLAMIENTO DE UN RECUADRO DE CHAPA RECTANGULAR SOLICITADO A ESFUERZO CORTANTE Y FLEXION CON LEY DE REPARTICION LINEAL E IGUALES VALORES DE BORDE
OBTENCION DEL COEFICIENTE λ
$\sigma_{cal} = \frac{\sigma_E}{\lambda}$
$\sigma_{ca} < \sigma_p$; $\sigma_{cal} \geq \sigma_{co}$
$\sigma_{cal} > \sigma_p$, $\sigma_{cal} = \sigma_{car}$, $\sigma_{car} \geq \sigma_{co}$
$\psi = -1$
$\xi = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{co}}$
$\xi = 1.00$
$\xi = 0.80$
$\lambda = \frac{\tau^*}{\sigma_{co}}$
α
$d = \alpha \cdot h_a$
h_a
5.2.8.4.3-4


ABOLLAMIENTO DE UN RECUADRO DE CHAPA RECTANGULAR SOLICITADO A ESFUERZO CORTANTE Y FLEXION CON LEY DE REPARTICION LINEAL CON PREDOMINIO DE LA TRACCION
ψ = -1,667
OBTENCION DEL COEFICIENTE λ
d = ∝ ha
$\sigma_{cal} = \frac{\sigma_E}{\lambda}$
$\sigma_{cal} < \sigma_p$, $\sigma_{cal} \geq \sigma_{co}$
$\sigma_{cal} > \sigma_p$, $\sigma_{cal} = \sigma_{cor}$, $\sigma_{cor} \geq \sigma_{co}$
$\xi = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{co}}$
$\tau = \frac{\tau^*}{\sigma_{co}}$
α
5.2.8.4.3-5


ABOLLAMIENTO DE UN RECUADRO DE CHAPA RECTANGULAR SOLICITADO A ESFUERZO CORTANTE Y FLEXION CON LEY DE REPARTICION LINEAL CON PREDOMINIO DE LA TRACCION
ψ = -2
OBTENCION DEL COEFICIENTE λ
$\sigma_{cal} = \frac{\sigma_E}{\lambda}$
$\sigma_{cal} < \sigma_p$, $\sigma_{cal} \geq \sigma_{co}$
$\sigma_{cal} > \sigma_p$, $\sigma_{cal} \rightarrow \sigma_{car}$, $\sigma_{car} \geq \sigma_{co}$
$\xi = \frac{\sigma_1^*}{\sigma_{co}}$
$\xi = 1.00$
$\xi = 0.90$
$\xi = 0.80$
$\xi = 0.70$
$\xi = 0.60$
$\xi = 0.50$
$\xi = 0.40$
$\xi = 0.30$
$\lambda = 0.0075$
$\lambda = 0.0070$
$\lambda = 0.0065$
$\lambda = 0.0060$
$\lambda = 0.0055$
$\lambda = 0.0050$
$\lambda = 0.0045$
$\lambda = 0.0040$
$\lambda = 0.0035$
$\lambda = 0.0030$
$\lambda = 0.0025$
$\lambda = 0.0020$
$\lambda = 0.0015$
$\lambda = 0.0010$
$\lambda = 0.0005$
α
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
τ^*
h_a
$d = \sim h_a$
σ_1^*
$\psi \sigma_1^*$
$\tau = \frac{\tau^*}{\sigma_{co}}$
$\tau = 0.50$
$\tau = 0.45$
$\tau = 0.40$
$\tau = 0.35$
$\tau = 0.30$
$\tau = 0.25$
$\tau = 0.20$
$\tau = 0.15$
$\tau = 0.10$
0.50
1.00
1.50
2.00
α
5.2.8.4.3-6



[5.36]

5 2 8 4 4 *Abollamiento fuera del campo elástico*

Otro aspecto en que la Norma Básica MV-103 difiere de la EM 62 y DIN 4114, es en el tratamiento del abollamiento anelástico. En estas normas, cuando la tensión crítica ideal rebasa el límite de proporcionalidad, se reduce dicha tensión a una tensión ideal reducida σ_{Kr} multiplicándola por la relación

$$\frac{E_T}{E}$$

Esta reducción se expresa en una tabla que relaciona los valores de σ_{Kr} con los de σ_{Ki}

Este procedimiento supone que la chapa se plastifica por igual en todas direcciones. Sin embargo, parece una hipótesis razonable, como propugnan muchos autores, suponer que la plastificación solo se produce en la dirección que actúan las tensiones solicitantes y, por tanto, aplicar en dicha dirección el módulo tangente E_T, mientras que en la dirección normal no se ha producido dicha plastificación y la deformación está regida, por tanto, por el módulo E

Bleich propone, en este caso, sustituir la tensión de Euler:

$$\sigma = \frac{\pi^2 E e^2}{12 h_a^2 (1 - \mu^2)} \qquad \text{por} \qquad \sigma = \frac{\pi^2 \sqrt{E E_T}\, e^2}{12 h_a^2 (1 - \mu^2)}$$

Esta es la opinión, también, de Massonet y McGuire, resultando que en vez de

$$\sigma_{cor} = \sigma_{col} \frac{E_T}{E}$$

la MV-103 adopta

$$\sigma_{cor} = \sigma_{col} \frac{\sqrt{E E_T}}{E} = \sigma_{col} \sqrt{\frac{E E_T}{E^2}} = \sigma_{col} \sqrt{\frac{E_T}{E}} = \sqrt{K_r}\, \sigma_{col}$$

siendo K_r el valor que se obtiene de la tabla 5.2 de la Norma [5.23]

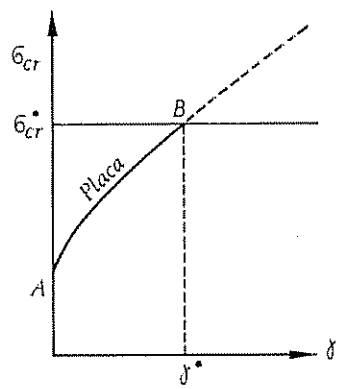
5 2 8 4 5. *Rigidizadores. Concepto de rigidizador ultrarrígido*

La introducción de uno o más rigidizadores soldados sobre una placa [5.36], aumenta su estabilidad y, por consiguiente, el valor de su coeficiente de abollamiento K.

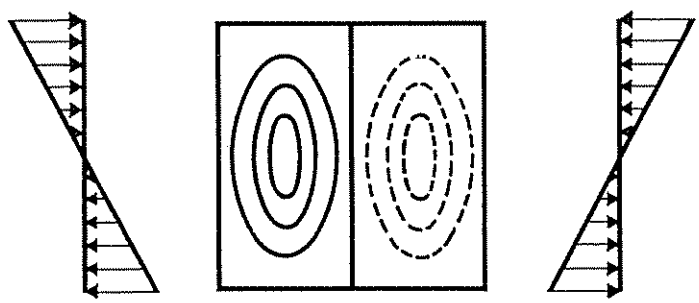
Designado por I el momento de inercia del rigidizador respecto al plano de la placa, se define como rigidez relativa de aquél, al coeficiente γ:

$$\gamma = \frac{\text{rigidez del rigidizador}}{\text{rigidez de la placa}} = \frac{E I}{d D}$$

$$D = \frac{E e^3}{12 (1 - \nu^2)} \qquad \nu = 0{,}3 \qquad \gamma = \frac{10{,}92 I}{d e^3}$$



[5.37]



[5.38]

Basándose en este concepto se puede construir el diagrama de abollamiento de una placa con un rigidizador intermedio, tomando como abcisas los valores de γ y como ordenadas las tensiones críticas de abollamiento [5.37]. El punto A corresponde a la tensión crítica de la placa sin rigidizador intermedio. Esta tensión va aumentando conforme se consideran rigidizadores de mayor inercia, hasta que la inercia del rigidizador es tal, que la placa no puede arrastrarlo en su deformación y el abollamiento se produce a ambos lados del rigidizador, que permanece perfectamente rectilíneo.

La tensión crítica correspondiente es la de una placa de longitud $a/2$ y altura b [5.38].

Este valor σ^*_{cr} de la tensión ya no depende de la inercia del rigidizador, por consiguiente se representa en el diagrama como una horizontal que corta a la curva en un cierto punto B de abcisa γ^*. Para un rigidizador de rigidez γ^*, las formas de abollamiento correspondientes a rigidizador rígido o flexible pueden producirse indistintamente. A un rigidizador que posee esta rigidez se le llama rigidizador *estrictamente rígido*. Teóricamente no existe ningún interés en utilizar rigidizadores de rigidez superior a γ^*, puesto que el aumento de inercia no eleva la tensión crítica de abollamiento por encima de σ^*_{cr}.

De lo anterior se deduce que para evitar el abollamiento de una chapa, puede ésta rigidizarse con rigidizadores deformables que aumenta la tensión crítica de abollamiento del conjunto chapa rigidizador o con rigidizadores rígidos que subdividen la chapa en recuadros de dimensiones menores y, por tanto, con tensión crítica superior.

El primer procedimiento se utiliza poco. Si difícil es la resolución del problema de la obtención de los valores críticos en una chapa sin rigidizar, la complejidad aumenta extraordinariamente en las chapas rigidizadas. La norma DIN 4114 da los valores de K para algunos casos de chapas rigidizadas y el lector puede comprobar, en la tabla Ri-10 de dicha norma, la complicación de las expresiones que resultan.

En la Norma Básica MV-103 no se recoge más que el segundo procedimiento de rigidización y dada la poca repercusión que el dimensionamiento de los rigidizadores tiene en la economía del proyecto, se ha adoptado en dicha Norma un criterio prudente para fijar la inercia mínima del rigidizador, considerado como ultrarrígido, es decir, con inercia superior a la del estrictamente rígido, sea cual sea el tipo de solicitación.

La inercia mínima de un rigidizador está relacionada con la rigidez del rectángulo de chapa como ya se dijo anteriormente, mediante la expresión

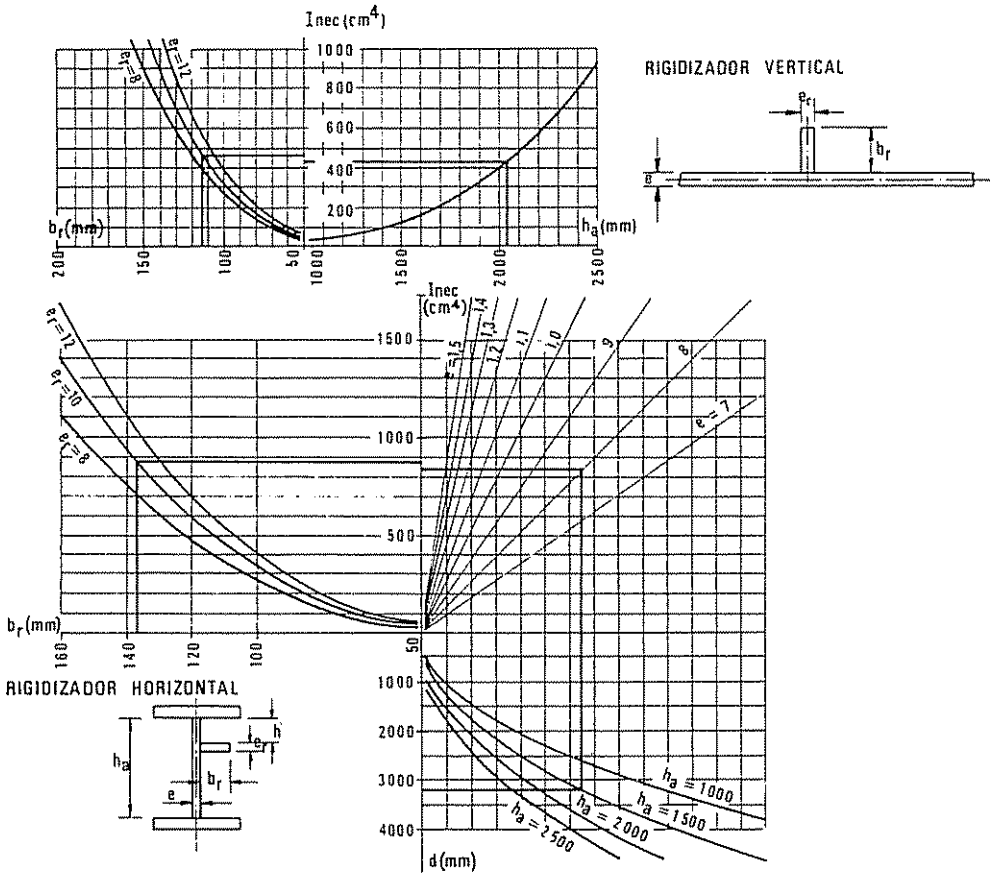
$$I_r = \gamma \frac{d\, e^3}{12\,(1 - \nu^2)}$$

TIMOSHENKO, en su obra «*Estabilidad elástica*», da una fórmula empírica para el valor de γ, de un rigidizador transversal ultrarrígido:

$$\gamma = 1{,}875 \left(\frac{h_a}{d} \right)^4$$

Valor que introducido en la expresión de I_r y haciendo $\nu = 0{,}3$

$$I_r = 0{,}172\, h^4_a \left(\frac{e}{h_a} \frac{h_a}{d} \right)^3$$


Inec (cm4)
1000
800
600
400
200
e=12
e=8
br (mm)
ha (mm)
200
150
100
50
1000
1500
2000
2500
RIGIDIZADOR VERTICAL
er
br
e
Inec (cm4)
1500
1000
500
e=12
e=10
e=8
e=7
e=15
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
9
8
br (mm)
160
140
120
100
50
RIGIDIZADOR HORIZONTAL
ha
br
e
er
h
1000
2000
3000
4000
ha = 1000
ha = 1500
ha = 2000
ha = 2500
d (mm)

5.2 8 4 3-7

Considerando una viga de alma gruesa, con rigidizadores bastante separados, se puede tomar

$$\frac{e}{h_a} = 0{,}014 \quad \text{y} \quad \frac{d}{h_a} = 1{,}5$$

valores que introducidos en la expresión de I_r dan:

$$I_r = 0{,}172\, h^4_a \left(\frac{1}{70}\ \frac{1}{1{,}5}\right)^3 \simeq \left(\frac{h_a}{50}\right)^4$$

En una viga de alma delgada se puede considerar

$$\frac{e}{h_a} = 0{,}006 \quad \text{y} \quad \frac{d}{h_a} = 0{,}60$$

obteniéndose igualmente:

$$I_r = 0{,}172\, h_a{}^4 \left(\frac{1}{170}\ \frac{1}{0{,}60}\right)^3 \simeq \left(\frac{h_a}{50}\right)^4$$

que es el valor que adoptan la AISC y la Instrucción italiana de 1967 ya citada.

En la Norma Básica MV-103 se ha considerado prudente multiplicar este valor por 1,50 por las consideraciones ya citadas.

Para los rigidizadores longitudinales se ha adoptado la fórmula de la AASHO, que concuerda esencialmente con las teóricas propuestas por DUBAS en su trabajo «*A contribution to the Buckling of stiffened Plates*» en la Publicación preliminar al tercer congreso de la IABSE, Lieja, 1948.

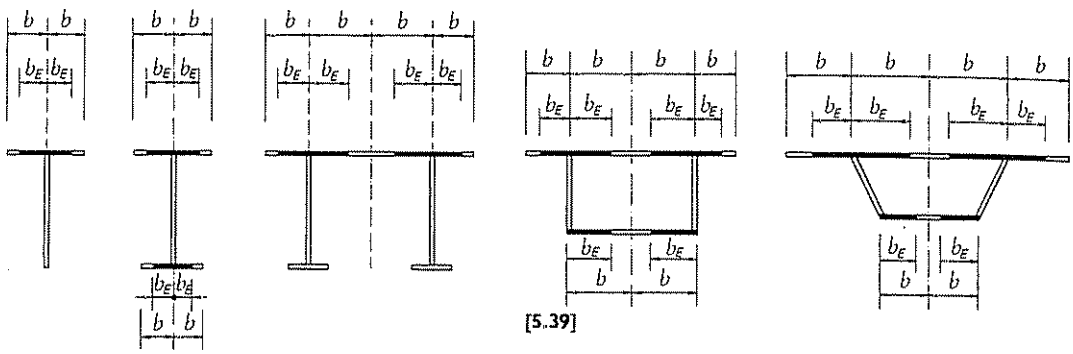
Con auxilio de **5.2 8 4 3-7** puede determinarse directamente la inercia necesaria y las dimensiones, tanto de los rigidizadores verticales como de los horizontales, para que puedan considerarse como ultrarrígidos.

Ver ejemplo de aplicación en la página 684

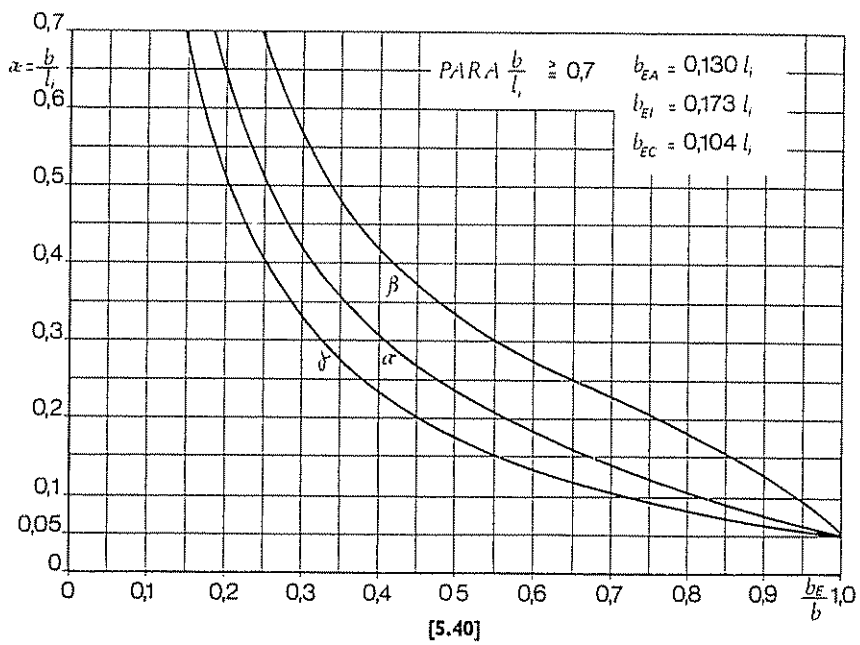
5.2.9. Ancho eficaz de las alas en las vigas de alma llena.

En vigas en I o en cajón, con anchura de ala grande, la distribución de las tensiones de compresión y tracción en las alas no puede considerarse uniforme.

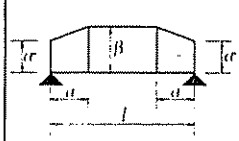
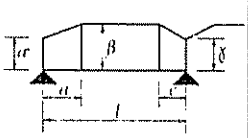
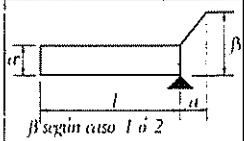
El cálculo considerando la ley real de repartición de tensiones es complicado y normalmente este efecto se tiene en cuenta considerando un ancho reducido del ala, o ancho eficaz, con el cual pueden realizarse los cálculos según los procedimientos clásicos de la Resistencia de Materiales descritos en los apartados anteriores de este capítulo. En los perfiles y en las vigas armadas normales el ancho eficaz coincide con el ancho real, y no es preciso tener en cuenta esta reducción, que por el contrario puede tener impor-



[5.39]



[5.40]

Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Viga simplemente apoyada	Viga continua		Viga en voladizo [1]
	Vano externo	Vano interno	
			
$l_i = l$	$l_i = 0{,}8\ l$	$l_i = 0{,}6\ l$	$l_i = l$

[1] Es válido únicamente cuando el voladizo está cargado
$a = b$, sin embargo nunca mayor que $0{,}25\ l$
$c = 0{,}1\ l$.

[5.41]

tancia y hace necesario su consideración en el cálculo de otro tipo de secciones como pueden ser los paneles rigidizados o las placas ortótropas.

Los criterios que damos a continuación, coinciden con los que se exponen en norma DIN 1073. Puentes de acero para carreteras. Bases de cálculo. Julio 1974.

Las anchuras eficaces b_E de las alas o cordones de las vigas de alma llena o cajón, cuya anchura real sea b [5.39], tanto para la obtención de las tensiones como para la de las deformaciones, tendrán los valores máximos siguientes:

— Sobre un apoyo articulado o en toda la longitud de una ménsula

$$b_{EA} = \alpha b$$

— En las zonas centrales de las vigas

$$b_{EI} = \beta b$$

— En los apoyos interiores de las vigas continuas

$$b_{EC} = \gamma b$$

Los valores de α, β, γ se obtienen del gráfico [5.40], en el cual se entra con los valores

$$\varkappa = \frac{b}{l_l}$$

obteniéndose los valores correspondientes de l_l del cuadro [5.41]. Para el cálculo de γ se considerará la longitud mayor de los vanos a cada lado del apoyo.

Si b no es constante en cada vano deberán calcularse los valores eficaces b_E para cada anchura real b

Si en algún vano la anchura eficaz en el centro fuese menor que en los apoyos, es decir, $b_{EC} \leqslant b_{EA}$ o $b_{EC} < b_{EI}$, se tomará como valor de b_{EC} el resultante de la interpolación lineal entre los valores de b_{EA} y/o b_{EI} correspondientes a los apoyos continuos al vano considerado, siempre que estos valores no sean superiores a los anchos reales.

En las placas ortótropas existen rigidizadores transversales y longitudinales [5.42].

En los rigidizadores transversales la anchura eficaz puede suponerse constante y con los siguientes valores:

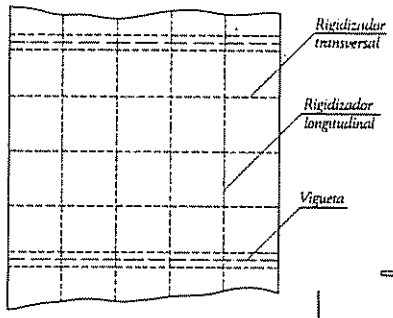
a) Para la obtención de los esfuerzos:

— En los vanos interiores

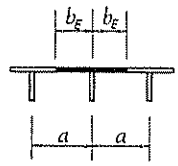
$$b_E = \beta b$$

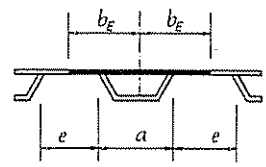
— En las ménsulas

$$b_E = \alpha b$$



[5.42]

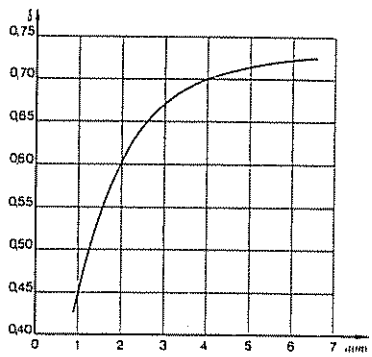




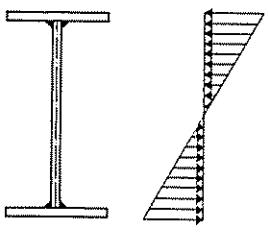
Para el cálculo de esfuerzos	$b_E = 0{,}5\ a$	$b_E = 0{,}5\ (a + e)$
Para el cálculo de tensiones	$b_E = \delta \cdot 30\ \frac{a}{21 + 0{,}3\ a}$	$b_E = \delta \cdot 30 \left(\frac{a}{21 + 0{,}3\ a} + \frac{b}{21 + 0{,}3\ e} \right)$

b_E, a y e en cm.

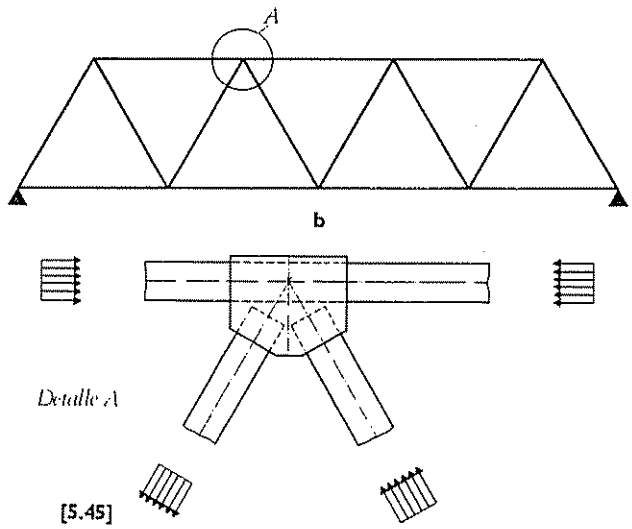
[5.43]



[5.44]



a



[5.45]

b) Para la obtención de las tensiones:

— En los vanos interiores

$$b_E = \gamma b$$

— En las ménsulas

$$b_E = \alpha b$$

siendo α, β, γ los coeficientes correspondientes a vigas de alma llena definidos anteriormente.

Para los rigidizadores longitudinales las anchuras eficaces b_E son las que se obtienen del cuadro [5.43], con los valores de δ que se obtienen del gráfico [5.44], en función de la separación entre viguetas a en metros.

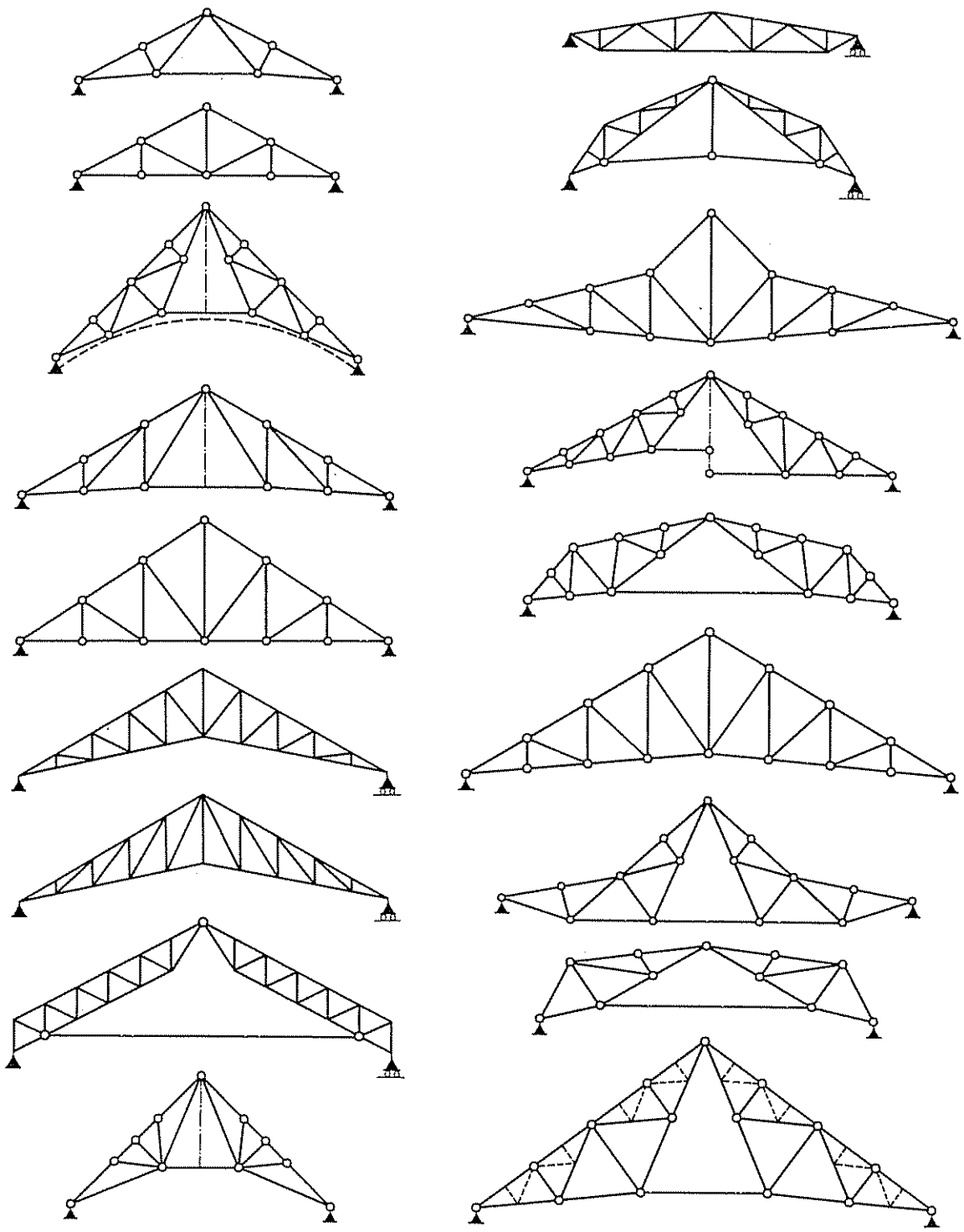
5.3. VIGAS DE CELOSIA

Las vigas de celosía, y en general las estructuras trianguladas, gozan de una respetable tradición en la construcción metálica. Sus antecedentes inmediatos son las estructuras en madera, cuyas disposiciones y formas imitaron en un principio, alcanzando después, con la introducción del acero laminado, un desarrollo exuberante y atrevido como demuestran, entre otras, obras como la torre Eiffel o el puente de Firth of Forth, para citar ejemplos rigurosamente clásicos.

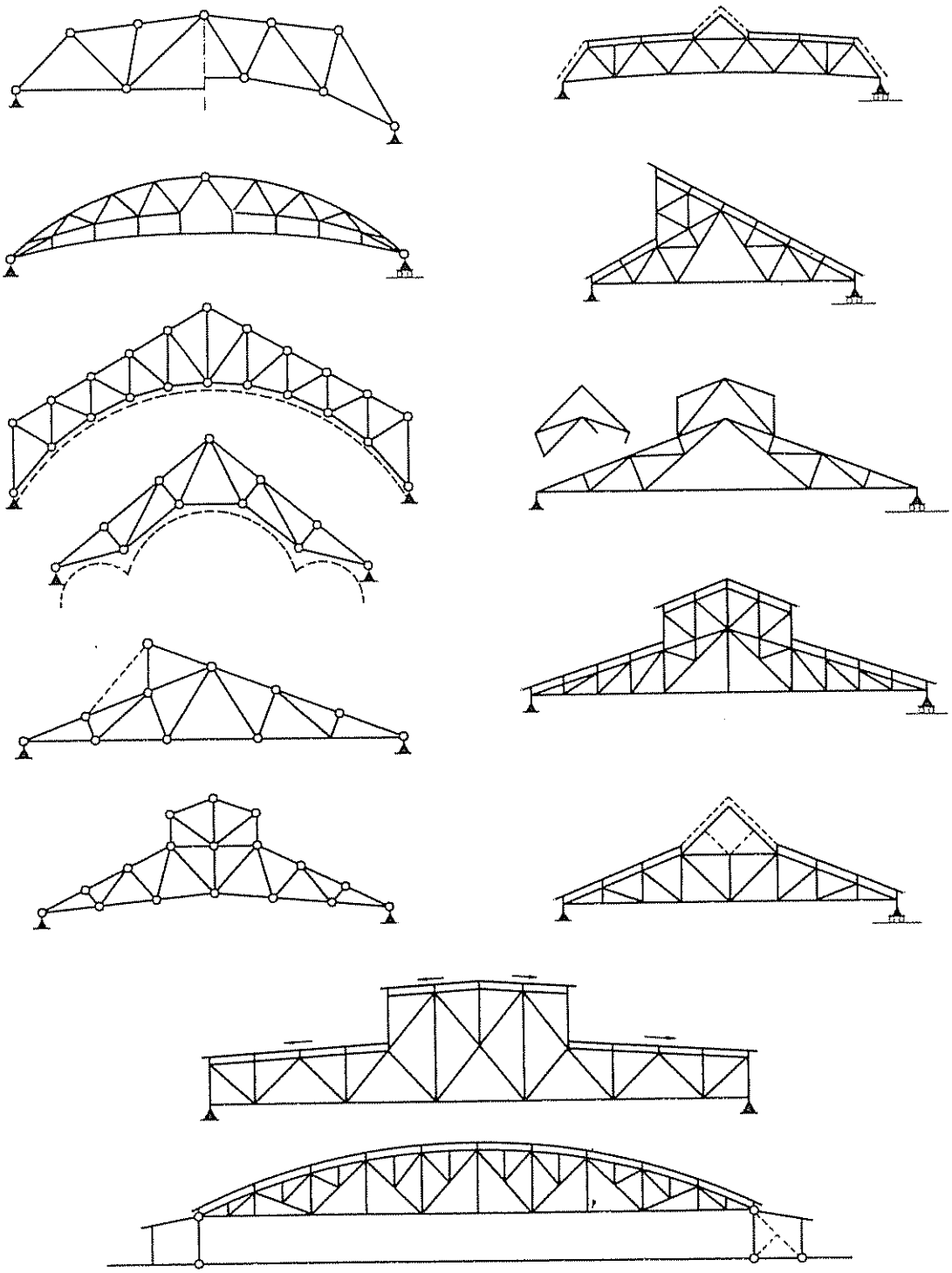
Desde el punto de vista del peso propio, las vigas trianguladas son más económicas que las de alma llena, para luces de cierta importancia. Su economía no es tan manifiesta si se considera, como es lógico hacerlo, el coste de una estructura como el resultado de tres sumandos: coste del material, de la fabricación y del montaje, costes estos últimos que varían grandemente según circunstancias, tales como el valor de la mano de obra, las características y utillaje del taller de construcción, y los medios de que se disponga para el montaje.

El mejor aprovechamiento, a efectos resistentes, de las vigas de celosía con relación a los de alma llena, se refleja en [5.45]. Mientras que en una viga de alma llena las tensiones máximas de agotamiento se alcanzarán solo en dos puntos de la sección, en una barra triangulada puede conseguirse que toda la sección tanto de los cordones como de las diagonales se agote uniformemente, aunque esta afirmación no es absolutamente cierta, pues las barras a compresión deben dimensionarse, teniendo en cuenta el pandeo en las barras a compresión y en las que están solicitadas a tracción deben descontarse los agujeros cuando las secciones son atornilladas. Sin embargo, estas consideraciones no alteran las ventajas fundamentales expuestas.

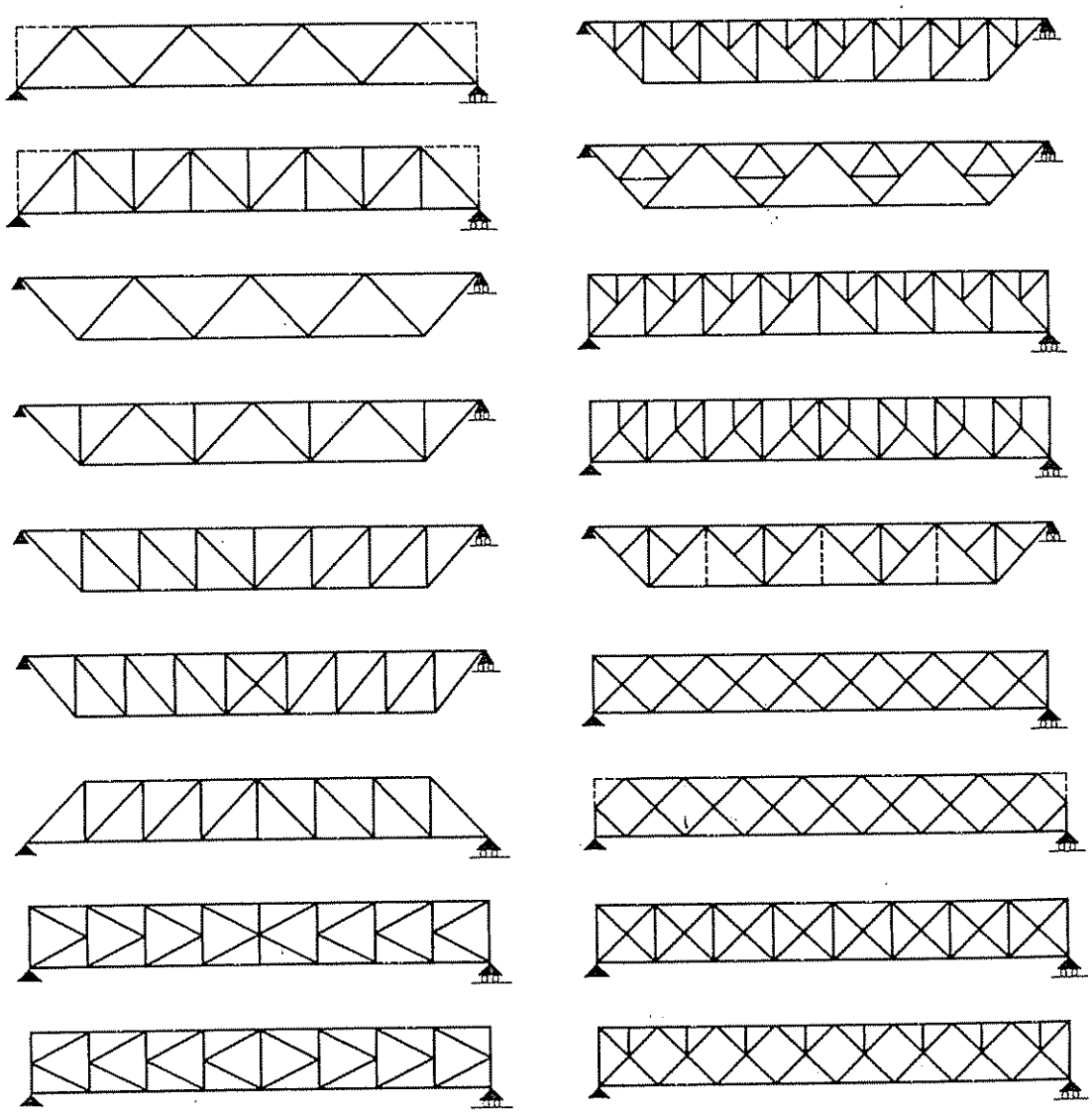
El incremento constante del coste de la mano de obra y la mayor complejidad de construcción de las estructuras triángulas, unidas a otras razones (mayor gasto de pintu-



[5.46]



[5.46]



[5.47]

ra, etc.), entre las que no se excluyen las de tipo estético, y sobre todo los avances de la tecnología y la consiguiente introducción de nuevos tipos estructurales (hormigón pretensado, vigas mixtas hormigón acero, vigas armadas fabricadas con soldadura automática y otros) han restringido considerablemente la casi universal utilización de las estructuras de celosía, sobre todo en la construcción de puentes y de cubiertas de grandes luces.

No obstante, su utilización actual y futura es y será importante, y justifica que en los artículos siguientes se trate de problemas de cálculo y construcción que se relacionan con este tipo de vigas.

5.3 1. Tipos de vigas de celosía.

Por su utilización pueden considerarse dos tipos principales de vigas de celosía: las que están destinadas a soportar cargas importantes con luces grandes (entre las que se encuentran las vigas principales de puentes), y las cerchas de cubierta con cargas ligeras y luces normalmente entre 15 y 50 m

Las primeras suelen ser celosías robustas con uniones directas por soldadura o con cartelas dobles en los nudos, y cordones constituidos por perfiles H, I y por secciones en cajón o compuestas.

Las cerchas de cubierta, por el contrario, suelen ser estructuras más ligeras con cartelas simples y barras constituidas por angulares o simples T.

Las posibilidades y, por tanto, la variedad de las vigas de celosía es prácticamente infinita, según el trazado de los cordones y la disposición de la triangulación. Sin embargo, existen unos tipos que podríamos llamar clásicos, algunos de los cuales resumimos en [5.46] y [5.47], la primera figura corresponde a vigas del segundo tipo y la segunda a las del primer tipo, o sea, vigas de puentes

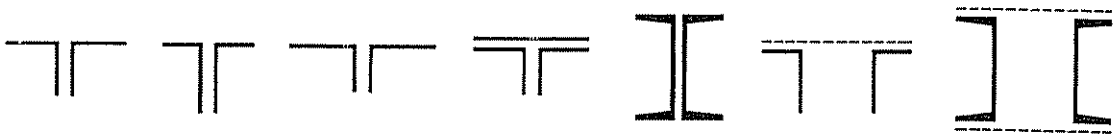
Es evidente, dada la gran variedad de celosías que se han utilizado satisfactoriamente, que no existe un tipo obviamente mejor que los demás o de utilización universal. Algunas consideraciones pueden ser útiles, cuando se haya de adoptar un tipo de triangulación:

— En las barras con uniones atornilladas, los agujeros reducen la sección eficaz de las barras a tracción, pero no la de compresión.

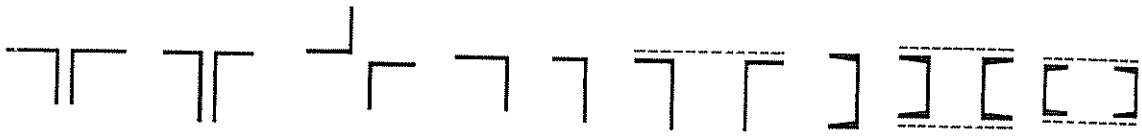
— Debe procurarse que las barras largas estén traccionadas y no comprimidas, por la reducción de compresión eficaz debida al pandeo.

CONSTRUCCION ATORNILLADA

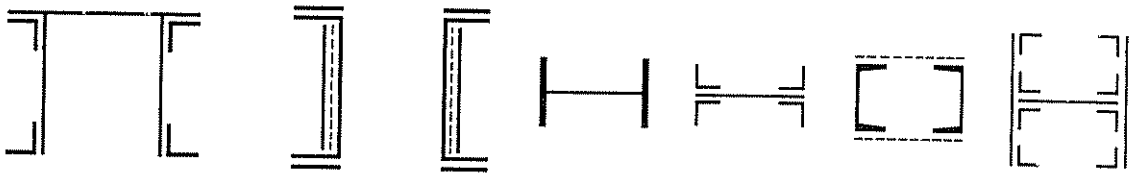
Cordones



Diagonales



Cordones y diagonales en construcción de puentes

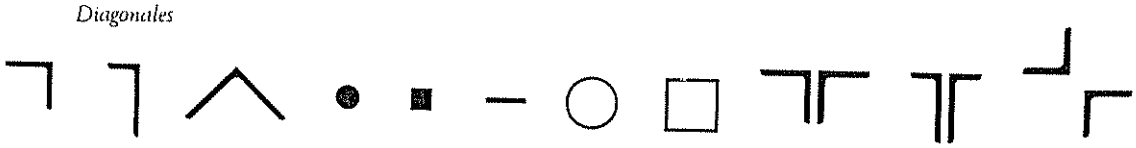


CONSTRUCCION SOLDADA

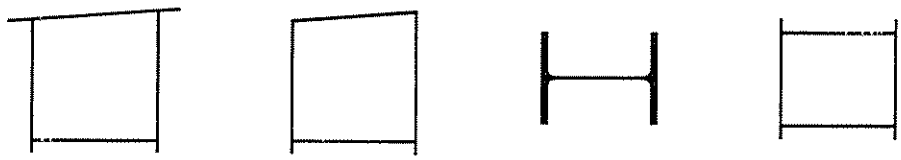
Cordones



Diagonales



Cordones y diagonales en construcción de puentes



[5.48]

— El ángulo de 45° o los próximos a él son los más convenientes para la inclinación de las diagonales.

A título indicativo se reproducen en [5.48] [1] algunas secciones recomendadas para la constitución tanto de los cordones como de las diagonales y montantes.

5.3.2. Cálculo de las vigas de celosía.

Las vigas de celosía están compuestas de piezas a tracción y compresión cuyo dimensionamiento, por tanto, puede estudiarse en los capítulos correspondientes.

Las piezas se unen en los nudos entre sí, bien directamente o bien mediante cartelas, con robiones, tornillos o por soldadura. En los capítulos 6 y 7 se trata del cálculo y de la ejecución de este tipo de uniones. Las vigas de celosía se calculan en general, despreciando las tensiones secundarias, es decir, suponiendo que las uniones de nudo son articulaciones perfectas. Esta hipótesis solamente puede justificarse si las piezas y las uniones no son demasiado rígidas. Este aspecto tiene especial importancia en las uniones soldadas, en general considerablemente más rígidas que las atornilladas.

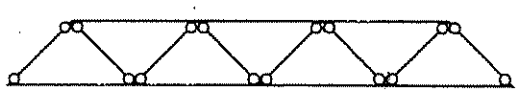
Naturalmente, existe la posibilidad de determinar las tensiones secundarias y de dimensionar las piezas y las uniones tcmándolas en consideración. Este cálculo puede llevarse a cabo, por ejemplo, calculando los corrimientos de los nudos mediante un diagrama de WILLIOT, deduciendo a partir de aquéllos y de las rigideces de las piezas los momentos de empotramiento en los nudos, en la hipótesis de que no se presenten giros en ellos, y deshaciendo a continuación estos empotramientos, mediante un CROSS intraslacional que nos da los valores de los momentos efectivos, a partir de los cuales obtenemos las tensiones secundarias.

Actualmente, los métodos de cálculo que podríamos llamar clásicos, han sido casi totalmente desplazados por los diferentes programas de cálculo con ordenador y que son aplicables para las estructuras trianguladas, planas y espaciales, y que permiten realizar el cálculo tanto en la hipótesis de articulación en los nudos, como la a menudo más real, de rigidez de los mismos, y con los cuales se obtiene de una manera directa los esfuerzos en cada una de las piezas y los desplazamientos en los nudos.

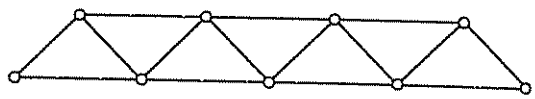
Sin embargo, parece útil recordar siquiera brevemente, los que pudiéramos llamar métodos clásicos de cálculo, por ser muchas veces necesaria su utilización para es-

---

[1] Tomadas de *Merkblatt 426-Fachwerkträger*, 1968

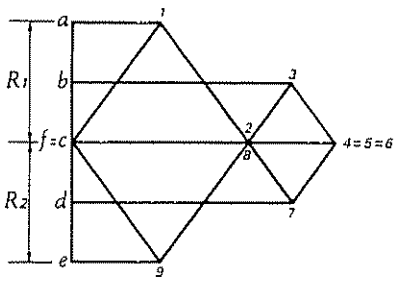


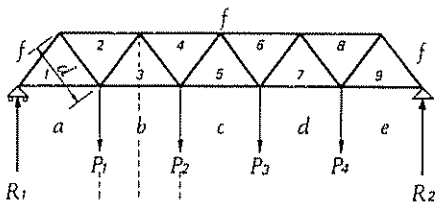
[5.49]



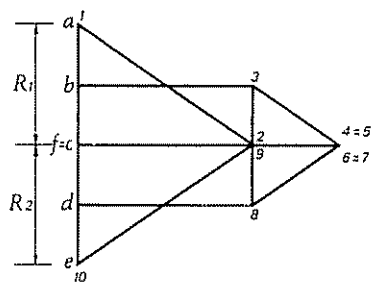
[5.50]

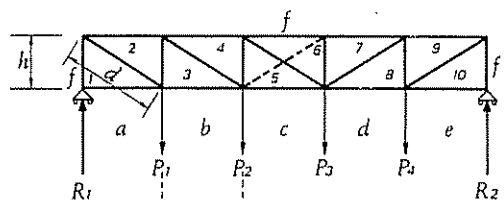
Celosia en V



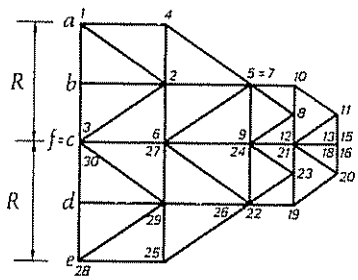


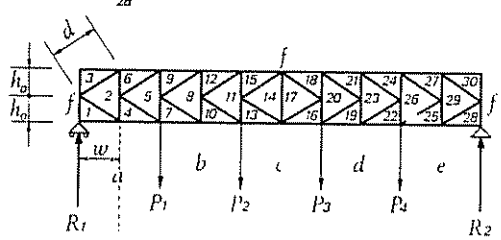
Celosia en N





Celosia en K





[5.51]

tructuras elementales, arriostramientos e incluso para el predimensionado, indispensable para la utilización de los programas de cálculo con ordenador.

5 3 2 1. *Vigas de celosía isostáticas*

Las principales hipótesis que se hacen generalmente para justificar los métodos de cálculo que a continuación describimos, son:

— Las barras están articuladas en los nudos. Esta hipótesis justificada plenamente con el sistema de unión por bulones o sistema americano, a veces difiere bastante de la realidad, sobre todo en estructuras soldadas o en vigas de cordones paralelos, donde por razones constructivas los cordones suelen realizarse continuos con un solo perfil, respondiendo su esquema estático más al esquema [5.49] que al [5.50].

  Una viga de celosía es internamente isostática cuando, siendo n el número de nudos, el número de barras es $2(n-3)$ y convenientemente dispuestas. Si los nudos fuesen rígidos, el número de incógnitas hiperestáticas sería $2(n-3)$.

— Las fuerzas exteriores actúan sobre los nudos. Esta hipótesis nunca puede ser rigurosamente cierta, puesto que al menos, el peso propio y eventualmente el viento, actúan directamente sobre las barras. Tanto estas cargas como las puntuales que puedan existir sobre las barras, pueden sustituirse por sus reacciones en los nudos para el cálculo de esfuerzos axiles, superponiendo después el momento solicitante sobre la barra, al esfuerzo axil calculado, para el dimensionamiento de la misma.

5.3 2 2. *Método Cremona, o de las figuras recíprocas*

Siempre que las hipótesis anteriores puedan considerarse válidas, el clásico método gráfico de CREMONA permite de una manera sencilla determinar los esfuerzos en las barras.

En [5 51] se representan los diagramas de CREMONA para algunos casos de vigas trianguladas. El sistema adoptado para la designación de fuerzas y barras es el de las regiones o zonas del plano que delimitan la fuerza o barra correspondiente. Se indican con números las distintas regiones limitadas por barras y con letras las contiguas a las fuerzas exteriores

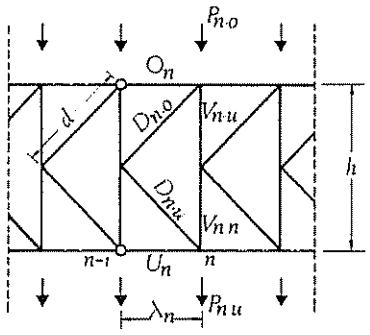
5 3 2 3. *Métodos algébricos*

El método más frecuentemente empleado es el de las secciones o de RITTER

En [5 52] se indican las expresiones de los esfuerzos obtenidos con este método en algunos casos prácticos.

A veces, aun siendo la estructura isostática, no son directamente aplicables los métodos anteriores (por ejemplo, si en el método de RITTER no es posible establecer una sección que divida la estructura en dos partes y que corte a tres barras no concurrentes, o no es posible iniciar o continuar el diagrama de Cremona) se puede recurrir:

— A la doble sección de RITTER, cuando es posible elegir dos secciones cada una de las cuales separan la estructura en dos partes, y cortando cada una de ellas cuatro barras, dos de las cuales son comunes a las dos secciones. Escribiendo para cada sección la expresión del momento respecto al punto de intercesión de las barras no comunes de cada sección, se obtienen dos ecuaciones en las cuales figuran como incógnitas los esfuerzos en las barras comunes

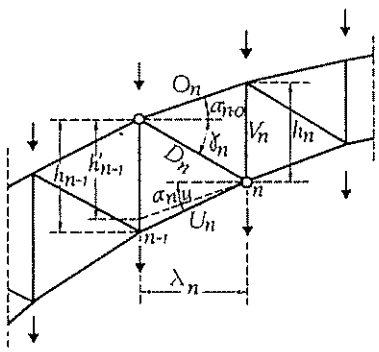


$$O_n = -\frac{M_{n-1}}{h}$$

$$U_n = +\frac{M_{n-1}}{h}$$

$$D_{n,o} = -Q_n\frac{d}{h};\ D_{n,u} = +Q_n\frac{d}{h}$$

$$V_{n,o} = +\frac{Q_n}{2} - P_{n,o};\ V_{n,u} = -\frac{Q_n}{2} + P_{n,u}$$

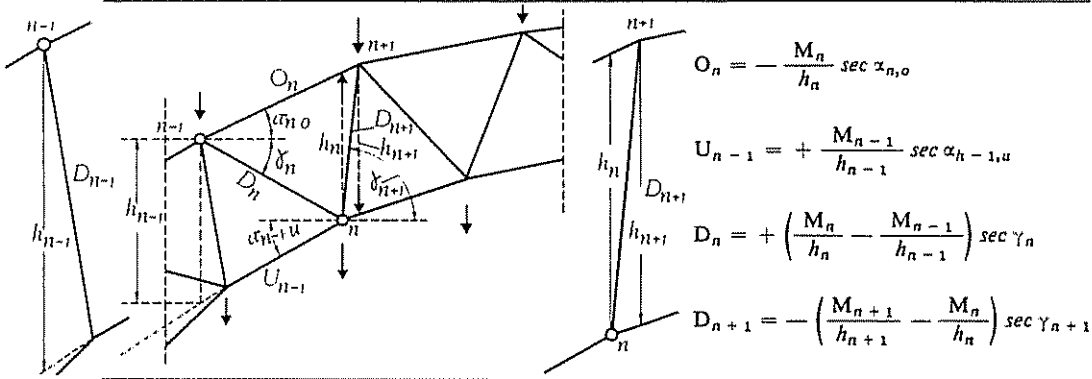


$$O_n = -\frac{M_n}{h_n}\sec\alpha_{n,o}$$

$$U_n = +\frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\sec\alpha_{n,u}$$

$$D_n = +\left(\frac{M_n}{h_n} - \frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\right)\sec\gamma_n$$

$$V_n = -\left(\frac{M_n}{h_n}\frac{h'_{n-1}}{\lambda_n} - \frac{M_{n-1}}{\lambda_n}\right) + P_{n,u}$$



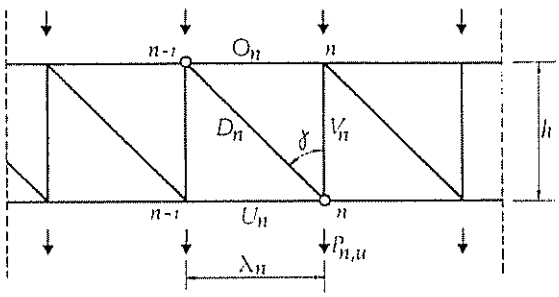
$$O_n = -\frac{M_n}{h_n}\sec\alpha_{n,o}$$

$$U_{n-1} = +\frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\sec\alpha_{h-1,u}$$

$$D_n = +\left(\frac{M_n}{h_n} - \frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\right)\sec\gamma_n$$

$$D_{n+1} = -\left(\frac{M_{n+1}}{h_{n+1}} - \frac{M_n}{h_n}\right)\sec\gamma_{n+1}$$

[5.52]

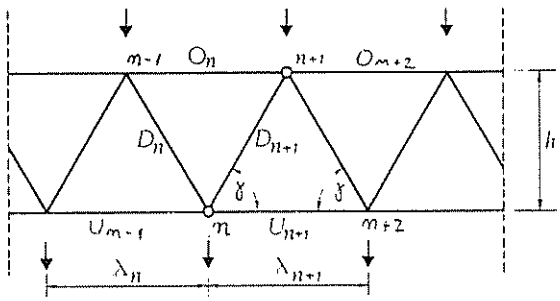


$$O_n = -\frac{M_n}{h}$$

$$U_n = +\frac{M_{n-1}}{h}$$

$$D_n = +\frac{Q_n}{sen\,\gamma}$$

$$V_n = -Q_n + P_{n,u}$$

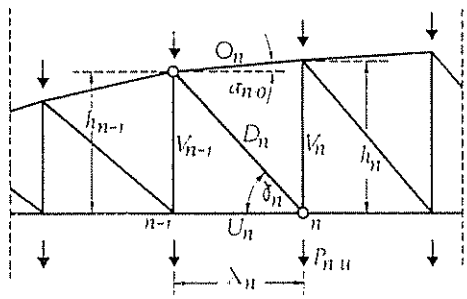


$$O_n = -\frac{M_n}{h}$$

$$U_{n+1} = +\frac{M_{n+1}}{h}$$

$$D_n = +\frac{Q_n}{sen\,\gamma}$$

$$D_{n+1} = -\frac{Q_{n+1}}{sen\,\gamma}$$



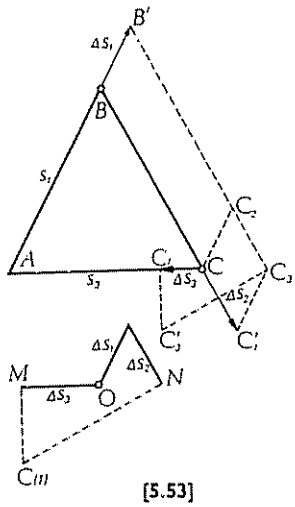
$$O_n = -\frac{M_n}{h}\,sec\,\alpha_{n,o}$$

$$U_n = +\frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}$$

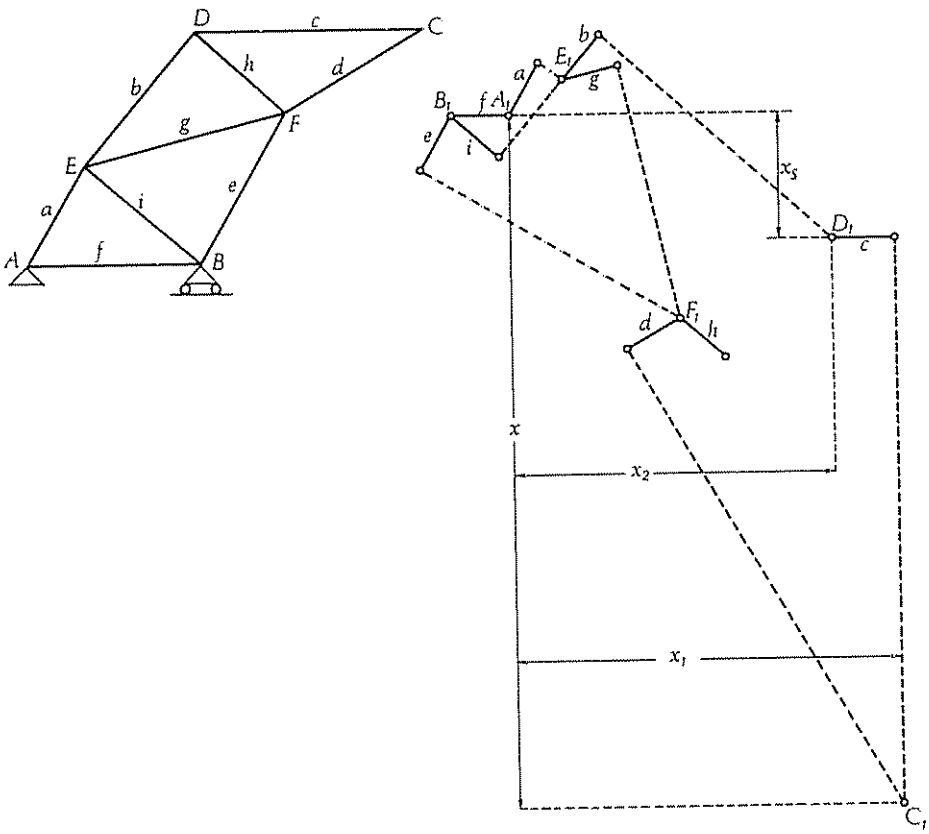
$$D_n = +\left(\frac{M_n}{h_n} - \frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\right) sec\,\gamma_n$$

$$V_n = -\left(\frac{M_n}{h_n} - \frac{M_{n-1}}{h_{n-1}}\right)\frac{h_{n-1}}{\lambda_n} + P_{n,u}$$

[5.52]


B'
ΔS1
B
S1
A
C2
C1
C
C3
S2
ΔS3
ΔS2
C'3
C'
ΔS1
ΔS2
M
N
ΔS3
O
C'''

[5.53]


D
c
C
h
d
b
g
F
E
e
i
a
f
A
B
b
a
E1
g
B1
f
A1
e
i
xs
D1
c
F1
d
J1
x
x2
x1
C1

[5.54]

— Al método de HENNEBERG, aplicable tanto a las estructuras planas como a las espaciales, y que se basa en la supresión de una barra, y su sustitución por otra que haga posible el CREMONA. La barra provisionalmente suprimida y de la cual se busca su solicitación axil X, se sustituye por dos fuerzas unitarias, según el eje de esta barra y aplicadas en los nudos.

Con un primer Cremona se calculan los esfuerzos S_o de las barras, bajo las cargas del sistema primitivo, sin las dos fuerzas unitarias anteriormente dichas. Con un segundo Cremona se calculan los esfuerzos que producen las dos fuerzas unitarias y se obtienen los esfuerzos S_1 en las barras. Si en lugar de actuar las fuerzas unitarias actuasen fuerzas de valor X, la superposición de estas cargas y las primitivas darían unos esfuerzos en las barras

$$S = S_o + S_1 X$$

Particularizando para la barra suplementaria introducida y que en realidad no existe (lo que equivale a que su solicitación sea nula), puede obtenerse el valor de X

$$X = - \frac{S_o}{S_1}$$

y, por tanto, obtener los esfuerzos en cada barra.

5.3.2.4. *Vigas en cruz de San Andrés*

Son vigas con alto grado de hiperestaticidad. En la práctica suelen hacerse hipótesis simplificativas para su cálculo

— Una de ellas es suponer que para cada sistema de carga solo trabaja la diagonal traccionada, ya que al dimensionar solo las barras a tracción sus esbelteces son muy grandes y puede suponerse que su capacidad de trabajo a compresión es muy pequeña

— Otra hipótesis simplificativa es suponer la viga en cruz de San Andrés como la superposición de dos vigas simples isostáticas en N. Cada una de las vigas simples se calcula con la mitad de las cargas solicitantes

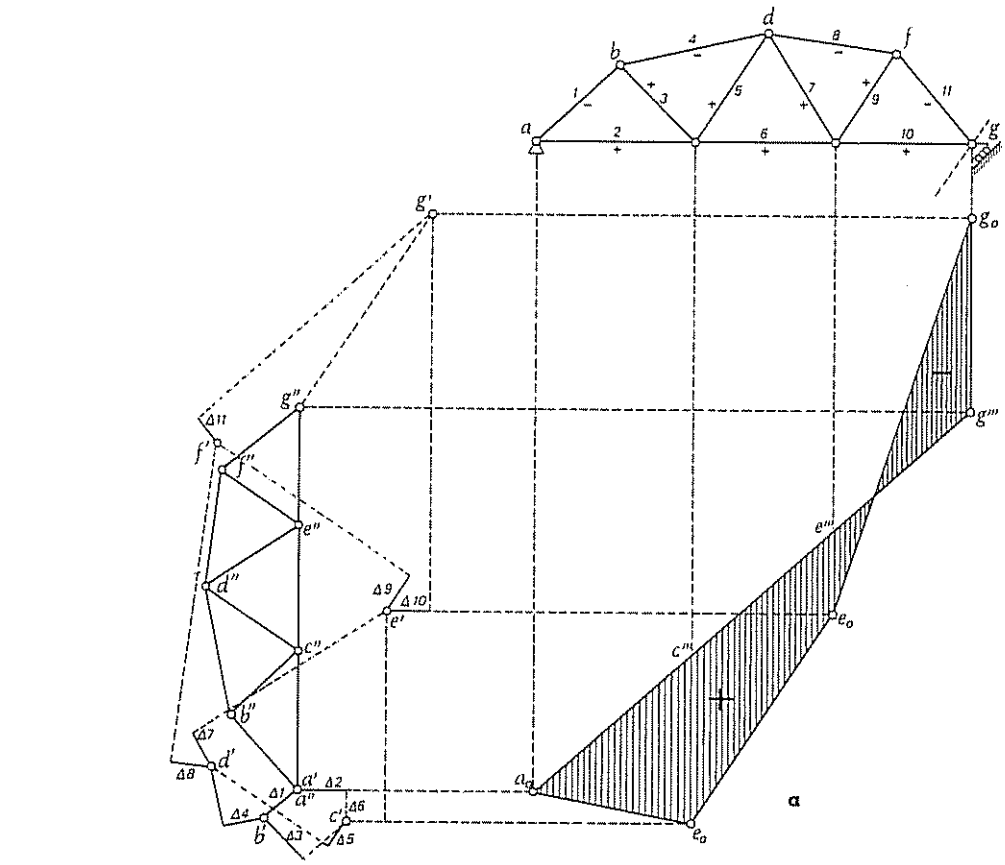
Los esfuerzos sobre las diagonales se consideran reales, mientras que para los cordones y montantes se suman algebraicamente los esfuerzos de cada viga en N. En general con este procedimiento los montantes no trabajan más que como simples arriostramientos. Los resultados que se obtienen con este procedimiento no difieren grandemente de los que resultan cuando se considera la viga hiperestática con nudos articulados.

5.3.3 Deformaciones en las vigas de celosía.

5.3.3.1. *Diagrama de WILLIOT.*

El diagrama de WILLIOT es un método gráfico aplicable después de haber determinado los esfuerzos N_i de cada barra y sus respectivas variaciones de longitud

$$\Delta l_i = \frac{P_i l_i}{E A_i}$$


a
b
[5.55]

Se parte de un nudo que se considera fijo y de una barra que conserva su dirección, el desplazamiento de cada uno es un vector equipolente al que tiene por origen el punto fijo y extremo el vértice correspondiente en el diagrama gráfico de WILLIOT.

En [5.53] se representa el desplazamiento del vértice C de un triángulo elemental ABC, en el que se considera fijo el punto A y se mantiene la dirección de la barra AB. Este es el caso de la estructura [5.54]. Si la condición anterior no se cumple en la realidad, se realiza el WILLIOT suponiendo que se cumpla y se imprime a la viga el movimiento, como sólido rígido, necesario para satisfacer a las condiciones de los vínculos. Si las barras son numerosas el diagrama se complica, y es bastante susceptible a errores e imprecisiones gráficas.

En [5.55] se dan otros ejemplos de diagramas de WILLIOT.

5.3.3.2. *Principio de los trabajos virtuales.*

Este método más general es también utilizable en el caso de vigas hiperestáticas y con desplazamiento de apoyos.

Dado un sistema real de carga S_R a la que corresponden los esfuerzos reales en las barras N_{Ri} y las variaciones de longitud

$$\Delta l_{Ri} = N_{Ri} \frac{l_i}{E A_i}$$

se considera un sistema ficticio de cargas S_f, constituido por una fuerza unidad aplicada en el nudo K, del cual se busca el desplazamiento. La dirección de la fuerza es la de la componente del desplazamiento buscado (por ejemplo, si se quiere conocer el desplazamiento vertical y hacia abajo del nudo K, la fuerza unitaria será también vertical y hacia abajo).

A este sistema S_f corresponden los esfuerzos en las barras N_{fi}.

El desplazamiento del nudo K, δ_K, valdrá:

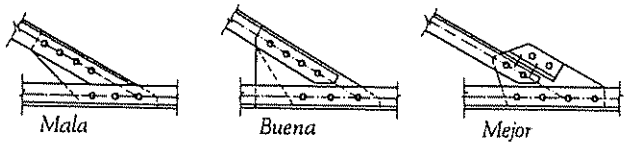
$$\delta_K = \Sigma P_{fi} P_{Ri} \frac{l_i}{E A_i} = \Sigma P_{fi} \Delta l_{Ri} \qquad \text{donde} \qquad P_{fi} = \frac{P_{fi}(t)}{1(t)}$$

Si se considera también una variación térmica Δt:

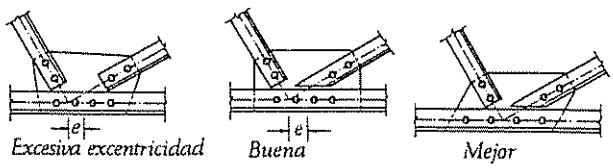
$$\delta_K = \Sigma P_{fi} \Delta l_{Ri} + \Sigma P_{fi} \alpha l_i \Delta t$$

siendo α el coeficiente de dilatación térmica.

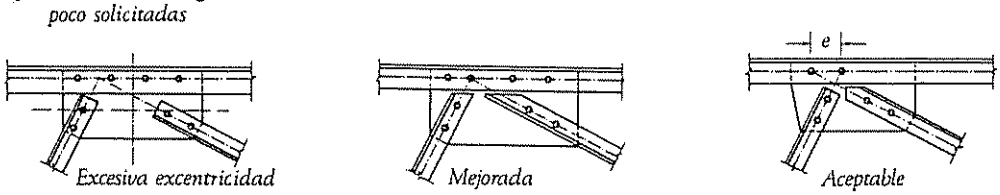
a) *Unión de una diagonal*



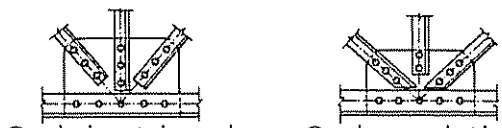
b) *Unión de dos diagonales*



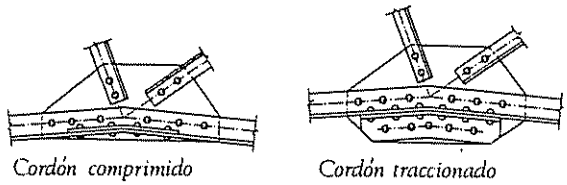
c) *Unión de dos diagonales poco solicitadas*



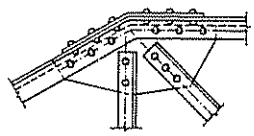
d) *Unión de tres diagonales*



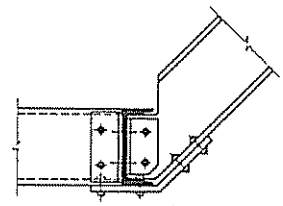
e) *Disposiciones preferibles*



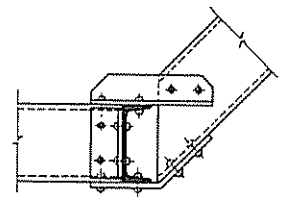
f) *Nudo de angulo en cordón comprimido*



[5.56]



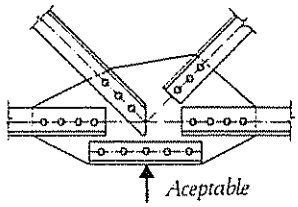
Excesiva solicitación del alma de la UPN



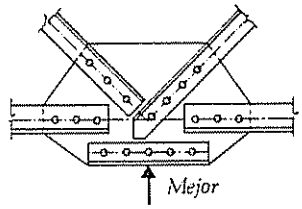
Disposición preferible

g) Unión de dos UPN

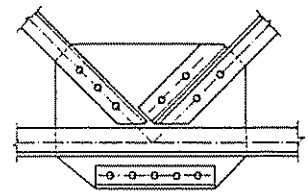
h) Varias disposiciones para un nudo complejo



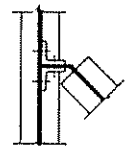
Aceptable

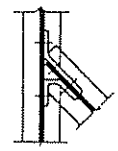


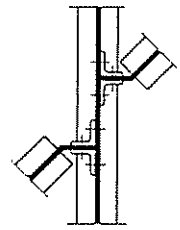
Mejor



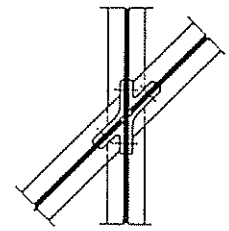
Mucho mejor





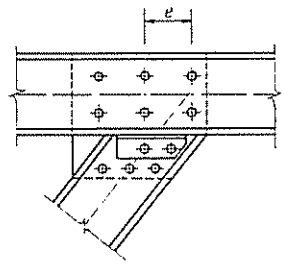


Mala

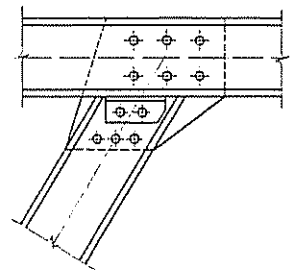


Mejor

i) Cruce de barras I



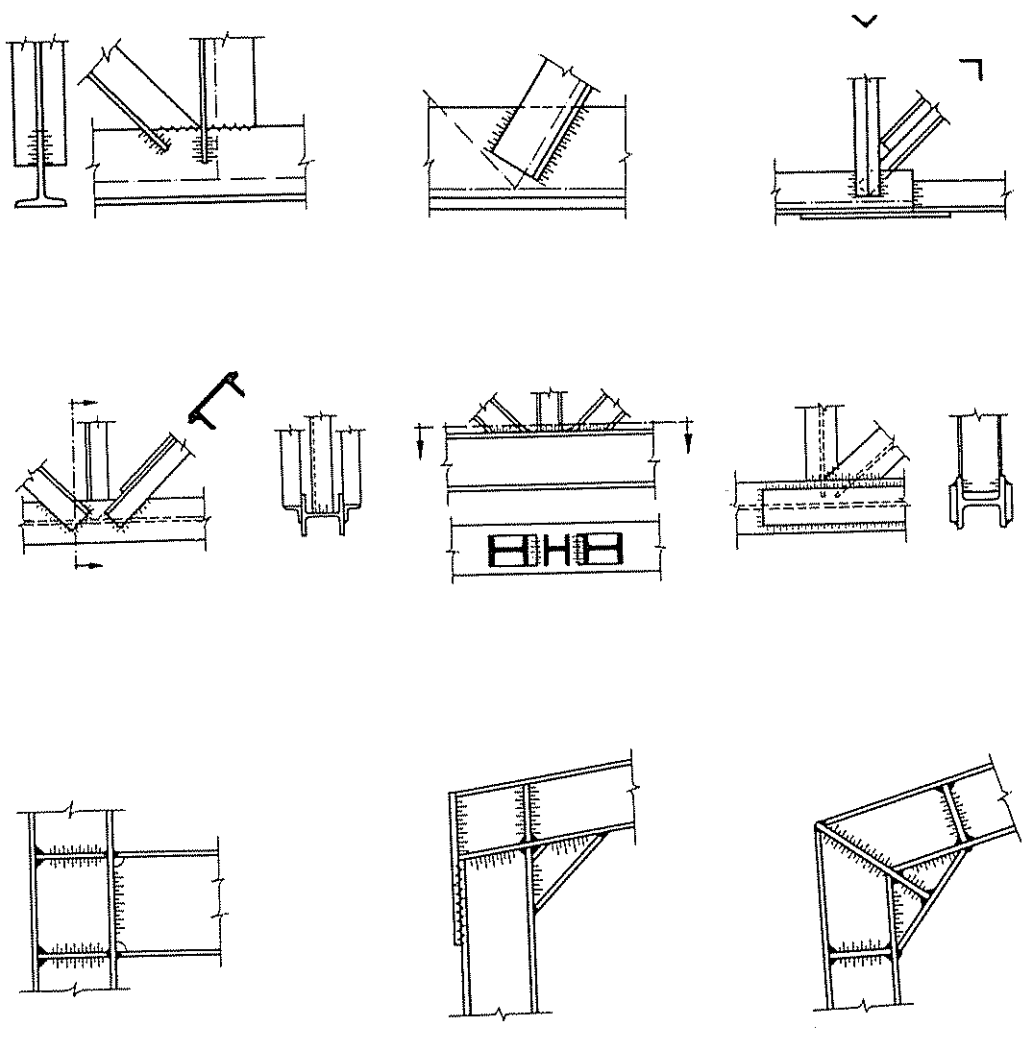
Excesiva excentricidad



Mejorada

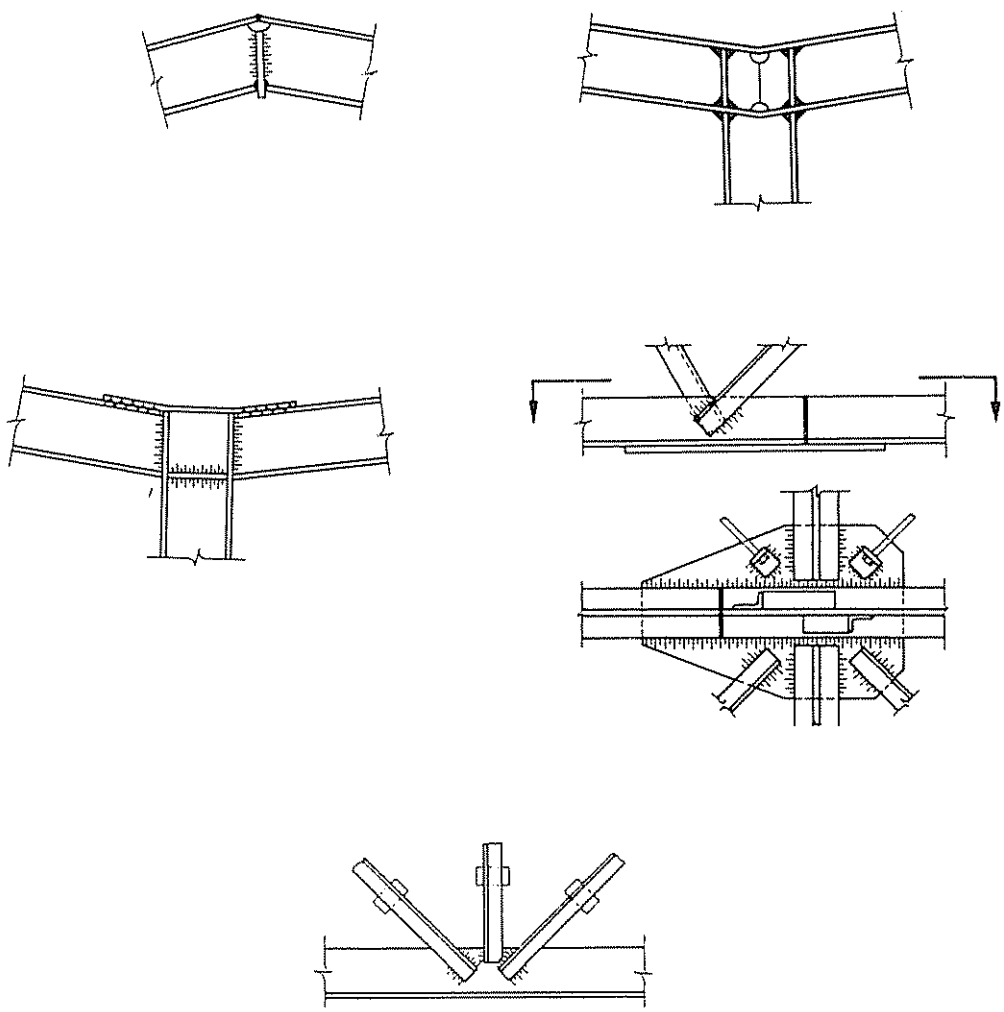
j) Unión de dos UPN

Ejemplos de uniones soldadas

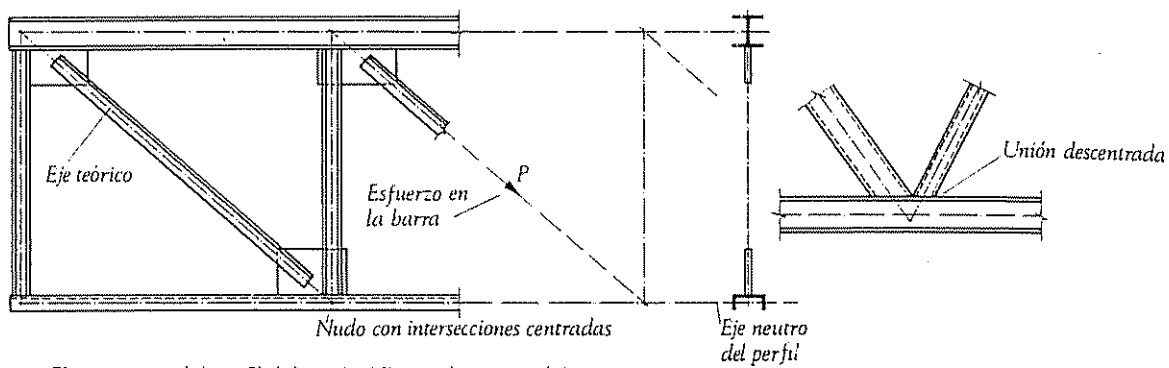


[5.57]

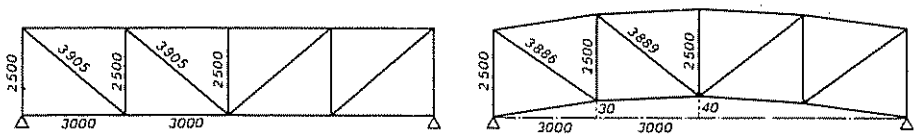
Ejemplos de uniones soldadas



[5.57]

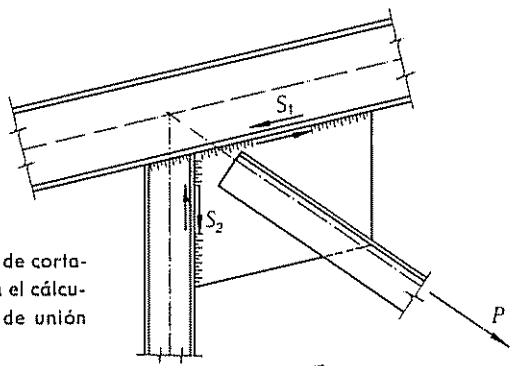


El eje neutro del perfil debe coincidir con los ejes teóricos.
Los ejes teóricos deben cortarse en un punto.
Las uniones, excepcionalmente excéntricas, deben ser objeto de un cálculo especial.

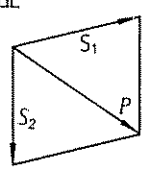


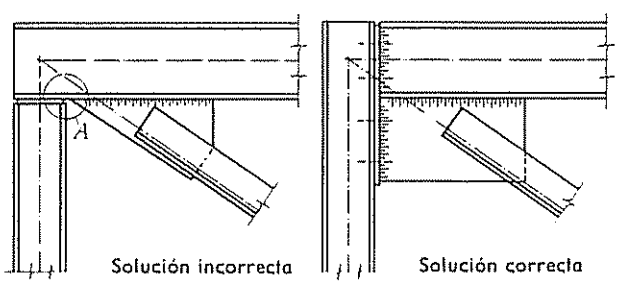
Contraflecha obtenida por modificación de las longitudes teóricas del sistema.

[5.58]



S_1 y S_2 = Esfuerzo de cortadura que determina el cálculo de la soldadura de unión de la cartela.





Repartición desigual del esfuerzo en la cartela, tensiones inadmisibles en el punto A del cordón de soldadura.

[5.59]

5.3.3.3. *Método aproximado.*

En una viga de celosía de cordones paralelos puede calcularse su flecha, considerándola como una viga de alma llena con una inercia ficticia. A este respecto la Norma Básica MV-103 dice en su artículo 5.4:

> *Las flechas se calcularán con el momento de inercia de la sección bruta.*
>
> *La flecha de una viga de celosía puede estimarse en primera aproximación asimilándola a una viga de alma llena cuyo momento de inercia sea igual al de los cordones multiplicado por 0,75.*

5.3.4. **Particularidades constructivas.**

De particular importancia es el proyecto y realización de los nudos de las vigas trianguladas, pues de su correcta disposición depende la validez de las hipótesis en las que se basa el cálculo.

En especial debe cuidarse que los ejes de las barras se corten en los nudos, entendiendo que los ejes de las barras son baricéntricos de las mismas.

En [5.56] y [5.57] reproducimos unos ejemplos de nudos típicos, atornillados y soldados [1]. Las figuras [5.58] y [5.59], en las que se indican algunas recomendaciones para la ejecución de las cerchas de celosía, están tomadas de las «Directrices de construcción para las estructuras metálicas de edificios» editados por el Centro Suizo de la Construcción Metálica.

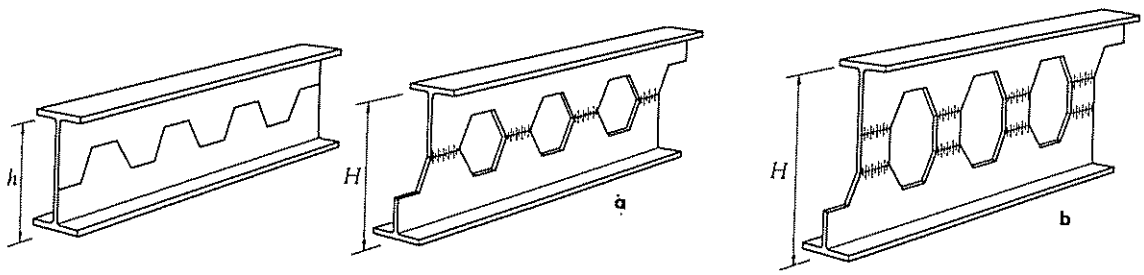
5.4. VIGAS ALIGERADAS

Las vigas de alma aligerada se obtienen por corte y soldadura de vigas en doble T [5.60 a] con o sin interposición de chapas rectangulares [5.60 b]. A esta clase de vigas se les ha dado diversas denominaciones: vigas alveoladas, void, en panel de abeja, etcétera... Cuando no existe interposición de elementos de chapa se obtienen vigas con aligeramientos hexagonales, que son las más usuales. Con la interposición de dichos elementos, se obtienen vigas con aligeramientos octogonales.

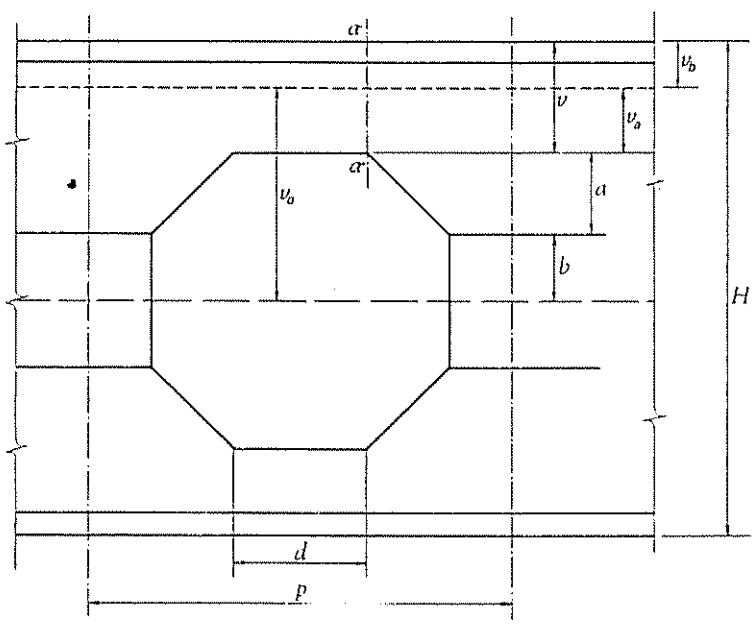
Las vigas derivadas presentan ventajas evidentes sobre el perfil primitivo. Su fabricación no es muy costosa si se realiza en serie y para el mismo peso por metro lineal,

---

[1] V. ZIGNOLI. *Construzioni Metalliche* Tomo I, 2.ª edición Torino, 1967



[5.60]



[5.61]

tienen un canto mayor, con el consiguiente aumento de inercia y disminución de tensiones y flechas, para una misma carga.

Como ventaja adicional puede citarse que los aligeramientos en vigas de piso permiten el paso de canalizaciones.

Estos tipos de vigas son particularmente adecuados para la realización de estructuras ligeras, solicitadas por cargas uniformes o concentradas poco importantes, sobre todo cuando la elección de perfil está condicionada por la flecha más que por las tensiones, como sucede frecuentemente en los elementos de forjados de piso y cubiertas.

Sea cual sea el tipo de viga aligerada que se utilice, su comprobación no puede reducirse a la simple aplicación de las fórmulas que se utilizan para la de las secciones de alma llena. La presencia de los aligeramientos origina tensiones locales suplementarias y aumenta el valor de la flecha. Es preciso, por tanto, hacer un estudio especial.

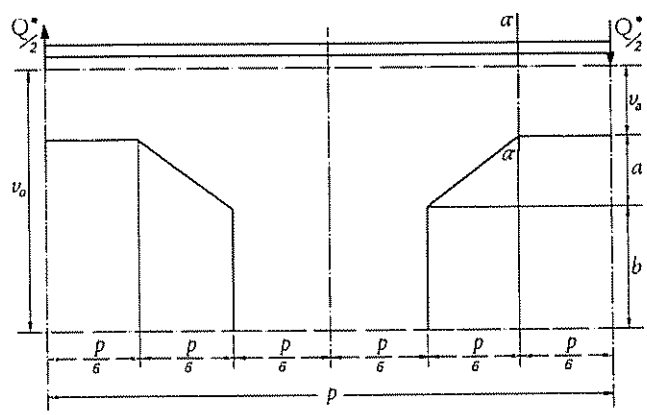
Existen diversos métodos de cálculo, basados en distintas hipótesis simplificativas. El que desarrollamos a continuación está tomado del trabajo de R. DELESQUES: *Le calcul des poutres ajourees* [1].

Notación.

Llamando como en las vigas Vierendel, cordones y montantes a las partes de viga que conforman los aligeramientos, establecemos la notación siguiente [5.61]:

$A_c\ I_c$	Sección y momento de inercia de un cordón respecto a su eje neutro.
a	Amplitud de la onda de corte.
b	Semialtura del elemento intercalado (más frecuentemente $b = 0$).
e	Espesor del alma.
p	Paso del corte.
v_a	Distancia entre el eje neutro del cordón y el borde del aligeramiento.
v_o	Distancia entre el eje de la viga y el eje neutro del cordón.
M^* y Q^*	Momento flector y esfuerzo cortante ponderados en una sección de la viga.

[1] *Construction Métallique*, n.° 4. 1969.


$\frac{Q}{2}$
α
$\frac{Q}{2}$
v_a
v_a
α
a
b
$\frac{p}{6}$
$\frac{p}{6}$
$\frac{p}{6}$
$\frac{p}{6}$
$\frac{p}{6}$
$\frac{p}{6}$
p

[5.62]

5.4.1. Cálculo del cordón.

5.4.1.1. *Acción del momento flector aisladamente.*

Admitiendo la hipótesis de repartición uniforme de las tensiones en la sección del cordón [1], el momento flector M* origina una tensión:

$$\sigma^*_M = \frac{M^*}{2\,\nu_o\,A_c}$$

En ausencia de esfuerzo cortante el momento de agotamiento sería $M_u = 2\,\nu_o\,A_c\,\sigma_u$, y puede expresarse σ_M de la forma:

$$\sigma^*_M = \frac{M^*}{M_u}\,\sigma_u$$

5.4.1.2. *Acción del esfuerzo cortante aisladamente.*

Admitiendo que el montante tenga un punto de inflexión en su punto medio, el esfuerzo cortante origina un momento en la sección del montante en que se inicia el acartelamiento [5.62], sección α-α:

$$\frac{Q^*}{2} \times \frac{p}{6} = \frac{p\,Q^*}{12}$$

que produce una tensión

$$\sigma^*_Q = \frac{p\,Q^*\,\nu_a}{12\,I_c}$$

Si no existiese momento flector, el esfuerzo cortante Q_u que haría que se agotase la sección, es decir, para el cual $\sigma^*_T = \sigma_u$, sería:

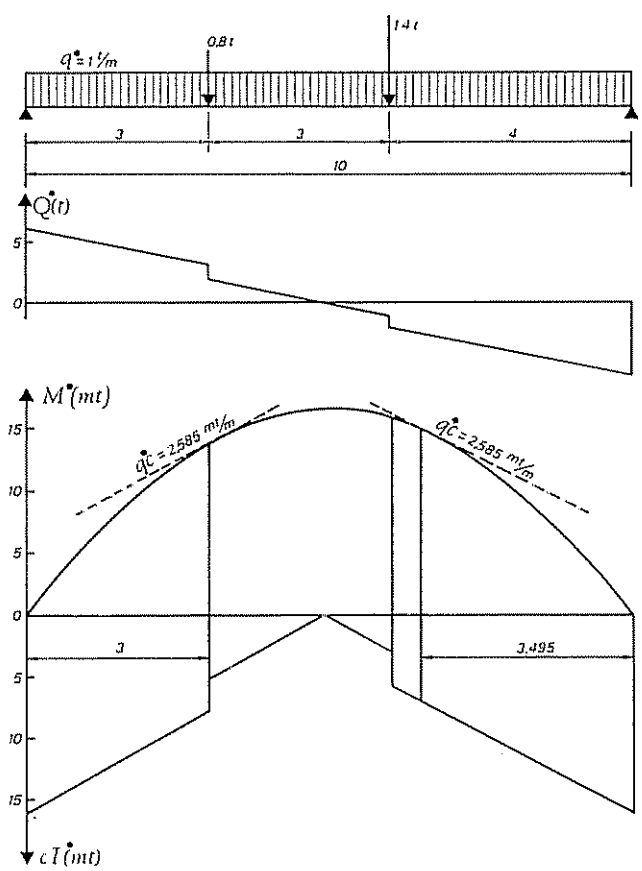
$$Q_u = \frac{12\,I_c\,\sigma_u}{p\,\nu_a}$$

y se puede escribir

$$\sigma^*_Q = \frac{Q^*}{Q_u}\,\sigma_u$$

---

[1] Hipótesis admisible y basada en ensayos: HALLEUX, P. *Etúde expérimentale e technique du comportement elastique des poutres metalliques à âme évidés*. Revue française de la Mécanique, n.° 18, 19. 1966.


0,8 t
1,4 t
q = 1 t/m
3
3
4
10
Q(t)
5
0
M(mt)
15
10
5
0
5
10
15
qc = 2,585 mt/m
qc = 2,585 mt/m
3
3,495
cT(mt)

[5.63]

5.4 1 3. *Acción combinada del momento flector y del esfuerzo cortante.*

La condición de agotamiento es:

$$\sigma^*_M + \sigma^*_Q \leqslant \sigma_u \quad \text{o sea} \quad \frac{M^*}{M_u} + \frac{Q^*}{Q_u} \leqslant 1$$

Valores que deben sumarse en valor absoluto para tener en cuenta el más desfavorable de las cuatro esquinas del aligeramiento.

El problema que se presenta al proyectista es la determinación de la sección o secciones más desfavorables en las que debe realizarse la comprobación anterior.

De una manera general esta determinación puede hacerse por un procedimiento gráfico. En efecto, la condición:

$$\frac{M^*}{M_u} + \frac{Q^*}{Q_u} \leqslant 1$$

puede ponerse en la forma:

$$M^* + \frac{M_u}{Q_u} Q^* \leqslant M_u \quad \text{o bien} \quad M^* + c\, Q^* \leqslant M_u$$

con

$$c = \frac{p\ v_o}{6} \quad \frac{A_c\ v_a}{I_c}$$

que es una característica de la sección.

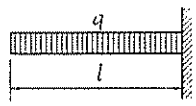
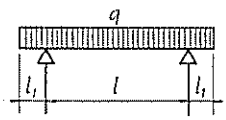
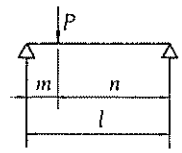
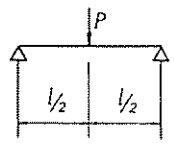
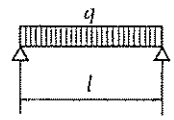
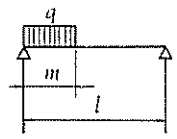
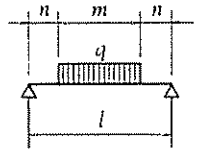
Las secciones más desfavorables corresponden a máximos de $M^* + c\, Q^*$.

Su obtención [5.63] puede hacerse llevando sobre el diagrama de los valores absolutos de los momentos, en la misma escala pero en sentido inverso al diagrama de los valores absolutos de Q*, multiplicados por c. Las secciones más desfavorables corresponden a las ordenadas máximas limitadas por las dos curvas.

En [5.64] obtenida del artículo de F. FALTUS, «*Contribución al cálculo de vigas con almas*

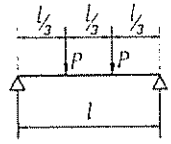
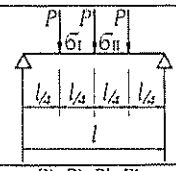
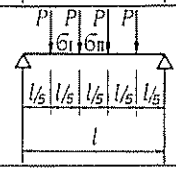
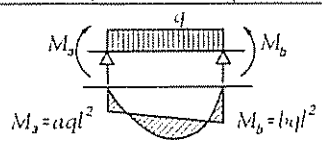
Expresión de la tensión máxima para algunos estados de carga.

Cargas fijas.

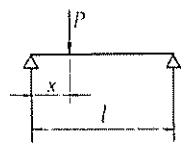
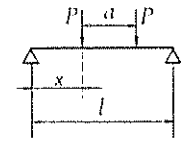
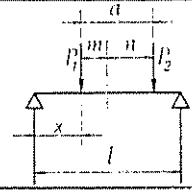
	Estado de cargas	Tensión máxima	Observación
1		$\sigma = \frac{q\,l\,(l + 2\,c)}{2\,W_t}$	En todas las fórmulas: $c = \frac{W_t}{4\,W_s}\,d$ donde: $W_t = 2\,A_c\,v_o$
2		Sección en la alineación del apoyo $\sigma_I = \frac{q}{W_t}\left[\frac{l_1^2}{2} + l_1\,c\right]$ Centro $\sigma_{máx} = \frac{q}{W_t}\left[\frac{l^2}{8} - \frac{l_1^2}{2} + \frac{c^2}{2}\right]$	
3		$\sigma = \frac{P\,n\,(m + c)}{l\,W_t}$	—
4		$\sigma = \frac{P\,(l + 2\,c)}{4\,W_t}$	—
5		$\sigma = \frac{q}{W_t}\left[\frac{l^2}{8} + \frac{c^2}{2}\right]$	—
6		$\sigma = \frac{q}{W_t}\left[\frac{m^2}{2} - \frac{m^3}{2\,l} + \frac{m^4}{8\,l^2} + \frac{c^2}{2}\right]$	Válido para: $c \leqslant m - \frac{m^2}{2\,l}$
7		$\sigma = \frac{q}{W_t}\left[\frac{ml}{4} - \frac{m^2}{8} + \frac{c^2}{2}\right]$	Válido para: $c \leqslant \frac{m}{2}$

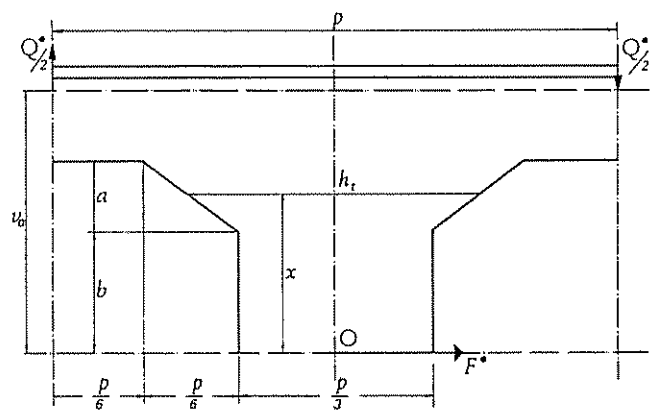
Expresión de la tensión máxima para algunos estados de carga.

Cargas fijas.

	Estado de cargas	Tensión máxima	Observación
8		$\sigma = \frac{P}{W_i}\left[\frac{1}{3}\,l + c\right]$	—
9		$\sigma_I = \frac{P}{W_i}\left[\frac{3}{8}\,l + \frac{3}{2}\,c\right]$ $\sigma_{II} = \frac{P}{W_i}\left[\frac{1}{2}\,l + \frac{1}{2}\,c\right]$	$\sigma_I > \sigma_{II}$ para $c > \frac{1}{8}\,l$
10		$\sigma_I = \frac{P}{W_i}\left[\frac{2}{5}\,l + 2\,c\right]$ $\sigma_{II} = \frac{P}{W_i}\left[\frac{3}{5}\,l + c\right]$	$\sigma_I < \sigma_{II}$ para $c > \frac{1}{5}\,l$
11		$\sigma_{máx} = \frac{q}{W_i}\left[\frac{l^2}{8} + \frac{l^2}{2}(a-b)^2 - \right.$ $\left. - \frac{l^2}{2}(a+b) + \frac{c^2}{2}\right]$	—

Cargas móviles.

12		$\sigma = \frac{P}{W_i}\,\frac{(l+c)^2}{4\,l}$	$x = \frac{1}{2}(l-c)$
13		$\sigma = \frac{P}{l\,W^2}\left[\frac{l}{2} - \frac{a}{4} + \frac{c}{2}\right]^2$	$x = \frac{l}{2} - \frac{a}{4} - \frac{c}{2}$
14		$\sigma = \frac{P_1 + P_2}{l\,W_i}\left[\frac{l}{2} - \frac{m}{2} + \frac{c}{2}\right]^2$ $m = a\,\frac{P_2}{P_1 + P_2}$	$x = \frac{l}{2} - \frac{m}{2} - \frac{c}{2}$ Para $P_1 > P_2$ y P_1 en la sección x



[5.65]

caladas »[1] se dan directamente los valores máximos de $\sigma^* = \sigma^*_M + \sigma^*_Q$ para algunos casos de cargas. Es importante tener en cuenta que estos casos de cargas no son superponibles, pues los máximos de σ^* no se dan en la misma sección en casos de carga distintos.

5.4.2. Cálculo del montante.

A diferencia de lo que sucede en los perfiles laminados en que raramente el esfuerzo cortante y, por tanto, la comprobación del alma es determinante, en las vigas aligeradas es imprescindible verificar la resistencia del montante.

Aunque son necesarias varias comprobaciones, sin embargo como los esfuerzos y tensiones que se producen en el montante están originados por el esfuerzo cortante, únicamente es posible obtener para cada tipo de viga los valores límites que cada comprobación impone al esfuerzo cortante, el cálculo para un determinado tipo de carga se reduce a comparar el esfuerzo cortante máximo producido con dichos valores límites.

5.4.2.1. *Comprobación de la cortadura.*

Refiriéndonos a [5.65], el valor de F^* será

$$F^* = \frac{Q^* \, p}{2 \, v_o}$$

y la tensión cortante máxima

$$\tau^* = \frac{1{,}5 \, F^*}{e \, p/3} = 2{,}25 \, \frac{Q^*}{e \, v_o}$$

y debe cumplirse

$$\tau^* \leqslant 0{,}65 \, \sigma_u$$

Condición que puede escribirse en la forma:

$$Q^* \leqslant Q_1$$

siendo

$$Q_1 = 0{,}29 \, e \, v_o \, \sigma_u$$

---

[1] *Acier, Stahl, Steel*, mayo 1966.

5.4.2.2. *Comprobación a la flexión.*

Designando por h_t la anchura del montante a una distancia x del punto de inflexión, se tiene [5.65] que la tensión normal tiene por valor:

$$\sigma^* = \frac{3\ Q^*\ p\ x}{e\ v_o\ h_t^2}$$

y calculando el valor de Q^* que hace que $\sigma^* = \sigma_u$ y llamándolo Q_2 tenemos [1]:

Para

$$b \geqslant \frac{a}{2} \qquad Q_2 = e\ v_o\ \sigma_u\ \frac{p}{27\ b}$$

Para

$$0 \leqslant b \leqslant \frac{a}{2} \qquad Q_2 = e\ v_o\ \sigma_u\ \frac{4\ p\ (a - b)}{27\ a^2}$$

y deberá verificarse que $Q^* \leqslant Q_2$

5.4.2.3. *Comprobación de inestabilidad.*

El valor crítico del esfuerzo cortante [1] es:

$$Q_{cr} = \frac{E\ e^3}{1{,}18\ v_o}\ \frac{4\ v_o - 0{,}8\ a - 2\ b}{3\ v_o}$$

y Q^* debe cumplir las condiciones:

$$Q^* \leqslant Q_2 \qquad \text{si} \qquad Q_{cr} \geqslant 2\ Q_2 \qquad \text{(caso más frecuente)}$$

$$Q^* \leqslant \frac{Q_2 + Q_{cr}}{3} \qquad \text{si} \qquad 2\ Q_2 > Q_{cr} \geqslant Q_2$$

$$Q^* \leqslant \frac{2}{3}\ Q_{cr} \qquad \text{si} \qquad Q_2 > Q_{cr}$$

---

[1] DELESQUES, R. *Stabilité des montants des poutres ajourées*. Construction Metallique, n.° 3, 1968

5.4.3. Cálculo de flechas.

En vigas de alma llena se puede, sin error apreciable, despreciar la flecha que produce el esfuerzo cortante. Por el contrario, tanto en las vigas aligeradas como en las de celosía, el efecto del esfuerzo cortante sobre la flecha no es despreciable. Es decir, la flecha tendrá por expresión:

$$f = f_M + f_Q$$

siendo f_M y f_Q las flechas que producen el momento flector y el esfuerzo cortante respectivamente.

A continuación daremos sus valores para cuya deducción puede consultarse en el mencionado artículo de R. DELESQUES.

5.4.3.1. *Flecha debida al momento flector.*

El valor de f_M puede obtenerse de las fórmulas que para cada tipo de carga son aplicables a las vigas de alma llena, utilizando como valor del momento inercia I_M el que se obtiene por la expresión:

$$I_M = 2\,A_c\,v_o^2 + 2\,I_c + \frac{e\,(a+b)^3}{3}$$

5.4.3.2. *Flecha debida al esfuerzo cortante.*

Para una viga de dos apoyos sin voladizos, el valor de la flecha en una sección en que el momento vale M, f_Q tiene por valor:

$$f_Q = \frac{M}{G\,A_a}$$

En una viga hiperestática se aplica la misma fórmula calculando el momento como si se tratase de una viga articulada en sus extremos.

En una ménsula se toma como M la diferencia entre el momento de empotramiento y el momento en la sección considerada.

5.4. EJEMPLO DE APLICACION

Dimensionar la viga del ejemplo 5.2.5-C), utilizando un perfil aligerado.

En este caso no es necesario la determinación de la sección más desfavorable, dibujando la curva $cQ^* + M^*$, puesto que se puede obtener directamente la tensión máxima en el cordón de [5.64]

$$\sigma^* = \frac{q^*}{W_i}\left[\frac{L^2}{8} + \frac{c^2}{2}\right] \quad \text{con} \quad W_i = 2\,A_c V_o$$

Tanteamos un perfil IPE, en primera aproximación:

$$W_x = \frac{36 \times 10^5}{2.600} = 1.385 \text{ cm}^3$$

Tanteamos IPE 400 con $W_x = 1.647$ cm³

Para IPE 400 $c = 326{,}68$ cm (según 5.4.4)
$A_c = 32{,}6$ cm² $q^* = 2$ t/m $= 0{,}02$ t/cm
$L = 1.200$ cm $V_o = 26{,}9$ cm

$$\sigma^* = \frac{0{,}02}{2 \times 32{,}6 \times 26{,}9}\left[\frac{1.200^2}{8} + \frac{326{,}68^2}{2}\right] = 2.6 \text{ t/cm}^2$$

Comprobación del montante

$$Q^*_{máx} = q^* \frac{L}{2} = 12 \text{ t}$$

De la tabla 5.4.4 para IPE 400 obtenemos
$Q_1 = 17{,}514$ t $Q_2 = 31{,}316$ t $Q_{cr} = 48{,}3$ t

Se cumplen tres desigualdades
$Q^*_{máx} < Q_1$ $Q^*_{máx} < Q_2$ $Q^*_{máx} < Q_{cr}$

Cálculo de la flecha De 5.4.4 se obtiene
$I_M = 49\,361$ cm⁴ $A_a =$ cm²

$$f_M = \frac{5}{384}\,\frac{q^*}{1{,}5}\,\frac{L^4}{EI_M} = \frac{5}{384} \times \frac{20}{1{,}5} \times \frac{1.200^4}{2{,}1 \times 10^6 \times 49.361} = 3{,}47 \text{ cm}$$

$$f_Q = \frac{M^*}{1{,}5}\,\frac{1}{GA_a} = \frac{36 \times 10^5}{1{,}5 \times 8 \times 10^5 \times 13{,}35} = 0{,}22 \text{ cm}$$

$$f_T = 3{,}47 + 0{,}22 = 3{,}69 \qquad \frac{f}{L} = \frac{3{,}69}{1.200} = \frac{1}{325}$$

Para el cálculo de la flecha se entra con valores característicos, por ello se han tomado los valores $q^*/1{,}5$ y $M^*/1{,}5$, suponiendo que 1,5 sea el coeficiente de ponderación.

El valor de A_a, alma equivalente, se obtiene de la expresión:

$$\frac{e\ v_o}{A_a} = 20{,}77\ \frac{0{,}2\ a^3 + 0{,}375\ ab\ (2\ a + 3\ b) + b^3}{v_o\ p^2} +$$

$$+ 0{,}6\ \frac{2\ a + 3\ b}{v_o} + 0{,}000593\ \frac{e\ v_o\ p^2}{I_c} + 0{,}1667\ \frac{v_o}{v_o - a - b}$$

que para el caso más frecuente de vigas con aligeramiento hexagonales $b = 0$ se convierte en:

$$\frac{e\ v_o}{A_a} = 4{,}154\ \frac{a^3}{v_o\ p^2} + 1{,}2\ \frac{a}{v_o} + 0{,}000593\ \frac{e\ v_o\ p^2}{I_c} + 0{,}1667\ \frac{v_o}{v_o - a}$$

5.4.4. Aplicación de las fórmulas anteriores a las series de vigas aligeradas, recogidas en Publicaciones ENSIDESA, Tomo 2.

En **5.4.4** se recogen los valores numéricos de los coeficientes correspondientes a las fórmulas anteriores, para los tipos de vigas aligeradas incluidos en el primer tomo del Prontuario, partiendo de las series IPN, IPE, HEB y HEA.

Con auxilio de ellas, la comprobación de una sección, en la que actúa un momento flector M*, y un esfuerzo cortante Q*, es la siguiente:

$$\sigma^* = K_1\ M^* + K_2\ Q^* \qquad \sigma^* \leqslant \sigma_u$$

Q* debe cumplir las tres desigualdades:

$$Q^* < Q_1 \qquad Q^* < Q_2 \qquad Q^* < Q_{cr}$$

Cálculo de la flecha.

$$f = f_M + f_A$$

f_M calculado con el valor de I_M de la tabla

$$f_A = \frac{M}{G\ A_a}$$

A_a obtenido de la tabla.

Ver ejemplo de aplicación en la página 746.

Valores de los coeficientes para el cálculo de vigas aligeradas. **Acero A 42**

IPN	Datos del perfil				Datos para el cálculo del cordón			Datos para el cálculo del montante			Datos para el cálculo de la flecha	
	H mm	v mm	p mm	P kg/m	c cm	$K_1 \cdot 10^2$ cm^{-3}	K_2 cm^{-2}	Q_1 t	Q_2 t	Q_{cr} t	I_m cm^4	A_a cm^2
140	210	35	250	14,3	170,5	0,7189	1,2254	4,1688	7,61	38,76	1 424	2,58
160	230	45	250	17,9	128,7	0,5151	0,6632	4,9734	9,07	49,10	2 126	3,68
180	260	50	250	21,9	142,8	0,3724	0,5317	6,1806	9,87	56,78	3 338	4,54
200	280	60	360	26,2	147,4	0,2887	0,4256	7,1479	16,43	69,17	4 571	6,05
220	320	60	360	31,0	190,4	0,2172	0,4136	8,9534	16,47	74,28	7 086	6,48
240	320	80	414	36,2	135,9	0,1799	0,2445	9,3017	24,59	97,76	8 205	9,56
260	360	80	414	41,9	162,7	0,1402	0,2282	11,482	24,28	106,64	12 048	10,21
280	400	80	414	47,9	189,3	0,1123	0,2127	13,830	24,37	116,83	16 941	10,78
300	420	90	504	54,2	212,9	0,0942	0,2006	15,374	32,99	138,20	20 942	12,88
320	460	90	504	61,0	233,1	0,0775	0,1807	18,148	33,38	149,36	28 359	13,79
340	500	90	504	68,0	264,9	0,0649	0,1719	21,084	33,93	161,74	37 306	14,48
360	500	110	630	76,1	234,7	0,0567	0,1331	21,927	50,41	203,87	42 282	18,98
380	540	110	630	84,0	263,6	0,0482	0,1270	25,205	50,70	217,27	53 170	19,97
400	580	110	630	92,5	296,3	0,0411	0,1219	28,675	51,27	231,71	67 692	20,90
450	650	125	630	115	285,2	0,0295	0,0843	36,046	58,00	295,52	105 302	26,50
500	700	150	837	141	311,2	0,0221	0,0690	42,508	90,88	385,41	148 344	35,60
550	750	175	837	166	277,9	0,0171	0,0477	47,577	101,72	431,05	202 153	44,42
600	800	200	837	199	237,3	0,0136	0,0322	57,002	121,87	605,15	269 462	57,82

5.4 4-1

Valores de los coeficientes para el cálculo de vigas aligeradas. **Acero A 42**

IPE	Datos del perfil				Datos para el cálculo del cordón			Datos para el cálculo del montante			Datos para el cálculo de la flecha	
	H mm	v mm	p mm	P kg/m	c cm	$K_1 \cdot 10^2$ cm^{-3}	K_2 cm^{-2}	Q_1 t	Q_2 t	Q_{cr} t	I_m cm^4	A_a cm^2
140	210	35	250	12,9	177,60	0,8032	1,4265	3,468	6,328	21,57	1 291	2,20
160	230	45	250	15,8	125,93	0,5532	0,6967	3,975	7,253	24,39	1 974	3,11
180	260	50	250	18,8	133,05	0,4373	0,5818	4,804	7,670	25,47	2 855	3,65
200	280	60	360	22,4	160,94	0,3419	0,5503	5,415	12,449	28,44	3 883	4,70
220	320	60	360	26,2	201,40	0,2568	0,5172	6,607	12,159	28,38	6 069	4,95
240	320	80	414	30,7	150,57	0,2141	0,3223	6,780	17,925	34,69	6 922	7,19
270	380	80	414	36,1	188,98	0,1560	0,2948	8,668	16,666	34,22	11 713	7,41
300	420	90	504	42,2	223,11	0,1191	0,2657	10,354	22,216	38,46	16 807	9,11
330	480	90	504	49,1	273,35	0,0920	0,2514	12,647	21,709	38,76	25 258	9,51
360	500	110	630	57,1	265,84	0,0742	0,3132	13,819	31,767	46,55	32 041	12,47
400	580	110	630	66,3	326,68	0,0567	0,1855	17,514	31,316	48,43	49 361	13,35
450	650	125	630	77,6	299,26	0,0436	0,1305	21,315	34,300	56,82	72 354	16,26
500	700	150	837	90,7	324,95	0,0342	0,1112	24,581	52,552	68,93	97 813	21,37
550	750	175	837	106	274,55	0,0276	0,0758	28,274	60,447	84,69	127 975	27,13
600	800	200	837	122	242,93	0,0220	0,0536	32,259	68,967	102,10	168 224	33,60

5.4 4-2

piezas sometidas a flexión

Valores de los coeficientes para el cálculo de vigas aligeradas. **Acero A 42**

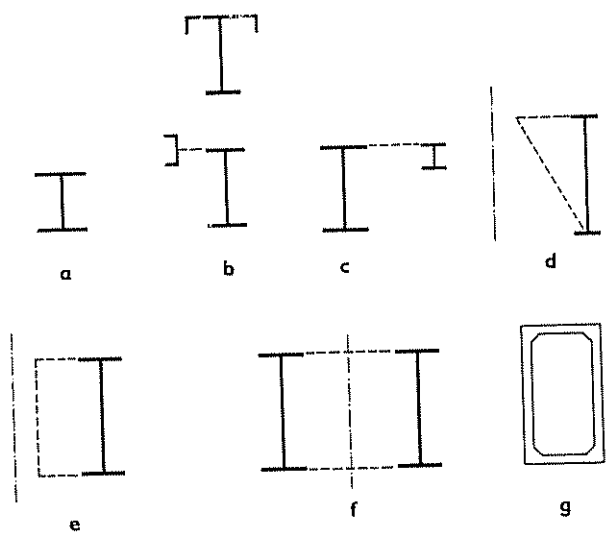
HEB	Datos del perfil				Datos para el cálculo del cordón			Datos para el cálculo del montante			Datos para el cálculo de la flecha	
	H mm	v mm	p mm	P kg/m	c cm	$K_1 \cdot 10^2$ cm^{-3}	K_2 cm^{-2}	Q_1 t	Q_2 t	Q_{cr} t	I_m cm^4	A_a cm^2
140	210	35	250	33,7	395,50	0,2786	1,1021	5,147	9,390	71,48	3 552	3,14
160	230	45	250	42,6	273,09	0,2012	0,5497	6,403	11,682	99,36	5 377	4,92
180	260	50	250	51,2	280,59	0,1469	0,4124	7,703	12,297	105,10	8 336	5,78
200	280	60	360	61,3	331,69	0,1140	0,3783	8,749	20,113	117,52	11 547	7,53
220	320	60	360	71,5	425,84	0,0852	0,3632	10,658	19,601	118,35	17 891	7,85
240	320	80	414	83,2	295,64	0,0724	0,2142	11,043	29,194	144,31	20 464	11,75
260	360	80	414	93,0	367,03	0,0580	0,2129	12,567	26,578	125,29	29 042	11,58
280	400	80	414	103	427,22	0,0472	0,2017	14,732	25,964	128,58	40 200	11,88
300	420	90	504	117	465,53	0,0395	0,1842	16,173	34,701	142,03	50 255	14,25
320	460	90	504	127	514,17	0,0337	0,1735	18,481	33,989	147,08	65 658	14,48
340	500	90	504	134	591,44	0,0293	0,1735	21,207	34,136	151,06	81 613	15,08
360	500	110	630	142	488,82	0,0276	0,1349	21,772	50,050	176,31	85 521	19,69
400	580	110	630	155	574,49	0,0221	0,1271	27,515	49,196	187,22	125 259	20,81
450	650	125	630	171	521,06	0,0179	0,0942	31,352	51,417	186,68	173 478	24,42
500	700	150	837	187	541,99	0,0151	0,0822	35,314	75,498	196,23	218 783	30,93
550	750	175	837	199	430,56	0,0133	0,0576	38,753	82,850	206,44	263 926	37,71
600	800	200	837	212	358,22	0,0118	0,0425	42,430	90,712	216,57	313 503	45,01

5.4 4-3

Valores de los coeficientes para el cálculo de vigas aligeradas. **Acero A 42**

HEA	Datos del perfil				Datos para el cálculo del cordón			Datos para el cálculo del montante			Datos para el cálculo de la flecha	
	H mm	v mm	p mm	P kg/m	c cm	$K_1 \cdot 10^3$ cm^{-3}	K_2 cm^{-2}	Q_1 t	Q_2 t	Q_{cr} t	I_m cm^4	A_a cm^2
200	280	50	360	42,3	422,08	0,1676	0,7075	6,468	13,218	42,64	8 069	4,54
220	320	50	360	50,5	547,41	0,1223	0,6695	8,020	13,409	45,81	13 116	4,86
240	320	70	414	60,3	469,76	0,1006	0.4726	8,490	19.952	58,68	15 165	7,44
260	360	70	414	68,2	439,40	0,0801	0,3520	9,590	18,439	51.37	21 719	7,64
280	400	70	414	76,4	515,84	0.0643	0,3317	11,438	18,608	55,29	30 311	8,06
300	420	80	504	88,3	695,38	0,0529	0,3684	12,706	25,165	63,87	38 100	9,47
320	460	80	504	97,6	634,84	0,0438	0,2781	14,808	25,417	68,38	50 928	10,35
340	500	80	504	105	681,57	0,0380	0,2592	16,996	25,472	73,45	64 008	10,75
360	500	100	630	112	562,11	0,0351	0,1973	17,688	37,951	88,21	68 048	14,43
400	580	100	630	125	657,54	0,0277	0,1822	22,699	38,450	99,38	101 947	15,56
450	650	115	630	140	627,35	0,0221	0,1388	25,382	40,668	101,74	142 482	18,53
500	700	140	837	155	615,19	0,0182	0,1124	29,771	60,617	108,71	185 076	24,44
550	750	165	837	166	609,46	0,0159	0,0974	31,587	67,000	116,78	224 118	29,50
600	800	190	837	178	388,27	0,0141	0,0549	35,943	73,184	125,88	266 260	35,93

5.4 4-4



[5.66]

5.5. VIGAS CARRIL DE PUENTE GRUA

Los caminos de rodadura o vigas carril de los puentes grúas, aunque un caso particular de vigas de alma llena o celosía, por el tipo de esfuerzos que las solicitan y las condiciones funcionales que deben cumplir, merecen ser estudiadas independientemente del caso general de piezas a flexión.

En los artículos siguientes se expondrán algunas consideraciones, que pueden ser útiles para su proyecto y ejecución.

5.5.1. Sección transversal.

Sobre el camino de rodadura de un puente grúa inciden las ruedas de traslación del mismo, y debe, por tanto, soportar las reacciones verticales, transversales y longitudinales que su desplazamiento origina.

La sección del mismo varía según la potencia y características del puente, y de las luces que tenga que salvar.

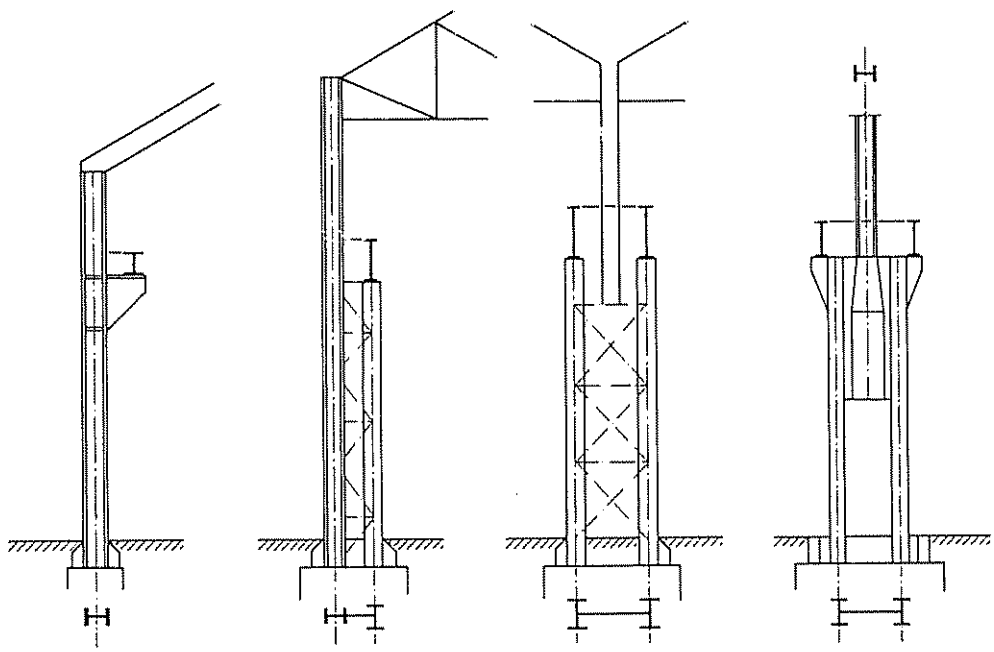
La sección puede estar constituida:

— Por un perfil H [5.66 a].

— Por una viga vertical de alma llena (perfil o viga armada) cuya cabeza superior se refuerza constituyendo una viga horizontal de alma llena, capaz de absorber los esfuerzos transversales (5.66 b].

— Por una viga principal de alma llena (o más raramente de celosía) vertical y una verdadera viga de celosía horizontal, uno de cuyos cordones es la propia cabeza de la viga principal y el cordón exterior es un perfil que verticalmente está solicitado por su peso propio y muy frecuentemente por la sobrecarga móvil de la pasarela, que para mantenimiento suele crearse sobre la viga horizontal [5.66 c].

— Por la viga principal y una viga de celosía horizontal, cuyo cordón exterior está soportado verticalmente por medio de tornapuntas apoyados en la parte superior de la viga de rodadura [5.66 d]. Disposición que no es buena, pues el peso de la viga de arriostramiento y las acciones de frenado transversal someten al conjunto a una torsión, que debe ser resistida por la viga principal. La disposición puede mejorarse disponiendo de una celosía en el plano inclinado de las tornapuntas, con la consiguiente complicación constructiva.



[5.67]

— Por un conjunto de dos vigas verticales unidas por dos vigas horizontales [5.66 e]. La viga vertical bajo el carril y la viga horizontal superior constituyen los elementos resistentes del camino de rodadura, y las otras dos vigas son elementos de arriostramiento y eventualmente de sustentación de la pasarela. Esta disposición es la más recomendable y la única admisible para puentes grúas de cierta importancia. En el caso de puentes grúas que corren a la misma altura, en naves paralelas y contiguas, la viga principal de un puente puede hacer el papel de viga secundaria para el otro, estableciéndose las vigas horizontales entre las dos vigas principales [5.66 f].

Los montantes de las vigas horizontales y secundaria deben coincidir con los rigidizadores de la viga principal. Debe evitarse, en general, arriostrar la viga principal con la secundaria lateral mediante arriostramientos o cruces verticales, en secciones intermedias a los apoyos. De esta manera la viga principal puede tomar su flecha sin originar torsión en el conjunto.

No debe considerarse la chapa estriada o perforada de la pasarela de servicio como elemento resistente del camino de rodadura.

— Por una viga cajón [5.66 g]. Esta disposición presenta dificultades de ejecución y en general es menos económica que la anterior. Por tanto, no se utiliza más que en casos en que la importancia del camino o la de las luces a salvar lo justifique.

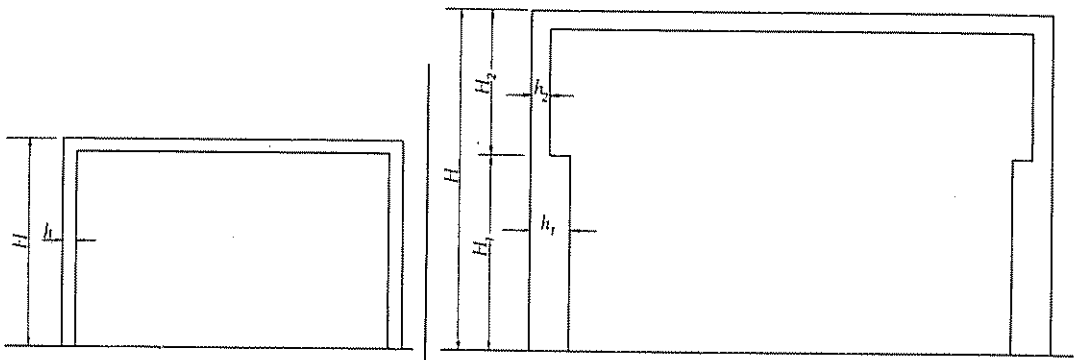
5.5 2. **Sistema estático.**

Según la importancia de las reacciones de apoyo de los caminos de rodadura, el tipo de nave a la que sirven los puentes grúas y la naturaleza de terreno que aconseje la adopción de estructuras articuladas o empotradas en la cimentación, los soportes de los caminos de rodadura, pueden estar constituidos de diferentes formas, de las cuales y solo a título de ejemplo, indicamos algunas más usuales:

— El apoyo puede ser una simple ménsula en el pilar [5.67 a], si las reacciones del mismo no son muy elevadas, y, por tanto, no introducen una flexión exagerada en los pórticos de la nave.

— Puede estar constituido por un pilar suplementario colocado directamente bajo la viga principal [5.67 b] y unido al pilar que soporta la cercha de cubierta por una celosía o un alma de chapa.

— En caminos de rodadura que sirven a puentes grúas de dos naves adyacentes, pue-



	Soportes de sección constante		Soportes de sección variable			
			Parte superior		Parte inferior	
	Altura total del soporte en metros H	Canto de la sección h	Longitud en metros H_2	Canto de la sección h_2	Canto total del soporte en metros H_1	Canto de la sección h_1
Edificios de funcionamiento ligero y medio	$H < 8$	$\left(\frac{1}{10} a \frac{1}{14}\right) H$	$H_2 < 2$	$\left(\frac{1}{4} a \frac{1}{6}\right) H_2$	$H < 10$	$\left(\frac{1}{10} a \frac{1}{15}\right) H$
	$8 < H < 12$	$\left(\frac{1}{14} a \frac{1}{13}\right) H$	$2 < H_2 < 4$	$\left(\frac{1}{6} a \frac{1}{10}\right) H_2$	$10 < H < 20$	$\left(\frac{1}{15} a \frac{1}{20}\right) H$
	$12 < H < 20$	$\left(\frac{1}{16} a \frac{1}{20}\right) H$				
	$H > 20$	$\left(\frac{1}{20} a \frac{1}{30}\right) H$	$H_2 > 4$	$\left(\frac{1}{10} a \frac{1}{12}\right) H_2$	$H > 20$	$\left(\frac{1}{20} a \frac{1}{25}\right) H$
Edificios de funcionamiento pesado y muy pesado	$H < 8$	$\left(\frac{1}{9} a \frac{1}{13}\right) H$	$H_2 < 2$	$\left(\frac{1}{3} a \frac{1}{5}\right) H_2$	$H < 10$	$\left(\frac{1}{8} a \frac{1}{10}\right) H$
	$8 < H < 12$	$\left(\frac{1}{13} a \frac{1}{15}\right) H$	$2 < H_2 < 4$	$\left(\frac{1}{5} a \frac{1}{8}\right) H_2$	$10 < H < 20$	$\left(\frac{1}{10} a \frac{1}{15}\right) H$
	$12 < H < 20$	$\left(\frac{1}{15} a \frac{1}{17}\right) H$				
	$H > 20$	$\left(\frac{1}{17} a \frac{1}{25}\right) H$	$H_2 > 4$	$\left(\frac{1}{8} a \frac{1}{10}\right) H_2$	$H > 10$	$\left(\frac{1}{15} a \frac{1}{20}\right) H$

[5.68]

den colocarse pilares simétricamente dispuestos a ambos lados del pilarcillo (bayoneta) que soporta la cercha y unidos entre sí, formando un pilar único de celosía o de alma llena [5.67 c]. Para no obstaculizar la circulación de la pasarela, a veces es preciso establecer un hueco de hombre en el pilarcillo superior.

— Para ganar espacio en las naves a veces se adopta una variante de la anterior, disponiendo ménsulas para el apoyo de las vigas principales [5.67 d]. En el caso de ménsulas, se deben colocar rigidizadores horizontales en el alma de los pilares al nivel superior e inferior de las ménsulas.

Un aspecto de gran importancia que debe tenerse en cuenta en el proyecto de naves industriales servidas por puentes grúa es la rigidez transversal de las mismas. La mayor parte de las normas oficiales solo se ocupan de la rigidez de las vigas carril, determinando unos máximos para las flechas verticales y horizontales de las mismas, sin fijar valores máximos para los desplazamientos horizontales de la estructura. La propuesta de norma UNE CT-76-201, como se verá más adelante, sí se ocupa de este aspecto.

Ello obliga a soportes de rigidez transversal adecuada. A título orientativo se incluye en el cuadro [5.68] unas dimensiones aconsejables para los soportes de las naves que soporten puentes grúas, en función de la potencia y el régimen de servicio de los puentes grúas.

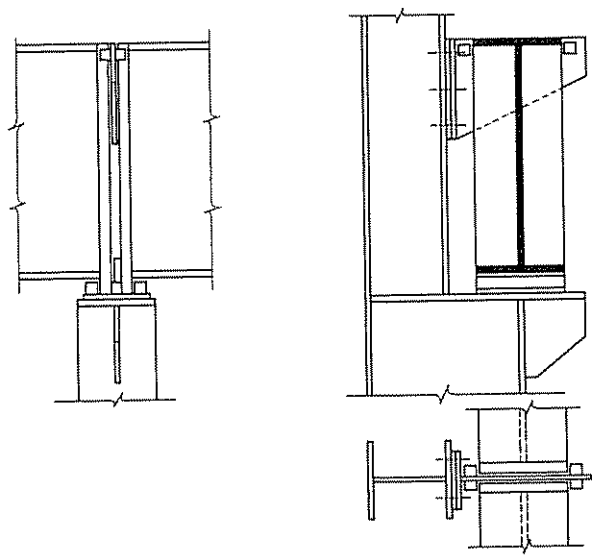
Los caminos de rodadura pueden proyectarse como vigas continuas, o como tramos independientes entre los pilares de apoyo.

Aunque la continuidad puede permitir una cierta economía de peso, presenta algunas desventajas sobre la solución de vigas isostáticas.

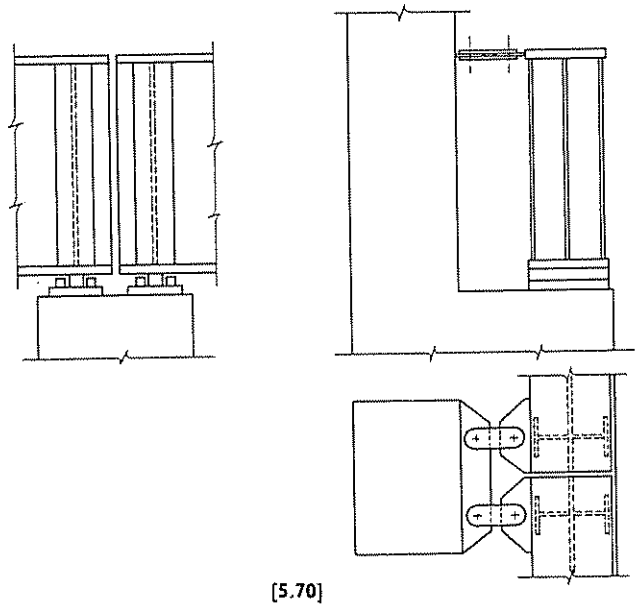
La más importante y específica, sin tener en cuenta las que pueden derivarse de la hiperestaticidad de la estructura y el consiguiente control de asientos en los apoyos, se deriva de la consideración del efecto de fatiga.

Considerando este efecto, la variación de signo de los momentos solicitantes en alguna de las secciones de las vigas continuas, hace que éstas estén sometidas a esfuerzos alternados, que son mucho más desfavorables, en fatiga, que los esfuerzos ondulados que deben soportar las vigas isostáticas.

Como contrapartida, es evidente que el sistema de vigas continuas permite un mayor centrado de la reacción de apoyo sobre el pilar, evitando la flexión longitudinal del mismo. La inevitable excentricidad que se produce al tener que apoyar dos vigas so-



[5.69]



[5.70]

bre un mismo pilar, como sucede en el caso de vigas isostáticas, puede reducirse adoptando una disposición de apoyo adecuada.

5.5 2 1. *Esfuerzos locales*

En los últimos años se han observado en todo el mundo deterioros y roturas en los caminos de rodadura de algunas naves industriales, al poco tiempo de su puesta en servicio. Estos desperfectos no eran atribuibles a una subestimación de los trenes de cargas, ni a un cálculo incorrecto, según las normas vigentes.

De su estudio se dedujo que el origen de tales desperfectos eran los efectos locales que produce el paso de las ruedas, máxime si como consecuencia de una defectuosa colocación o excesivo desgaste del carril, éste tiene una excentricidad apreciable con relación al plano del alma de la viga principal.

Las modernas instrucciones y normas recogen y cuantifican el problema de los efectos locales. También en el borrador de Norma, a que se alude más adelante y que figura en el Apéndice II, se trata de este problema.

En el caso de puentes grúa suspendidos, y monocarriles (no recogido en dicha Norma), también tienen importancia los efectos locales. H. ERNST [1] recomienda añadir a la solicitación general de la viga las tensiones σ^*_z y σ^*_x producidas por la flexión local del ala inferior (eje z coincidente con el longitudinal de la viga, y eje x perpendicular al plano del alma), y calculadas según las expresiones:

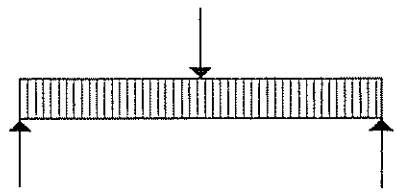
$$\sigma^*_x = 2{,}8\,\frac{P^*}{h^2}$$

$$\sigma^*_z = 1{,}6\,\frac{P^*}{h^2}$$

siendo P* la presión de la rueda y h el grueso del ala inferior en la sección inmediata al alma.

---

[1] Heilmut Ernst. *Aparatos de elevación y transporte*. Tomo 2 °, Editorial Blume, 1969.



[5.71]

5.5 3. Disposición de los apoyos.

Nos referimos exclusivamente al caso de tramos independientes. Los dispositivos de apoyo deben absorber el empuje transversal de la viga de rodadura, permitir la rotación debida a la flexión vertical, y eventualmente el desplazamiento longitudinal debido a las variaciones de temperatura. Según la importancia del camino de rodadura y de su sección, existen numerosas disposiciones posibles. En [5.69] y [5.70] se representan dos disposiciones usuales.

En la disposición [5.69] la viga principal apoya por medio de una chapa vertical gruesa, soldada como una chapa de testa en su extremo. La separación de las chapas correspondientes a dos tramos se mantiene en su parte inferior por forros de altura y espesor reducidos, soldados o atornillados «in situ» después del montaje. Estos forros permiten la pequeña variación de separación de la parte superior de las vigas como consecuencia de su flexión vertical.

El desplazamiento horizontal longitudinal de las vigas está limitado por tacos soldados sobre la placa de apoyo, que al mismo tiempo sirven para la transmisión de los esfuerzos longitudinales de frenado.

El desplazamiento transversal está impedido por tacos gruesos soldados a ambos lados de una cartela vertical que transmite al pilar los esfuerzos transversales que se originan en la rodadura. El conjunto de cartela y tacos constituyen, por tanto, el dispositivo de apoyo de la viga horizontal.

En la disposición [5.70], las dos vigas apoyan por medio de rigidizadores finales, lo que produce una mayor excentricidad en el caso normal de un tramo cargado y otro descargado.

Los esfuerzos transversales se transmiten por bielas, que permiten el desplazamiento horizontal que acompaña a la flexión vertical.

Sea cual sea la disposición adoptada, ésta debe permitir la corrección eventual, después de un cierto tiempo de servicio, de los posibles asientos y desplazamientos que puedan producirse. Para ello, una de las soluciones posibles es la de prever forros de reglaje

5.5. EJEMPLO DE APLICACION

Obtener los trenes correspondientes a la carga móvil de un puente grúa de 25 m de luz y 30 t de carga útil de elevación, para el anteproyecto de un almacén.
La utilización del puente se supone en 200 pasadas diarias y en levantar normalmente cargas comprendidas entre $^1/_3$ y $^2/_3$ de la carga nominal y raramente ésta. Las velocidades de los movimientos del puente y de carro se estiman medias.

Utilizando los cuadros **7.1 1-1** y **7.1 1-2** del **Apéndice II**, de este capítulo, deducimos que el puente grúa se clasifica en el tipo C por su clase de utilización ($6 \cdot 10^5 < n_o < 2 \cdot 10^6$).

Por el estado de carga, teniendo en cuenta el cuadro **3.4 2**, pertenece al tipo 2.

Consecuentemente a estas clasificaciones el grupo del puente grúa es el 5, según **3.4 3-1**.

Para un predimensionado pueden tomarse las características del puente grúa del **Anejo 1**, obteniéndose:

l = 25,00 m	C = 12,5 t	v_p = 80 m/min
a = 1,10 m	P = 46,5 t	v_c = 40 m/min
b = 0,35 m	$V_{máx}$ = 31,94 t	
B = 4,10 m	$V_{mín}$ = 12,56 t	
A = 5,50 m		

Reacciones verticales de las ruedas del puente grúa:

$V_d = \varphi \cdot V$ φ (según el cuadro **3.6 2 3** del **Apéndice II** de este capítulo)

Hipótesis de cálculo 1:

$V_{d\,máx} = 1{,}25 \times 31{,}94 = 39{,}92$ t
$V_{d\,mín} = 1{,}25 \times 12{,}56 = 15{,}70$ t

Hipótesis de cálculo 3:

$V_{d\,máx} = 1{,}1 \times 31{,}94 = 35{,}13$ t
$V_{d\,mín} = 1{,}1 \times 12{,}56 = 13{,}81$ t

Reacciones horizontales longitudinales:

$$\Sigma H_{l\,máx} = 2\,\frac{N + C + P}{g}\,j_p \leqslant (N + C + P)\,f\,k_p$$

el valor de j_p, según **3.6 2 4**, correspondiente a

v_p = 80 m/min = 1,33 m/seg es $j_p = 0{,}28$ m/seg²

$$\Sigma H_{l\,máx} = 2\,\frac{30 + 12{,}5 + 46{,}5}{9{,}8}\,0{,}28 < (30 + 12{,}5 + 46{,}5) \times 0{,}20 \times 0{,}5$$

(Sigue en la página 766)

5.5 4. Bases para el cálculo.

Con relación a los distintos conceptos que constituyen las bases para el cálculo de los caminos de rodadura, (evaluación de reacciones verticales y horizontales, determinación de esfuerzos locales, criterios para el cálculo a fatiga, etc.) las Normas y Reglamentos existentes en diferentes países, son bastante discrepantes. En la actualidad tampoco existe una norma española que trate de esta cuestión. Por ello y para ayudar de alguna manera al proyectista, se reproduce en el Apéndice I, el trabajo presentado en la Comisión 76 como borrador de propuesta de Norma UNE 76-201.

Ello no deja de presentar riesgos, pues es probable que la versión definitiva de la Norma difiera del borrador presentado, pero en su versión actual creemos que puede aportar alguna información interesante al proyectista, que en todo caso deberá contrastar con la forma definitiva de la Norma a su publicación.

En la parte primera de la Propuesta de Norma, se han tenido en cuenta y existen coincidencias en algunos puntos con las normas y publicaciones siguientes:

Norma DIN 4132. Norma DIN 15018, Reglas de la Federación Europea de Mantenimiento 1970, Norma SN y P-V 3-72 (URSS), Catálogo de C. M. A. A. Crane Manufacturers Association (U. S. A.), Recomendations pour le Calcul et l'Execution des Chemins de Roulement des Ponts Roulants (C. T. I. C. M., Francia)

Para la parte segunda: Comprobación de la fatiga, se ha seguido principalmente la Norma A. I. S. C. (American Institute Steel Construction), adoptada también por la C. M. A. A. y las especificaciones para naves siderúrgicas de la A. I. S. E. (Association of Iron and Steel Engineers, U. S. A.).

Ver ejemplo de aplicación en la página 762

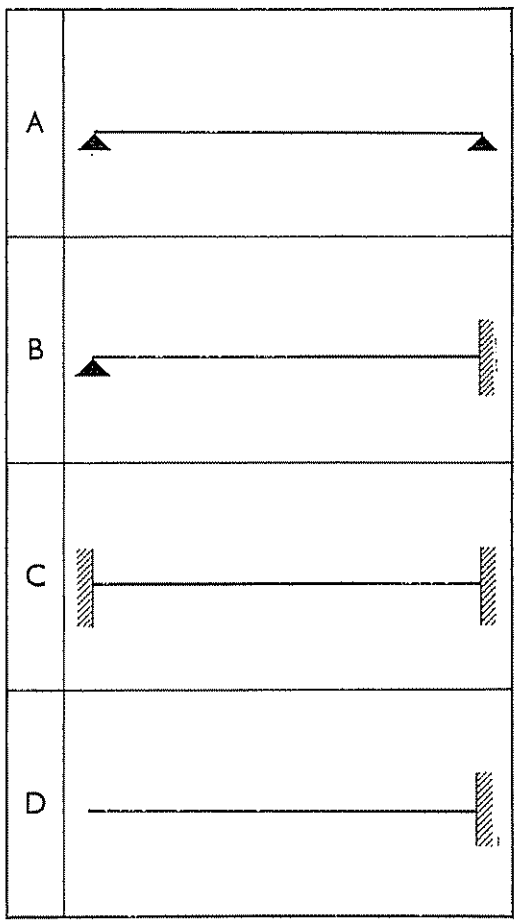
5.6. TABLAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES LAMINADOS A FLEXION SIMPLE

Se incluyen a continuación dos grupos de tablas:

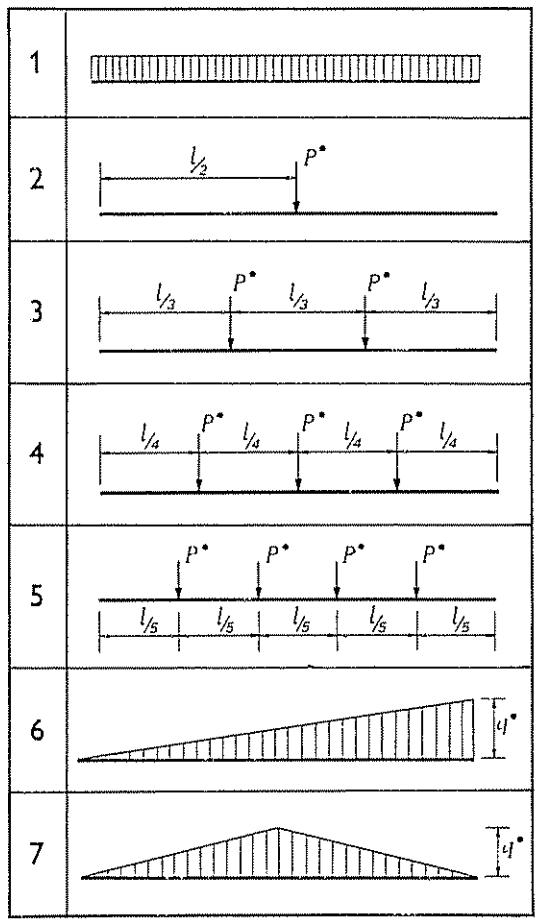
El primer grupo comprende, para los casos más frecuentes de solicitación y de sustentación, los valores máximos de las cargas ponderadas que agotan a cada perfil de las series IPE, IPN, HEB, HEA y HEM, fabricados en acero A 42, así como los coeficientes de flecha correspondientes. El uso de las tablas es simple y permiten la elección del perfil adecuado de un modo inmediato. Sin embargo, y a pesar de su extensión, **5.6 1** tienen una importante limitación, y es que solo son aplicables para los casos simples de carga, para los que están calculadas, no pudiéndose superponer dos estados simples de carga, como por ejemplo el caso que se indica en [5.71].

Para poder resolver estos casos, se han confeccionado las tablas **5.6 2** en las que de un modo exacto o aproximado del lado de la seguridad, pueden abordarse los casos de solicitaciones compuestas por superposición de los casos simples que se estudian y que prácticamente permiten abordar todos los que pueden presentarse en la práctica.

Tipo de sustentación.



Tipo de carga.



[5.72]

Es importante hacer notar que en las tablas **5.6 1,** las cargas se definen por sus valores por metro y por el valor unitario de las fuerzas aisladas que componen la solicitación, mientras que en las tablas **5.6 2** el valor característico es la resultante de las cargas repartidas o la suma de las fuerzas aisladas que la componen.

5.6 1. Solicitaciones simples en perfiles laminados. Casos más frecuentes.

5.6 1 1. *Cargas máximas*

En **5.6 1** se han recogido, para las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, los valores máximos de las cargas ponderadas y los coeficientes de flecha para los casos de carga y de sustentación en los extremos que se reflejan en [5.72].

Para poder aplicar directamente estas tablas, deben darse las condiciones de la Norma para que no sea necesario el cálculo del pandeo lateral, es decir, que el cordón comprimido de la viga esté inmovilizado a distancias menores de 40 i_y.

Cuando no se cumpla esta condición, se hará una comprobación del pandeo lateral de acuerdo con 5.2 7 3.

Para cada uno de los casos y con luces de 1 a 12 m se ha determinado el máximo de valor de la carga que agota al perfil, supuesto que éste está inmovilizado lateralmente en puntos que no disten más de l_o (valor que para cada perfil figura en las tablas). El cálculo se ha realizado determinando las tensiones en los puntos 1, 2, 3 [5.17], ya que según los casos la condición de agotamiento se da en uno u otro de estos puntos.

5.6 1 2. *Cálculo de las flechas.*

El valor de la flecha máxima posible para cada caso de carga y perfil nos viene dado por la expresión:

$$f = k_f \, l^2$$

l en metros y f en milímetros.

si por esta consideración fuese necesario cambiar de perfil, la flecha para el nuevo perfil sería:

$$f = k_f \frac{q_1}{q_2} \, l^2$$

k_f Coeficiente de flecha para el nuevo perfil.
q_1 Valor máximo de la carga real.
q_2 Valor de la carga que agota al nuevo perfil.

(Viene de la página 762)

se supone un puente grúa con dos ruedas por testero, siendo una motriz, $k_p = 0{,}5$

$\Sigma H_{l\,máx} = 5{,}08\ t < 8{,}90\ t$

Lo que supone una fuerza de $\frac{5{,}08\ t}{2} = 2{,}54\ t$ sobre cada viga carrilera.

Reacciones horizontales transversales:

a) H_c, debidas a la aceleración y frenado del carro

$$\Sigma H_{c\,máx} = 2\,\frac{N + C}{g}\,j_c \leqslant (N + C)\,f\,k_c$$

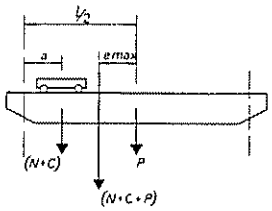
el valor de j_c, según **3.6 2 4** del **Apéndice II** de este capítulo, correspondiente a $v_c = 40\ m/min = 0{,}66\ m/seg$ es $j_c = 0{,}20\ m/seg^2$

$$\Sigma H_{c\,máx} = 2\,\frac{30 + 12{,}5}{9{,}8}\,0{,}20 \leqslant (30 + 12{,}5) \times 0{,}20 \times 0{,}5$$

igualmente al puente el carro tiene un coeficiente $k_c = 0{,}5$

$\Sigma H_{c\,máx} = 1{,}73\ t < 4{,}24\ t$

b) H_p, debidas a la celeración y frenado del puente



$$H_{p\,máx} = \pm \Sigma\, H_{l\,máx}\,\frac{e_{máx}}{B}$$

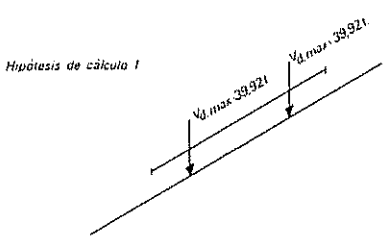
$$e_{máx} = \frac{N + C}{P + N + C}\left(\frac{l}{2} - a\right) = 5{,}30\ m$$

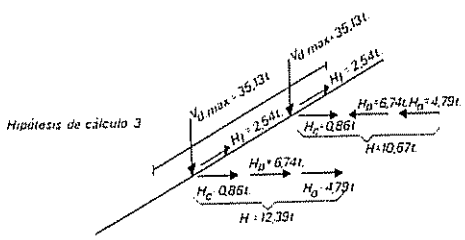
$$H_{p\,máx} = 5{,}08\,\frac{5{,}30}{4{,}10} = 6{,}74\ t$$

c) H_o, debidas a la marcha oblicua del puente

$\frac{l}{B} = \frac{25{,}0}{4{,}10} = 6{,}0$ para este valor $\lambda = 0{,}15$ del ábaco **3.6 2 5-3** del **Apéndice II** de este capítulo

$H_o = \lambda\ V = 0{,}15 \times 31{,}94 = 4{,}79\ t$





Los valores del coeficiente de flecha k_f que figuran en las tablas **5.6 1** se han calculado bajo el supuesto de que el valor total de las cargas características y el valor total de la carga ponderada están en la relación 1 : 1,41. Esto significa que la carga permanente, ponderada con el coeficiente 1,33 tiene el mismo valor que la sobrecarga que se pondera con el coeficiente 1,5, resultando así el coeficiente de ponderación medio de 1,41. Normalmente el error que se obtiene con este método es menor del 6 %. Error menor que el que encierran los procedimientos tradicionales de determinación simplificada de la flecha en vigas de un tramo.

Para una eventual determinación exacta de la flecha máxima se puede aplicar la fórmula

$$f = k_f \frac{1{,}41}{\gamma_s} \frac{q_1}{q_2} l^2$$

o sencillamente

$$f = k_f \frac{1{,}41}{\gamma_s} l^2$$

si no se tiene en cuenta que por el escalonamiento de perfiles, la carga de agotamiento suele ser algo mayor que la ponderada real.

El valor $\frac{f}{l}$, muchas veces determinante en el dimensionamiento, es obviamente:

$$\frac{f}{l} = \frac{k_f}{1000} l$$

l en metros y k_f valor obtenido de **5.6 1.**

Para el cálculo de k_f se ha supuesto que la viga se agota en el punto 1, es decir, por flexión pura. En los casos en que esto no es cierto (agotamiento por tensión de comparación o esfuerzo cortante) los valores reales de las flechas serán menores de los calculados. Esto sucederá para valores de l pequeños, para los cuales nunca es determinante la flecha para el dimensionamiento del perfil.

5.6 1 3. *Clase de acero.*

Las tablas han sido calculadas para acero A 42 con $\sigma_u = 2\,600$ kg/cm². Para otro tipo de acero el valor obtenido en la tabla tendrá que multiplicarse por la relación $\frac{\sigma_u}{2\,600}$ para obtener el correspondiente al acero empleado. Esta consideración es también válida para el cálculo de la flecha.



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,28700	4,06	1,80	1,01	0,65	0,45	0,33	0,25	0,20
100	8,32	34,2	42,8	1,82900	7,11	3,16	1,78	1,14	0,79	0,58	0,44	0,35
120	11,10	54,7	49,2	1,52500	11,38	5,06	2,84	1,82	1,26	0,93	0,71	0,56
140	14,40	81,9	56,0	1,30700	17,03	7,57	4,26	2,73	1,89	1,39	1,06	0,84
160	17,90	117,0	62,0	1,14500	24,34	10,82	6,08	3,89	2,70	1,99	1,52	1,20
180	21,90	161,0	68,4	1,01600	32,16	14,88	8,37	5,36	3,72	2,73	2,09	1,65
200	26,30	214,0	74,8	0,91500	38,55	19,78	11,13	7,12	4,95	3,63	2,78	2,20
220	31,10	278,0	80,8	0,83100	45,93	25,70	14,46	9,25	6,42	4,72	3,61	2,86
240	36,20	354,0	88,0	0,76200	53,89	32,72	18,41	11,78	8,18	6,01	4,60	3,64
260	41,90	442,0	92,8	0,70400	63,03	40,86	22,98	14,71	10,21	7,50	5,75	4,54
280	48,00	542,0	98,0	0,65300	72,83	48,55	28,18	18,04	12,53	9,20	7,05	5,57
300	54,20	653,0	102,4	0,60900	83,40	55,60	33,96	21,73	15,09	11,09	8,49	6,71
320	61,10	782,0	106,8	0,57200	94,51	63,01	40,66	26,02	18,07	13,28	10,17	8,03
340	68,10	923,0	112,0	0,53800	106,49	70,99	48,00	30,72	21,33	15,67	12,00	9,48
360	76,20	1 090,0	116,0	0,50800	119,77	79,85	56,68	36,27	25,19	18,51	14,17	11,20
380	84,00	1 260,0	120,8	0,48000	133,27	88,85	65,52	41,93	29,12	21,39	16,38	12,94
400	92,60	1 460,0	125,2	0,45700	147,35	98,23	73,68	48,59	33,74	24,79	18,98	15,00
450	115,00	2 040,0	137,2	0,40700	185,83	123,89	92,91	67,89	47,15	34,64	26,52	20,95
500	141,00	2 750,0	148,8	0,36600	229,30	152,87	114,65	91,52	63,56	46,69	35,75	28,25
550	167,00	3 610,0	160,8	0,33300	266,86	177,91	133,43	106,74	83,43	61,30	46,93	37,08
600	199,00	4 630,0	172,0	0,30500	330,18	220,12	165,09	132,07	107,00	78,61	60,19	47,56

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,28700	5,51	2,45	1,38	0,88	0,61	0,45	0,34	0,27
100	10,60	41,2	58,8	1,82900	8,57	3,81	2,14	1,37	0,95	0,70	0,54	0,42
120	13,40	60,7	63,6	1,52500	12,63	5,61	3,16	2,02	1,40	1,03	0,79	0,62
140	16,00	86,4	70,0	1,30600	17,97	7,99	4,49	2,88	2,00	1,47	1,12	0,89
160	18,80	116,0	75,6	1,14700	24,13	10,72	6,03	3,86	2,68	1,97	1,51	1,19
180	22,00	150,0	80,8	1,01600	31,20	13,87	7,80	4,99	3,47	2,55	1,95	1,54
200	25,30	191,0	85,6	0,91500	39,73	17,66	9,93	6,36	4,41	3,24	2,48	1,96
220	29,40	245,0	92,0	0,83300	49,78	22,65	12,74	8,15	5,66	4,16	3,18	2,52
240	33,20	300,0	96,8	0,76200	57,36	27,73	15,60	9,98	6,93	5,09	3,90	3,08
260	37,90	371,0	102,4	0,70400	65,48	34,30	19,29	12,35	8,57	6,30	4,82	3,81
280	41,80	448,0	109,6	0,65300	70,88	41,41	23,30	14,91	10,35	7,61	5,82	4,60
300	46,20	535,0	116,0	0,60900	76,29	49,46	27,82	17,80	12,36	9,08	6,95	5,49

5.6 1-A 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,16	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	80
0,28	0,23	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0.09	0,08	0,07	0,06	0,05	100
0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	120
0,68	0,56	0,47	0.40	0,35	0.30	0,27	0,24	0,21	0.19	0,17	0,14	0,12	140
0,97	0.80	0.68	0,58	0.50	0,43	0.38	0.34	0,30	0,27	0,24	0.20	0.17	160
1,34	1,11	0,93	0,79	0,68	0,59	0,52	0,46	0,41	0,37	0,33	0,28	0,23	180
1,78	1,47	1,24	1,05	0,91	0,79	0,69	0,62	0,55	0,49	0,44	0,37	0.31	200
2,31	1,91	1,61	1,37	1,18	1.03	0,90	0,80	0.71	0,64	0,58	0,48	0,40	220
2,94	2.43	2.04	1,74	1,50	1,31	1,15	1.02	0.91	0,82	0,74	0,61	0,51	240
3,68	3,04	2.55	2,18	1,88	1,63	1.44	1,27	1,13	1.02	0,92	0,76	0,64	260
4,51	3,73	3,13	2,67	2,30	2,00	1,76	1,56	1,39	1,25	1,13	0,93	0,78	280
5,43	4.49	3,77	3.21	2,77	2,41	2,12	1,88	1.68	1,50	1,36	1,12	0,94	300
6,51	5,38	4.52	3,85	3,32	2,89	2,54	2,25	2,01	1,80	1,63	1,34	1,13	320
7,68	6.35	5.33	4,54	3,92	3,41	3,00	2.66	2,37	2,13	1,92	1,59	1,33	340
9,07	7,49	6,30	5,37	4,63	4.03	3,54	3,14	2,80	2,51	2.27	1,87	1,57	360
10,48	8,66	7,28	6,20	5,35	4,66	4.09	3.63	3,24	2,90	2,62	2,17	1,82	380
12,15	10,04	8,44	7.19	6,20	5,40	4,74	4,20	3,75	3,36	3,04	2.51	2,11	400
16.97	14,03	11,79	10,04	8.66	7,54	6,63	5.87	5,24	4,70	4,24	3,51	2,95	450
27,88	18.91	15.89	13,54	11.67	10,17	8.94	7.92	7.06	6,34	5,72	4.73	3,97	500
30.03	24,82	20,86	17,77	15,32	13,35	11,73	10,39	9,27	8,32	7,51	6,21	5,21	550
38,52	31,84	26.75	22,79	19.65	17.12	15,05	13,33	11,89	10,67	9.63	7.96	6,69	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9.5	10,0	11,0	12,0	
0.22	0,18	0,15	0.13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	80
0,34	0,28	0,24	0.20	0,17	0.15	0.13	0,12	0.11	0.09	0.09	0.07	0,06	100
0,50	0.42	0,35	0,30	0,26	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0.13	0,10	0.09	120
0,72	0,59	0,50	0,42	0,37	0,32	0.28	0,25	0,22	0.20	0,18	0,15	0,13	140
0,96	0.80	0,67	0,57	0,49	0,43	0,38	0,33	0.30	0,27	0,24	0,20	0.17	160
1,25	1,03	0,87	0,74	0,64	0,55	0,49	0.43	0,38	0,35	0,31	0,26	0,22	180
1,59	1,31	1,10	0,94	0.81	0,71	0.62	0,55	0,49	0.44	0,40	0,33	0,28	200
2,04	1,68	1,42	1.21	1,04	0.91	0,80	0,70	0,63	0,56	0,51	0,42	0,35	220
2,50	2.06	1.73	1,48	1,27	1,11	0,97	0.86	0,77	0,69	0,62	0,52	0,43	240
3.09	2,55	2,14	1.83	1,57	1.37	1,21	1,07	0,95	0.85	0,77	0.64	0,54	260
3,73	3,08	2,59	2,21	1,90	1,66	1,46	1,29	1.15	1,03	0.93	0,77	0,65	280
4,45	3.68	3.09	2,63	2,27	1,98	1,74	1,54	1,37	1,23	1,11	0,92	0.77	300

5.6 1-A 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

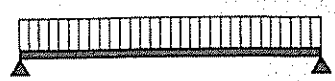
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	2,28400	4,16	1,85	1,04	0,67	0,46	0,34	0,26	0,20
100	8,10	34,2	49,6	1,82900	7,11	3,16	1,78	1,14	0,79	0,58	0,44	0,35
120	10,40	53,0	58,0	1,52400	11,02	4,90	2,76	1,76	1,22	0,90	0,69	0,54
140	12,90	77,3	66,0	1,30700	16,08	7,15	4,02	2,57	1,79	1,31	1,00	0,79
160	15,80	109,0	73,6	1,14700	21,07	10,08	5,67	3,63	2,52	1,85	1,42	1,12
180	18,80	146,0	82,0	1,01200	25,24	13,50	7,59	4,86	3,37	2,48	1,90	1,50
200	22,40	194,0	89,6	0,91500	29,65	17,93	10,09	6,46	4,48	3,29	2,52	1,99
220	26,20	252,0	99,2	0,83200	34,31	22,87	13,10	8,39	5,82	4,28	3,28	2,59
240	30,70	324,0	107,6	0,76200	39,57	26,38	16,85	10,78	7,49	5,50	4,21	3,33
270	36,10	429,0	120,8	0,67800	47,41	31,60	22,31	14,28	9,91	7,28	5,58	4,41
300	42,20	557,0	134,0	0,60900	56,75	37,83	28,38	18,54	12,87	9,46	7,24	5,72
330	49,10	713,0	142,0	0,55400	65,93	43,95	32,96	23,73	16,48	12,11	9,27	7,32
360	57,10	904,0	151,6	0,50800	76,62	51,08	38,31	30,08	20,89	15,35	11,75	9,29
400	66,30	1 160,0	158,0	0,45900	91,31	60,88	45,66	36,53	26,81	19,70	15,08	11,91
450	77,60	1 500,0	164,8	0,40700	111,89	74,59	55,94	44,75	34,67	25,47	19,50	15,41
500	90,70	1 930,0	172,4	0,36600	134,18	89,45	67,09	53,67	44,60	32,77	25,09	19,82
550	106,00	2 440,0	178,0	0,33300	160,92	107,28	80,46	64,37	53,64	41,43	31,72	25,06
600	122,00	3 070,0	186,4	0,30500	188,48	125,66	94,24	75,39	62,83	52,13	39,91	31,53

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,82900	15,56	8,32	4,68	2,99	2,08	1,53	1,17	0,92
120	26,70	144,0	122,4	1,52400	20,41	13,31	7,49	4,79	3,33	2,44	1,87	1,48
140	33,70	216,0	143,2	1,30800	25,80	17,20	11,23	7,19	4,99	3,67	2,81	2,22
160	42,60	311,0	162,0	1,14200	33,79	22,52	16,17	10,35	7,19	5,28	4,04	3,19
180	51,20	426,0	182,8	1,01700	40,55	27,04	20,28	14,18	9,84	7,23	5,54	4,38
200	61,30	570,0	202,8	0,91500	47,98	31,99	23,99	18,97	13,17	9,68	7,41	5,85
220	71,50	736,0	223,6	0,83200	55,73	37,15	27,87	22,29	17,01	12,50	9,57	7,56
240	83,20	938,0	243,2	0,76200	64,15	42,76	32,07	25,66	21,38	15,93	12,19	9,63
260	93,00	1 150,0	263,2	0,70500	69,88	46,59	34,94	27,95	23,29	19,53	14,95	11,81
280	103,00	1 380,0	283,6	0,65500	79,20	52,80	39,60	31,68	26,40	22,63	17,94	14,17
300	117,00	1 680,0	303,2	0,61100	89,00	59,33	44,50	35,60	29,66	25,43	21,84	17,26
320	127,00	1 930,0	302,8	0,57300	99,45	66,30	49,72	39,78	33,15	28,41	24,86	19,82
340	134,00	2 160,0	301,2	0,53900	110,06	73,37	55,03	44,02	36,69	31,45	27,51	22,19
360	142,00	2 400,0	299,6	0,50800	120,96	80,64	60,48	48,38	40,32	34,56	30,24	24,65
400	155,00	2 880,0	296,0	0,45700	144,31	96,20	72,15	57,72	48,10	41,23	36,08	29,58
450	171,00	3 550,0	293,2	0,40600	168,73	112,49	84,36	67,45	56,24	48,21	42,18	36,46
500	187,00	4 290,0	290,8	0,36600	193,59	129,06	96,80	77,44	64,53	55,31	48,40	43,02
550	199,00	4 970,0	286,8	0,33300	219,84	146,56	109,92	87,94	73,28	62,81	54,96	48,85
600	212,00	5 700,0	283,2	0,30500	247,95	165,30	123,98	99,18	82,65	70,84	61,99	55,10

5.6 1-A 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	80
0,28	0,23	0.20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	100
0,44	0,36	0,31	0,26	0,22	0,20	0,17	0.15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	120
0,64	0,53	0,45	0,38	0,33	0,29	0.25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	140
0,91	0.75	0,63	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,19	0,16	160
1,21	1,00	0,84	0,72	0,62	0,54	0,47	0.42	0,38	0,34	0,30	0,25	0,21	180
1,61	1,33	1,12	0,95	0.82	0,72	0.63	0,56	0,50	0,45	0,40	0,33	0,28	200
2,10	1,73	1,46	1,24	1,07	0,93	0,82	0,72	0,65	0,58	0,52	0,43	0,36	220
2,70	2,23	1,87	1,59	1,38	1,20	1,05	0,93	0,83	0,75	0,67	0,56	0,47	240
3,57	2.95	2,48	2,11	1,82	1,59	1,39	1,23	1,10	0,99	0,89	0,74	0,62	270
4,63	3.83	3,22	2,74	2,36	2,06	1,81	1,60	1,43	1,28	1,16	0,96	0,80	300
5,93	4.90	4,12	3,51	3,03	2,64	2,32	2,05	1,83	1,64	1,48	1,23	1,03	330
7,52	6,22	5,22	4,45	3,84	3,34	2,94	2,60	2,32	2,08	1,88	1,55	1,31	360
9,65	7.98	6,70	5,71	4,92	4,29	3,77	3,34	2,98	2,67	2,41	1,99	1,68	400
12,48	10,31	8,67	7,38	6,37	5,55	4,88	4,32	3,85	3,46	3,12	2,58	2,17	450
16,06	13.27	11,15	9,50	8,19	7,14	6,27	5,56	4,96	4.45	4,01	3,32	2,79	500
20,30	16,78	14,10	12,01	10,36	9,02	7,93	7,02	6,27	5,62	5,07	4,19	3.52	550
25,54	21,11	17,74	15,11	13,03	11,35	9,98	8,84	7,88	7,07	6.39	5,28	4,43	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,75	0,62	0,52	0,44	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,15	0,13	100
1,20	0,99	0,83	0,71	0,61	0,53	0,47	0,41	0,37	0,33	0,30	0,25	0,21	120
1,80	1,48	1,25	1,06	0,92	0,80	0,70	0,62	0,55	0,50	0,45	0,37	0,31	140
2,59	2,14	1,80	1,53	1,32	1,15	1,01	0,89	0,80	0,72	0,65	0,53	0,45	160
3,54	2,93	2,46	2,10	1,81	1,57	1,38	1,23	1,09	0,98	0,89	0,73	0,61	180
4,74	3,92	3,29	2,81	2,42	2.11	1,85	1,64	1,46	1,31	1,19	0,98	0,82	200
6.12	5,06	4,25	3,62	3,12	2,72	2,39	2,12	1,89	1,70	1,53	1,26	1,06	220
7,80	6.45	5,42	4,62	3,98	3,47	3,05	2,70	2,41	2,16	1,95	1,61	1,35	240
9,57	7,91	6,64	5,66	4,88	4,25	3,74	3,31	2,95	2,65	2,39	1,98	1,66	260
11,48	9,49	7,97	6,79	5,86	5,10	4,48	3,97	3,54	3,18	2,87	2,37	1,99	280
13,98	11,55	9,71	8,27	7,13	6,21	5,46	4,84	4,31	3,87	3,49	2,89	2,43	300
16,06	13,27	11,15	9,50	8,19	7,14	6,27	5,56	4.96	4,45	4,01	3,32	2,79	320
17,97	14,85	12,48	10,63	9,17	7,99	7,02	6,22	5,55	4,98	4,49	3,71	3,12	340
19,97	16,50	13,87	11,81	10,19	8,88	7,80	6,91	6,16	5,53	4,99	4,13	3,47	360
23,96	19,80	16,64	14,18	12,22	10,65	9,36	8,29	7,40	6,64	5,99	4,95	4,16	400
29,54	24,41	20,51	17,48	15,07	13,13	11,54	10,22	9,12	8,18	7,38	6,10	5,13	450
35,69	29,50	24,79	21,12	18,21	15,86	13,94	12,35	11,02	9,89	8,92	7,38	6,20	500
41,35	34,17	28,72	24,47	21,10	18,38	16,15	14,31	12,76	11,45	10,34	8,54	7,18	550
47,42	39,19	32,93	28,06	24,20	21.08	18,52	16,41	14,64	13,14	11,86	9,80	8,23	600

5.6 1-A 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

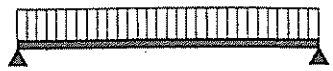
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	1,90800	12,62	6,73	3,79	2,42	1,68	1,24	0,95	0,75
120	19,90	106,0	120,8	1,60000	15,24	9,80	5,51	3,53	2,45	1,80	1,38	1,09
140	24,70	155,0	140,8	1,37600	19,62	13,08	8,06	5,16	3,58	2,63	2,01	1,59
160	30,40	220,0	159,2	1,20500	24,46	16,30	11,44	7,32	5,08	3,74	2,86	2,26
180	35,50	294,0	180,8	1,07100	27,91	18,61	13,95	9,78	6,79	4,99	3,82	3,02
200	42,30	389,0	199,2	0,96400	33,49	22,33	16,75	12,95	8,99	6,60	5,06	4,00
220	50,50	515,0	220,4	0,87100	40,03	26,69	20,02	16,01	11,90	8,74	6,69	5,29
240	60,30	675,0	240,0	0,79600	46,97	31,31	23,48	18,79	15,60	11,46	8,77	6,93
260	68,20	836,0	260,0	0,73200	51,15	34,10	25,58	20,46	17,05	14,19	10,87	8,59
280	76,40	1 010,0	280,0	0,67600	59,05	39,37	29,52	23,62	19,68	16,87	13,13	10,37
300	88,30	1 260,0	299,6	0,63100	67,34	44,89	33,67	26,93	22,45	19,24	16,38	12,94
320	97,60	1 480,0	299,6	0,59000	76,11	50,74	38,06	30,45	25,37	21,75	19,03	15,20
340	105,00	1 680,0	298,4	0,55500	85,38	56,92	42,69	34,15	28,46	24,39	21,34	17,26
360	112,00	1 890,0	297,2	0,52200	95,52	63,68	47,76	38,21	31,84	27,29	23,88	19,41
400	125,00	2 310,0	293,6	0,46900	116,28	77,52	58,14	46,51	38,76	33,22	29,07	23,73
450	140,00	2 900,0	291,6	0,41600	136,64	91,10	68,32	54,66	45,55	39,04	34,16	29,79
500	155,00	3 550,0	289,6	0,37300	159,05	106,03	79,52	63,62	53,02	45,44	39,76	35,34
550	166,00	4 150,0	286,0	0,33900	181,79	121,19	90,89	72,72	60,60	51,94	45,45	40,40
600	178,00	4 790,0	282,0	0,31000	205,63	137,09	102,81	82,25	68,54	58,75	51,41	45,69

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	1,52400	34,80	17,56	9,88	6,32	4,39	3,23	2,47	1,95
120	52,10	288,0	130,0	1,30400	43,32	26,62	14,98	9,58	6,66	4,89	3,74	2,96
140	63,20	411,0	150,8	1,14300	51,99	34,66	21,37	13,68	9,50	6,98	5,34	4,22
160	76,20	566,0	170,4	1,01500	63,61	42,40	29,43	18,84	13,08	9,61	7,36	5,81
180	88,90	748,0	190,8	0,91500	73,67	49,11	36,83	24,89	17,29	12,70	9,72	7,68
200	103,00	967,0	210,8	0,83100	84,36	56,24	42,18	32,18	22,35	16,42	12,57	9,93
220	117,00	1 220,0	231,6	0,76400	95,69	63,79	47,84	38,28	28,20	20,71	15,86	12,53
240	157,00	1 800,0	255,6	0,67800	123,83	82,55	61,92	49,53	41,28	30,56	23,40	18,49
260	172,00	2 160,0	276,0	0,63100	134,28	89,52	67,14	53,71	44,76	36,68	28,08	22,19
280	189,00	2 550,0	296,0	0,59000	148,42	98,95	74,21	59,37	49,47	42,41	33,15	26,19
300	238,00	3 480,0	320,0	0,53800	182,96	121,97	91,48	73,18	60,99	52,27	45,24	35,74
320	245,00	3 800,0	318,0	0,51000	193,48	128,99	96,74	77,39	64,49	55,28	48,37	39,03
340	248,00	4 050,0	316,0	0,48500	203,99	135,99	102,00	81,60	68,00	58,28	51,00	41,60
360	250,00	4 300,0	313,2	0,46300	214,89	143,26	107,44	85,96	71,63	61,40	53,72	44,17
400	256,00	4 820,0	308,0	0,42400	235,24	156,83	117,62	94,09	78,41	67,21	58,81	49,51
450	263,00	5 500,0	303,6	0,38300	261,53	174,36	130,77	104,61	87,18	74,72	65,38	56,49
500	270,00	6 180,0	298,4	0,34900	287,53	191,68	143,76	115,01	95,84	82,15	71,88	63,48
550	278,00	6 920,0	294,0	0,32000	314,44	209,63	157,22	125,78	104,81	89,84	78,61	69,88
600	285,00	7 660,0	288,8	0,29500	340,94	227,29	170,47	136,38	113,65	97,41	85,23	75,76

5.6 1-A 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,61	0,50	0,42	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0.17	0,15	0,13	0,10	100
0,88	0,73	0,61	0.52	0.45	0,39	0,34	0.30	0,27	0,24	0,22	0,18	0,15	120
1,29	1,07	0.90	0,76	0.66	0.57	0,50	0,45	0.40	0,36	0,32	0,27	0,22	140
1,83	1,51	1,27	1,08	0,93	0,81	0,71	0,63	0,56	0,51	0.46	0,38	0,32	160
2,45	2,02	1,70	1,45	1,25	1,09	0.95	0,85	0,75	0,68	0,61	0,50	0,42	180
3,24	2,67	2.25	1.91	1,65	1,44	1,26	1,12	1,00	0,90	0,81	0,67	0,56	200
4,28	3,54	2,98	2,53	2.19	1,90	1,67	1,48	1,32	1,19	1,07	0,88	0,74	220
5,62	4.64	3,90	3,32	2,86	2,50	2,19	1,94	1,73	1,56	1,40	1,16	0,97	240
6,96	5.75	4,83	4,12	3,55	3,09	2.72	2,41	2,15	1,93	1,74	1,44	1,21	260
8.40	6,94	5,84	4,97	4,29	3,73	3,28	2,91	2,59	2,33	2.10	1,74	1,46	280
10,48	8,66	7,28	6,20	5,35	4,66	4,09	3,63	3,24	2,90	2,62	2,17	1,82	300
12,31	10,18	8,55	7,29	6,28	5,47	4,81	4,26	3,80	3,41	3,08	2,54	2,14	320
13,98	11,55	9,71	8,27	7,13	6,21	5,46	4,84	4,31	3,87	3,49	2,89	2,43	340
15,72	13,00	10,92	9,30	8,02	6,99	6,14	5,44	4,85	4,36	3,93	3,25	2,73	360
19,22	15,88	13,35	11,37	9,81	8,54	7,51	6,65	5,93	5,32	4,80	3,97	3,34	400
24,13	19,94	16,76	14,28	12,31	10,72	9,42	8,35	7,45	6,68	6,03	4,98	4,19	450
29,54	24,41	20.51	17,48	15,07	13,13	11,54	10,22	9.12	8,18	7,38	6,10	5,13	500
34,53	28,54	23,98	20,43	17,62	15,35	13,49	11,95	10,66	9,56	8,63	7,13	5,99	550
39,85	32,94	27,68	23,58	20,33	17,71	15,57	13,79	12,30	11,04	9,96	8,23	6,92	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,58	1,31	1,10	0,93	0,81	0,70	0,62	0,55	0,49	0,44	0,39	0.33	0,27	100
2,40	1,98	1,66	1,42	1,22	1,06	0,94	0,83	0,74	0,66	0,60	0,49	0,42	120
3,42	2,83	2,38	2,02	1,74	1,52	1,34	1,18	1,05	0,95	0,85	0,71	0,59	140
4,71	3,89	3,27	2,79	2,40	2,09	1,84	1,63	1,45	1,30	1,18	0,97	0,82	160
6,22	5,14	4,32	3,68	3,17	2,77	2,43	2,15	1,92	1,72	1,56	1,29	1,08	180
8,04	6.65	5,59	4,76	4,10	3,58	3,14	2,78	2,48	2,23	2,01	1,66	1,40	200
10,15	8,39	7,05	6,01	5.18	4,51	3,96	3,51	3,13	2,81	2,54	2,10	1,76	220
14,98	12,38	10,40	8,80	7,64	6,66	5,85	5,18	4,62	4,15	3,74	3,09	2,60	240
17,97	14,85	12,48	10,63	9,17	7,99	7,02	6,22	5,55	4,98	4,49	3,71	3,12	260
21,22	17,53	14,73	12,55	10.82	9,43	8,29	7,34	6,55	5,88	5,30	4,38	3,68	280
28,95	23,93	20,11	17,13	14,77	12,87	11,31	10,02	8,94	8,02	7,24	5,98	5,03	300
31,62	26,13	21,96	18,71	16,13	14,05	12,35	10,94	9,76	8,76	7,90	6,53	5,49	320
33,70	27,85	23,40	19,94	17,19	14,98	13,16	11,66	10,40	9,33	8,42	6,96	5,85	340
35,78	29,57	24,84	21,17	18,25	15,90	13,97	12,38	11,04	9,91	8,94	7,39	6,21	360
40,10	33,14	27,85	23,73	20,46	17,82	15,66	13,88	12,38	11,11	10,03	8,29	6,96	400
45,76	37,82	31,78	27,08	23,35	20,34	17,88	15,83	14,12	12,68	11,44	9,45	7,94	450
51,42	42,49	35,71	30,42	26,23	22,85	20,08	17,79	15,87	14,24	12,85	10,62	8,93	500
57,57	47,58	39,98	34,07	29,38	25,59	22,49	19,92	17,77	15,95	14,39	11,90	10,00	550
63,73	52,67	44,26	37,71	32,52	28,32	24,89	22,05	19,67	17.65	15,93	13,17	11,06	600

5.6 1-A 1



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

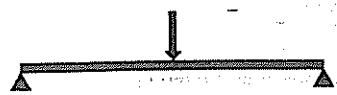
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	1,82900	2,03	1,35	1,01	0,81	0,68	0,58	0,51	0,45
100	8,32	34,2	42,8	1,46300	3,56	2,37	1,78	1,42	1,19	1,02	0,89	0,79
120	11,10	54,7	49,2	1,22000	5,69	3,79	2,84	2,28	1,90	1,63	1,42	1,26
140	14,40	81,9	56,0	1,04600	8,52	5,68	4,26	3,41	2,84	2,43	2,13	1,89
160	17,90	117,0	62,0	0,91600	12,17	8,11	6,08	4,87	4,06	3,48	3,04	2,70
180	21,90	161,0	68,4	0,81200	16,74	11,16	8,37	6,70	5,58	4,78	4,19	3,72
200	26,30	214,0	74,8	0,73200	22,26	14,84	11,13	8,90	7,42	6,36	5,56	4,95
220	31,10	278,0	80,8	0,66500	28,91	19,27	14,46	11,56	9,64	8,26	7,23	6,42
240	36,20	354,0	88,0	0,60900	36,82	24,54	18,41	14,73	12,27	10,52	9,20	8,18
260	41,90	442,0	92,8	0,56300	45,97	30,64	22,98	18,39	15,32	13,13	11,49	10,21
280	48,00	542,0	98,0	0,52300	55,63	37,58	28,18	22,55	18,79	16,10	14,09	12,53
300	54,20	653,0	102,4	0,48800	65,87	45,27	33,96	27,16	22,64	19,40	16,98	15,09
320	61,10	782,0	106,8	0,45700	77,19	54,22	40,66	32,53	27,11	23,24	20,33	18,07
340	68,10	923,0	112,0	0,43000	89,39	63,99	48,00	38,40	32,00	27,43	24,00	21,33
360	76,20	1 090,0	116,0	0,40700	103,35	75,57	56,68	45,34	37,79	32,39	28,34	25,19
380	84,00	1 260,0	120,8	0,38400	117,76	87,36	65,52	52,42	43,68	37,44	32,76	29,12
400	92,60	1 460,0	125,2	0,36600	133,22	101,23	75,92	60,74	50,61	43,38	37,96	33,74
450	115,00	2 040,0	137,2	0,32600	176,78	141,27	106,08	84,86	70,72	60,62	53,04	47,15
500	141,00	2 750,0	148,8	0,29300	227,29	184,63	143,00	114,40	95,33	81,71	71,50	63,56
550	167,00	3 610,0	160,8	0,26600	266,86	229,74	187,72	150,18	125,15	107,27	93,86	83,43
600	199,00	4 630,0	172,0	0,24400	330,18	291,94	240,76	192,61	160,51	137,58	120,38	107,00

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	1,82900	2,76	1,84	1,38	1,10	0,92	0,79	0,69	0,61
100	10,60	41,2	58,8	1,46300	4,28	2,86	2,14	1,71	1,43	1,22	1,07	0,95
120	13,40	60,7	63,6	1,22000	6,31	4,21	3,16	2,52	2,10	1,80	1,58	1,40
140	16,00	86,4	70,0	1,04500	8,99	5,99	4,49	3,59	2,99	2,57	2,25	2,00
160	18,80	116,0	75,6	0,91800	12,06	8,04	6,03	4,83	4,02	3,45	3,02	2,68
180	22,00	150,0	80,8	0,81300	15,60	10,40	7,80	6,24	5,20	4,46	3,90	3,47
200	25,30	191,0	85,6	0,73200	19,86	13,24	9,93	7,95	6,62	5,67	4,97	4,41
220	29,40	245,0	92,0	0,66600	25,48	16,99	12,74	10,19	8,49	7,28	6,37	5,66
240	33,20	300,0	96,8	0,61000	31,20	20,80	15,60	12,48	10,40	8,91	7,80	6,93
260	37,90	371,0	102,4	0,56300	38,58	25,72	19,29	15,43	12,86	11,02	9,65	8,57
280	41,80	448,0	109,6	0,52200	46,59	31,06	23,30	18,64	15,53	13,31	11,65	10,35
300	46,20	535,0	116,0	0,48800	55,64	37,09	27,82	22,26	18,55	15,90	13,91	12,36

5.6 1-A 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,41	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	80
0,71	0,65	0,59	0,55	0,51	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,36	0,32	0,30	100
1,14	1,03	0,95	0,88	0,81	0,76	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,52	0,47	120
1,70	1,55	1,42	1,31	1,22	1,14	1,06	1,00	0,95	0,90	0,85	0,77	0.71	140
2,43	2,21	2,03	1,87	1,74	1,62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,22	1,11	1,01	160
3,35	3,04	2,79	2,58	2,39	2,23	2,09	1,97	1,86	1,76	1,67	1,52	1,39	180
4,45	4,05	3,71	3,42	3,18	2,97	2,78	2,62	2,47	2,34	2,23	2,02	1,85	200
5,78	5,26	4,82	4,45	4,13	3,85	3,61	3.40	3,21	3.04	2,89	2,63	2,41	220
7,36	6,69	6,14	5,66	5,26	4,91	4,60	4,33	4,09	3,88	3,68	3,35	3,07	240
9,19	8,36	7,66	7.07	6,57	6,13	5,75	5,41	5,11	4,84	4,60	4,18	3,83	260
11,27	10,25	9,39	8,67	8,05	7,52	7,05	6,63	6,26	5,93	5,64	5,12	4,70	280
13,58	12,35	11,32	10,45	9,70	9.05	8,49	7,99	7,55	7,15	6,79	6,17	5,66	300
16,27	14,79	13,55	12,51	11,62	10,84	10.17	9,57	9,04	8,56	8.13	7,39	6,78	320
19,20	17,45	16,00	14.77	13,71	12,80	12,00	11,29	10.67	10,10	9,60	8,73	8,00	340
22,67	20,61	18,89	17,44	16,19	15,11	14,17	13,34	12,60	11,93	11,34	10,30	9,45	360
26,21	23,82	21,84	20,16	18,72	17,47	16,38	15,42	14,56	13,79	13,10	11,91	10,92	380
30,37	27,61	25,31	23,36	21,69	20,24	18,98	17,86	16,87	15,98	15,18	13,80	12,65	400
42,43	38,57	35,36	32,64	30,31	28,29	26,52	24,96	23,57	22,33	21,22	19,29	17,68	450
57,20	52,00	47,67	44,00	40,86	38,19	35,75	33,65	31,78	30.10	28,60	26,00	23,83	500
75,09	68,26	62,57	57,76	53,63	50,06	46,93	44,17	41,72	39,52	37,54	34,13	31.29	550
96,30	87,55	80,25	74,08	68,79	64,20	60,19	56,65	53,50	50,69	48,15	43,77	40.13	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,55	0,50	0,46	0,42	0,39	0,37	0,34	0,32	0,31	0,29	0,28	0,25	0,23	80
0,86	0,78	0,71	0,66	0,61	0,57	0.54	0,50	0,48	0,45	0,43	0,39	0,36	100
1,26	1,15	1.05	0,97	0,90	0,84	0.79	0,74	0,70	0,66	0,63	0,57	0,53	120
1,80	1,63	1,50	1,38	1,28	1.20	1,12	1,06	1,00	0.95	0.90	0,82	0,75	140
2,41	2,19	2,01	1,86	1,72	1,61	1.51	1,42	1,34	1,27	1,21	1,10	1,00	160
3,12	2,84	2,60	2,40	2,23	2,08	1,95	1,83	1,73	1,64	1,56	1,42	1,30	180
3.97	3,61	3,31	3.06	2,84	2,65	2,48	2,34	2,21	2,09	1,99	1,81	1,65	200
5,10	4,63	4,25	3,92	3,64	3.40	3,18	3.00	2,83	2,68	2,55	2,32	2,12	220
6.24	5,67	5,20	4.80	4,46	4,16	3,90	3,67	3,47	3,28	3,12	2,84	2,60	240
7.72	7.01	6,43	5,94	5,51	5,14	4.82	4,54	4,29	4.06	3,86	3,51	3,21	260
9,32	8.47	7,76	7,17	6,66	6,21	5,82	5,48	5,18	4,90	4,66	4.24	3,88	280
11,13	10,12	9.27	8,56	7,95	7,42	6,95	6,55	6,18	5,86	5,56	5,06	4,64	300

5.6 1-A 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

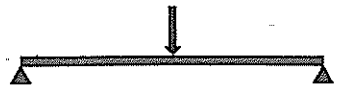
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	1,82700	2,08	1,39	1,04	0,83	0,69	0,59	0,52	0,46
100	8,10	34,2	49,6	1,46300	3,56	2,37	1,78	1,42	1,19	1,02	0,89	0,79
120	10,40	53,0	58,0	1,22000	5,51	3,67	2,76	2,20	1,84	1,57	1,38	1,22
140	12,90	77,3	66,0	1,04600	8,04	5,36	4,02	3,22	2,68	2,30	2,01	1,79
160	15,80	109,0	73,6	0,91800	11,34	7,56	5,67	4,53	3,78	3,24	2,83	2,52
180	18,80	146,0	82,0	0,80900	15,18	10,12	7,59	6,07	5,06	4,34	3,80	3,37
200	22,40	194,0	89,6	0,73200	20,18	13,45	10,09	8,07	6,72	5,76	5,04	4,48
220	26,20	252,0	99,2	0,66600	25,47	17,47	13,10	10,48	8,74	7,49	6,55	5,82
240	30,70	324,0	107,6	0,60900	31,47	22,46	16,85	13,48	11,23	9,63	8,42	7,49
270	36,10	429,0	120,8	0,54200	39,47	29,74	22,31	17,85	14,87	12,75	11,15	9,91
300	42,20	557,0	134,0	0,48800	49,07	38,62	28,96	23,17	19,31	16,55	14,48	12,87
330	49,10	713,0	142,0	0,44300	59,70	48,02	37,08	29,66	24,72	21,19	18,54	16,48
360	57,10	904,0	151,6	0,40700	71,85	58,66	47,01	37,61	31,34	26,86	23,50	20,89
400	66,30	1 160,0	158,0	0,36700	88,40	73,10	60,32	48,26	40,21	34,47	30,16	26,81
450	77,60	1 500,0	164,8	0,32500	111,47	92,55	77,26	62,40	52,00	44,57	39,00	34,67
500	90,70	1 930,0	172,4	0,29300	134,18	115,27	96,74	80,29	66,91	57,35	50,18	44,60
550	106,00	2 440,0	178,0	0,26600	160,92	143,13	120,92	101,50	84,59	72,50	63,44	56,39
600	122,00	3 070,0	186,4	0,24400	188,48	173,80	147,91	127,09	106,43	91,22	79,82	70,95

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,46300	9,36	6,24	4,68	3,74	3,12	2,67	2,34	2,08
120	26,70	144,0	122,4	1,22000	14,98	9,98	7,49	5,99	4,99	4,28	3,74	3,33
140	33,70	216,0	143,2	1,04700	21,39	14,98	11,23	8,99	7,49	6,42	5,62	4,99
160	42,60	311,0	162,0	0,91400	29,17	21,56	16,17	12,94	10,78	9,24	8,09	7,19
180	51,20	426,0	182,8	0,81400	36,48	29,54	22,15	17,72	14,77	12,66	11,08	9,84
200	61,30	570,0	202,8	0,73200	44,32	38,67	29,64	23,71	19,76	16,94	14,82	13,17
220	71,50	736,0	223,6	0,66600	52,54	46,41	38,27	30,62	25,51	21,87	19,14	17,01
240	83,20	938,0	243,2	0,61000	61,77	55,61	48,78	39,02	32,52	27,87	24,39	21,68
260	93,00	1 150,0	263,2	0,56400	68,51	62,78	56,74	47,84	39,87	34,17	29,90	26,58
280	103,00	1 380,0	283,6	0,52400	78,31	71,99	65,26	57,41	47,84	41,01	35,88	31,89
300	117,00	1 680,0	303,2	0,48800	88,92	82,70	75,85	69,11	58,24	49,92	43,68	38,83
320	127,00	1 930,0	302,8	0,45800	99,45	93,03	85,40	77,89	66,91	57,35	50,18	44,60
340	134,00	2 160,0	301,2	0,43100	110,06	103,33	94,73	86,29	74,88	64,18	56,16	49,92
360	142,00	2 400,0	299,6	0,40700	120,96	114,02	104,43	95,05	83,20	71,31	62,40	55,47
400	155,00	2 880,0	296,0	0,36500	144,31	136,81	124,78	113,15	99,84	85,58	74,88	66,56
450	171,00	3 550,0	293,2	0,32500	168,73	162,57	148,51	134,86	122,38	105,49	92,30	82,04
500	187,00	4 290,0	290,8	0,29300	193,59	189,62	173,63	158,00	143,63	127,47	111,54	99,15
550	199,00	4 970,0	286,8	0,26600	219,84	217,93	199,17	180,93	164,23	147,68	129,22	114,86
600	212,00	5 700,0	283,2	0,24400	247,95	247,95	226,91	205,75	186,49	169,37	148,20	131,73

5.6 1-A 2

piezas sometidas a flexión



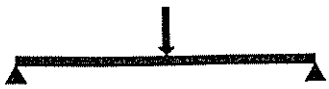
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	80
0,71	0,65	0.59	0,55	0,51	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,36	0,32	0,30	100
1,10	1.00	0,92	0,85	0,79	0.73	0,69	0,65	0,61	0.58	0.55	0,50	0.46	120
1,61	1,46	1,34	1,24	1,15	1,07	1,00	0,95	0.89	0,85	0,80	0.73	0,67	140
2,27	2,06	1.89	1.74	1,62	1,51	1,42	1,33	1.26	1,19	1,13	1.03	0,94	160
3,04	2,76	2,53	2,34	2,17	2,02	1,90	1,79	1,69	1,60	1,52	1.38	1,26	180
4,03	3,67	3,36	3,10	2,88	2.69	2,52	2,37	2,24	2,12	2,02	1,83	1.68	200
5,24	4,76	4,37	4,03	3,74	3,49	3,28	3,08	2,91	2.76	2,62	2,38	2.18	220
6,74	6.13	5,62	5.18	4.81	4,49	4,21	3.96	3,74	3,55	3,37	3.06	2,81	240
8,92	8,11	7,44	6,86	6,37	5,95	5,58	5,25	4,96	4,70	4,46	4,06	3,72	270
11,59	10,53	9,65	8,91	8.27	7,72	7,24	6,81	6,44	6,10	5,79	5,27	4,83	300
14,83	13,48	12,36	11.41	10,59	9,89	9,27	8,72	8,24	7,80	7,41	6,74	6,18	330
18,80	17,09	15,67	14,46	13,43	12,53	11,75	11,06	10,45	9,90	9,40	8,55	7,83	360
24,13	21,93	20,11	18,56	17,23	16.08	15,08	14,19	13,40	12,70	12,06	10,97	10,05	400
31,20	28,36	26,00	24.00	22,29	20,80	19,50	18,35	17,33	16,42	15,60	14,18	13,00	450
40,14	36,49	33,45	30,88	28,67	26.76	25,09	23,61	22,30	21.13	20,07	18,25	16,73	500
50,75	46,14	42,29	39,04	36,25	33,83	31,72	29,85	28,20	26,71	25,38	23,07	21,15	550
63,86	58,05	53,21	49,12	45,61	42,57	39,91	37,56	35,48	33,61	31,93	29,02	26,61	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,87	1,70	1,56	1.44	1,34	1,25	1,17	1.10	1,04	0,98	0,94	0,85	0,78	100
2,99	2,72	2.50	2,30	2,14	2,00	1,87	1,76	1,66	1,58	1,50	1,36	1,25	120
4,49	4.08	3,74	3,46	3,21	2,99	2,81	2,64	2.50	2,36	2,25	2.04	1,87	140
6,47	5.88	5,39	4.98	4,62	4.31	4,04	3.80	3,59	3,40	3,23	2,94	2,69	160
8,86	8,05	7,38	6,82	6.33	5,91	5,54	5,21	4,92	4,66	4,43	4,03	3,69	180
11.86	10,78	9.88	9,12	8,47	7.90	7,41	6,97	6.59	6,24	5,93	5,39	4,94	200
15,31	13,92	12,76	11.78	10,93	10.21	9,57	9.00	8,50	8.06	7.65	6,96	6.38	220
19.51	17,74	16.26	15,01	13,94	13,01	12,19	11,48	10,84	10,27	9,75	8,87	8,13	240
23,92	21.74	19.93	18,40	17,09	15.95	14.95	14,07	13.29	12,59	11,96	10,87	9.97	260
28,70	26,09	23,92	22,08	20,50	19.14	17,94	16.88	15,95	15,11	14.35	13,05	11.96	280
34,94	31,77	29.12	26,88	24.96	23,30	21,84	20,55	19,41	18,39	17,47	15,88	14,56	300
40.14	36,49	33,45	30.88	28.67	26.76	25,09	23,61	22.30	21,13	20,07	18,25	16,73	320
44.93	40,84	37,44	34.56	32,09	29.95	28,08	26,43	24,96	23,65	22.46	20,42	18.72	340
49,92	45,38	41,60	38.40	35.66	33,28	31,20	29,36	27,73	26,27	24,96	22,69	20,80	360
59,90	54,46	49,92	46.08	42,79	39.94	37,44	35,24	33.28	31,53	29,95	27,23	24.96	400
73,84	67,13	61,53	56,80	52,74	49,23	46,15	43.43	41,02	38,86	36,92	33,56	30,77	450
89.23	81.12	74,36	68,64	63.74	59,49	55,77	52,49	49,57	46,96	44,62	40,56	37,18	500
103,38	93,98	86,15	79.52	73.84	68,92	64,61	60,81	57,43	54,41	51,69	46,99	43,07	550
118,56	107,78	98,80	91,20	84,69	79.04	74,10	69,74	65,87	62,40	59,28	53,89	49.40	600

5.6 1-A 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

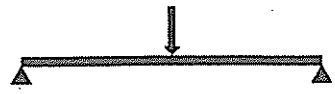
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	1,52600	7,57	5,05	3,79	3,03	2,52	2,16	1,89	1,68
120	19,90	106,0	120,8	1,28000	11,02	7,35	5,51	4,41	3,67	3,15	2,76	2,45
140	24,70	155,0	140,8	1,10100	15,61	10,75	8,06	6,45	5,37	4,61	4,03	3,58
160	30,40	220,0	159,2	0,96400	20,61	15,25	11,44	9,15	7,63	6,54	5,72	5,08
180	35,50	294,0	180,8	0,85700	24,55	20,38	15,29	12,23	10,19	8,74	7,64	6,79
200	42,30	389,0	199,2	0,77100	30,44	26,17	20,23	16,18	13,48	11,56	10,11	8,99
220	50,50	515,0	220,4	0,69700	37,25	32,46	26,78	21,42	17,85	15,30	13,39	11,90
240	60,30	675,0	240,0	0,63600	44,85	39,96	35,10	28,08	23,40	20,06	17,55	15,60
260	68,20	836,0	260,0	0,58500	49,92	45,45	40,82	34,78	28,98	24,84	21,74	19,32
280	76,40	1 010,0	280,0	0,54100	58,12	53,04	47,75	42,02	35,01	30,01	26,26	23,34
300	88,30	1 260,0	299,6	0,50500	67,08	62,05	56,60	51,32	43,68	37,44	32,76	29,12
320	97,60	1 480,0	299,6	0,47200	76,11	70,82	64,78	58,88	51,31	43,98	38,48	34,20
340	105,00	1 680,0	298,4	0,44400	85,38	79,75	72,86	66,16	58,24	49,92	43,68	38,83
360	112,00	1 890,0	297,2	0,41800	95,52	89,54	81,68	74,07	65,52	56,16	49,14	43,68
400	125,00	2 310,0	293,6	0,37500	116,28	109,60	99,53	89,92	80,08	68,64	60,06	53,39
450	140,00	2 900,0	291,6	0,33300	136,64	131,31	119,71	108,50	98,31	86,17	75,40	67,02
500	155,00	3 550,0	289,6	0,29900	159,05	155,49	142,14	129,15	117,25	105,49	92,30	82,04
550	166,00	4 150,0	286,0	0,27100	181,79	179,94	164,22	148,99	135,10	122,82	107,90	95,91
600	178,00	4 790,0	282,0	0,24800	205,63	205,63	187,93	170,31	154,29	140,16	124,54	110,70

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	1,22000	19,76	13,17	9,88	7,90	6,59	5,65	4,94	4,39
120	52,10	288,0	130,0	1,04300	29,95	19,97	14,98	11,98	9,98	8,56	7,49	6,66
140	63,20	411,0	150,8	0,91400	42,74	28,50	21,37	17,10	14,25	12,21	10,69	9,50
160	76,20	566,0	170,4	0,81200	56,23	39,24	29,43	23,55	19,62	16,83	14,72	13,08
180	88,90	748,0	190,8	0,73200	66,82	51,86	38,90	31,12	25,93	22,23	19,45	17,29
200	103,00	967,0	210,8	0,66500	78,81	67,04	50,28	40,23	33,52	28,73	25,14	22,35
220	117,00	1 220,0	231,6	0,61100	90,94	81,05	63,44	50,75	42,29	36,25	31,72	28,20
240	157,00	1 800,0	255,6	0,54200	120,81	110,64	93,60	74,88	62,40	53,49	46,80	41,60
260	172,00	2 160,0	276,0	0,50500	132,67	123,05	112,32	89,86	74,88	64,18	56,16	49,92
280	189,00	2 550,0	296,0	0,47200	147,79	137,51	126,17	106,08	88,40	75,77	66,30	58,93
300	238,00	3 480,0	320,0	0,43000	182,96	173,92	162,11	144,77	120,64	103,41	90,48	80,43
320	245,00	3 800,0	318,0	0,40800	193,48	184,80	172,28	158,08	131,73	112,91	98,80	87,82
340	248,00	4 050,0	316,0	0,38800	203,99	195,20	181,55	167,58	140,40	120,34	105,30	93,60
360	250,00	4 300,0	313,2	0,37100	214,89	205,95	191,04	175,90	149,07	127,77	111,80	99,38
400	256,00	4 820,0	308,0	0,33900	235,24	226,81	209,64	192,39	167,09	148,22	125,32	111,40
450	263,00	5 500,0	303,6	0,30600	261,53	254,38	234,26	214,27	190,67	163,43	143,00	127,11
500	270,00	6 180,0	298,4	0,27900	287,53	282,32	259,12	236,29	214,24	183,63	160,68	142,83
550	278,00	6 920,0	294,0	0,25600	314,44	312,26	285,89	260,11	236,42	205,62	179,92	159,93
600	285,00	7 660,0	288,8	0,23600	340,94	340,94	312,82	283,99	257,66	227,61	199,16	177,03

5.6 1-A 2

piezas sometidas a flexión



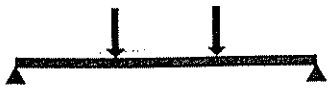
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,51	1,38	1,26	1.16	1.08	1.01	0,95	0.89	0,84	0,80	0,76	0,69	0,63	100
2,20	2,00	1.84	1.70	1,57	1,47	1,38	1.30	1,22	1.16	1,10	1,00	0.92	120
3,22	2.93	2.69	2.48	2,30	2,15	2,01	1,90	1,79	1,70	1,61	1.46	1,34	140
4,58	4,16	3,81	3,52	3.27	3.05	2.86	2,69	2,54	2,41	2,29	2,08	1,91	160
6,11	5,56	5,10	4,70	4,37	4,08	3.82	3,60	3,40	3,22	3,06	2,78	2,55	180
8,09	7.36	6,74	6,22	5,78	5,39	5,06	4.76	4,49	4,26	4.05	3.68	3.37	200
10,71	9,74	8.93	8,24	7,65	7,14	6,69	6,30	5,95	5.64	5.36	4,87	4,46	220
14,04	12,76	11,70	10,80	10,03	9,36	8,77	8,26	7,80	7,39	7,02	6,38	5,85	240
17,39	15.81	14,49	13.38	12.42	11.59	10,87	10,23	9,66	9,15	8,69	7,90	7.24	260
21,01	19,10	17.51	16.16	15,01	14.00	13,13	12,36	11,67	11,06	10.50	9,55	8.75	280
26,21	23.82	21,84	20,16	18,72	17,47	16,38	15,42	14,56	13,79	13,10	11,91	10,92	300
30,78	27.98	25,65	23.68	21.99	20.52	19.24	18,11	17.10	16,20	15,39	13,99	12,83	320
34,94	31,77	29.12	26,88	24,96	23,30	21,84	20,55	19.41	18.39	17,47	15,88	14,56	340
39,31	35.74	32,76	30,24	28,08	26,21	24,57	23,13	21,84	20,69	19,66	17,87	16,38	360
48.05	43,68	40.04	36,96	34.32	32,03	30.03	28,26	26,69	25,29	24,02	21.84	20,02	400
60,32	54,84	50,27	46,40	43,09	40,21	37,70	35.48	33.51	31,75	30,16	27.42	25,13	450
73.84	67.13	61,53	56,80	52,74	49,23	46,15	43,43	41,02	38.86	36,92	33,56	30,77	500
86,32	78,47	71,93	66.40	61,66	57,55	53,95	50,78	47.96	45,43	43,16	39,24	35,97	550
99,63	90.57	83.03	76.64	71,17	66,42	62.27	58,61	55.35	52.44	49,82	45,29	41,51	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,95	3,59	3,29	3.04	2,82	2,63	2,47	2,32	2,20	2.08	1,98	1,80	1,65	100
5.99	5,45	4,99	4,61	4.28	3,99	3,74	3,52	3,33	3,15	2,99	2.72	2.50	120
8,55	7.77	7.12	6.58	6,11	5,70	5,34	5,03	4,75	4.50	4,27	3.89	3,56	140
11,77	10.70	9.81	9,06	8.41	7,85	7,36	6.92	6.54	6.20	5.89	5,35	4,90	160
15.56	14,14	12,96	11,97	11.11	10,37	9.72	9,15	8,64	8,19	7,78	7,07	6.48	180
20,11	18,28	16.76	15,47	14,37	13,41	12,57	11,83	11,17	10.59	10.06	9,14	8.38	200
25,38	23,07	21,15	19.52	18,13	16,92	15.86	14,93	14.10	13,36	12,69	11,53	10.57	220
37.44	34,04	31.20	28,80	26.74	24.96	23,40	22,02	20,80	19,70	18,72	17,02	15.60	240
44.93	40,84	37.44	34.56	32,09	29,95	28,08	26.43	24,96	23.65	22,46	20.42	18,72	260
53.04	48,22	44.20	40,80	37,89	35,36	33.15	31,20	29,47	27.92	26,52	24,11	22,10	280
72.38	65.80	60.32	55.68	51.70	48.26	45,24	42.58	40,21	38,10	36,19	32,90	30.16	300
79,04	71.85	65.87	60.80	56,46	52,69	49.40	46,49	43 91	41,60	39.52	35.93	32,93	320
84,24	76,58	70,20	64,80	60,17	56,16	52,65	49 55	46,80	44,34	42.12	38,29	35.10	340
89,44	81.31	74,53	68,80	63,89	59.63	55.90	52,61	49,69	47,07	44,72	40,65	37,27	360
100.26	91.14	83.55	77.12	71,61	66,84	62,66	58,97	55,70	52,77	50.13	45,57	41.77	400
114,40	104,00	95,33	88,00	81,71	76,27	71,50	67,29	63.56	60.21	57.20	52,00	47,67	450
128.54	116.86	107.12	98.88	91.82	85,70	80,34	75,61	71,41	67,65	64.27	58,43	53,56	500
143,94	130.85	119.95	110.72	102.81	95,96	89,96	84,67	79.96	75.76	71,97	65.42	59,97	550
159.33	144,84	132,77	122,56	113,81	106,22	99.58	93.72	88.52	83,86	79.66	72.42	66,39	600

5.6 1-A 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

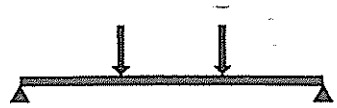
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,33700	1,52	1,01	0,76	0,61	0,51	0,43	0,38	0,34
100	8,32	34,2	42,8	1,87000	2,67	1,78	1,33	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59
120	11,10	54,7	49,2	1,55900	4,27	2,84	2,13	1,71	1,42	1,22	1,07	0,95
140	14,40	81,9	56,0	1,33600	6,39	4,26	3,19	2,55	2,13	1,82	1,60	1,42
160	17,90	117,0	62,0	1,17000	9,13	6,08	4,56	3,65	3,04	2,61	2,28	2,03
180	21,90	161,0	68,4	1,03800	12,40	8,37	6,28	5,02	4,19	3,59	3,14	2,79
200	26,30	214,0	74,8	0,93500	15,74	11,13	8,35	6,68	5,56	4,77	4,17	3,71
220	31,10	278,0	80,8	0,84900	19,67	14,46	10,84	8,67	7,23	6,19	5,42	4,82
240	36,20	354,0	88,0	0,77900	24,03	18,41	13,81	11,04	9,20	7,89	6,90	6,14
260	41,90	442,0	92,8	0,72000	29,02	22,98	17,24	13,79	11,49	9,85	8,62	7,66
280	48,00	542,0	98,0	0,66800	34,48	27,82	21,14	16,91	14,09	12,08	10,57	9,39
300	54,20	653,0	102,4	0,62300	40,45	32,94	25,47	20,37	16,98	14,55	12,73	11,32
320	61,10	782,0	106,8	0,58400	46,91	38,60	30,50	24,40	20,33	17,43	15,25	13,55
340	68,10	923,0	112,0	0,55000	53,24	44,69	36,00	28,80	24,00	20,57	18,00	16,00
360	76,20	1 090,0	116,0	0,52000	59,89	51,67	42,51	34,01	28,34	24,29	21,25	18,89
380	84,00	1 260,0	120,8	0,49100	66,64	58,88	49,14	39,31	32,76	28,08	24,57	21,84
400	92,60	1 460,0	125,2	0,46700	73,68	66,61	56,49	45,55	37,96	32,54	28,47	25,31
450	115,00	2 040,0	137,2	0,41600	92,91	88,39	76,01	63,65	53,04	45,46	39,78	35,36
500	141,00	2 750,0	148,8	0,37400	114,65	113 64	98,88	85,80	71,50	61,29	53,63	47,67
550	167,00	3 610,0	160,8	0,34000	133,43	133,43	122,13	108,10	93,86	80,45	70,39	62,57
600	199,00	4 630,0	172,0	0,31100	165,09	165,09	155,01	137,53	120,38	103,18	90,28	80,25

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,33700	2,07	1,38	1,03	0,83	0,69	0,59	0,52	0,46
100	10,60	41,2	58,8	1,87000	3,21	2,14	1,61	1,28	1,07	0,92	0,80	0,71
120	13,40	60,7	63,6	1,55900	4,73	3,16	2,37	1,89	1,58	1,35	1,18	1,05
140	16,00	86,4	70,0	1,33500	6,74	4,49	3,37	2,70	2,25	1,92	1,68	1,50
160	18,80	116,0	75,6	1,17300	9,05	6,03	4,52	3,62	3,02	2,58	2,26	2,01
180	22,00	150,0	80,8	1,03900	11,70	7,80	5,85	4,68	3,90	3,34	2,92	2,60
200	25,30	191,0	85,6	0,93500	14,90	9,93	7,45	5,96	4,97	4,26	3,72	3,31
220	29,40	245,0	92,0	0,85200	19,11	12,74	9,55	7,64	6,37	5,46	4,78	4,25
240	33,20	300,0	96,8	0,77900	23,40	15,60	11,70	9,36	7,80	6,69	5,85	5,20
260	37,90	371,0	102,4	0,72000	28,10	19,29	14,47	11,57	9,65	8,27	7,23	6,43
280	41,80	448,0	109,6	0,66700	32,08	23,30	17,47	13,98	11,65	9,98	8,74	7,76
300	46,20	535,0	116,0	0,62300	36,07	27,82	20,86	16,69	13,91	11,92	10,43	9,27

5.6 1-A 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,30	0.28	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	80
0,53	0.48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0,30	0.28	0,27	0,24	0,22	100
0,85	0,78	0,71	0,66	0.61	0.57	0,53	0,50	0.47	0,45	0,43	0,39	0,36	120
1,28	1.16	1.06	0,98	0,91	0,85	0,80	0,75	0.71	0,67	0,64	0,58	0,53	140
1,82	1,66	1,52	1,40	1,30	1,22	1,14	1,07	1,01	0,96	0,91	0,83	0,76	160
2,51	2.28	2,09	1,93	1,79	1,67	1.57	1.48	1,39	1,32	1,26	1,14	1,05	180
3,34	3,03	2,78	2,57	2,38	2,23	2,09	1,96	1.85	1,76	1,67	1.52	1,39	200
4.34	3,94	3.61	3.34	3,10	2.89	2,71	2,55	2,41	2,28	2,17	1,97	1,81	220
5,52	5,02	4,60	4,25	3,94	3,68	3.45	3.25	3,07	2,91	2,76	2,51	2,30	240
6,89	6,27	5.75	5,30	4,92	4,60	4,31	4,06	3.83	3,63	3,45	3.13	2,87	260
8,45	7,69	7,05	6,50	6,04	5,64	5,28	4,97	4,70	4,45	4,23	3,84	3,52	280
10,19	9,26	8.49	7,84	7,28	6,79	6,37	5,99	5,66	5,36	5,09	4,63	4,24	300
12,20	11,09	10,17	9,38	8,71	8,13	7,62	7,18	6,78	6,42	6,10	5.54	5,08	320
14,40	13,09	12,00	11,08	10.28	9,60	9.00	8.47	8,00	7,58	7,20	6,54	6,00	340
17,00	15,46	14,17	13,08	12.15	11,34	10,63	10,00	9.45	8.95	8.50	7.73	7,08	360
19,66	17,87	16,38	15,12	14,04	13,10	12,28	11,56	10,92	10,34	9,83	8,93	8,19	380
22.78	20,70	18,98	17,52	16,27	15,18	14,23	13,40	12.65	11,99	11,39	10.35	9.49	400
31,82	28,93	26,52	24.48	22,73	21,22	19,89	18,72	17,68	16,75	15,91	14,46	13,26	450
42,90	39.00	35,75	33.00	30,64	28,60	26.81	25.23	23.83	22,58	21,45	19.50	17,88	500
56,32	51,20	46.93	43.32	40.23	37,54	35,20	33,13	31,29	29,64	28,16	25,60	23,46	550
72,23	65,66	60,19	55.56	51,59	48.15	45,14	42,49	40,13	38,01	36,11	32,83	30,09	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,41	0,38	0,34	0,32	0,29	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	80
0,64	0.58	0,54	0,49	0,46	0,43	0,40	0.38	0,36	0.34	0,32	0,29	0.27	100
0,95	0,86	0.79	0,73	0,68	0.63	0.59	0.56	0.53	0,50	0.47	0.43	0,39	120
1,35	1.22	1,12	1,04	0,96	0,90	0,84	0,79	0,75	0,71	0,67	0.61	0,56	140
1,81	1,64	1,51	1.39	1,29	1,21	1,13	1.06	1.00	0,95	0,90	0.82	0,75	160
2,34	2.13	1,95	1,80	1,67	1,56	1,46	1,38	1.30	1,23	1,17	1,06	0,97	180
2,98	2.71	2.48	2,29	2,13	1,99	1.86	1.75	1,65	1.57	1,49	1.35	1.24	200
3,82	3,47	3,18	2,94	2.73	2.55	2,39	2,25	2,12	2,01	1,91	1,74	1,59	220
4.68	4.25	3,90	3.60	3,34	3,12	2,92	2.75	2,60	2,46	2,34	2.13	1,95	240
5,79	5,26	4.82	4,45	4,13	3.86	3,62	3.40	3,21	3,05	2.89	2.63	2.41	260
6,99	6.35	5,82	5,38	4.99	4,66	4,37	4,11	3,88	3,68	3,49	3,18	2,91	280
8,35	7.59	6,95	6,42	5,96	5,56	5,22	4,91	4,64	4,39	4,17	3,79	3,48	300

5.6 1-A 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

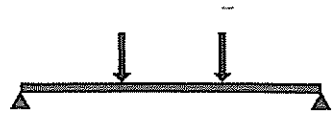
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
80	6,00	20,0	42,0	2,33500	1,56	1,04	0,78	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35	0,
100	8,10	34,2	49,6	1,87000	2,67	1,78	1,33	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59	0,
120	10,40	53,0	58,0	1,55800	4,13	2,76	2,07	1,65	1,38	1,18	1,03	0,92	0,
140	12,90	77,3	66,0	1,33600	6,03	4,02	3,01	2,41	2,01	1,72	1,51	1,34	1,
160	15,80	109,0	73,6	1,17300	8,14	5,67	4,25	3,40	2,83	2,43	2,13	1,89	1,
180	18,80	146,0	82,0	1,03400	10,34	7,59	5,69	4,55	3,80	3,25	2,85	2,53	2,
200	22,40	194,0	89,6	0,93500	12,87	10,09	7,57	6,05	5,04	4,32	3,78	3,36	3,
220	26,20	252,0	99,2	0,85100	15,68	12,74	9,83	7,86	6,55	5,62	4,91	4,37	3,
240	30,70	324,0	107,6	0,77900	18,85	15,73	12,64	10,11	8,42	7,22	6,32	5,62	5,
270	36,10	429,0	120,8	0,69300	23,36	19,73	16,67	13,38	11,15	9,56	8,36	7,44	6,
300	42,20	557,0	134,0	0,62300	28,38	24,53	20,88	17,38	14,48	12,41	10,86	9,65	8,
330	49,10	713,0	142,0	0,56600	32,96	29,85	25,79	22,25	18,54	15,89	13,90	12,36	11,
360	57,10	904,0	151,6	0,52000	38,31	35,92	31,37	27,46	23,50	20,15	17,63	15,67	14,
400	66,30	1 160,0	158,0	0,46900	45,66	44,20	38,95	34,33	30,16	25,85	22,62	20,11	18,
450	77,60	1 500,0	164,8	0,41600	55,94	55,73	49,26	43,51	38,63	33,43	29,25	26,00	23,
500	90,70	1 930,0	172,4	0,37400	67,09	67,09	61,21	54,30	48,37	43,01	37,63	33,45	30,
550	106,00	2 440,0	178,0	0,34000	80,46	80,46	75,79	67,59	60,46	54,38	47,58	42,29	38,
600	122,00	3 070,0	186,4	0,31200	94,24	94,24	91,74	82,30	73,96	66,75	59,86	53,21	47,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
100	20,40	90,0	101,2	1,87000	6,83	4,68	3,51	2,81	2,34	2,01	1,75	1,56	1,4
120	26,70	144,0	122,4	1,55800	9,28	7,49	5,62	4,49	3,74	3,21	2,81	2,50	2,2
140	33,70	216,0	143,2	1,33700	12,10	10,70	8,42	6,74	5,62	4,81	4,21	3,74	3,3
160	42,60	311,0	162,0	1,16800	16,21	14,58	12,13	9,70	8,09	6,93	6,06	5,39	4,8
180	51,20	426,0	182,8	1,04000	20,06	18,24	16,36	13,29	11,08	9,49	8,31	7,38	6,6
200	61,30	570,0	202,8	0,93500	23,88	22,16	20,27	17,78	14,82	12,70	11,11	9,88	8,8
220	71,50	736,0	223,6	0,85100	27,87	26,27	24,23	22,20	19,14	16,40	14,35	12,76	11,4
240	83,20	938,0	243,2	0,77900	32,07	30,89	28,86	26,76	24,39	20,90	18,29	16,26	14,6
260	93,00	1 150,0	263,2	0,72100	34,94	34,25	32,39	30,38	28,37	25,63	22,42	19,93	17,9
280	103,00	1 380,0	283,6	0,67000	39,60	39,15	37,10	34,87	32,63	30,47	26,91	23,92	21,5
300	117,00	1 680,0	303,2	0,62400	44,50	44,46	42,45	40,22	37,92	35,66	32,76	29,12	26,2
320	127,00	1 930,0	302,8	0,58600	49,72	49,72	47,73	45,26	42,70	40,17	37,63	33,45	30,1
340	134,00	2 160,0	301,2	0,55100	55,03	55,03	53,04	50,24	47,36	44,52	41,81	37,44	33,7
360	142,00	2 400,0	299,6	0,52000	60,48	60,48	58,55	55,43	52,22	49,06	46,04	41,60	37,4
400	155,00	2 880,0	296,0	0,46700	72,15	72,15	70,35	66,41	62,39	58,47	54,74	49,92	44,9
450	171,00	3 550,0	293,2	0,41500	84,36	84,36	83,55	78,96	74,26	69,65	65,28	61,19	55,3
500	187,00	4 290,0	290,8	0,37400	96,80	96,80	96,80	92,17	86,82	81,55	76,52	71,82	66,9
550	199,00	4 970,0	286,8	0,34000	109,92	109,92	109,92	105,86	99,58	93,43	87,58	82,12	77,0
600	212,00	5 700,0	283,2	0,31200	123,98	123,98	123,98	120,76	113,45	106,31	99,55	93,24	87,4

5.6 1-A 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,31	0,28	0,26	0.24	0.22	0,21	0,19	0,18	0,17	0'16	0,16	0,14	0,13	80
0,53	0,48	0,44	0.41	0,38	0,36	0,33	0.31	0,30	0.28	0,27	0,24	0,22	100
0,83	0.75	0,69	0,64	0.59	0.55	0,52	0,49	0.46	0.43	0.41	0.38	0,34	120
1,21	1.10	1,00	0,93	0.86	0.80	0.75	0.71	0.67	0.63	0.60	0,55	0,50	140
1,70	1,55	1,42	1.31	1,21	1,13	1,06	1,00	0,94	0,89	0,85	0,77	0,71	160
2,28	2,07	1.90	1.75	1,63	1,52	1,42	1,34	1,26	1,20	1,14	1,03	0,95	180
3,03	2,75	2,52	2,33	2.16	2,02	1.89	1.78	1.68	1.59	1.51	1,38	1,26	200
3,93	3,57	3.28	3,02	2.81	2.62	2.46	2.31	2.18	2.07	1,97	1,79	1,64	220
5,05	4.59	4.21	3.89	3,61	3.37	3,16	2,97	2,81	2,66	2,53	2.30	2,11	240
6,69	6,08	5.58	5,15	4,78	4,46	4,18	3,94	3,72	3,52	3.35	3.04	2,79	270
8,69	7,90	7,24	6,68	6.21	5,79	5.43	5,11	4,83	4.57	4.34	3,95	3,62	300
11,12	10,11	9.27	8,56	7,94	7.41	6,95	6.54	6,18	5,85	5,56	5,06	4,63	330
14,10	12.82	11.75	10,85	10.07	9,40	8,81	8,30	7,83	7,42	7,05	6,41	5,88	360
18,10	16,45	15.08	13,92	12,93	12,06	11,31	10,64	10.05	9.52	9.05	8,22	7.54	400
23,40	21,27	19,50	18,00	16,71	15,60	14.63	13.76	13.00	12,32	11,70	10,64	9,75	450
30,11	27,37	25.09	23.16	21,51	20.07	18,82	17,71	16,73	15.85	15,05	13,68	12,54	500
38,06	34,60	31.72	29,28	27,19	25,38	23,79	22,39	21,15	20,03	19.03	17,30	15,86	550
47,89	43,54	39,91	36,84	34.21	31,93	29,93	28.17	26,61	25,21	23,95	21.77	19.95	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10.0	11,0	12,0	
1,40	1,28	1,17	1,08	1.00	0,94	0,88	0,83	0.78	0,74	0.70	0,64	0.58	100
2.25	2.04	1,87	1.73	1.60	1,50	1.40	1,32	1.25	1.18	1,12	1,02	0.94	120
3,37	3,06	2,81	2,59	2,41	2,25	2.11	1,98	1,87	1.77	1,68	1,53	1,40	140
4.85	4.41	4,04	3.73	3.46	3,23	3,03	2,85	2.69	2,55	2.43	2,20	2.02	160
6.65	6.04	5.54	5,11	4.75	4,43	4,15	3,91	3.69	3,50	3,32	3,02	2.77	180
8,89	8,08	7.41	6,84	6,35	5,93	5,56	5,23	4,94	4.68	4,45	4.04	3,70	200
11,48	10,44	9,57	8.83	8,20	7.65	7.18	6,75	6.38	6,04	5.74	5,22	4,78	220
14,63	13.30	12,19	11,26	10.45	9,75	9,14	8,61	8.13	7,70	7.32	6,65	6,10	240
17.94	16,31	14.95	13,80	12.81	11.96	11,21	10,55	9,97	9,44	8,97	8,15	7,47	260
21,53	19,57	17,94	16,56	15,38	14,35	13,45	12.66	11,96	11,33	10.76	9.78	8,97	280
26,21	23,82	21.84	20,16	18,72	17,47	16,38	15,42	14.56	13,79	13,10	11,91	10,92	300
30.11	27,37	25,09	23,16	21,51	20,07	18,82	17,71	16,73	15,85	15.05	13,68	12.54	320
33.70	30,63	28,08	25,92	24.07	22,46	21,06	19.82	18,72	17,73	16,85	15.32	14,04	340
37,44	34.04	31,20	28.80	26,74	24,96	23.40	22,02	20,80	19,70	18,72	17.02	15,60	360
44,93	40,84	37,44	34,56	32,09	29,95	28,08	26.43	24,96	23,65	22.46	20,42	18,72	400
55,38	50,34	46,15	42,60	39.56	36,92	34,61	32.58	30,77	29,15	27.69	25.17	23,07	450
66,92	60,84	55,77	51.48	47,80	44,62	41.83	39,37	37.18	35,22	33,46	30,42	27,88	500
77,07	70,48	64.61	59,64	55,38	51.69	48,46	45,61	43,07	40,81	38,77	35,24	32,30	550
87,45	80,84	74,10	68,40	63,51	59,28	55,57	52.31	49.40	46,80	44,46	40,42	37.05	600

5.6 1-A 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
100	16,70	72,8	100,4	1,95000	5,47	3,79	2,84	2,27	1,89	1,62	1,42	1,26	1
120	19,90	106,0	120,8	1,63500	6,83	5,51	4,13	3,31	2,76	2,36	2,07	1,84	1
140	24,70	155,0	140,8	1,40700	9,01	7,80	6,04	4,84	4,03	3,45	3,02	2,69	2
160	30,40	220,0	159,2	1,23200	11,60	10,30	8,58	6,96	5,72	4,90	4,29	3,81	3
180	35,50	294,0	180,8	1,09500	13,58	12,28	10,95	9,17	7,64	6,55	5,73	5,10	4
200	42,30	389,0	199,2	0,98600	16,57	15,22	13,78	12,14	10,11	8,67	7,58	6,74	6
220	50,50	515,0	220,4	0,89000	20,02	18,62	17,02	15,47	13,39	11,48	10,04	8,93	8
240	60,30	675,0	240,0	0,81300	23,48	22,42	20,81	19,16	17,55	15,04	13,16	11,70	10
260	68,20	836,0	260,0	0,74800	25,58	24,96	23,50	21,94	20,41	18,63	16,30	14,49	13
280	76,40	1 010,0	280,0	0,69100	29,52	29,06	27,40	25,63	23,88	22,20	19,69	17,51	15
300	88,30	1 260,0	299,6	0,64500	33,67	33,54	31,91	30,12	28,30	26,52	24,57	21,84	19
320	97,60	1 480,0	299,6	0,60300	38,06	38,06	36,38	34,41	32,39	30,40	28,51	25,65	23
340	105,00	1 680,0	298,4	0,56700	42,69	42,69	40,99	38,73	36,43	34,17	32,02	29,12	26
360	112,00	1 890,0	297,2	0,53400	47,76	47,76	46,04	43,47	40,84	38,27	35,84	32,76	29
400	125,00	2 310,0	293,6	0,47900	58,14	58,14	56,44	53,12	49,77	46,52	43,46	40,04	36,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,42600	68,32	68,32	67,53	63,73	59,85	56,07	52,49	49,15	45,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,38200	79,52	79,52	79,52	75,54	71,07	66,69	62,52	58,63	55,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,34700	90,89	90,89	90,89	87,37	82,11	76,97	72,09	67,55	63,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,31700	102,81	102,81	102,81	100,07	93,97	88,02	82,39	77,15	72,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	41,80	190,0	109,6	1,55800	14,82	9,88	7,41	5,93	4,94	4,23	3,70	3,29	2
120	52,10	288,0	130,0	1,33300	20,08	14,98	11,23	8,99	7,49	6,42	5,62	4,99	4,
140	63,20	411,0	150,8	1,16800	24,68	21,37	16,03	12,82	10,69	9,16	8,01	7,12	6,
160	76,20	566,0	170,4	1,03800	30,84	22,11	22,07	17,66	14,72	12,61	11,04	9,81	8,
180	88,90	748,0	190,8	0,93500	36,29	33,41	29,17	23,34	19,45	16,67	14,59	12,96	11,
200	103,00	967,0	210,8	0,85000	42,16	39,40	36,32	30,17	25,14	21,55	18,86	16,76	15,
220	117,00	1 220,0	231,6	0,78100	47,84	45,47	42,20	38,06	31,72	27,19	23,79	21,15	19,
240	157,00	1 800,0	255,6	0,69300	61,92	60,41	57,09	53,53	46,80	40,11	35,10	31,20	28,
260	172,00	2 160,0	276,0	0,64500	67,14	66,34	63,22	59,79	56,16	48,14	42,12	37,44	33,
280	189,00	2 550,0	296,0	0,60300	74,21	73,89	70,57	66,89	63,09	56,83	49,72	44,20	39,
300	238,00	3 480,0	320,0	0,55000	91,48	91,48	88,79	85,04	81,05	76,99	67,86	60,32	54,
320	245,00	3 800,0	318,0	0,52100	96,74	96,74	94,34	90,37	86,14	81,83	74,10	65,87	59,
340	248,00	4 050,0	316,0	0,49600	102,00	102,00	99,72	95,38	90,77	86,10	78,97	70,20	63,
360	250,00	4 300,0	313,2	0,47400	107,44	107,44	105,31	100,55	95,52	90,45	83,85	74,53	67,
400	256,00	4 820,0	308,0	0,43300	117,62	117,62	116,11	110,60	104,82	99,03	93,42	83,55	75,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,39100	130,77	130,77	130,38	123,89	117,13	110,41	103,93	95,33	85,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,35700	143,76	143,76	143,76	137,34	129,56	121,88	114,51	107,12	96,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,32700	157,22	157,22	157,22	151,77	142,94	134,26	125,97	118,21	107,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,30200	170,47	170,47	170,47	166,34	156,41	146,69	137,45	128,83	119,

5.6 1-A 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,14	1,03	0,95	0.87	0,81	0.76	0.71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,52	0,47	100
1,65	1,50	1,38	1,27	1,18	1,10	1.03	0,97	0.92	0.87	0.83	0.75	0,69	120
2,42	2,20	2,01	1,86	1,73	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1.21	1.10	1,01	140
3,43	3,12	2,86	2,64	2,45	2,29	2,14	2.02	1,91	1,81	1,72	1,56	1,43	160
4,59	4,17	3.82	3,53	3,28	3,06	2,87	2,70	2,55	2,41	2,29	2,08	1.91	180
6,07	5,52	5,06	4,67	4.33	4,05	3.79	3,57	3,37	3,19	3.03	2,76	2,53	200
8,03	7,30	6,69	6,18	5,74	5,36	5,02	4.73	4,46	4,23	4,02	3,65	3,35	220
10,53	9.57	8.77	8.10	7,52	7.02	6,58	6,19	5.85	5,54	5.26	4,79	4,39	240
13,04	11,86	10,87	10,03	9,31	8,69	8,15	7,67	7.24	6.86	6,52	5,93	5,43	260
15,76	14.32	13,13	12,12	11,25	10,50	9,85	9,27	8,75	8.29	7,88	7,16	6,56	280
19,66	17,87	16,38	15.12	14,04	13.10	12,28	11.56	10.92	10,34	9,83	8,93	8.19	300
23,09	20,99	19,24	17,76	16,49	15,39	14,43	13,58	12,83	12.15	11,54	10,49	9,62	320
26,21	23.82	21,84	20,16	18,72	17,47	16.38	15,42	14,56	13,79	13,10	11,91	10,92	340
29,48	26,80	24,57	22,68	21,06	19,66	18,43	17,34	16,38	15,52	14,74	13,40	12,28	360
36,04	32,76	30,03	27,72	25,74	24.02	22,52	21,20	20.02	18,97	18,02	16,38	15,01	400
45,24	41.13	37.70	34,80	32,31	30,16	28,27	26,61	25.13	23,81	22,62	20,56	18,85	450
55,03	50,34	46,15	42.60	39.56	36,92	34,61	32.58	30.77	29,15	27,69	25,17	23.07	500
63,37	58,85	53,95	49,80	46,24	43,16	40,46	38,08	35,97	34,07	32,37	29,43	26,97	550
72,33	67.93	62,27	57.48	53,37	49,82	46.70	43,95	41,51	39,33	37.36	33,96	31,13	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2,96	2.69	2.47	2,28	2,12	1,98	1.85	1,74	1,65	1,56	1.48	1,35	1,23	100
4,49	4.08	3,74	3,46	3,21	2.99	2,81	2,64	2,50	2,36	2.25	2.04	1.87	120
6,41	5,83	5,34	4,93	4.58	4,27	4,01	3,77	3,56	3.38	3,21	2,91	2,67	140
8,83	8.03	7,36	6,79	6,31	5,89	5.52	5,19	4.90	4.65	4,41	4.01	3.68	160
11,67	10,61	9,72	8,98	8,33	7,78	7,29	6,86	6,48	6,14	5,83	5,30	4.86	180
15,08	13,71	12,57	11,60	10.77	10,06	9,43	8,87	8,38	7,94	7,54	6,86	6.28	200
19.03	17.30	15,86	14,64	13.59	12.69	11,89	11,19	10,57	10,02	9.52	8.65	7.93	220
28.08	25,53	23,40	21,60	20.06	18.72	17,55	16,52	15,60	14,78	14,04	12,76	11,70	240
33,70	30.63	28,08	25,92	24,07	22,46	21,06	19.82	18.72	17,73	16,85	15,32	14,04	260
39.78	36,16	33,15	30,60	28,41	26,52	24,86	23,40	22.10	20,94	19,89	18.08	16,57	280
54,29	49,35	45,24	41,76	38,78	36.19	33,93	31.93	30,16	28.57	27,14	24,68	22,62	300
59.28	53,89	49,40	45,60	42,34	39,52	37,05	34,87	32.93	31.20	29.64	26,94	24,70	320
63,18	57.44	52,65	48,60	45,13	42,12	39,49	37,16	35.10	33,25	31,59	28.72	26.32	340
67,08	60,98	55.90	51,60	47,91	44,72	41,92	39,46	37,27	35,30	33,54	30,49	27,95	360
75.19	68,36	62,66	57,84	53,71	50,13	46,99	44,23	41,77	39.57	37,60	34,18	31,33	400
85,80	78,00	71,50	66,00	61,29	57,20	53,63	50,47	47.67	45.16	42,90	39,00	35,75	450
96,41	87,64	80.34	74,16	68.86	64,27	60,25	56,71	53,56	50,74	48.20	43,82	40,17	500
107,95	98.14	89.96	83,04	77,11	71.97	67.47	63.50	59,97	56,82	53,98	49,07	44,98	550
119,50	108,63	99,58	91,92	85,35	79,66	74,68	70,29	66,39	62.89	59,75	54,32	49.79	600

5.6 1-A 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

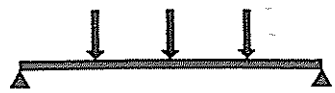
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,17200	1,01	0,68	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22
100	8,32	34,2	42,8	1,73800	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,44	0,39
120	11,10	54,7	49,2	1,44900	2,84	1,90	1,42	1,14	0,95	0,81	0,71	0,63
140	14,40	81,9	56,0	1,24200	4,26	2,84	2,13	1,70	1,42	1,22	1,06	0,95
160	17,90	117,0	62,0	1,08700	6,08	4,06	3,04	2,43	2,03	1,74	1,52	1,35
180	21,90	161,0	68,4	0,96500	8,37	5,58	4,19	3,35	2,79	2,39	2,09	1,86
200	26,30	214,0	74,8	0,86900	11,13	7,42	5,56	4,45	3,71	3,18	2,78	2,47
220	31,10	278,0	80,8	0,78900	14,46	9,64	7,23	5,78	4,82	4,13	3,61	3,21
240	36,20	354,0	88,0	0,72400	18,04	12,27	9,20	7,36	6,14	5,26	4,60	4,09
260	41,90	442,0	92,8	0,66900	21,61	15,32	11,49	9,19	7,66	6,57	5,75	5,11
280	48,00	542,0	98,0	0,62100	25,51	18,79	14,09	11,27	9,39	8,05	7,05	6,26
300	54,20	653,0	102,4	0,57900	29,74	22,64	16,98	13,58	11,32	9,70	8,49	7,55
320	61,10	782,0	106,8	0,54300	34,26	27,11	20,33	16,27	13,55	11,62	10,17	9,04
340	68,10	923,0	112,0	0,51100	39,19	32,00	24,00	19,20	16,00	13,71	12,00	10,67
360	76,20	1 090,0	116,0	0,48300	44,66	37,79	28,34	22,67	18,89	16,19	14,17	12,60
380	84,00	1 260,0	120,8	0,45600	50,28	43,68	32,76	26,21	21,84	18,72	16,38	14,56
400	92,60	1 460,0	125,2	0,43400	56,22	50,26	37,96	30,37	25,31	21,69	18,98	16,87
450	115,00	2 040,0	137,2	0,38700	72,51	65,80	53,04	42,43	35,36	30,31	26,52	23,57
500	141,00	2 750,0	148,8	0,34800	91,16	83,69	71,50	57,20	47,67	40,86	35,75	31,78
550	167,00	3 610,0	160,8	0,31600	107,12	99,91	91,90	75,09	62,57	53,63	46,93	41,72
600	199,00	4 630,0	172,0	0,28900	134,91	126,13	116,30	96,30	80,25	68,79	60,19	53,50

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,17200	1,38	0,92	0,69	0,55	0,46	0,39	0,34	0,31
100	10,60	41,2	58,8	1,73800	2,14	1,43	1,07	0,86	0,71	0,61	0,54	0,48
120	13,40	60,7	63,6	1,44900	3,16	2,10	1,58	1,26	1,05	0,90	0,79	0,70
140	16,00	86,4	70,0	1,24100	4,49	2,99	2,25	1,80	1,50	1,28	1,12	1,00
160	18,80	116,0	75,6	1,09000	6,03	4,02	3,02	2,41	2,01	1,72	1,51	1,34
180	22,00	150,0	80,8	0,96500	7,80	5,20	3,90	3,12	2,60	2,23	1,95	1,73
200	25,30	191,0	85,6	0,86900	9,93	6,62	4,97	3,97	3,31	2,84	2,48	2,21
220	29,40	245,0	92,0	0,79100	12,74	8,49	6,37	5,10	4,25	3,64	3,18	2,83
240	33,20	300,0	96,8	0,72400	15,60	10,40	7,80	6,24	5,20	4,46	3,90	3,47
260	37,90	371,0	102,4	0,66900	19,29	12,86	9,65	7,72	6,43	5,51	4,82	4,29
280	41,80	448,0	109,6	0,62000	23,30	15,53	11,65	9,32	7,76	6,66	5,82	5,18
300	46,20	535,0	116,0	0,57900	26,80	18,55	13,91	11,13	9,27	7,95	6,95	6,18

5.6 1-A 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,20	0,18	0,17	0,16	0.14	0,13	0,13	0,12	0.11	0,11	0,10	0,09	0.08	80
0,36	0,32	0.30	0,27	0,25	0,24	0.22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	100
0,57	0,52	0,47	0.44	0.41	0,38	0.36	0,33	0,32	0.30	0,28	0,26	0,24	120
0,85	0,77	0,71	0.65	0,61	0,57	0,53	0.50	0,47	0,45	0,43	0,39	0,35	140
1,22	1,11	1.01	0,94	0,87	0.81	0,76	0,72	0,68	0,64	0.61	0,55	0,51	160
1,67	1,52	1,39	1,29	1,20	1.12	1.05	0,98	0,93	0,88	0,84	0,76	0,70	180
2,23	2,02	1.85	1.71	1,59	1.48	1.39	1,31	1,24	1,17	1.11	1,01	0,93	200
2,89	2,63	2.41	2,22	2.06	1,93	1.81	1,70	1.61	1,52	1,45	1,31	1,20	220
3,68	3,35	3.07	2.83	2,63	2,45	2,30	2,17	2.04	1,94	1.84	1.67	1.53	240
4,60	4,18	3.83	3,54	3,28	3.06	2.87	2.70	2,55	2.42	2.30	2,09	1,91	260
5,64	5,12	4.70	4,34	4.03	3,76	3.52	3,32	3.13	2.97	2,82	2.56	2.35	280
6,79	6.17	5,66	5,22	4.85	4,53	4.24	3,99	3,77	3.57	3.40	3,09	2,83	300
8,13	7,39	6,78	6,26	5,81	5,42	5.08	4,78	4.52	4.28	4,07	3,70	3.39	320
9,60	8.73	8.00	7,38	6,86	6.40	6,00	5,65	5.33	5,05	4,80	4.36	4,00	340
11,34	10,30	9.45	8,72	8.10	7,56	7.08	6.67	6,30	5.97	5.67	5,15	4,72	360
13,10	11,91	10,92	10.08	9,36	8,74	8,19	7,71	7,28	6,90	6,55	5,96	5,46	380
15,18	13,80	12,65	11,68	10,85	10,12	9,49	8,93	8,44	7.99	7,59	6,90	6.33	400
21,22	19.29	17,68	16,32	15,15	14,14	13,26	12,48	11,79	11,17	10,61	9.64	8,84	450
28.60	26,00	23,83	22.00	20,43	19.07	17.88	16,82	15.89	15.05	14,30	13.00	11,92	500
37,54	34.13	31.29	28.88	26.82	25.03	23,46	22.08	20.86	19.76	18.77	17.06	15.64	550
48.15	43.77	40,13	37,04	34.39	32.10	30.09	28,32	26,75	25,34	24,08	21,89	20,06	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,28	0,25	0,23	0.21	0.20	0,18	0.17	0,16	0,15	0.14	0,14	0.13	0,11	80
0,43	0,39	0,36	0,33	0.31	0,29	0.27	0,25	0,24	0.23	0.21	0.19	0,18	100
0,63	0,57	0,53	0,49	0.45	0.42	0.39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,29	0,26	120
0,90	0,82	0,75	0.69	0,64	0,60	0.56	0,53	0.50	0,47	0,45	0,41	0,37	140
1,21	1,10	1,00	0,93	0,86	0,80	0.75	0.71	0,67	0.63	0,60	0.55	0,50	160
1.56	1.42	1,30	1.20	1,11	1,04	0,97	0,92	0.87	0,82	0,78	0.71	0,65	180
1,99	1.81	1,65	1,53	1,42	1,32	1.24	1,17	1.10	1,04	0,99	0,90	0,83	200
2,55	2,32	2,12	1.96	1,82	1,70	1,59	1,50	1.42	1,34	1,27	1.16	1,06	220
3,12	2,84	2,60	2,40	2.23	2,08	1.95	1.83	1,73	1.64	1.56	1,42	1,30	240
3,86	3.51	3,21	2.97	2,76	2,57	2,41	2,27	2,14	2,03	1.93	1,75	1,61	260
4,66	4.24	3.88	3.58	3.33	3.11	2.91	2.74	2.59	2,45	2.33	2.12	1.94	280
5,56	5.06	4.64	4,28	3,97	3.71	3,48	3,27	3.09	2,93	2.78	2,53	2,32	300

5.6 1-A 4



Máximo valor de P_t en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

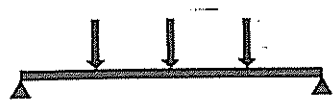
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	2,17000	1,04	0,69	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23
100	8,10	34,2	49,6	1,73800	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,44	0,39
120	10,40	53,0	58,0	1,44800	2,76	1,84	1,38	1,10	0,92	0,79	0,69	0,61
140	12,90	77,3	66,0	1,24200	4,02	2,68	2,01	1,61	1,34	1,15	1,00	0,89
160	15,80	109,0	73,6	1,09000	5,67	3,78	2,83	2,27	1,89	1,62	1,42	1,26
180	18,80	146,0	82,0	0,96100	7,59	5,06	3,80	3,04	2,53	2,17	1,90	1,69
200	22,40	194,0	89,6	0,86900	9,60	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24
220	26,20	252,0	99,2	0,79100	11,55	8,74	6,55	5,24	4,37	3,74	3,28	2,91
240	30,70	324,0	107,6	0,72400	13,65	11,23	8,42	6,74	5,62	4,81	4,21	3,74
270	36,10	429,0	120,8	0,64400	16,79	14,87	11,15	8,92	7,44	6,37	5,58	4,96
300	42,20	557,0	134,0	0,57900	20,56	18,45	14,48	11,59	9,65	8,27	7,24	6,44
330	49,10	713,0	142,0	0,52600	24,27	22,13	18,54	14,83	12,36	10,59	9,27	8,24
360	57,10	904,0	151,6	0,48300	28,63	26,37	23,50	18,80	15,67	13,43	11,75	10,45
400	66,30	1 160,0	158,0	0,43600	34,67	32,19	29,47	24,13	20,11	17,23	15,08	13,40
450	77,60	1 500,0	164,8	0,38600	43,50	40,49	37,16	31,20	26,00	22,29	19,50	17,33
500	90,70	1 930,0	172,4	0,34800	53,28	49,81	45,92	40,14	33,45	28,67	25,09	22,30
550	106,00	2 440,0	178,0	0,31600	64,84	60,93	56,49	50,75	42,29	36,25	31,72	28,20
600	122,00	3 070,0	186,4	0,29000	77,08	72,82	67,90	62,82	53,21	45,61	39,91	35,48

Máximo valor de P_t en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,73800	4,68	3,12	2,34	1,87	1,56	1,34	1,17	1,04
120	26,70	144,0	122,4	1,44800	6,57	4,99	3,74	2,99	2,50	2,14	1,87	1,66
140	33,70	216,0	143,2	1,24300	8,49	7,49	5,62	4,49	3,74	3,21	2,81	2,50
160	42,60	311,0	162,0	1,08500	11,28	10,55	8,09	6,47	5,39	4,62	4,04	3,59
180	51,20	426,0	182,8	0,96600	13,90	13,09	11,08	8,86	7,38	6,33	5,54	4,92
200	61,30	570,0	202,8	0,86900	16,39	15,66	14,77	11,86	9,88	8,47	7,41	6,59
220	71,50	736,0	223,6	0,79100	19,21	18,44	17,51	15,31	12,76	10,93	9,57	8,50
240	83,20	938,0	243,2	0,72400	22,21	21,49	20,59	19,51	16,26	13,94	12,19	10,84
260	93,00	1 150,0	263,2	0,67000	24,27	23,64	22,84	21,91	19,93	17,09	14,95	13,29
280	103,00	1 380,0	283,6	0,62200	27,67	26,98	26,10	25,09	23,92	20,50	17,94	15,95
300	117,00	1 680,0	303,2	0,58000	31,13	30,48	29,64	28,65	27,57	24,96	21,84	19,41
320	127,00	1 930,0	302,8	0,54400	34,96	34,24	33,31	32,21	31,01	28,67	25,09	22,30
340	134,00	2 160,0	301,2	0,51200	38,92	38,10	37,04	35,80	34,44	32,09	28,08	24,96
360	142,00	2 400,0	299,6	0,48300	43,02	42,11	40,92	39,53	38,01	35,66	31,20	27,73
400	155,00	2 880,0	296,0	0,43400	52,00	50,82	49,30	47,53	45,60	42,79	37,44	33,28
450	171,00	3 550,0	293,2	0,38600	61,62	60,25	58,49	56,43	54,19	51,86	46,15	41,02
500	187,00	4 290,0	290,8	0,34800	71,57	70,04	68,06	65,74	63,20	60,56	55,77	49,57
550	199,00	4 970,0	286,8	0,31600	82,54	80,72	78,37	75,63	72,64	69,53	64,61	57,43
600	212,00	5 700,0	283,2	0,29000	94,57	92,42	89,65	86,43	82,93	79,29	74,10	65,87

5.6 1-A 4

piezas sometidas a flexión



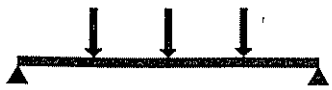
Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,21	0,19	0,17	0,16	0.15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	80
0,36	0,32	0,30	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0.16	0,15	100
0,55	0,50	0.46	0.42	0,39	0,37	0,34	0,32	0,31	0,29	0,28	0,25	0.23	120
0,80	0,73	0.67	0.62	0.57	0,54	0,50	0.47	0,45	0,42	0,40	0,36	0,33	140
1,13	1,03	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0.63	0,60	0,57	0,51	0,47	160
1,52	1,38	1,26	1,17	1,08	1.01	0,95	0.89	0,84	0,80	0,76	0,69	0,63	180
2.02	1.83	1.68	1.55	1,44	1,34	1,26	1.19	1,12	1,06	1,01	0,92	0,84	200
2.62	2.38	2.18	2.02	1.87	1,75	1.64	1,54	1.46	1,38	1.31	1,19	1,09	220
3,37	3,06	2,81	2,59	2,41	2,25	2.11	1,98	1.87	1,77	1,68	1.53	1.40	240
4,46	4,06	3,72	3,43	3,19	2.97	2,79	2,62	2,48	2,35	2,23	2,03	1.86	270
5,79	5.27	4,83	4,46	4,14	3,86	3,62	3,41	3.22	3,05	2.90	2.63	2,41	300
7.41	6,74	6.18	5.70	5.30	4,94	4.63	4,36	4,12	3,90	3,71	3.37	3,09	330
9,40	8,55	7,83	7,23	6,71	6.27	5,88	5,53	5,22	4,95	4,70	4,27	3,92	360
12,06	10,97	10.05	9.28	8,62	8,04	7,54	7,10	6.70	6,35	6,03	5,48	5,03	400
15,60	14,18	13.00	12,00	11,14	10,40	9.75	9,18	8,67	8,21	7,80	7,09	6,50	450
20,07	18,25	16,73	15,44	14,34	13,38	12,54	11,81	11,15	10,56	10,04	9.12	8,36	500
25,38	23,07	21,15	19,52	18,13	16,92	15,86	14,93	14,10	13,36	12,69	11,53	10,57	550
31,93	29,02	26,61	24,56	22.81	21,28	19,95	18,78	17,74	16,80	15,96	14,51	13,30	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,94	0,85	0,78	0,72	0.67	0,62	0,58	0,55	0.52	0.49	0,47	0,42	0.39	100
1,50	1,36	1,25	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88	0.83	0,79	0,75	0.68	0.62	120
2.25	2.04	1,87	1,73	1,60	1,50	1.40	1,32	1,25	1,18	1,12	1,02	0,94	140
3.23	2.94	2,69	2,49	2,31	2,16	2.02	1,90	1,80	1,70	1,62	1,47	1,35	160
4,43	4,03	3,69	3,41	3,16	2.95	2,77	2,61	2.46	2,33	2,21	2,01	1,85	180
5,93	5.39	4,94	4,56	4,23	3,95	3.70	3,49	3,29	3,12	2,96	2,69	2,47	200
7,65	6,96	6,38	5,89	5.47	5,10	4,78	4.50	4,25	4.03	3.83	3,48	3,19	220
9.75	8,87	8,13	7,50	6,97	6,50	6,10	5,74	5,42	5,13	4,88	4,43	4.06	240
11,96	10,87	9,97	9,20	8,54	7,97	7,47	7,03	6,64	6,29	5,98	5,44	4,98	260
14,35	13,05	11,96	11,04	10,25	9,57	8.97	8,44	7,97	7.55	7,18	6,52	5,98	280
17,47	15,88	14,56	13,44	12,48	11,65	10,92	10,28	9,71	9,20	8,74	7.94	7,28	300
20.07	18,25	16,73	15,44	14.34	13,38	12,54	11,81	11,15	10,56	10,04	9,12	8,36	320
22.46	20,42	18,72	17,28	16,05	14,98	14.04	13,21	12,48	11,82	11,23	10,21	9,36	340
24,96	22,69	20.80	19,20	17,83	16,64	15,60	14,68	13,87	13,14	12,48	11,34	10,40	360
29,95	27.23	24,96	23,04	21,39	19,97	18,72	17,62	16,64	15,76	14,98	13,61	12,48	400
36,92	33,56	30,77	28,40	26.37	24,61	23,07	21,72	20,51	19,43	18,46	16,78	15,38	450
44,62	40,56	37,18	34,32	31,87	29,74	27,88	26,24	24.79	23,48	22,31	20.28	18,59	500
51,69	46,99	43,07	39,76	36.92	34.46	32,30	30,40	28,72	27,20	25,84	23,49	21,54	550
59,28	53.89	49,40	45.60	42,34	39,52	37,05	34,87	32,93	31,20	29,64	26,94	24,70	600

5.6 1-A 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

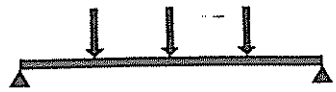
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	1,81300	3,79	2,52	1,89	1,51	1,26	1,08	0,95	0,84
120	19,90	106,0	120,8	1,52000	4,87	3,67	2,76	2,20	1,84	1,57	1,38	1,22
140	24,70	155,0	140,8	1,30800	6,39	5,37	4,03	3,22	2,69	2,30	2,01	1,79
160	30,40	220,0	159,2	1,14500	8,13	7,52	5,72	4,58	3,81	3,27	2,86	2,54
180	35,50	294,0	180,8	1,01800	9,43	8,84	7,64	6,11	5,10	4,37	3,82	3,40
200	42,30	389,0	199,2	0,91600	11,43	10,84	10,11	8,09	6,74	5,78	5,06	4,49
220	50,50	515,0	220,4	0,82700	13,79	13,17	12,42	10,71	8,93	7,65	6,69	5,95
240	60,30	675,0	240,0	0,75600	16,27	15,68	14,95	14,04	11,70	10,03	8,77	7,80
260	68,20	836,0	260,0	0,69500	17,78	17,28	16,64	15,92	14,49	12,42	10,87	9,66
280	76,40	1 010,0	280,0	0,64200	20,66	20,09	19,37	18,55	17,51	15,01	13,13	11,67
300	88,30	1 260,0	299,6	0,60000	23,59	23,05	22,36	21,56	20,68	18,72	16,38	14,56
320	97,60	1 480,0	299,6	0,56100	26,79	26,20	25,45	24,57	23,61	21,99	19,24	17,10
340	105,00	1 680,0	298,4	0,52700	30,22	29,56	28,69	27,68	26,58	24,96	21,84	19,41
360	112,00	1 890,0	297,2	0,49600	34,02	33,25	32,26	31,10	29,85	28,08	24,57	21,84
400	125,00	2 310,0	293,6	0,44500	41,98	40,97	39,66	38,16	36,53	34,32	30,03	26,69
450	140,00	2 900,0	291,6	0,39500	49,96	48,82	47,34	45,63	43,77	41,84	37,70	33,51
500	155,00	3 550,0	289,6	0,35500	58,86	57,57	55,90	53,95	51,83	49,61	46,15	41,02
550	166,00	4 150,0	286,0	0,32200	68,32	66,79	64,80	62,49	59,98	57,37	53,95	47,96
600	178,00	4 790,0	282,0	0,29500	78,47	76,67	74,35	71,66	68,73	65,69	62,27	55,35

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	1,44800	9,88	6,59	4,94	3,95	3,29	2,82	2,47	2,20
120	52,10	288,0	130,0	1,23900	14,09	9,98	7,49	5,99	4,99	4,28	3,74	3,33
140	63,20	411,0	150,8	1,08600	17,21	14,25	10,69	8,55	7,12	6,11	5,34	4,75
160	76,20	566,0	170,4	0,96400	21,33	19,62	14,72	11,77	9,81	8,41	7,36	6,54
180	88,90	748,0	190,8	0,86900	25,00	23,75	19,45	15,56	12,96	11,11	9,72	8,64
200	103,00	967,0	210,8	0,79000	28,85	27,68	25,14	20,11	16,76	14,37	12,57	11,17
220	117,00	1 220,0	231,6	0,72600	32,98	31,79	30,31	25,38	21,15	18,13	15,86	14,10
240	157,00	1 800,0	255,6	0,64400	42,81	41,70	40,27	37,44	31,20	26,74	23,40	20,80
260	172,00	2 160,0	276,0	0,59900	46,55	45,54	44,22	42,69	37,44	32,09	28,08	24,96
280	189,00	2 550,0	296,0	0,56000	51,73	50,66	49,26	47,63	44,20	37,89	33,15	29,47
300	238,00	3 480,0	320,0	0,51100	63,73	62,72	61,38	59,77	57,97	51,70	45,24	40,21
320	245,00	3 800,0	318,0	0,48500	67,70	66,63	65,21	63,51	61,60	56,46	49,40	43,91
340	248,00	4 050,0	316,0	0,46100	71,78	70,60	69,03	67,16	65,07	60,17	52,65	46,80
360	250,00	4 300,0	313,2	0,44000	76,07	74,75	73,01	70,95	68,65	63,89	55,90	49,69
400	256,00	4 820,0	308,0	0,40200	84,26	82,71	80,68	78,27	75,60	71,61	62,66	55,70
450	263,00	5 500,0	303,6	0,36300	95,08	93,22	90,80	87,94	84,79	81,47	71,50	63,56
500	270,00	6 180,0	298,4	0,33200	106,14	103,95	101,11	97,77	94,11	90,27	80,34	71,41
550	278,00	6 920,0	294,0	0,30400	117,90	115,38	112,10	108,27	104,09	99,71	89,96	79,96
600	285,00	7 660,0	288,8	0,28000	129,88	127,00	123,26	118,91	114,17	109,24	99,58	88,52

5.6 1-A 4

piezas sometidas a flexión



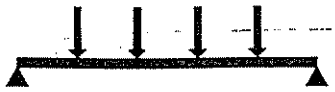
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,76	0.69	0,63	0,58	0.54	0.50	0.47	0.44	0,42	0.40	0,38	0.34	0,31	100
1,10	1.00	0,92	0,85	0.79	0,73	0.69	0,65	0,61	0,58	0.55	0,50	0.46	120
1,61	1,46	1.34	1,24	1.15	1,07	1.01	0,95	0.90	0,85	0.81	0,73	0.67	140
2,29	2,08	1.91	1,76	1,63	1.52	1,43	1,35	1.27	1,20	1.14	1.04	0.95	160
3.06	2.78	2,55	2.35	2,18	2.04	1,91	1,80	1,70	1.61	1,53	1.39	1.27	180
4,05	3,68	3,37	3,11	2.89	2.70	2.53	2,38	2,25	2.13	2,02	1.84	1,69	200
5,36	4.87	4,46	4,12	3,83	3.57	3.35	3,15	2.98	2,82	2,68	2,43	2,23	220
7,02	6,38	5.85	5.40	5,01	4.68	4,39	4,13	3,90	3,69	3.51	3,19	2,92	240
8,69	7,90	7,24	6,69	6.21	5,80	5,43	5,11	4.83	4.58	4.35	3,95	3,62	260
10,50	9,55	8,75	8,08	7,50	7,00	6.56	6,18	5,84	5.53	5,25	4,77	4.38	280
13,10	11,91	10,92	10.08	9,36	8,74	8.19	7,71	7.28	6,90	6.55	5.96	5,46	300
15,39	13,99	12.83	11,84	10.99	10.26	9.62	9,05	8,55	8,10	7,70	7,00	6.41	320
17,47	15.88	14,56	13,44	12.48	11,65	10,92	10,28	9,71	9,20	8,74	7,94	7.28	340
19,66	17,87	16,38	15,12	14,04	13,10	12,28	11,56	10,92	10.34	9.83	8,93	8,19	360
24,02	21.84	20,02	18.48	17.16	16,02	15.01	14,13	13.35	12,64	12,01	10,92	10.01	400
30,16	27.42	25.13	23,20	21.54	20,11	18,85	17,74	16,76	15.87	15.08	13,71	12.57	450
36.92	33.56	30,77	28,40	26.37	24,61	23,07	21,72	20,51	19.43	18.46	16.78	15,38	500
43,16	39.24	35,97	33.20	30,83	28,77	26,97	25,39	23,98	22,72	21,58	19.62	17,98	550
49.82	45.29	41,51	38,32	35,58	33.21	31.13	29,30	27,68	26.22	24,91	22.64	20,76	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,98	1.80	1.65	1.52	1.41	1.32	1,23	1,16	1,10	1,04	0,99	0,90	0,82	100
2.99	2,72	2.50	2,30	2,14	2,00	1,87	1.76	1,66	1,58	1,50	1,36	1,25	120
4,27	3,89	3,56	3.29	3,05	2,85	2,67	2,51	2,38	2,25	2.14	1,94	1,78	140
5.89	5,35	4,90	4,53	4.20	3,92	3.68	3,46	3,27	3.10	2,94	2.68	2.45	160
7.78	7,07	6,48	5,98	5,56	5,19	4,86	4,58	4,32	4.09	3,89	3,54	3,24	180
10.06	9,14	8,38	7.74	7,18	6,70	6,28	5,92	5,59	5,29	5,03	4,57	4,19	200
12,69	11,53	10,57	9.76	9,06	8,46	7,93	7,46	7,05	6,68	6,34	5,77	5,29	220
18,72	17,02	15,60	14,40	13.37	12,48	11,70	11.01	10,40	9,85	9,36	8,51	7,80	240
22,46	20,42	18.72	17,28	16,05	14,98	14,04	13.21	12,48	11,82	11.23	10,21	9.36	260
26,52	24.11	22,10	20.40	18.94	17,68	16.57	15,60	14.73	13,96	13.26	12,05	11,05	280
36,19	32,90	30,16	27,84	25,85	24.13	22,62	21,29	20,11	19.05	18.10	16,45	15.08	300
39,52	35,93	32.93	30,40	28,23	26,35	24,70	23.25	21,96	20,80	19.76	17,96	16,47	320
42,12	38.29	35.10	32.40	30.09	28,08	26.32	24,78	23,40	22,17	21,06	19,14	17,55	340
44.72	40,65	37,27	34,40	31.94	29,81	27,95	26,31	24,84	23.54	22,36	20.33	18,63	360
50.13	45.57	41,77	38,56	35.81	33,42	31.33	29,49	27,85	26,38	25,06	22,78	20.89	400
57,20	52,00	47,67	44,00	40.86	38,13	35,75	33,65	31.78	30,10	28.60	26,00	23,83	450
64.27	58,43	53,56	49,44	45,91	42.85	40.17	37,81	35,71	33,83	32.14	29.21	26.78	500
71,97	65,42	59,97	55.36	51,41	47.98	44,98	42.33	39,98	37,88	35,98	32,71	29,99	550
79,66	72,42	66,39	61,28	56,90	53,11	49,79	46,86	44,26	41,93	39.83	36,21	33,19	600

5.6 1-A 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

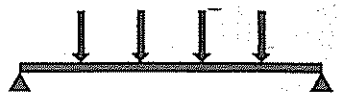
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,30500	0,84	0,56	0,42	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19
100	8,32	34,2	42,8	1,84400	1,48	0,99	0,74	0,59	0,49	0,42	0,37	0,33
120	11,10	54,7	49,2	1,53800	2,37	1,58	1,18	0,95	0,79	0,68	0,59	0,53
140	14,40	81,9	56,0	1,31800	3,55	2,37	1,77	1,42	1,18	1,01	0,89	0,79
160	17,90	117,0	62,0	1,15400	5,07	3,38	2,53	2,03	1,69	1,45	1,27	1,13
180	21,90	161,0	68,4	1,02400	6,98	4,65	3,49	2,79	2,33	1,99	1,74	1,55
200	26,30	214,0	74,8	0,92200	9,27	6,18	4,64	3,71	3,09	2,65	2,32	2,06
220	31,10	278,0	80,8	0,83800	12,04	8,03	6,02	4,82	4,02	3,44	3,01	2,68
240	36,20	354,0	88,0	0,76800	14,46	10,23	7,67	6,14	5,11	4,38	3,83	3,41
260	41,90	442,0	92,8	0,71000	17,23	12,77	9,58	7,66	6,38	5,47	4,79	4,26
280	48,00	542,0	98,0	0,65800	20,25	15,66	11,74	9,39	7,83	6,71	5,87	5,22
300	54,20	653,0	102,4	0,61400	23,51	18,86	14,15	11,32	9,43	8,08	7,07	6,29
320	61,10	782,0	106,8	0,57600	26,98	22,59	16,94	13,55	11,30	9,68	8,47	7,53
340	68,10	923,0	112,0	0,54200	30,77	26,66	20,00	16,00	13,33	11,43	10,00	8,89
360	76,20	1 090,0	116,0	0,51200	34,95	31,49	23,62	18,89	15,74	13,49	11,81	10,50
380	84,00	1 260,0	120,8	0,48400	39,25	36,05	27,30	21,84	18,20	15,60	13,65	12,13
400	92,60	1 460,0	125,2	0,46100	43,78	40,42	31,63	25,31	21,09	18,08	15,82	14,06
450	115,00	2 040,0	137,2	0,41000	56,14	52,44	44,20	35,36	29,47	25,26	22,10	19,64
500	141,00	2 750,0	148,8	0,36900	70,29	66,23	59,58	47,67	39,72	34,05	29,79	26,48
550	167,00	3 610,0	160,8	0,33600	82,13	78,31	73,75	62,57	52,14	44,69	39,11	34,76
600	199,00	4 630,0	172,0	0,30700	103,35	98,71	93,15	80,25	66,88	57,32	50,16	44,58

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,30500	1,15	0,77	0,57	0,46	0,38	0,33	0,29	0,25
100	10,60	41,2	58,8	1,84400	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,45	0,40
120	13,40	60,7	63,6	1,53700	2,63	1,75	1,31	1,05	0,88	0,75	0,66	0,58
140	16,00	86,4	70,0	1,31700	3,74	2,50	1,87	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83
160	18,80	116,0	75,6	1,15600	5,03	3,35	2,51	2,01	1,68	1,44	1,26	1,12
180	22,00	150,0	80,8	1,02400	6,50	4,33	3,25	2,60	2,17	1,86	1,63	1,44
200	25,30	191,0	85,6	0,92200	8,28	5,52	4,14	3,31	2,76	2,36	2,07	1,84
220	29,40	245,0	92,0	0,84000	10,62	7,08	5,31	4,25	3,54	3,03	2,65	2,36
240	33,20	300,0	96,8	0,76800	13,00	8,67	6,50	5,20	4,33	3,71	3,25	2,89
260	37,90	371,0	102,4	0,71000	16,08	10,72	8,04	6,43	5,36	4,59	4,02	3,57
280	41,80	448,0	109,6	0,65800	19,41	12,94	9,71	7,76	6,47	5,55	4,85	4,31
300	46,20	535,0	116,0	0,61400	21,33	15,46	11,59	9,27	7,73	6,62	5,80	5,15

5.6 1-A 5

piezas sometidas a flexión



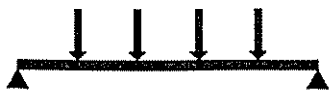
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0.11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	80
0,30	0,27	0.25	0,23	0.21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,13	0,12	100
0,47	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0.24	0,21	0,20	120
0,71	0.64	0,59	0.55	0,51	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	140
1,01	0,92	0,85	0,78	0,72	0,68	0,63	0,60	0,56	0,53	0,51	0,46	0,42	160
1,39	1,27	1,16	1,07	1,00	0.93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,70	0,63	0,58	180
1,85	1,69	1,55	1,43	1,32	1,24	1,16	1.09	1.03	0,98	0,93	0,84	0,77	200
2,41	2,19	2.01	1,85	1.72	1.61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,20	1,09	1,00	220
3,07	2,79	2,56	2.36	2,19	2,04	1,92	1,80	1,70	1,61	1,53	1,39	1,28	240
3,83	3,48	3,19	2,95	2,74	2,55	2,39	2,25	2,13	2,02	1,91	1,74	1,60	260
4,70	4,27	3,91	3,61	3,35	3,13	2,94	2.76	2,61	2,47	2,35	2,13	1,96	280
5,66	5,14	4,72	4,35	4,04	3,77	3,54	3,33	3,14	2,98	2,83	2.57	2,36	300
6,78	6,16	5,65	5.21	4.84	4,52	4,24	3,99	3,76	3,57	3,39	3,08	2,82	320
8,00	7,27	6,67	6,15	5,71	5,33	5,00	4,70	4,44	4,21	4,00	3,64	3,33	340
9,45	8.59	7,87	7,27	6,75	6,30	5,90	5,56	5.25	4,97	4,72	4,29	3,94	360
10,92	9,93	9,10	8,40	7,80	7,28	6,82	6,42	6,07	5,75	5,46	4,96	4,55	380
12,65	11.50	10,54	9,73	9.04	8,44	7,91	7.44	7.03	6,66	6.33	5.75	5,27	400
17,68	16,07	14,73	13,60	12,63	11,79	11,05	10,40	9,82	9,30	8,84	8,04	7,37	450
23,83	21.67	19,86	18,33	17.02	15,89	14,90	14,02	13,24	12,54	11,92	10,83	9,93	500
31,29	28,44	26,07	24.07	22.35	20,86	19,55	18,40	17,38	16,47	15.64	14,22	13,04	550
40,13	36,48	33,44	30,87	28.66	26,75	25,08	23.60	22.29	21,12	20,06	18,24	16,72	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,23	0,21	0.19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	80
0.36	0,32	0.30	0.27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	100
0,53	0,48	0,44	0.40	0,38	0.35	0.33	0.31	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	120
0,75	0,68	0,62	0,58	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,31	140
1,00	0,91	0.84	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,56	0.53	0,50	0,46	0,42	160
1.30	1.18	1,08	1,00	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,59	0,54	180
1,65	1,50	1.38	1,27	1,18	1,10	1,03	0,97	0,92	0,87	0,83	0,75	0,69	200
2,12	1,93	1,77	1,63	1,52	1.42	1.33	1,25	1,18	1,12	1,06	0.96	0,88	220
2.60	2.36	2.17	2.00	1,86	1.73	1,63	1,53	1.44	1,37	1,30	1,18	1,08	240
3,21	2,92	2,68	2,47	2.30	2,14	2.01	1,89	1,79	1,69	1,61	1,46	1,34	260
3,88	3,53	3,24	2,99	2,77	2.59	2.43	2,28	2,16	2,04	1,94	1,76	1.62	280
4.64	4,21	3,86	3,57	3,31	3,09	2,90	2,73	2,58	2,44	2,32	2,11	1,93	300

5.6 1-A 5



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

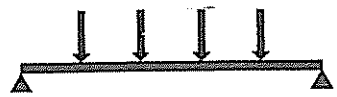
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	2,30200	0,87	0,58	0,43	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19
100	8,10	34,2	49,6	1,84400	1,48	0,99	0,74	0,59	0,49	0,42	0,37	0,33
120	10,40	53,0	58,0	1,53700	2,30	1,53	1,15	0,92	0,77	0,66	0,57	0,51
140	12,90	77,3	66,0	1,31700	3,35	2,23	1,67	1,34	1,12	0,96	0,84	0,74
160	15,80	109,0	73,6	1,15600	4,72	3,15	2,36	1,89	1,57	1,35	1,18	1,05
180	18,80	146,0	82,0	1,02000	6,33	4,22	3,16	2,53	2,11	1,81	1,58	1,41
200	22,40	194,0	89,6	0,92200	7,65	5,60	4,20	3,36	2,80	2,40	2,10	1,87
220	26,20	252,0	99,2	0,83900	9,14	7,28	5,46	4,37	3,64	3,12	2,73	2,43
240	30,70	324,0	107,6	0,76800	10,69	9,36	7,02	5,62	4,68	4,01	3,51	3,12
270	36,10	429,0	120,8	0,68300	13,10	12,05	9,29	7,44	6,20	5,31	4,65	4,13
300	42,20	557,0	134,0	0,61400	15,99	14,80	12,07	9,65	8,05	6,90	6,03	5,36
330	49,10	713,0	142,0	0,55900	18,76	17,58	15,45	12,36	10,30	8,83	7,72	6,87
360	57,10	904,0	151,6	0,51200	22,05	20,83	19,41	15,67	13,06	11,19	9,79	8,70
400	66,30	1 160,0	158,0	0,46200	26,62	25,30	23,74	20,11	16,76	14,36	12,57	11,17
450	77,60	1 500,0	164,8	0,41000	33,37	31,77	29,87	26,00	21,67	18,57	16,25	14,44
500	90,70	1 930,0	172,4	0,36900	40,81	38,98	36,79	33,45	27,88	23,89	20,91	18,58
550	106,00	2 440,0	178,0	0,33500	49,58	47,53	45,05	42,29	35,24	30,21	26,43	23,50
600	122,00	3 070,0	186,4	0,30700	58,84	56,63	53,91	50,92	44,34	38,01	33,26	29,56

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,84400	3,79	2,60	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,87
120	26,70	144,0	122,4	1,53700	5,08	4,16	3,12	2,50	2,08	1,78	1,56	1,39
140	33,70	216,0	143,2	1,31900	6,53	6,18	4,68	3,74	3,12	2,67	2,34	2,08
160	42,60	311,0	162,0	1,15200	8,64	8,25	6,75	5,39	4,49	3,85	3,37	2,99
180	51,20	426,0	182,8	1,02500	10,62	10,20	9,23	7,38	6,15	5,27	4,61	4,10
200	61,30	570,0	202,8	0,92200	12,47	12,09	11,62	9,88	8,23	7,06	6,17	5,49
220	71,50	736,0	223,6	0,83900	14,59	14,20	13,70	12,76	10,63	9,11	7,97	7,09
240	83,20	938,0	243,2	0,76800	16,82	16,46	15,99	15,44	13,55	11,61	10,16	9,03
260	93,00	1 150,0	263,2	0,71100	18,34	18,03	17,62	17,13	16,58	14,24	12,46	11,07
280	103,00	1 380,0	283,6	0,66000	20,91	20,57	20,12	19,58	18,97	17,09	14,95	13,29
300	117,00	1 680,0	303,2	0,61500	23,50	23,17	22,75	22,23	21,64	20,80	18,20	16,18
320	127,00	1 930,0	302,8	0,57700	26,38	26,03	25,55	24,98	24,33	23,63	20,91	18,58
340	134,00	2 160,0	301,2	0,54300	29,37	28,97	28,43	27,78	27,05	26,25	23,40	20,80
360	142,00	2 400,0	299,6	0,51200	32,47	32,02	31,42	30,69	29,86	28,97	26,00	23,11
400	155,00	2 880,0	296,0	0,46000	39,27	38,68	37,91	36,97	35,92	34,79	31,20	27,73
450	171,00	3 550,0	293,2	0,41000	46,52	45,84	44,95	43,87	42,65	41,33	38,46	34,18
500	187,00	4 290,0	290,8	0,36900	54,02	53,27	52,26	51,04	49,67	48,18	46,47	41,31
550	199,00	4 970,0	286,8	0,33500	62,31	61,41	60,22	58,78	57,15	55,39	53,55	47,86
600	212,00	5 700,0	283,2	0,30700	71,41	70,35	68,93	67,24	65,33	63,26	61,11	54,89

5.6 1-A 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	80
0,30	0.27	0.25	0,23	0,21	0.20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,13	0,12	100
0,46	0,42	0,38	0.35	0,33	0,31	0.29	0,27	0,25	0,24	0,23	0.21	0,19	120
0,67	0,61	0,56	0,51	0.48	0,45	0.42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28	140
0,94	0,86	0,79	0,73	0.67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,50	0,47	0,43	0,39	160
1,26	1,15	1,05	0,97	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,67	0,63	0,57	0,53	180
1,68	1,53	1,40	1.29	1,20	1,12	1,05	0,99	0,93	0,88	0,84	0,76	0,70	200
2,18	1.98	1,82	1,68	1,56	1,46	1,36	1,28	1,21	1,15	1,09	0,99	0,91	220
2,81	2,55	2.34	2,16	2.01	1,87	1.75	1,65	1,56	1,48	1,40	1,28	1,17	240
3,72	3,38	3,10	2,86	2,66	2,48	2,32	2,19	2,07	1,96	1,86	1,69	1,55	270
4,83	4,39	4,02	3,71	3,45	3,22	3,02	2,84	2,68	2,54	2.41	2,19	2,01	300
6,18	5.62	5,15	4,75	4,41	4,12	3,86	3,63	3,43	3,25	3,09	2,81	2,57	330
7,83	7,12	6.53	6,03	5,60	5,22	4,90	4.61	4,35	4,12	3,92	3,56	3,26	360
10,05	9,14	8,38	7,73	7,18	6,70	6,28	5,91	5,58	5,29	5,03	4,57	4,19	400
13,00	11,82	10,83	10,00	9,29	8,67	8,13	7,65	7,22	6,84	6,50	5,91	5,42	450
16,73	15,21	13,94	12,87	11,95	11,15	10,45	9,84	9,29	8,80	8,36	7,60	6,97	500
21,15	19.22	17,62	16,27	15,10	14,10	13,22	12,44	11,75	11,13	10,57	9,61	8,81	550
26,61	24,19	22,17	20,47	19,00	17,74	16,63	15,65	14,78	14,00	13,30	12,09	11,09	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,78	0.71	0,65	0,60	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32	100
1,25	1.13	1.04	0,96	0,89	0.83	0,78	0,73	0,69	0,66	0,62	0.57	0,52	120
1,87	1,70	1,56	1.44	1.34	1,25	1,17	1,10	1,04	0,98	0.94	0,85	0,78	140
2,69	2.45	2,25	2,07	1,92	1,80	1,68	1,58	1,50	1,42	1,35	1,22	1,12	160
3.69	3.36	3,08	2,84	2,64	2,46	2,31	2,17	2,05	1,94	1,85	1,68	1,54	180
4,94	4,49	4.12	3,80	3,53	3,29	3.09	2.91	2,74	2,60	2,47	2.24	2,06	200
6.38	5,80	5,32	4,91	4,56	4,25	3,99	3,75	3,54	3,36	3,19	2,90	2,66	220
8,13	7.39	6,77	6,25	5,81	5,42	5,08	4,78	4,52	4,28	4,06	3,69	3,39	240
9,97	9,06	8,31	7,67	7,12	6,64	6,23	5,86	5,54	5,25	4,98	4.53	4,15	260
11,96	10,87	9.97	9.20	8,54	7,97	7,47	7,03	6,64	6,29	5,98	5,44	4,98	280
14,56	13,24	12,13	11,20	10,40	9,71	9,10	8,56	8,09	7,66	7,28	6,62	6,07	300
16.73	15,21	13,94	12,87	11,95	11,15	10,45	9,84	9,29	8,80	8,36	7.60	6,97	320
18,72	17,02	15.60	14,40	13,37	12,48	11,70	11,01	10,40	9,85	9,36	8,51	7,80	340
20,80	18.91	17,33	16,00	14.86	13,87	13,00	12.23	11,56	10,95	10,40	9,45	8,67	360
24.96	22.69	20,80	19,20	17.83	16,64	15,60	14,68	13.87	13,14	12,48	11,34	10,40	400
30,77	27,97	25,64	23,67	21.98	20.51	19,23	18,10	17,09	16,19	15,38	13,98	12,82	450
37,18	33,80	30,98	28,60	26,56	24,79	23,24	21,87	20,66	19,57	18,59	16,90	15,49	500
43,07	39,16	35,89	33,13	30,77	28,72	26,92	25,34	23,93	22,67	21,54	19,58	17,95	550
49,40	44,91	41,17	38,00	35,29	32,93	30,88	29,06	27,44	26,00	24,70	22,45	20,58	600

5.6 1-A 5



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

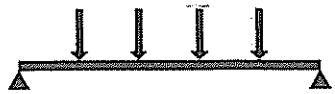
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	16,70	72,8	100,4	1,92300	3,07	2,10	1,58	1,26	1,05	0,90	0,79	0,70	0,
120	19,90	106,0	120,8	1,61300	3,78	3,06	2,30	1,84	1,53	1,31	1,15	1,02	0,
140	24,70	155,0	140,8	1,38700	4,94	4,48	3,36	2,69	2,24	1,92	1,68	1,49	1,
160	30,40	220,0	159,2	1,21500	6,25	5,92	4,77	3,81	3,18	2,72	2,38	2,12	1,
180	35,50	294,0	180,8	1,08000	7,22	6,91	6,37	5,10	4,25	3,64	3,18	2,83	2,
200	42,30	389,0	199,2	0,97200	8,71	8,41	8,03	6,74	5,62	4,82	4,21	3,75	3,
220	50,50	515,0	220,4	0,87800	10,49	10,17	9,77	8,93	7,44	6,38	5,58	4,96	4,
240	60,30	675,0	240,0	0,80200	12,34	12,04	11,66	11,21	9,75	8,36	7,31	6,50	5,
260	68,20	836,0	260,0	0,73800	13,45	13,20	12,87	12,48	12,05	10,35	9,06	8,05	7,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,68100	15,62	15,34	14,97	14,53	14,04	12,50	10,94	9,73	8,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,63600	17,81	17,55	17,19	16,77	16,29	15,60	13,65	12,13	10,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,59500	20,22	19,93	19,55	19,09	18,56	18,00	16,03	14,25	12,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,55900	22,82	22,49	22,05	21,52	20,92	20,27	18,20	16,18	14,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,52700	25,69	25,31	24,80	24,19	23,51	22,77	20,47	18,20	16,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,47300	31,71	31,21	30,55	29,75	28,85	27,89	25,02	22,24	20,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,42000	37,72	37,16	36,41	35,51	34,49	33,39	31,42	27,93	25,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,37600	44,44	43,80	42,95	41,93	40,77	39,52	38,21	34,18	30,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,34200	51,59	50,83	49,82	48,60	47,23	45,75	44,21	39,96	35,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,31300	59,26	58,37	57,18	55,76	54,16	52,44	50,64	46,13	41,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	1,53700	8,23	5,49	4,12	3,29	2,74	2,35	2,06	1,83	1,6
120	52,10	288,0	130,0	1,31500	10,84	8,32	6,24	4,99	4,16	3,57	3,12	2,77	2,5
140	63,20	411,0	150,8	1,15200	13,20	11,87	8,90	7,12	5,94	5,09	4,45	3,96	3,5
160	76,20	566,0	170,4	1,02300	16,29	15,66	12,26	9,81	8,18	7,01	6,13	5,45	4,9
180	88,90	748,0	190,8	0,92200	19,05	18,40	16,21	12,96	10,80	9,26	8,10	7,20	6,4
200	103,00	967,0	210,8	0,83800	21,91	21,32	20,56	16,76	13,97	11,97	10,48	9,31	8,3
220	117,00	1 220,0	231,6	0,77000	25,01	24,41	23,63	21,15	17,62	15,10	13,22	11,75	10,5
240	157,00	1 800,0	255,6	0,68300	32,37	31,81	31,07	30,20	26,00	22,29	19,50	17,33	15,6
260	172,00	2 160,0	276,0	0,63600	35,14	34,64	33,97	33,17	31,20	26,74	23,40	20,80	18,7
280	189,00	2 550,0	296,0	0,59400	39,04	38,51	37,80	36,95	35,98	31,57	27,63	24,56	22,1
300	238,00	3 480,0	320,0	0,54200	48,03	47,53	46,86	46,03	45,08	43,09	37,70	33,51	30,1
320	245,00	3 800,0	318,0	0,51400	51,02	50,49	49,78	48,91	47,90	46,79	41,17	36,59	32,9
340	248,00	4 050,0	316,0	0,48900	54,10	53,52	52,73	51,77	50,66	49,44	43,88	39,00	35,1
360	250,00	4 300,0	313,2	0,46700	57,34	56,70	55,82	54,76	53,54	52,19	46,58	41,41	37,2
400	256,00	4 820,0	308,0	0,42700	63,54	62,78	61,75	60,51	59,08	57,52	52,22	46,41	41,7
450	263,00	5 500,0	303,6	0,38600	71,73	70,81	69,59	68,10	66,41	64,56	59,58	52,96	47,6
500	270,00	6 180,0	298,4	0,35200	80,09	79,01	77,57	75,83	73,85	71,70	66,95	59,51	53,5
550	278,00	6 920,0	294,0	0,32200	88,99	87,74	86,08	84,07	81,80	79,34	74,97	66,64	59,9
600	285,00	7 660,0	288,8	0,29700	98,06	96,63	94,73	92,45	89,86	87,07	82,98	73,76	66,3

5.6 1-A 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,63	0,57	0,53	0,48	0,45	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	100
0,92	0,83	0,77	0,71	0,66	0,61	0,57	0,54	0,51	0,48	0.46	0,42	0,38	120
1,34	1,22	1,12	1,03	0,96	0,90	0,84	0,79	0,75	0,71	0,67	0,61	0.56	140
1,91	1,73	1,59	1,47	1,36	1.27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,87	0,79	160
2,55	2,32	2.12	1,96	1,82	1,70	1,59	1,50	1,42	1,34	1,27	1,16	1,06	180
3,37	3,06	2,81	2.59	2,41	2,25	2,11	1,98	1,87	1.77	1,69	1,53	1,40	200
4,46	4,06	3,72	3,43	3,19	2,98	2,79	2,63	2,48	2,35	2,23	2,03	1,86	220
5,85	5,32	4.88	4,50	4,18	3,90	3,66	3,44	3,25	3,08	2,92	2,66	2,44	240
7,24	6,59	6,04	5,57	5.17	4,83	4,53	4,26	4,02	3,81	3,62	3,29	3.02	260
8,75	7,96	7,29	6,73	6,25	5,84	5,47	5,15	4,86	4,61	4,38	3,98	3,65	280
10,92	9,93	9,10	8,40	7,80	7,28	6,82	6,42	6,07	5,75	5,46	4,96	4,55	300
12,83	11,66	10,69	9,87	9,16	8,55	8,02	7,54	7,13	6,75	6,41	5,83	5,34	320
14,56	13,24	12,13	11,20	10,40	9,71	9,10	8,56	8,09	7,66	7,28	6,62	6,07	340
16,38	14,89	13,65	12,60	11,70	10,92	10,24	9,63	9,10	8,62	8,19	7,44	6,82	360
20,02	18,20	16,68	15,40	14,30	13,35	12,51	11,78	11,12	10,54	10,01	9,10	8,34	400
25,13	22,85	20,94	19,33	17,95	16,76	15,71	14,78	13,96	13,23	12,57	11,42	10,47	450
30,77	27,97	25,64	23.67	21,98	20,51	19,23	18,10	17,09	16,19	15,38	13,98	12,82	500
35,97	32,70	29,97	27,67	25,69	23,98	22,48	21,16	19.98	18,93	17,98	16,35	14,99	550
41,51	37,74	34,59	31,93	29,65	27,68	25,95	24,42	23,06	21,85	20,76	18,87	17,30	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,65	1,50	1,37	1,27	1,18	1,10	1,03	0,97	0,91	0,87	0,82	0,75	0,69	100
2,50	2,27	2,08	1,92	1,78	1,66	1,56	1.47	1,39	1,31	1,25	1,13	1,04	120
3,56	3,24	2,97	2,74	2.54	2,38	2,23	2.09	1,98	1,88	1,78	1,62	1,48	140
4,90	4.46	4,09	3,77	3,50	3,27	3,07	2,88	2,72	2,58	2,45	2,23	2,04	160
6,48	5,89	5,40	4,99	4,63	4,32	4,05	3,81	3,60	3,41	3,24	2,95	2,70	180
8.38	7,62	6,98	6,45	5,99	5,59	5,24	4,93	4,66	4,41	4,19	3,81	3,49	200
10,57	9,61	8,81	8,13	7,55	7,05	6,61	6,22	5,87	5,56	5,29	4,81	4,41	220
15,60	14,18	13,00	12,00	11,14	10,40	9,75	9,18	8,67	8,21	7,80	7,09	6,50	240
18,72	17,02	15,60	14,40	13,37	12,48	11,70	11,01	10,40	9,85	9,36	8,51	7,80	260
22,10	20,09	18,42	17,00	15,79	14,73	13,81	13,00	12,28	11,63	11,05	10,04	9,21	280
30,16	27,42	25,13	23,20	21,54	20,11	18,85	17,74	16.76	15,87	15,08	13,71	12,57	300
32,93	29,94	27,44	25,33	23,52	21,96	20,58	19,37	18,30	17,33	16,47	14,97	13,72	320
35,10	31,91	29,25	27,00	25,07	23,40	21,94	20,65	19,50	18,47	17,55	15,95	14,63	340
37,27	33,88	31,06	28,67	26,62	24,84	23,29	21,92	20,70	19,61	18,63	16,94	15,53	360
41,77	37,98	34,81	32,13	29,84	27,85	26,11	24,57	23,21	21,99	20,89	18,99	17,41	400
47,67	43,33	39,72	36,67	34,05	31,78	29,79	28,04	26,48	25,09	23,83	21,67	19,86	450
53.56	48,69	44,63	41,20	38,26	35,71	33,47	31,51	29,76	28,19	26,78	24,34	22,32	500
59,97	54,52	49,98	46,13	42,84	39,98	37,48	35,28	33,32	31,56	29,99	27,26	24,99	550
66,39	60,35	55,32	51,07	47,42	44,26	41,49	39,05	36,88	34,94	33,19	30,18	27,66	600

5.6 1-A 5



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

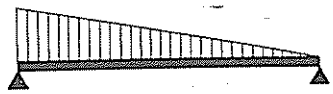
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,23100	7,90	3,51	1,98	1,26	0,88	0,64	0,49	0,39
100	8,32	34,2	42,8	1,78500	13,86	6,16	3,46	2,22	1,54	1,13	0,87	0,68
120	11,10	54,7	49,2	1,48800	22,17	9,85	5,54	3,55	2,46	1,81	1,39	1,09
140	14,40	81,9	56,0	1,27600	30,83	14,75	8,30	5,31	3,69	2,71	2,07	1,64
160	17,90	117,0	62,0	1,11700	39,01	21,08	11,85	7,59	5,27	3,87	2,96	2,34
180	21,90	161,0	68,4	0,99100	48,24	29,00	16,31	10,44	7,25	5,33	4,08	3,22
200	26,30	214,0	74,8	0,89200	57,82	38,55	21,68	13,88	9,64	7,08	5,42	4,28
220	31,10	278,0	80,8	0,81100	68,90	45,93	28,17	18,03	12,52	9,20	7,04	5,56
240	36,20	354,0	88,0	0,74300	80,83	53,89	35,87	22,96	15,94	11,71	8,97	7,08
260	41,90	442,0	92,8	0,68700	94,54	63,03	44,79	28,66	19,90	14,62	11,20	8,85
280	48,00	542,0	98,0	0,63700	109,25	72,83	54,62	35,15	24,41	17,93	13,73	10,85
300	54,20	653,0	102,4	0,59500	125,10	83,40	62,55	42,35	29,41	21,60	16,54	13,07
320	61,10	782,0	106,8	0,55800	141,77	94,51	70,88	50,71	35,22	25,87	19,81	15,65
340	68,10	923,0	112,0	0,52500	159,73	106,49	79,87	59,85	41,57	30,54	23,38	18,47
360	76,20	1 090,0	116,0	0,49600	179,66	119,17	89,83	70,68	49,09	36,06	27,61	21,82
380	84,00	1 260,0	120,8	0,46800	199,91	133,27	99,95	79,96	56,74	41,69	31,92	25,22
400	92,60	1 460,0	125,2	0,44600	221,03	147,35	110,51	88,41	65,75	48,30	36,98	29,22
450	115,00	2 040,0	137,3	0,39700	278,74	185,83	139,37	111,50	91,87	67,49	51,68	40,83
500	141,00	2 750,0	148,8	0,35700	343,95	229,30	171,98	137,58	114,65	90,98	69,66	55,04
550	167,00	3 610,0	160,8	0,32500	400,29	266,86	200,14	160,12	133,43	114,37	91,45	72,25
600	199,00	4 630,0	172,0	0,29700	495,27	330,18	247,63	198,11	165,09	141,50	117,28	92,67

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,23100	10,74	4,77	2,68	1,72	1,19	0,88	0,67	0,53
100	10,60	41,2	58,8	1,78500	16,70	7,42	4,17	2,67	1,85	1,36	1,04	0,82
120	13,40	60,7	63,6	1,48800	24,60	10,93	6,15	3,94	2,73	2,01	1,54	1,21
140	16,00	86,4	70,0	1,27500	35,02	15,56	8,75	5,60	3,89	2,86	2,19	1,73
160	18,80	116,0	75,6	1,11900	46,77	20,89	11,75	7,52	5,22	3,84	2,94	2,32
180	22,00	150,0	80,8	0,99200	54,28	27,02	15,20	9,73	6,75	4,96	3,80	3,00
200	25,30	191,0	85,6	0,89200	64,13	34,40	19,35	12,39	8,60	6,32	4,84	3,82
220	29,40	245,0	92,0	0,81300	74,67	44,13	24,82	15,89	11,03	8,11	6,21	4,90
240	33,20	300,0	96,8	0,74400	86,04	54,04	30,40	19,45	13,51	9,93	7,60	6,00
260	37,90	371,0	102,4	0,68700	98,22	65,48	37,59	24,06	16,71	12,27	9,40	7,42
280	41,80	448,0	109,6	0,63700	106,32	70,88	45,39	29,05	20,17	14,82	11,35	8,97
300	46,20	535,0	116,0	0,59500	114,44	76,29	54,21	34,69	24,09	17,70	13,55	10,71

5.6 1-A 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,32	0,26	0,22	0,19	0.16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	80
0,55	0,46	0,38	0,33	0,28	0,25	0.22	0.19	0,17	0,15	0.14	0.11	0.10	100
0,89	0,73	0.62	0.52	0.45	0,39	0,35	0,31	0.27	0,25	0,22	0.18	0,15	120
1,33	1.10	0,92	0,79	0,68	0.59	0.52	0,46	0,41	0.37	0,33	0,27	0,23	140
1,90	1,57	1,32	1,12	0.97	0,84	0,74	0.66	0,58	0,52	0,47	0,39	0,33	160
2,61	2.16	1,81	1,54	1.33	1,16	1,02	0,90	0,81	0,72	0.65	0.54	0,45	180
3,47	2,87	2,41	2.05	1,77	1,54	1,35	1.20	1,07	0.96	0.87	0,72	0.60	200
4.51	3,72	3,13	2,67	2,30	2,00	1,76	1,56	1.39	1,25	1.13	0.93	0,78	220
5,74	4.74	3,98	3.40	2,93	2.55	2.24	1,99	1.77	1,59	1,43	1.19	1,00	240
7,17	5.92	4,98	4.24	3,66	3,18	2.80	2,48	2,21	1.98	1,79	1,48	1.24	260
8,79	7,26	6,10	5,20	4.48	3,90	3,43	3,04	2,71	2.43	2,20	1,81	1,53	280
10,59	8,75	7,35	6.26	5,40	4,70	4,13	3,66	3,27	2,93	2,65	2.19	1.84	300
12,68	10.48	8,80	7,50	6,47	5,63	4,95	4.39	3,91	3.51	3,17	2,62	2,20	320
14,96	12.37	10,39	8,85	7,63	6.65	5,84	5,18	4,62	4,14	3.74	3.09	2.60	340
17,67	14,60	12,27	10.46	9,02	7,85	6.90	6.11	5.45	4.89	4,42	3,65	3,07	360
20,43	16,88	14,18	12,09	10,42	9,08	7,98	7.07	6,30	5.66	5,11	4,22	3,55	380
23,67	19,56	16,44	14.01	12.08	10,52	9.25	8,19	7.30	6.56	5,92	4,89	4.11	400
33,07	27,33	22,97	19,57	16.87	14,70	12,92	11,44	10,21	9.16	8.27	6,83	5.74	450
44,58	36.84	30.96	26,38	22,75	19.81	17.41	15.43	13.76	12.35	11,15	9,21	7.74	500
58,52	48,37	40,64	34,63	29.86	26,01	22,86	20.25	18.06	16.21	14,63	12,09	10,16	550
75,06	62,03	52.13	44.41	38,30	33.36	29,32	25,97	23,17	20,79	18.76	15,51	13,03	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,43	0.35	0,30	0,25	0,22	0.19	0.17	0,15	0.13	0,12	0,11	0.09	0,07	80
0,67	0.55	0,46	0,39	0.34	0,30	0,26	0.23	0,21	0,18	0.17	0.14	0,12	100
0.98	0,81	0,68	0.58	0,50	0.44	0.38	0.34	0.30	0.27	0,25	0,20	0.17	120
1,40	1.16	0,97	0.83	0.71	0,62	0.55	0,48	0.43	0.39	0.35	0,29	0,24	140
1.88	1.55	1,31	1,11	0,96	0.84	0,73	0.65	0,58	0,52	0.47	0.39	0,33	160
2,43	2,01	1.69	1,44	1,24	1,08	0.95	0,84	0.75	0,67	0,61	0,50	0.42	180
3.10	2,56	2,15	1,83	1,58	1.38	1,21	1,07	0.96	0,86	0.77	0.64	0.54	200
3,97	3,28	7.76	2.35	2.03	1,76	1.55	1.37	1,23	1.10	0,99	0,82	0.69	220
4.86	4,02	3,38	2.88	2.48	2.16	1,90	1.68	1.50	1,35	1.22	1.00	0.84	240
6.01	4,97	4.18	3.56	3,07	2.67	2.35	2,08	1.86	1.67	1,50	1.24	1.04	260
7,26	6,00	5,04	4.30	3,71	3,23	2.84	2,51	2,24	2.01	1,82	1,50	1.26	280
8,67	7.17	6.02	5.13	4.42	3.85	3.39	3.00	2,68	2.40	2.17	1,79	1,51	300

5.6 1-A 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

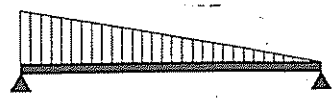
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	2,22800	8,11	3,60	2,03	1,30	0,90	0,66	0,51	0,40
100	8,10	34,2	49,6	1,78500	13,86	6,16	3,46	2,22	1,54	1,13	0,87	0,68
120	10,40	53,0	58,0	1,48700	20,73	9,55	5,37	3,44	2,39	1,75	1,34	1,06
140	12,90	77,3	66,0	1,27500	25,91	13,92	7,83	5,01	3,48	2,56	1,96	1,55
160	15,80	109,0	73,6	1,11900	31,61	19,63	11,04	7,07	4,91	3,61	2,76	2,18
180	18,80	146,0	82,0	0,98700	37,87	25,24	14,79	9,47	6,57	4,83	3,70	2,92
200	22,40	194,0	89,6	0,89200	44,48	29,65	19,66	12,58	8,74	6,42	4,91	3,88
220	26,20	252,0	99,2	0,81200	51,47	34,31	25,53	16,34	11,35	8,34	6,38	5,04
240	30,70	324,0	107,6	0,74300	59,35	39,57	29,67	21,01	14,59	10,72	8,21	6,48
270	36,10	429,0	120,8	0,66100	71,11	47,41	35,56	27,82	19,32	14,19	10,87	8,59
300	42,20	557,0	134,0	0,59500	85,13	56,75	42,56	34,05	25,08	18,43	14,11	11,15
330	49,10	713,0	142,0	0,54100	98,89	65,93	49,44	39,55	32,11	23,59	18,06	14,27
360	57,10	904,0	151,6	0,49600	114,93	76,62	57,47	45,97	38,31	29,91	22,90	18,09
400	66,30	1 160,0	158,0	0,44800	136,97	91,31	68,49	54,79	45,66	38,38	29,38	23,22
450	77,60	1 500,0	164,8	0,39700	167,83	111,89	83,92	67,13	55,94	47,95	38,00	30,02
500	90,70	1 930,0	172,4	0,35700	201,27	134,18	100,64	80,51	67,09	57,51	48,89	38,63
550	106,00	2 440,0	178,0	0,32400	241,38	160,92	120,69	96,55	80,46	68,96	60,34	48,84
600	122,00	3 070,0	186,4	0,29800	282,73	188,48	141,36	113,09	94,24	80,78	70,68	61,44

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,78500	23,34	15,56	9,12	5,84	4,05	2,98	2,28	1,80
120	26,70	144,0	122,4	1,48700	30,62	20,41	14,59	9,34	6,48	4,76	3,65	2,88
140	33,70	216,0	143,2	1,27700	38,70	25,80	19,35	14,01	9,73	7,15	5,47	4,32
160	42,60	311,0	162,0	1,11500	50,68	33,79	25,34	20,17	14,00	10,29	7,88	6,22
180	51,20	426,0	182,8	0,99300	60,83	40,55	30,42	24,33	19,18	14,09	10,79	8,53
200	61,30	570,0	202,8	0,89200	71,97	47,98	35,98	28,79	23,99	18,86	14,44	11,41
220	71,50	736,0	223,6	0,81200	83,60	55,73	41,80	33,44	27,87	23,89	18,64	14,73
240	83,20	938,0	243,2	0,74300	96,22	64,15	48,11	38,49	32,07	27,49	23,76	18,77
260	93,00	1 150,0	263,2	0,68800	104,82	69,88	52,41	41,93	34,94	29,95	26,20	23,02
280	103,00	1 380,0	283,6	0,63900	118,80	79,20	59,40	47,52	39,60	33,94	29,70	26,40
300	117,00	1 680,0	303,2	0,59600	133,49	89,00	66,75	53,40	44,50	38,14	33,37	29,66
320	127,00	1 930,0	302,8	0,55900	149,17	99,45	74,58	59,67	49,72	42,62	37,29	33,15
340	134,00	2 160,0	301,2	0,52600	165,09	110,06	82,55	66,04	55,03	47,17	41,27	36,69
360	142,00	2 400,0	299,6	0,49600	181,43	120,96	90,72	72,57	60,48	51,84	45,36	40,32
400	155,00	2 880,0	296,0	0,44600	216,46	144,31	108,23	86,58	72,15	61,85	54,11	48,10
450	171,00	3 550,0	293,2	0,39700	253,09	168,73	126,55	101,24	84,36	72,31	63,27	56,24
500	187,00	4 290,0	290,8	0,35700	290,39	193,59	145,19	116,16	96,80	82,97	72,60	64,53
550	199,00	4 970,0	286,8	0,32400	329,77	219,84	164,88	131,91	109,92	94,22	82,44	73,28
600	212,00	5 700,0	283,2	0,29700	371,93	247,95	185,96	148,77	123,98	106,26	92,98	82,65

5.6 1-A 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,32	0,27	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	80
0,55	0.46	0,38	0.33	0,28	0.25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,11	0,10	100
0,86	0,71	0,60	0,51	0.44	0,38	0,34	0,30	0,26	0.24	0,21	0,18	0,15	120
1,25	1,04	0,87	0,74	0,64	0,56	0,49	0,43	0,39	0.35	0,31	0,26	0,22	140
1,77	1.46	1,23	1.05	0,90	0,78	0,69	0.61	0,54	0,49	0,44	0.36	0.31	160
2,37	1.96	1,64	1.40	1,21	1,05	0.92	0,82	0,73	0,66	0,59	0,49	0,41	180
3,14	2,60	2,18	1,86	1,60	1,40	1,23	1,09	0,97	0.87	0,79	0,65	0,55	200
4,08	3.38	2.84	2.42	2.08	1,82	1,60	1,41	1,26	1,13	1.02	0,84	0,71	220
5,25	4,34	3,65	3,11	2,68	2,33	2,05	1,82	1,62	1,45	1,31	1,08	0,91	240
6,95	5,75	4,83	4,11	3,55	3,09	2,72	2,41	2,15	1,93	1,74	1,44	1,21	270
9,03	7.46	6,27	5.34	4,61	4,01	3,53	3,13	2.79	2,50	2,26	1,87	1,57	300
11,56	9,55	8,03	6,84	5,90	5,14	4,51	4,00	3,57	3,20	2,89	2,39	2,01	330
14,66	12,11	10,18	8,67	7,48	6,51	5,72	5,07	4,52	4,06	3,66	3,03	2,54	360
18,81	15.54	13.06	11,13	9,59	8,36	7,35	6,51	5,80	5,21	4,70	3,89	3,26	400
24,32	20,10	16,89	14,39	12.41	10,81	9,50	8,41	7,51	6,74	6,08	5,02	4,22	450
31,29	25,86	21,73	18,51	15,96	13,91	12,22	10,83	9,66	8.67	7.82	6.46	5,43	500
39,56	32,69	27,47	23,41	20,18	17,58	15,45	13,69	12,21	10,96	9,89	8,17	6,87	550
49,77	41,13	34,56	29.45	25.39	22.12	19.44	17.22	15,36	13.79	12.44	10.28	8.64	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,46	1,21	1,01	0,86	0,74	0,65	0,57	0,50	0,45	0,40	0,36	0,30	0,25	100
2.33	1,93	1.62	1.38	1.19	1,04	0,91	0,81	0.72	0,65	0.58	0,48	0,40	120
3.50	2.89	2.43	2.07	1.79	1,56	1,37	1.21	1,08	0,97	0,88	0,72	0,61	140
5,04	4,17	3,50	2,98	2,57	2,24	1.97	1,74	1,56	1,40	1,26	1,04	0,88	160
6.91	5,71	4,80	4,09	3,52	3,07	2,70	2,39	2,13	1,91	1,73	1,43	1,20	180
9,24	7.64	6,42	5,47	4,71	4,11	3,61	3,20	2.85	2.56	2,31	1,91	1,60	200
11.93	9,86	8,29	7,06	6.09	5.30	4,66	4,13	3,68	3,30	2,98	2.46	2,07	220
15,21	12.57	10,56	9,00	7.76	6,76	5,94	5,26	4,69	4,21	3,80	3,14	2,64	240
18.64	15.41	12.95	11,03	9,51	8,29	7,28	6.45	5,75	5,16	4,66	3,85	3,24	260
22.37	18,49	15,54	13,24	11,41	9,94	8,74	7,74	6,90	6,20	5,59	4.62	3,88	280
26,70	22.51	18,91	16.12	13.90	12,10	10,64	9,42	8,41	7,54	6,81	5,63	4,73	300
29.83	25,86	21,73	18,51	15,96	13,91	12,22	10,83	9,66	8,67	7,82	6,46	5,43	320
33.02	28,94	24,32	20,72	17.87	15.56	13,68	12,12	10,81	9,70	8,75	7.23	6,08	340
36,29	32,16	27,02	23,02	19.85	17.29	15.20	13,46	12,01	10,78	9,73	8,04	6,75	360
43.29	38.59	32.42	27,63	23,82	20,75	18,24	16,16	14,41	12,93	11,67	9,65	8,11	400
50,62	46,02	39,97	34,05	29,36	25,58	22,48	19,91	17,76	15,94	14,39	11.89	9,99	450
58,08	52,80	48.30	41.15	35,48	30,91	27,17	24,07	21,47	19,27	17,39	14,37	12,07	500
65,95	59.96	54,96	47,68	41,11	35,81	31,47	27,88	24,87	22,32	20,14	16.65	13.99	550
74.39	67,62	61,99	54,68	47,15	41,07	36,10	31,97	28,52	25,60	23,10	19,09	16,04	600

5.6 1-A 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

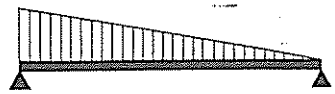
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	1,86200	18,94	12,62	7,38	4,72	3,28	2,41	1,84	1,46
120	19,90	106,0	120,8	1,56100	22,86	15,24	10,74	6,87	4,77	3,51	2,68	2,12
140	24,70	155,0	140,8	1,34300	29,42	19,62	14,71	10,05	6,98	5,13	3,93	3,10
160	30,40	220,0	159,2	1,17600	36,69	24,46	18,34	14,27	9,91	7,28	5,57	4,40
180	35,50	294,0	180,8	1,04500	41,86	27,91	20,93	16,75	13,24	9,73	7,45	5,88
200	42,30	389,0	199,2	0,94100	50,24	33,49	25,12	20,09	16,75	12,87	9,85	7,79
220	50,50	515,0	220,4	0,85000	60,05	40,03	30,02	24,02	20,02	17,04	13,05	10,31
240	60,30	675,0	240,0	0,77600	70,45	46,97	35,23	28,18	23,48	20,13	17,10	13,51
260	68,20	836,0	260,0	0,71400	76,73	51,15	38,36	30,69	25,58	21,92	19,18	16,73
280	76,40	1 010,0	280,0	0,65900	88,58	59,05	44,29	35,43	29,52	25,31	22,14	19,68
300	88,30	1 260,0	299,6	0,61600	101,01	67,34	50,50	40,40	33,67	28,86	25,25	22,45
320	97,60	1 480,0	299,6	0,57600	114,17	76,11	57,08	45,67	38,06	32,62	28,54	25,37
340	105,00	1 680,0	298,4	0,54100	128,07	85,38	64,03	51,23	42,69	36,59	32,02	28,46
360	112,00	1 890,0	297,2	0,51000	143,28	95,52	71,64	57,31	47,76	40,94	35,82	31,84
400	125,00	2 310,0	293,6	0,45700	174,42	116,28	87,21	69,77	58,14	49,83	43,61	38,76
450	140,00	2 900,0	291,6	0,40600	204,96	136,64	102,48	81,99	68,32	58,56	51,24	45,55
500	155,00	3 550,0	289,6	0,36400	238,57	159,05	119,28	95,43	79,52	68,16	59,64	53,02
550	166,00	4 150,0	286,0	0,33100	272,68	181,79	136,34	109,07	90,89	77,91	68,17	60,60
600	178,00	4 790,0	282,0	0,30300	308,44	205,63	154,22	123,38	102,81	88,13	77,11	68,54

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	1,48700	52,21	34,22	19,25	12,32	8,56	6,29	4,81	3,80
120	52,10	288,0	130,0	1,27200	64,98	43,32	29,18	18,68	12,97	9,53	7,29	5,76
140	63,20	411,0	150,8	1,11500	77,98	51,99	38,99	26,65	18,51	13,60	10,41	8,23
160	76,20	566,0	170,4	0,99000	95,41	63,61	47,71	36,70	25,49	18,73	14,34	11,33
180	88,90	748,0	190,8	0,89200	110,50	73,67	55,25	44,20	33,68	24,75	18,95	14,97
200	103,00	967,0	210,8	0,81100	126,54	84,36	63,27	50,61	42,18	31,99	24,49	19,35
220	117,00	1 220,0	231,6	0,74600	143,54	95,69	71,77	57,41	47,84	40,36	30,90	24,42
240	157,00	1 800,0	255,6	0,66100	185,75	123,83	92,88	74,30	61,92	53,07	45,60	36,03
260	172,00	2 160,0	276,0	0,61600	201,43	134,28	100,71	80,57	67,14	57,55	50,36	43,23
280	189,00	2 550,0	296,0	0,57500	222,63	148,42	111,32	89,05	74,21	63,61	55,66	49,47
300	238,00	3 480,0	320,0	0,52500	274,44	182,96	137,22	109,77	91,48	78,41	68,61	60,99
320	245,00	3 800,0	318,0	0,49800	290,23	193,48	145,11	116,09	96,74	82,92	72,56	64,49
340	248,00	4 050,0	316,0	0,47300	305,99	203,99	152,99	122,40	102,00	87,43	76,50	68,00
360	250,00	4 300,0	313,2	0,45200	322,33	214,89	161,17	128,93	107,44	92,10	80,58	71,63
400	256,00	4 820,0	308,0	0,41300	352,86	235,24	176,43	141,14	117,62	100,82	88,21	78,41
450	263,00	5 500,0	303,6	0,37300	392,30	261,53	196,15	156,92	130,77	112,09	98,07	87,18
500	270,00	6 180,0	298,4	0,34100	431,29	287,53	215,65	172,52	143,76	123,23	107,82	95,84
550	278,00	6 920,0	294,0	0,31200	471,66	314,44	235,83	188,66	157,22	134,76	117,91	104,81
600	285,00	7 660,0	288,8	0,28800	511,41	340,94	255,70	204,56	170,47	146,12	127,85	113,65

5.6 1-A 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,18	0,97	0,82	0,70	0,60	0,52	0,46	0,41	0,36	0,33	0,29	0,24	0,20	100
1,72	1,42	1,19	1,02	0,88	0,76	0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,35	0,30	120
2,51	2,08	1,74	1,49	1,28	1,12	0,98	0,87	0,78	0,70	0,63	0,52	0,44	140
3,57	2,95	2,48	2,11	1,82	1,58	1,39	1,23	1,10	0,99	0,89	0,74	0,62	160
4,77	3,94	3,31	2,82	2,43	2,12	1,86	1,65	1,47	1,32	1,19	0,98	0,83	180
6,31	5,21	4,38	3,73	3,22	2,80	2,46	2,18	1,95	1,75	1,58	1,30	1,09	200
8,35	6,90	5,80	4,94	4,26	3,71	3,26	2,89	2,58	2,31	2,09	1,72	1,45	220
10,94	9,04	7,60	6,47	5,58	4,86	4,27	3,79	3,38	3,03	2,74	2,26	1,90	240
13,55	11,20	9,41	8,02	6,91	6,02	5,29	4,69	4,18	3,75	3,39	2,80	2,35	260
16,37	13,53	11,37	9,69	8,35	7,28	6,40	5,67	5,05	4,54	4,09	3,38	2,84	280
20,20	16,88	14,18	12,09	10,42	9,08	7,98	7,07	6,30	5,66	5,11	4,22	3,55	300
22,83	19,83	16,66	14,20	12,24	10,66	9,37	8,30	7,40	6,65	6,00	4,96	4,17	320
25,61	22,51	18,91	16,12	13,90	12,10	10,64	9,42	8,41	7,54	6,81	5.63	4,73	340
28,66	25,32	21,28	18,13	15,63	13.62	11,97	10,60	9,46	8,49	7,66	6,33	5,32	360
34,88	30,95	26,01	22,16	19,11	16,64	14,63	12,96	11,56	10,37	9.36	7,74	6,50	400
40,99	37,27	32,65	27,82	23,99	20,89	18,36	16,27	14,51	13,02	11,75	9,71	8,16	450
47,71	43,38	39,76	34.05	29,36	25,58	22,48	19,91	17,76	15,94	14,39	11,89	9,99	500
54,54	49,58	45,45	39.81	34,33	29,90	26,28	23,28	20,76	18,64	16,82	13,90	11,68	550
61,69	56,08	51,41	45,95	39,62	34,51	30,33	26,87	23,97	21,51	19,41	16,04	13,48	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,08	2,55	2,14	1,82	1.57	1,37	1.20	1,07	0,95	0,85	0,77	0,64	0,53	100
4,67	3,86	3,24	2,76	2,38	2.07	1,82	1.62	1,44	1,29	1,17	0,96	0,81	120
6,66	5.51	4,63	3.94	3,40	2,96	2,60	2,31	2.06	1.85	1,67	1.38	1.16	140
9,18	7,58	6,37	5.43	4,68	4,08	3,58	3,17	2,83	2,54	2,29	1,90	1,59	160
12.13	10,02	8,42	7.17	6.19	5,39	4,74	4,20	3,74	3,36	3,03	2,50	2,10	180
15,68	12.96	10,89	9,28	8,00	6,97	6,12	5,42	4.84	4,34	3,92	3,24	2.72	200
19.78	16.35	13.73	11,70	10,09	8,79	7,73	6,84	6,10	5.48	4,94	4,09	3,43	220
29,18	24.12	20.26	17,27	14.89	12,97	11,40	10,10	9,01	8,08	7.29	6,03	5,07	240
35,02	28,94	24,32	20,72	17.87	15.56	13,68	12.12	10,81	9,70	8,75	7,23	6,08	260
41.34	34.17	28,71	24,46	21,09	18,37	16,15	14,30	12,76	11,45	10,33	8,54	7,18	280
54.89	46.63	39,18	33,38	28,78	25.07	22,04	19,52	17,41	15,63	14.10	11,66	9,79	300
58.04	50.91	42,78	36.45	31.43	27,38	24,06	21,32	19,01	17,06	15,40	12.73	10.69	320
61,20	54,26	45,60	38,85	33.50	29.18	25.65	22,72	20,26	18.19	16.41	13,57	11.40	340
64,47	57,61	48.41	41,25	35,57	30,98	27,23	24,12	21.52	19,31	17,43	14,40	12,10	360
70.57	64.16	54.26	46.24	39,87	34,73	30,52	27.04	24,12	21,65	19,53	16.14	13.57	400
78.46	71.33	61,92	52,76	45,49	39,63	34,83	30.85	27,52	24,70	22,29	18,42	15.48	450
86,26	78,42	69,58	59,28	51.12	44.53	39,14	34,67	30,92	27,75	25,05	20,70	17,39	500
94,33	85,76	77.91	66.38	57,24	49.86	43,82	38,82	34.63	31.08	28.05	23,18	19,48	550
102,28	92,98	85.23	73,48	63,36	55,19	48,51	42,97	38,33	34,40	31.05	25,66	21.56	600

5.6 1-A 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	2,19500	6,08	2,70	1,52	0,97	0,68	0,50	0,38	0,30
100	8,32	34,2	42,8	1,75600	10,67	4,74	2,67	1,71	1,19	0,87	0,67	0,53
120	11,10	54,7	49,2	1,46400	17,07	7,59	4,27	2,73	1,90	1,39	1,07	0,84
140	14,40	81,9	56,0	1,25500	25,55	11,36	6,39	4,09	2,84	2,09	1,60	1,26
160	17,90	117,0	62,0	1,09900	36,50	16,22	9,13	5,84	4,06	2,98	2,28	1,80
180	21,90	161,0	68,4	0,97500	50,23	22,33	12,56	8,04	5,58	4,10	3,14	2,48
200	26,30	214,0	74,8	0,87800	66,77	29,67	16,69	10,68	7,42	5,45	4,17	3,30
220	31,10	278,0	80,8	0,79800	86,74	38,55	21,68	13,88	9,64	7,08	5,42	4,28
240	36,20	354,0	88,0	0,73100	107,77	49,09	27,61	17,67	12,27	9,02	6,90	5,45
260	41,90	442,0	92,8	0,67600	126,06	61,29	34,48	22,06	15,32	11,26	8,62	6,81
280	48,00	542,0	98,0	0,62700	141,82	75,16	42,28	27,06	18,79	13,80	10,57	8,35
300	54,20	653,0	102,4	0,58500	166,80	90,55	50,93	32,60	22,64	16,63	12,73	10,05
320	61,10	782,0	106,8	0,54900	189,02	108,44	61,00	39,04	27,11	19,92	15,25	12,05
340	68,10	923,0	112,0	0,51600	212,98	127,99	71,99	46,08	32,00	23,51	18,00	14,22
360	76,20	1 090,0	116,0	0,48800	239,92	151,15	85,02	54,41	37,79	27,76	21,25	16,79
380	84,00	1 260,0	120,8	0,46100	266,54	174,72	98,28	62,90	43,68	32,09	24,57	19,41
400	92,60	1 460,0	125,2	0,43900	294,70	196,47	113,88	72,88	50,61	37,19	28,47	22,49
450	115,00	2 040,0	137,2	0,39100	371,66	247,77	159,12	101,84	70,72	51,96	39,78	31,43
500	141,00	2 750,0	148,8	0,35100	458,61	305,74	214,50	137,28	95,33	70,04	53,62	42,37
550	167,00	3 610,0	160,8	0,32000	533,72	355,81	266,86	180,21	125,15	91,94	70,39	55,62
600	199,00	4 630,0	173,0	0,29200	660,36	440,24	330,18	231,13	160,51	117,92	90,28	71,34

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	2,19500	8,27	3,67	2,07	1,32	0,92	0,67	0,52	0,41
100	10,60	41,2	58,8	1,75600	12,85	5,71	3,21	2,06	1,43	1,05	0,80	0,63
120	13,40	60,7	63,6	1,46400	18,94	8,42	4,73	3,03	2,10	1,55	1,18	0,94
140	16,00	86,4	70,0	1,25400	26,96	11,98	6,74	4,31	3,00	2,20	1,68	1,33
160	18,80	116,0	75,6	1,10100	36,19	16,09	9,05	5,79	4,02	2,95	2,26	1,79
180	22,00	150,0	80,8	0,97600	46,80	20,80	11,70	7,49	5,20	3,82	2,92	2,31
200	25,30	191,0	85,6	0,87800	59,59	26,49	14,90	9,53	6,62	4,86	3,72	2,94
220	29,40	245,0	92,0	0,80000	76,44	33,97	19,11	12,23	8,49	6,24	4,78	3,77
240	33,20	300,0	96,8	0,73200	93,60	41,60	23,40	14,98	10,40	7,64	5,85	4,62
260	37,90	371,0	102,4	0,67600	115,75	51,45	28,94	18,52	12,86	9,45	7,23	5,72
280	41,80	448,0	109,6	0,62600	139,78	62,12	34,94	22,36	15,53	11,41	8,74	6,90
300	46,20	535,0	116,0	0,58500	152,58	74,19	41,73	26,71	18,55	13,63	10,43	8,24

5.6 I-A 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$c_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													I PN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,24	0,20	0,17	0,14	0,12	0.11	0,10	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	80
0,43	0.35	0.30	0,25	0,22	0.19	0,17	0.15	0,13	0.12	0,11	0,09	0,07	100
0,68	0,56	0,47	0,40	0,35	0.30	0,27	0.24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	120
1,02	0,84	0.71	0,60	0,52	0.45	0,40	0.35	0,32	0,28	0,26	0,21	0,18	140
1,46	1,21	1.01	0,86	0,74	0,65	0,57	0,51	0,45	0,40	0,37	0,30	0,25	160
2,01	1,66	1,40	1,19	1 03	0,89	0,78	0,70	0,62	0,56	0,50	0,42	0,35	180
2,67	2,21	1,85	1.58	1,36	1,19	1.04	0.92	0,82	0.74	0,67	0,55	0,46	200
3,47	2.87	2.41	2,05	1.77	1,54	1.36	1,20	1,07	0,96	0,87	0,72	0,60	220
4,42	3,65	3.07	2,61	2,25	1,96	1,73	1,53	1,36	1,22	1,10	0,91	0,77	240
5,52	4,56	3,83	3,26	2,81	2.45	2,15	1,91	1,70	1,53	1,38	1,14	0,96	260
6,76	5,59	4,70	4,00	3,45	3,01	2,64	2,34	2,09	1,87	1,69	1,40	1,17	280
8,15	6,74	5,66	4.82	4,16	3,62	3,18	2,82	2,52	2,26	2,04	1,68	1,41	300
9,76	8,07	6.78	5.77	4,98	4,34	3,81	3,38	3,01	2,70	2,44	2.02	1,69	320
11,52	9,52	8.00	6,82	5.88	5,12	4,50	3,99	3,56	3.19	2,88	2,38	2,00	340
13,60	11,24	9.45	8,05	6.94	6.05	5.31	4,71	4,20	3,77	3,40	2,81	2,36	360
15,72	13,00	10,92	9,30	8.02	6,99	6,14	5,44	4,85	4,36	3,93	3,25	2,73	380
18,22	15,06	12,65	10.78	9,30	8,10	7,12	6,30	5,62	5.05	4,56	3.76	3.16	400
25,46	21,04	17,68	15.06	12,99	11,32	9,94	8.81	7,86	7.05	6,36	5,26	4,42	450
34,32	28,36	23,83	20.31	17,51	15.25	13,41	11,88	10,59	9,51	8,58	7,09	5,96	500
45,05	37,23	31,29	26,66	22,99	20,02	17,60	15,59	13,91	12,48	11,26	9,31	7,82	550
57,78	47,75	40,13	34,19	29,48	25,68	22,57	19,99	17,83	16,01	14,45	11,94	10.03	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6.5	7.0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,33	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0.13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	80
0,51	0.42	0,36	0,30	0.26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	100
0,76	0,63	0,53	0,45	0,39	0.34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,13	120
1,08	0,89	0,75	0,64	0,55	0,48	0,42	0,37	0,33	0,30	0,27	0,22	0,19	140
1,45	1,20	1,01	0,86	0,74	0,64	0.57	0,50	0,45	0.40	0,36	0.30	0,25	160
1,87	1,55	1,30	1,11	0,96	0,83	0,73	0,65	0,58	0,52	0,47	0,39	0,32	180
2.38	1,97	1,66	1,41	1.22	1,06	0,93	0,82	0,74	0,66	0,60	0,49	0,41	200
3,06	2,53	2,12	1,81	1,56	1,36	1,19	1,06	0,94	0,85	0,76	0.63	0,53	220
3,74	3,09	2.60	2,22	1.91	1.66	1,46	1,30	1,16	1,04	0,94	0,77	0,65	240
4,63	3,83	3,22	2,74	2,36	2,06	1,81	1,60	1,43	1.28	1,16	0,96	0,80	260
5,59	4,62	3,88	3,31	2,85	2,48	2,18	1,93	1,73	1,55	1,40	1,16	0,97	280
6,68	5,52	4,64	3,95	3,41	2,97	2,61	2,31	2,06	1,85	1,67	1,38	1,16	300

5.6 I-A 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	2,19200	6,24	2,77	1,56	1,00	0,69	0,51	0,39	0,31
100	8,10	34,2	49,6	1,75600	10,67	4,74	2,67	1,71	1,19	0,87	0,67	0,53
120	10,40	53,0	58,0	1,46300	16,54	7,35	4,13	2,65	1,84	1,35	1,03	0,82
140	12,90	77,3	66,0	1,25500	24,12	10,72	6,03	3,86	2,68	1,97	1,51	1,19
160	15,80	109,0	73,6	1,10100	34,01	15,11	8,50	5,44	3,78	2,78	2,13	1,68
180	18,80	146,0	82,0	0,97100	45,55	20,25	11,39	7,29	5,06	3,72	2,85	2,25
200	22,40	194,0	89,6	0,87800	59,30	26,90	15,13	9,68	6,73	4,94	3,78	2,99
220	26,20	252,0	99,2	0,79900	68,62	34,94	19,66	12,58	8,74	6,42	4,91	3,88
240	30,70	324,0	107,6	0,73100	79,13	44,93	25,27	16,17	11,23	8,25	6,32	4,99
270	36,10	429,0	120,8	0,65100	94,82	59,49	33,46	21,42	14,87	10,93	8,37	6,61
300	42,20	557,0	134,0	0,58500	113,50	75,67	43,45	27,81	19,31	14,19	10,86	8,58
330	49,10	713,0	142,0	0,53200	131,85	87,90	55,61	35,59	24,72	18,16	13,90	10,99
360	57,10	904,0	151,6	0,48800	153,24	102,16	70,51	45,13	31,34	23,02	17,63	13,93
400	66,30	1 160,0	158,0	0,44000	182,63	121,75	90,48	57,91	40,21	29,54	22,62	17,87
450	77,60	1 500,0	164,8	0,39000	223,78	149,18	111,89	74,88	52,00	38,20	29,25	23,11
500	90,70	1 930,0	172,4	0,35200	268,37	178,91	134,18	96,35	66,91	49,16	37,63	29,74
550	106,00	2 440,0	178,0	0,31900	321,83	214,56	160,92	121,80	84,59	62,15	47,58	37,59
600	122,00	3 070,0	186,4	0,29300	376,97	251,31	188,48	150,79	106,43	78,19	59,86	47,30

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	1,75600	28,05	12,47	7,01	4,49	3,12	2,29	1,75	1,39
120	26,70	144,0	122,4	1,46300	40,82	19,97	11,23	7,19	4,99	3,67	2,81	2,22
140	33,70	216,0	143,2	1,25600	51,60	29,95	16,85	10,78	7,49	5,50	4,21	3,33
160	42,60	311,0	162,0	1,09700	67,58	43,13	24,26	15,53	10,78	7,92	6,06	4,79
180	51,20	426,0	182,8	0,97700	81,11	54,07	33,23	21,27	14,77	10,85	8,31	6,56
200	61,30	570,0	202,8	0,87800	95,96	63,97	44,46	28,45	19,76	14,52	11,11	8,78
220	71,50	736,0	223,6	0,79900	111,47	74,31	55,73	36,74	25,51	18,75	14,35	11,34
240	83,20	938,0	243,2	0,73100	128,29	85,53	64,15	46,82	32,52	23,89	18,29	14,45
260	93,00	1 150,0	263,2	0,67700	139,76	93,17	69,88	55,90	39,87	29,29	22,42	17,72
280	103,00	1 380,0	283,6	0,62900	158,40	105,60	79,20	63,36	47,84	35,15	26,91	21,26
300	117,00	1 680,0	303,2	0,58600	177,99	118,66	89,00	71,20	58,24	42,79	32,76	25,88
320	127,00	1 930,0	302,8	0,55000	198,89	132,60	99,45	79,56	66,30	49,16	37,63	29,74
340	134,00	2 160,0	301,2	0,51700	220,12	146,75	110,06	88,05	73,37	55,01	42,12	33,28
360	142,00	2 400,0	299,6	0,48800	241,91	161,28	120,96	96,77	80,64	61,13	46,80	36,98
400	155,00	2 880,0	296,0	0,43800	288,61	192,41	144,31	115,45	96,20	73,35	56,16	44,37
450	171,00	3 550,0	293,2	0,39000	337,47	224,98	168,74	134,99	112,49	90,42	69,22	54,70
500	187,00	4 290,0	290,8	0,35100	387,27	258,18	193,64	154,91	129,09	109,26	83,65	66,10
550	199,00	4 970,0	286,8	0,31900	439,72	293,15	219,86	175,89	146,57	125,63	96,91	76,57
600	212,00	5 700,0	283,2	0,29300	495,79	330,52	247,89	198,31	165,26	141,65	111,15	87,82

5.6 1-A 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = **2 600 kg/cm²**

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,25	0.21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	80
0,43	0.35	0,30	0.25	0,22	0.19	0,17	0,15	0.13	0,12	0.11	0,09	0,07	100
0,66	0.55	0,46	0,39	0.34	0.29	0,26	0,23	0.20	0,18	0,17	0,14	0.11	120
0,96	0.80	0,67	0,57	0.49	0,43	0.38	0.33	0.30	0,27	0.24	0,20	0.17	140
1,36	1,12	0,94	0,80	0,69	0,60	0.53	0.47	0,42	0,38	0.34	0,28	0,24	160
1,82	1,51	1,27	1,08	0,93	0,81	0.71	0,63	0,56	0,50	0.46	0.38	0,32	180
2,42	2.00	1.68	1,43	1.24	1.08	0,95	0,84	0.75	0,67	0.61	0.50	0,42	200
3,14	2.60	2.18	1,86	1,60	1,40	1,23	1,09	0,97	0.87	0,79	0,65	0,55	220
4,04	3,34	2,81	2.39	2,06	1,80	1.58	1.40	1,25	1.12	1,01	0,84	0.70	240
5,35	4,42	3,72	3.17	2,73	2,38	2.09	1.85	1,65	1,48	1,34	1,11	0.93	270
6,95	5,74	4,83	4.11	3,55	3,09	2.72	2.41	2,15	1,93	1.74	1,44	1.21	300
8,90	7.35	6,18	5,27	4,54	3.95	3,48	3.08	2.75	2,46	2,22	1,84	1,54	330
11,28	9.32	7,83	6,68	5.76	5.01	4,41	3,90	3.48	3,13	2,82	2.33	1,96	360
14,48	11.96	10,05	8,57	7,39	6.43	5,65	5,01	4,47	4.01	3,62	2,99	2,51	400
18,72	15.47	13,00	11.08	9,55	8.32	7.31	6,48	5,78	5.19	4,68	3,87	3,25	450
24,09	19,91	16,73	14,25	12.29	10.71	9.41	8,33	7,43	6,67	6.02	4.98	4,18	500
30,45	25,17	21,15	18,02	15,54	13,53	11.89	10,54	9.40	8,44	7,61	6.29	5,29	550
38,31	31,66	26,61	22.67	19.55	17,03	14.97	13.26	11.83	10,61	9.58	7,92	6,65	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,12	0,93	0,78	0,66	0,57	0.50	0.44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,23	0.19	100
1,80	1.49	1,25	1,06	0,92	0,80	0,70	0.62	0,55	0,50	0.45	0,37	0.31	120
2.70	2.23	1,87	1,60	1,38	1,20	1,05	0,93	0,83	0,75	0.67	0,56	0,47	140
3.88	3,21	2,70	2,30	1,98	1.73	1,52	1,34	1.20	1,08	0,97	0.80	0,67	160
5,32	4,39	3,69	3,15	2,71	2,36	2.08	1,84	1.64	1.47	1,33	1.10	0,92	180
7,11	5,88	4.94	4,21	3,63	3.16	2.78	2.46	2,20	1,97	1,78	1,47	1.23	200
9,19	7.59	6.38	5,44	4.69	4,08	3,59	3,18	2,83	2,54	2.30	1,90	1,59	220
11.71	9,67	8,13	6,93	5,97	5,20	4,57	4,05	3.61	3,24	2,93	2,42	2,03	240
14,35	11,86	9,97	8,49	7.32	6,38	5.61	4,97	4.43	3,98	3,59	2.97	2,49	260
17,22	14,23	11,96	10,19	8.79	7.65	6.73	5,96	5,32	4.77	4,31	3,56	2.99	280
20,97	17.33	14,56	12,41	10,70	9,32	8,19	7.25	6,47	5,81	5,24	4,33	3,64	300
24.09	19,91	16,73	14.25	12.29	10,71	9,41	8,33	7,43	6,67	6.02	4,98	4,18	320
26.96	22,28	18,72	15,95	13.75	11.98	10.53	9,33	8.32	7,47	6.74	5.57	4,68	340
29,95	24,75	20,80	17,72	15,28	13,31	11.70	10,36	9,24	8,30	7,49	6.19	5.20	360
35,94	29.70	24,96	21,27	18.34	15.97	14,04	12,44	11,09	9.96	8,99	7,43	6,24	400
44,30	36,61	30,77	26,22	22,60	19.69	17.31	15,33	13,67	12,27	11.08	9,15	7,69	450
53,54	44,25	37,18	31,68	27,32	23,80	20,91	18,53	16,52	14,83	13.38	11,06	9,29	500
62,03	51,26	43,07	36,70	31,65	27,57	24,23	21,46	19.14	17,18	15.51	12.82	10,77	550
71,14	58,79	49,40	42,09	36,29	31,62	27,79	24,61	21,96	19,71	17,78	14,70	12,35	600

5.6 1-A 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

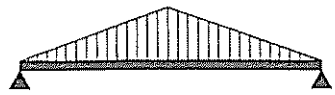
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	1,83200	22,71	10,09	5,68	3,63	2,52	1,85	1,42	1,12
120	19,90	106,0	120,8	1,53600	30,47	14,70	8,27	5,29	3,67	2,70	2,07	1,63
140	24,70	155,0	140,8	1,32100	39,23	21,49	12,09	7,74	5,37	3,95	3,02	2,39
160	30,40	220,0	159,2	1,15700	48,91	30,51	17,16	10,98	7,63	5,60	4,29	3,39
180	35,50	294,0	180,8	1,02900	55,82	37,21	22,93	14,68	10,19	7,49	5,73	4,53
200	42,30	389,0	199,2	0,92600	66,98	44,66	30,34	19,42	13,49	9,91	7,59	5,99
220	50,50	515,0	220,4	0,83600	80,07	53,38	40,03	25,71	17,85	13,12	10,04	7,93
240	60,30	675,0	240,0	0,76400	93,94	62,63	46,97	33,70	23,40	17,19	13,16	10,40
260	68,20	836,0	260,0	0,70200	102,30	68,20	51,15	40,92	28,98	21,29	16,30	12,88
280	76,40	1 010,0	280,0	0,64900	118,10	78,73	59,05	47,24	35,01	25,72	19,69	15,56
300	88,30	1 260,0	299,6	0,60600	134,67	89,78	67,34	53,87	43,68	32,09	24,57	19,41
320	97,60	1 480,0	299,6	0,56700	152,23	101,49	76,11	60,89	50,74	37,69	28,86	22,80
340	105,00	1 680,0	298,4	0,53300	170,76	113,84	85,38	68,30	56,92	42,79	32,76	25,88
360	112,00	1 890,0	297,2	0,50200	191,05	127,36	95,52	76,42	63,68	48,14	36,85	29,12
400	125,00	2 310,0	293,6	0,45000	232,56	155,04	116,28	93,03	77,52	58,83	45,04	35,59
450	140,00	2 900,0	291,6	0,40000	273,29	182,19	136,64	109,32	91,10	73,86	56,55	44,68
500	155,00	3 550,0	289,6	0,35800	318,09	212,06	159,05	127,24	106,03	90,42	69,22	54,70
550	166,00	4 150,0	286,0	0,32600	363,58	242,39	181,79	145,43	121,19	103,88	80,92	63,94
600	178,00	4 790,0	282,0	0,29800	411,26	274,17	205,63	164,50	137,09	117,50	93,40	73,80

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	1,46300	59,28	26,35	14,82	9,48	6,59	4,84	3,70	2,93
120	52,10	288,0	130,0	1,25200	86,64	39,94	22,46	14,38	9,98	7,34	5,62	4,44
140	63,20	411,0	150,8	1,09700	103,97	56,99	32,06	20,52	14,25	10,47	8,01	6,33
160	76,20	566,0	170,4	0,97400	127,22	78,49	44,15	28,25	19,62	14,42	11,04	8,72
180	88,90	748,0	190,8	0,87800	147,34	98,23	58,34	37,34	25,93	19,05	14,59	11,52
200	103,00	967,0	210,8	0,79800	168,72	112,48	75,43	48,27	33,52	24,63	18,86	14,90
220	117,00	1 220,0	231,6	0,73400	191,38	127,59	95,16	60,90	42,29	31,07	23,79	18,80
240	157,00	1 800,0	255,6	0,65100	247,67	165,11	123,83	89,86	62,40	45,84	35,10	27,73
260	172,00	2 160,0	276,0	0,60600	268,57	179,05	134,28	107,43	74,88	55,01	42,12	33,28
280	189,00	2 550,0	296,0	0,56600	296,84	197,90	148,42	118,74	88,40	64,95	49,72	39,29
300	238,00	3 480,0	320,0	0,51600	365,92	243,95	182,96	146,37	120,64	88,63	67,86	53,62
320	245,00	3 800,0	318,0	0,49000	386,97	257,98	193,48	154,79	128,99	96,78	74,10	58,55
340	248,00	4 050,0	316,0	0,46600	408,04	272,03	204,02	163,22	136,01	103,15	78,97	62,40
360	250,00	4 300,0	313,2	0,44500	429,78	286,52	214,89	171,91	143,26	109,52	83,85	66,25
400	256,00	4 820,0	308,0	0,40700	470,48	313,65	235,24	188,19	156,83	122,76	93,99	74,26
450	263,00	5 500,0	303,6	0,36700	523,07	348,71	261,53	209,23	174,36	140,08	107,25	84,74
500	270,00	6 180,0	298,4	0,33500	575,06	383,37	287,53	230,02	191,69	157,40	120,51	95,22
550	278,00	6 920,0	294,0	0,30700	628,88	419,25	314,44	251,55	209,63	176,25	134,94	106,62
600	285,00	7 660,0	288,8	0,28300	681,88	454,59	340,94	272,75	227,29	194,82	149,37	118,02

5.6 1-A 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5.5	6,0	6.5	7,0	7.5	8.0	8,5	9,0	9.5	10,0	11,0	12.0	
0,91	0.75	0.63	0.54	0.46	0,40	0.35	0.31	0.28	0,25	0,23	0,19	0.16	100
1.32	1.09	0.92	0.78	0,67	0.59	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	0.27	0,23	120
1,93	1,60	1.34	1,14	0.99	0,86	0,76	0,67	0.60	0.54	0,48	0.40	0.34	140
2,75	2.27	1,91	1.62	1.40	1,22	1,07	0.95	0.85	0,76	0.69	0,57	0.48	160
3,67	3.03	2,55	2.17	1.87	1,63	1.43	1.27	1.13	1,02	0,92	0.76	0,64	180
4,85	4.01	3.37	2,87	2,48	2.16	1.90	1,68	1,50	1.34	1.21	1.00	0.84	200
6,43	5,31	4,46	3,80	3.28	2,86	2.51	2,22	1,98	1,78	1,61	1.33	1,12	220
8,42	6.96	5,85	4.98	4,30	3.74	3.29	2.91	2.60	2.33	2,11	1,74	1,46	240
10,43	8,62	7.25	6.17	5,32	4.64	4.08	3.61	3,22	2.89	2.61	2,16	1.81	260
12.60	10.42	8.75	7,46	6.43	5,60	4,92	4,36	3,89	3.49	3,15	2,60	2.19	280
15,72	13,00	10.92	9,30	8.02	6,99	6,14	5.44	4.85	4.36	3,93	3,25	2.73	300
18,47	15.26	12.83	10.93	9.42	8.21	7,21	6,39	5,70	5.12	4,62	3.82	3.21	320
20,97	17,33	14.56	12,41	10,70	9.32	8.19	7,25	6,47	5,81	5.24	4.33	3.64	340
23,59	19,49	16,38	13,96	12,03	10.48	9,21	8.16	7,28	6,53	5.90	4.87	4.09	360
28,83	23.83	20.02	17.06	14.71	12,81	11,26	9,98	8.90	7.99	7.21	5,96	5,00	400
36,19	29.91	25,13	21,42	18.47	16.09	14,14	12,52	11,17	10.03	9.05	7,48	6,28	450
44,30	36,61	30,77	26,22	22.60	19.69	17,31	15,33	13.67	12,27	11,08	9.15	7,69	500
51.79	42.80	35,97	30,65	26.42	23.02	20.23	17,92	15.99	14,35	12,95	10,70	8,99	550
59,78	49.40	41.51	35,37	30.50	26,57	23,35	20,68	18.45	16,56	14.94	12.35	10.38	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2.37	1,96	1.65	1,40	1,21	1,05	0,93	0,82	0.73	0,66	0,59	0.49	0.41	100
3,59	2,97	2,50	2,13	1.83	1.60	1,40	1,24	1,11	1.00	0,90	0.74	0,62	120
5.13	4.24	3.56	3,04	2.62	2.28	2.00	1.77	1.58	1.42	1,28	1,06	0,89	140
7.06	5.84	4,91	4,18	3.60	3,14	2.76	2.44	2.18	1.96	1,77	1.46	1.23	160
9,34	7.71	6.48	5,52	4.76	4,15	3.65	3,23	2.88	2,59	2,33	1.93	1.62	180
12,07	9.97	8.38	7.14	6,16	5.36	4.71	4.18	3,72	3,34	3.02	2.49	2.10	200
15,23	12.58	10.57	9.01	7,77	6.77	5.95	5.27	4.70	4.22	3.81	3.15	2.64	220
22.46	18.57	15.60	13.29	11.46	9.98	8.77	7,77	6.93	6.22	5.62	4,64	3.90	240
26.96	22.28	18.72	15,95	13.75	11.98	10.53	9.33	8.32	7.47	6.74	5.57	4,68	260
31,82	26.30	22,10	18.83	16.24	14,14	12.43	11.01	9.82	8,82	7.96	6.58	5,52	180
43,43	35.89	30.16	25,70	22,16	19,30	16,96	15.03	13,40	12,03	10.86	8.97	7.54	300
47,42	39,19	32,93	28.06	24,20	21.08	18.52	16,41	14.64	13.14	11,86	9.80	8.23	320
50.54	41,77	35,10	29.91	25.79	22.46	19.74	17,49	15.60	14.00	12,64	10,44	8.77	340
53.66	44,35	37.27	31.75	27.38	23.85	20.96	18,57	16.56	14.87	13,42	11,09	9,32	360
60.15	49,71	41.77	35.59	30.69	26.73	23.50	20,81	18,57	16,66	15.04	12,43	10,44	400
68.64	56,73	47.67	40,62	35.02	30.51	26.81	23,75	21,19	19,01	17.16	14,18	11,92	450
77.13	63.74	53,56	45.64	39,35	34,28	30,13	26.69	23.80	21.36	19.28	15.94	13,39	500
86.36	71,37	59,97	51.10	44,06	38,38	33,73	29,88	26.65	23.92	21,59	17,84	14,99	550
95,60	79,01	66,39	56,57	48,77	42,49	37,34	33,08	29,51	26,48	23,90	19,75	16,60	600

5.6 1-A 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	5,95	19,5	36,4	0,94900	4,06	1,80	1,01	0,65	0,45	0,33	0,25	0,20	
100	8,32	34,2	42,8	0,75900	7,11	3,16	1,78	1,14	0,79	0,58	0,44	0,35	
120	11,10	54,7	49,2	0,63300	10,62	5,06	2,84	1,82	1,26	0,93	0,71	0,56	
140	14,40	81,9	56,0	0,54300	14,76	7,57	4,26	2,73	1,89	1,39	1,06	0,84	
160	17,90	117,0	62,0	0,47500	19,68	10,71	6,08	3,89	2,70	1,99	1,52	1,20	
180	21,90	161,0	68,4	0,42200	25,36	14,06	8,37	5,36	3,72	2,73	2,09	1,65	
200	26,30	214,0	74,8	0,38000	30,84	17,76	11,13	7,12	4,95	3,63	2,78	2,20	
220	31,10	278,0	80,8	0,34500	36,75	22,11	14,20	9,25	6,42	4,72	3,61	2,86	
240	36,20	354,0	88,0	0,31600	43,11	26,90	17,45	11,78	8,18	6,01	4,60	3,64	
260	41,90	442,0	92,8	0,29200	50,42	32,38	21,19	14,71	10,21	7,50	5,75	4,54	
280	48,00	542,0	98,0	0,27100	58,26	38,38	25,30	17,80	12,53	9,20	7,05	5,57	
300	54,20	653,0	102,4	0,25300	66,72	44,48	29,80	21,08	15,09	11,09	8,49	6,71	
320	61,10	782,0	106,8	0,23700	75,61	50,41	34,72	24,70	18,07	13,28	10,17	8,03	
340	68,10	923,0	112,0	0,22300	85,19	56,79	40,04	28,60	21,33	15,67	12,00	9,48	
360	76,20	1 090,0	116,0	0,21100	95,82	63,88	46,06	33,07	24,77	18,51	14,17	11,20	
380	84,00	1 260,0	120,8	0,19900	106,62	71,08	52,25	37,68	28,32	21,39	16,38	12,94	
400	92,60	1 460,0	125,2	0,19000	117,88	78,59	58,87	42,63	32,15	24,79	18,98	15,00	
450	115,00	2 040,0	137,2	0,16900	148,66	99,11	74,33	56,57	43,05	33,73	26,52	20,95	
500	141,00	2 750,0	148,8	0,15200	183,44	122,29	91,72	72,73	55,76	43,97	35,46	28,25	
550	167,00	3 610,0	160,8	0,13800	213,49	142,33	106,74	85,39	68,41	54,48	44,30	36,65	
600	199,00	4 630,0	172,0	0,12600	264,14	176,09	132,07	105,66	86,73	69,18	56,33	46,66	

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	8,65	26,5	53,2	0,94900	5,51	2,45	1,38	0,88	0,61	0,45	0,34	0,27	
100	10,60	41,2	58,8	0,75900	8,57	3,81	2,14	1,37	0,95	0,70	0,54	0,42	
120	13,40	60,7	63,6	0,63300	12,63	5,61	3,16	2,02	1,40	1,03	0,79	0,62	
140	16,00	86,4	70,0	0,54200	17,40	7,99	4,49	2,88	2,00	1,47	1,12	0,89	
160	18,80	116,0	75,6	0,47600	22,59	10,72	6,03	3,86	2,68	1,97	1,51	1,19	
180	22,00	150,0	80,8	0,42200	27,43	13,87	7,80	4,99	3,47	2,55	1,95	1,54	
200	25,30	191,0	85,6	0,38000	33,50	17,66	9,93	6,36	4,41	3,24	2,48	1,96	
220	29,40	245,0	92,0	0,34600	39,83	22,35	12,74	8,15	5,66	4,16	3,18	2,52	
240	33,20	300,0	96,8	0,31600	45,89	26,66	15,60	9,98	6,93	5,09	3,90	3,08	
260	37,90	371,0	102,4	0,29200	52,38	31,71	19,29	12,35	8,57	6,30	4,82	3,81	
280	41,80	448,0	109,6	0,27100	56,70	35,98	23,24	14,91	10,35	7,61	5,82	4,60	
300	46,20	535,0	116,0	0,25300	61,03	40,21	26,38	17,80	12,36	9,08	6,95	5,49	

5.6 1-B 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,16	0,13	0,11	0,10	0,08	0.07	0,06	0,06	0,05	0,04	0.04	0,03	0,03	80
0,28	0,23	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0.08	0,07	0,06	0,05	100
0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	120
0,68	0,56	0,47	0,40	0,35	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	140
0,97	0,80	0,68	0,58	0,50	0,43	0,38	0,34	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17	160
1,34	1,11	0,93	0,79	0,68	0,59	0,52	0,46	0,41	0,37	0,33	0,28	0,23	180
1,78	1,47	1,24	1,05	0,91	0,79	0,69	0,62	0,55	0,49	0,44	0,37	0,31	200
2,31	1,91	1,61	1,37	1,18	1,03	0,90	0,80	0,71	0,64	0,58	0,48	0,40	220
2,94	2,43	2,04	1,74	1,50	1,31	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	0,61	0,51	240
3,68	3,04	2,55	2,18	1,88	1,63	1,44	1,27	1,13	1,02	0,92	0,76	0,64	260
4,51	3,73	3,13	2,67	2,30	2.00	1,76	1,56	1,39	1,25	1,13	0,93	0,78	280
5,43	4,49	3,77	3,21	2,77	2,41	2,12	1,88	1,68	1,50	1,36	1,12	0,94	300
6,51	5,38	4,52	3,85	3,32	2,89	2,54	2,25	2,01	1,80	1,63	1.34	1,13	320
7,68	6,35	5,33	4,54	3.92	3.41	3,00	2,66	2,37	2,13	1,92	1.59	1,33	340
9,07	7.49	6,30	5.37	4,63	4.03	3,54	3,14	2,80	2.51	2,27	1,87	1,57	360
10,48	8,66	7,28	6,20	5,35	4.66	4,09	3,63	3,24	2,90	2,62	2,17	1,82	380
12.15	10,04	8,44	7,19	6,20	5.40	4,74	4,20	3,75	3,36	3,04	2,51	2.11	400
16,97	14.03	11,79	10.04	8,66	7.54	6.63	5.87	5,24	4,70	4,24	3,51	2,95	450
22.88	18.91	15.89	13,54	11.67	10.17	8.94	7.92	7,06	6.34	5,72	4,73	3,97	500
30,03	24.82	20,86	17,77	15.32	13.35	11.73	10.39	9,27	8.32	7.51	6,21	5,21	550
38,52	31.84	26,75	22,79	19,65	17,12	15.05	13,33	11,89	10,67	9,63	7,96	6.69	600

Luz en metros													UPN
5,0	5.5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0.09	0.08	0,07	0,06	0.05	0.05	0,04	80
0,34	0,28	0,24	0.20	0.17	0.15	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09	0,07	0,06	100
0.50	0,42	0,35	0.30	0,26	0.22	0.20	0.17	0,16	0,14	0,13	0,10	0,09	120
0,72	0,59	0,50	0,42	0,37	0.32	0,28	0,25	0,22	0.20	0,18	0.15	0,13	140
0,96	0,80	0,67	0,57	0.49	0,43	0.38	0,33	0.30	0,27	0.24	0,20	0,17	160
1,25	1.03	0,87	0,74	0,64	0.55	0,49	0,43	0.38	0,35	0,31	0,26	0,22	180
1.59	1.31	1.10	0,94	0.81	0.71	0,62	0,55	0.49	0.44	0.40	0,33	0,28	200
2.04	1.68	1.42	1,21	1.04	0.91	0,80	0,70	0.63	0.56	0.51	0.42	0,35	220
2,50	2.06	1.73	1.48	1,27	1.11	0,97	0.86	0,77	0.69	0,62	0.52	0.43	240
3,09	2,55	2,14	1 83	1.57	1,37	1.21	1,07	0.95	0,85	0,77	0,64	0,54	260
3,73	3.08	2.59	2,21	1.90	1,66	1,46	1,29	1.15	1.03	0,93	0,77	0,65	280
4,45	3.68	3,09	2,63	2.27	1,98	1.74	1,54	1.37	1,23	1,11	0,92	0,77	300

5.6 1-B 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros 1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,94800	4,16	1,85	1,04	0,67	0,46	0,34	0,26	0,20
100	8,10	34,2	49,6	0,75900	6,92	3,16	1,78	1,14	0,79	0,58	0,44	0,35
120	10,40	53,0	58,0	0,63300	9,64	4,90	2,76	1,76	1,22	0,90	0,69	0,54
140	12,90	77,3	66,0	0,54300	12,79	6,95	4,02	2,57	1,79	1,31	1,00	0,79
160	15,80	109,0	73,6	0,47600	16,44	9,21	5,67	3,63	2,52	1,85	1,42	1,12
180	18,80	146,0	82,0	0,42000	20,20	11,64	7,44	4,86	3,37	2,48	1,90	1,50
200	22,40	194,0	89,6	0,38000	23,72	14,37	9,40	6,46	4,48	3,29	2,52	1,99
220	26,20	252,0	99,2	0,34500	27,45	17,42	11,54	8,15	5,82	4,28	3,28	2,59
240	30,70	324,0	107,6	0,31600	31,65	20,81	14,04	10,07	7,49	5,50	4,21	3,33
270	36,10	429,0	120,8	0,28100	37,93	25,28	17,49	12,63	9,50	7,28	5,58	4,41
300	42,20	557,0	134,0	0,25300	45,40	30,27	21,63	15,70	11,87	9,25	7,24	5,72
330	49,10	713,0	142,0	0,23000	52,74	35,16	26,01	19,10	14,58	11,45	9,21	7,32
360	57,10	904,0	151,6	0,21100	61,30	40,86	30,65	22,99	17,67	13,96	11,27	9,27
400	66,30	1 160,0	158,0	0,19000	73,05	48,70	36,53	28,29	21,86	17,36	14,08	11,62
450	77,60	1 500,0	164,8	0,16900	89,51	59,67	44,75	35,67	27,62	21,96	17,84	14,74
500	90,70	1 930,0	172,4	0,15200	107,35	71,56	53,67	42,94	34,25	27,32	22,24	18,42
550	106,00	2 440,0	178,0	0,13800	128,73	85,82	64,47	51,49	42,30	33,86	27,66	22,97
600	122,00	3 070,0	186,4	0,12700	150,79	100,52	75,39	60,31	50,26	41,04	33,64	28,03

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros 1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,75900	12,14	7,50	4,68	2,99	2,08	1,53	1,17	0,92
120	26,70	144,0	122,4	0,63300	16,26	10,15	7,03	4,79	3,33	2,44	1,87	1,48
140	33,70	216,0	143,2	0,54300	20,64	13,19	9,23	6,85	4,99	3,67	2,81	2,22
160	42,60	311,0	162,0	0,47400	27,03	17,61	12,46	9,33	7,19	5,28	4,04	3,19
180	51,20	426,0	182,8	0,42200	32,44	21,63	15,49	11,67	9,12	7,23	5,54	4,38
200	61,30	570,0	202,8	0,38000	38,38	25,59	18,59	14,18	11,21	9,09	7,41	5,85
220	71,50	736,0	223,6	0,34500	44,59	29,72	21,92	16,81	13,36	10,89	9,04	7,56
240	83,20	938,0	243,2	0,31600	51,32	34,21	25,59	19,77	15,83	13,00	10,87	9,22
260	93,00	1 150,0	263,2	0,29300	55,90	37,27	27,95	21,92	17,68	14,62	12,31	10,51
280	103,00	1 380,0	283,6	0,27200	63,36	42,24	31,68	25,06	20,24	16,76	14,13	12,08
300	117,00	1 680,0	303,2	0,25300	71,20	47,46	35,60	28,45	23,09	19,21	16,27	13,97
320	127,00	1 930,0	302,8	0,23800	79,56	53,04	39,78	31,82	25,95	21,60	18,31	15,73
340	134,00	2 160,0	301,2	0,22400	88,05	58,70	44,02	35,22	28,85	24,00	20,33	17,46
360	142,00	2 400,0	299,6	0,21100	96,77	64,51	48,38	38,71	31,85	26,49	22,43	19,25
400	155,00	2 880,0	296,0	0,19000	115,44	76,96	57,72	46,18	38,32	31,81	26,88	23,04
450	171,00	3 550,0	293,2	0,16900	134,98	89,99	67,49	53,99	44,99	37,78	31,96	27,40
500	187,00	4 290,0	290,8	0,15200	154,88	103,25	77,44	61,95	51,63	44,05	37,29	32,01
550	199,00	4 970,0	286,8	0,13800	175,88	117,25	87,94	70,35	58,63	50,25	42,84	36,75
600	212,00	5 700,0	283,2	0,12700	198,36	132,24	99,18	79,34	66,12	56,67	48,89	41,90

5.6 1-B 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0.14	0.12	0,10	0,08	0,07	0,06	0.05	0,05	0.05	0.04	0,03	0,03	80
0,28	0.23	0,20	0,17	0,14	0.13	0,11	0,10	0,09	0.08	0.07	0,06	0.05	100
0,44	0.36	0.31	0,26	0,22	0.20	0.17	0,15	0,14	0,12	0.11	0.09	0.08	120
0,64	0.53	0.45	0.38	0.33	0,29	0.25	0,22	0.20	0,18	0.16	0.13	0.11	140
0.91	0.75	0.63	0.54	0.46	0.40	0,35	0.31	0,28	0,25	0.23	0,19	0.16	160
1,21	1,00	0.84	0.72	0,62	0.54	0,47	0.42	0,38	0,34	0.30	0.25	0.21	180
1,61	1.33	1.12	0.95	0.82	0.72	0,63	0.56	0.50	0,45	0.40	0,33	0,28	200
2,10	1,73	1,46	1,24	1.07	0.93	0.82	0,72	0,65	0.58	0,52	0,43	0.36	220
2.70	2.23	1.87	1.59	1.38	1,20	1.05	0.93	0.83	0.75	0,67	0,56	0.47	240
3,57	2,95	2.48	2,11	1.82	1,59	1,39	1.23	1.10	0,99	0.89	0,74	0,62	270
4,63	3.83	3,22	2,74	2,36	2.06	1.81	1,60	1.43	1,28	1.16	0.96	0,80	300
5,93	4,90	4.12	3.51	3.03	2,64	2.32	2.05	1,83	1.64	1.48	1,23	1,03	330
7,52	6.22	5,22	4.45	3.84	3,34	2,94	2.60	2,32	2.08	1.88	1,55	1.31	360
9,65	7.98	6.70	5.71	4.92	4,29	3.77	3.34	2.98	2.67	2.41	1.99	1.68	400
12.36	10,31	8,67	7.38	6.37	5.55	4,88	4.32	3,85	3,46	3,12	2,58	2.17	450
15,48	13.17	11.15	9.50	8,19	7,14	6.27	5,56	4.96	4.45	4,01	3.32	2,79	500
19,35	16,49	14.10	12.01	10.36	9.02	7,93	7.02	6.27	5.62	5,07	4.19	3,52	550
23,67	20.22	17,45	15,11	13.03	11.35	9,98	8,84	7,88	7,07	6.39	5,28	4.43	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,75	0.62	0,52	0,44	0,38	0.33	0,29	0.26	0.23	0.21	0,19	0,15	0,13	100
1,20	0,99	0,83	0,71	0.61	0.53	0.47	0,41	0,37	0.33	0,30	0,25	0.21	120
1.80	1.48	1.25	1,06	0,92	0,80	0.70	0.62	0.55	0.50	0,45	0,37	0.31	140
2.59	2.14	1,80	1.53	1.32	1,15	1,01	0,89	0.80	0,72	0,65	0.53	0.45	160
3,54	2.93	2,46	2.10	1.81	1.57	1.38	1.23	1,09	0.98	0,89	0.73	0.61	180
4,74	3,92	3.29	2.81	2,42	2.11	1,85	1.64	1.46	1.31	1.19	0.98	0,82	200
6.12	5,06	4.25	3,62	3.12	2.72	2.39	2,12	1.89	1.70	1.53	1,26	1,06	220
7,80	6,45	5,42	4,62	3,98	3,47	3.05	2.70	2.41	2,16	1,95	1.61	1.35	240
9,08	7.91	6.64	5,66	4.88	4,25	3,74	3,31	2.95	2,65	2,39	1.98	1,66	260
10,44	9,11	7.97	6.79	5,86	5,10	4,48	3,97	3.54	3,18	2.87	2,37	1,99	280
12.14	10.63	9,39	8,27	7.13	6.21	5.46	4.84	4,31	3,87	3,49	2.89	2.43	300
13,66	11.98	10.58	9.41	8.19	7.14	6.27	5.56	4,96	4.45	4.01	3.32	2.79	320
15.16	13.28	11.72	10,42	9,17	7,99	7,02	6.22	5.55	4.98	4,49	3,71	3,12	340
16,71	14.63	12,92	11,48	10.19	8,88	7.80	6,91	6.16	5,53	4.99	4,13	3,47	360
19.96	17,46	15,39	13.65	12.19	10,65	9.36	8.29	7.40	6,64	5,99	4.95	4.16	400
23,76	20.79	18,33	16,28	14,54	13,05	11,54	10.22	9,12	8,18	7,38	6,10	5,13	450
27.78	24,33	21,47	19.08	17.05	15,32	13.83	12.35	11.02	9,89	8.92	7.38	6,20	500
31,87	27,89	24,60	21,84	19.51	17.52	15,81	14,31	12,76	11,45	10.34	8,54	7,18	550
36,30	31.75	27,98	24,83	22,16	19.89	17.94	16.25	14.64	13,14	11.86	9.80	8.23	600

5.6 1-B 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,79200	9,81	6,02	3,79	2,42	1,68	1,24	0,95	0,75
120	19,90	106,0	120,8	0,66400	12,09	7,49	5,15	3,53	2,45	1,80	1,38	1,09
140	24,70	155,0	140,8	0,57100	15,69	9,86	6,82	4,99	3,58	2,63	2,01	1,59
160	30,40	220,0	159,2	0,50000	19,57	12,64	8,87	6,59	5,08	3,74	2,86	2,26
180	35,50	294,0	180,8	0,44500	22,33	14,74	10,46	7,86	6,12	4,89	3,82	3,02
200	42,30	389,0	199,2	0,40000	26,79	17,86	12,84	9,74	7,65	6,17	5,06	4,00
220	50,50	515,0	220,4	0,36100	32,03	21,35	15,63	11,92	9,42	7,64	6,31	5,29
240	60,30	675,0	240,0	0,33000	37,58	25,05	18,65	14,35	11,45	9,36	7,80	6,59
260	68,20	836,0	260,0	0,30400	40,92	27,28	20,46	15,97	12,85	10,60	8,90	7,58
280	76,40	1 010,0	280,0	0,28100	47,24	31,49	23,62	18,60	14,98	12,37	10,39	8,86
300	88,30	1 260,0	299,6	0,26200	53,87	35,91	26,93	21,47	17,38	14,43	12,19	10,45
320	97,60	1 480,0	299,6	0,24500	60,89	40,59	30,45	24,36	19,80	16,46	13,92	11,95
340	105,00	1 680,0	298,4	0,23000	68,30	45,53	34,15	27,32	22,31	18,54	15,68	13,44
360	112,00	1 890,0	297,2	0,21700	76,42	50,94	38,21	30,57	25,08	20,82	17,60	15,08
400	125,00	2 310,0	293,6	0,19500	93,03	62,02	46,51	37,21	30,78	25,50	21,52	18,41
450	140,00	2 900,0	291,6	0,17300	109,31	72,88	54,66	43,73	36,44	30,53	25,80	22,11
500	155,00	3 550,0	289,6	0,15500	127,24	84,82	63,62	50,89	42,41	36,13	30,57	26,22
550	166,00	4 150,0	286,0	0,14100	145,43	96,95	72,72	58,17	48,48	41,55	35,37	30,32
600	178,00	4 790,0	282,0	0,12900	164,50	109,67	82,25	65,80	54,83	47,00	40,51	34,71

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,63300	27,44	17,20	9,88	6,32	4,39	3,23	2,47	1,95
120	52,10	288,0	130,0	0,54100	34,65	21,89	14,98	9,58	6,66	4,89	3,74	2,96
140	63,20	411,0	150,8	0,47400	41,59	26,83	18,95	13,68	9,50	6,98	5,34	4,22
160	76,20	566,0	170,4	0,42100	50,89	33,41	23,83	17,99	13,08	9,61	7,36	5,81
180	88,90	748,0	190,8	0,38000	58,94	39,25	28,16	21,38	16,83	12,70	9,72	7,69
200	103,00	967,0	210,8	0,34500	67,49	44,99	32,90	25,22	20,03	16,32	12,57	9,93
220	117,00	1 220,0	231,6	0,31700	76,55	51,03	37,81	29,10	23,21	18,98	15,81	12,53
240	157,00	1 800,0	255,6	0,28100	99,07	66,04	49,53	38,66	31,18	25,78	21,70	18,49
260	172,00	2 160,0	276,0	0,26200	107,43	71,62	53,71	42,46	34,41	28,59	24,19	20,76
280	189,00	2 550,0	296,0	0,24500	118,74	79,16	59,37	47,29	38,38	31,93	27,06	23,24
300	238,00	3 480,0	320,0	0,22300	146,37	97,58	73,18	58,55	48,09	40,26	34,33	29,68
320	245,00	3 800,0	318,0	0,21200	154,79	103,19	77,39	61,91	51,09	42,78	36,48	31,54
340	248,00	4 050,0	316,0	0,20100	163,19	108,80	81,60	65,28	54,04	45,21	38,51	33,26
360	250,00	4 300,0	313,2	0,19200	171,91	114,61	85,96	68,76	57,11	47,72	40,61	35,04
400	256,00	4 820,0	308,0	0,17600	188,19	125,46	94,09	75,28	62,73	52,59	44,69	38,51
450	263,00	5 500,0	303,6	0,15900	209,23	139,48	104,61	83,69	69,74	59,03	50,09	43,09
500	270,00	6 180,0	298,4	0,14500	230,02	153,35	115,01	92,01	76,67	65,56	55,55	47,73
550	278,00	6 920,0	294,0	0,13300	251,55	167,70	125,78	100,62	83,85	71,87	61,41	52,71
600	285,00	7 660,0	288,8	0,12300	272,75	181,83	136,38	109,10	90,92	77,93	67,33	57,73

5.6 1-B 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5.5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.61	0.50	0.42	0.36	0,31	0.27	0.24	0.21	0,19	0.17	0.15	0,13	0.10	100
0,88	0,73	0.61	0.52	0.45	0.39	0.34	0.30	0.27	0,24	0,22	0.18	0.15	120
1,29	1.07	0.90	0.76	0,66	0,57	0.50	0,45	0.40	0.36	0,32	0.27	0,22	140
1,83	1.51	1.27	1,08	0,93	0.81	0.71	0.63	0.56	0.51	0.46	0,38	0.32	160
2.45	2.02	1,70	1.45	1,25	1.09	0.95	0.85	0.75	0,68	0.61	0.50	0,42	180
3,24	2.67	2,25	1.91	1.65	1.44	1.26	1,12	1,00	0,90	0,81	0.67	0.56	200
4,28	3.54	2.98	2.53	2.19	1.90	1,67	1,48	1.32	1,19	1,07	0.88	0.74	220
5,62	4,64	3.90	3.32	2,86	2,50	2.19	1,94	1.73	1.56	1.40	1,16	0,97	240
6.53	5,68	4.83	4,12	3,55	3.09	2.72	2.41	2,15	1,93	1.74	1.44	1,21	260
7,64	6.65	5,83	4.97	4.29	3.73	3.28	2.91	2,59	2,33	2,10	1.74	1.46	280
9.06	7,92	6,98	6.19	5,35	4,66	4,09	3.63	3.24	2,90	2.62	2.17	1.82	300
10,36	9.07	8.00	7,11	6.28	5.47	4,81	4.26	3.80	3.41	3.08	2,54	2,14	320
11,66	10,20	8,99	7.99	7.13	6.21	5.46	4,84	4,31	3,87	3,49	2.89	2.43	340
13.07	11.43	10,07	8.94	7,98	6,99	6.14	5,44	4,85	4,36	3,93	3.25	2.73	360
15.92	13.90	12.24	10.84	9.67	8.54	7,51	6.65	5,93	5,32	4.80	3,97	3.34	400
19,15	16.75	14,76	13,09	11.68	10,49	9,42	8.35	7.45	6,68	6,03	4,98	4,19	450
22.74	19,90	17.56	15.59	13.93	12.51	11.29	10,22	9.12	8.18	7.38	6.10	5,13	500
26,27	22.98	20.26	17.98	16.05	14,41	13.00	11.78	10,66	9.56	8.63	7.13	5.99	550
30,07	26,29	23.16	20,55	18.34	16,46	14,84	13,44	12,23	11,04	9,96	8,23	6,92	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1.58	1.31	1.10	0.93	0.81	0.70	0.62	0.55	0,49	0,44	0,39	0.33	0.27	100
2.40	1,98	1.66	1.42	1.22	1,06	0.94	0.83	0.74	0.66	0.60	0.49	0.42	120
3,42	2,83	2,38	2,02	1,74	1,52	1,34	1,18	1.05	0.95	0.85	0.71	0.59	140
4,71	3.89	3.27	2.79	2,40	2.09	1,84	1.63	1,45	1.30	1,18	0.97	0.82	160
6.22	5.14	4,32	3.68	3.17	2.77	2.43	2.15	1.92	1.72	1.56	1.29	1.08	180
8.04	6.65	5.59	4,76	4.10	3.58	3.14	2.78	2.48	2,23	2.01	1.66	1.40	200
10.15	8,39	7.05	6.01	5,18	4.51	3.96	3.51	3.13	2.81	2.54	2,10	1,76	220
14.98	12.38	10,40	8,86	7,64	6,66	5,85	5.18	4,62	4,15	3,74	3,09	2,60	240
17.97	14.85	12,48	10.63	9,17	7,99	7.02	6,22	5,55	4,98	4.49	3.71	3,12	260
20.19	17.53	14,73	12,55	10.82	9,43	8.29	7,34	6,55	5,88	5.30	4.38	3,68	280
25.94	22.87	20,11	17,13	14,77	12,87	11.31	10.02	8,94	8,02	7,24	5,98	5.03	300
27.56	24.31	21,59	18.71	16,13	14.05	12,35	10,94	9,76	8,76	7,90	6.53	5,49	320
29.05	25,59	22,71	19.94	17,19	14.98	13,16	11,66	10,40	9,33	8.42	6.96	5.85	340
30,57	26,90	23,85	21,17	18.25	15.90	13,97	12,38	11,04	9.91	8.94	7.39	6.21	360
33,54	29,48	26,10	23.27	20.46	17,82	15.66	13.88	12,38	11.11	10,03	8,29	6,96	400
37.48	32.90	29,09	25.90	23,19	20,34	17.88	15.83	14,12	12.68	11,44	9,45	7,94	450
41,46	36,34	32.10	28,54	25.53	22,85	20.08	17,79	15.87	14,24	12.85	10,62	8,93	500
45,74	40,06	35.35	31,41	28,07	25,22	22,49	19,92	17,77	15,95	14,39	11,90	10,00	550
50.05	43.79	38,61	34,28	30,61	27,48	24,80	22,05	19,67	17,65	15,93	13,17	11,06	600

5.6 1-B 1



Máximo valor de P_t en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	5,95	19,5	36,4	1,09100	2,70	1,80	1,35	1,08	0,90	0,77	0,68	0,60	0
100	8,32	34,2	42,8	0,87300	4,74	3,16	2,37	1,90	1,58	1,35	1,19	1,05	0
120	11,10	54,7	49,2	0,72800	7,58	5,06	3,79	3,03	2,53	2,17	1,90	1,69	1
140	14,40	81,9	56,0	0,62400	11,36	7,57	5,68	4,54	3,79	3,24	2,84	2,52	2
160	17,90	117,0	62,0	0,54600	16,22	10,82	8,11	6,49	5,41	4,63	4,06	3,60	3
180	21,90	161,0	68,4	0,48400	22,32	14,88	11,16	8,93	7,44	6,38	5,58	4,96	4
200	26,30	214,0	74,8	0,43600	28,03	19,78	14,84	11,87	9,89	8,48	7,42	6,59	5
220	31,10	278,0	80,8	0,39600	33,41	25,70	19,27	15,42	12,85	11,01	9,64	8,57	7
240	36,20	354,0	88,0	0,36300	39,19	32,72	24,54	19,63	16,36	14,02	12,27	10,91	9
260	41,90	442,0	92,8	0,33600	45,84	40,86	30,64	24,52	20,43	17,51	15,32	13,62	12
280	48,00	542,0	98,0	0,31200	52,97	50,10	37,58	30,06	25,05	21,47	18,79	16,70	15
300	54,20	653,0	102,4	0,29100	60,65	60,37	45,27	36,22	30,18	25,87	22,64	20,12	18
320	61,10	782,0	106,8	0,27300	68,73	68,73	54,22	43,38	36,15	30,98	27,11	24,10	21
340	68,10	923,0	112,0	0,25700	77,45	77,45	63,99	51,20	42,66	36,57	32,00	28,44	25
360	76,20	1 090,0	116,0	0,24300	87,11	87,11	75,57	60,46	50,38	43,18	37,79	33,59	30
380	84,00	1 260,0	120,8	0,22900	96,92	96,92	87,36	69,89	58,24	49,92	43,68	38,83	34
400	92,60	1 460,0	125,2	0,21800	107,16	107,16	101,23	80,98	67,48	57,84	50,61	44,99	40
450	115,00	2 040,0	137,2	0,19400	135,15	135,15	135,15	113,15	94,29	80,82	70,72	62,86	56
500	141,00	2 750,0	148,8	0,17500	166,77	166,77	166,77	152,53	127,11	108,95	95,33	84,74	76
550	167,00	3 610,0	160,8	0,15900	194,08	194,08	194,08	194,08	166,86	143,02	125,15	111,24	100
600	199,00	4 630,0	172,0	0,14500	240,13	240,13	240,13	240,13	214,01	183,44	160,51	142,67	128

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
80	8,65	26,5	53,2	1,09100	3,67	2,45	1,84	1,47	1,22	1,05	0,92	0,82	0,7
100	10,60	41,2	58,8	0,87300	5,71	3,81	2,86	2,28	1,90	1,63	1,43	1,27	1,1
120	13,40	60,7	63,6	0,72800	8,42	5,61	4,21	3,37	2,81	2,40	2,10	1,87	1,6
140	16,00	86,4	70,0	0,62300	11,98	7,99	5,99	4,79	3,99	3,42	2,99	2,66	2,4
160	18,80	116,0	75,6	0,54700	16,08	10,72	8,04	6,43	5,36	4,60	4,02	3,57	3,2
180	22,00	150,0	80,8	0,48500	20,80	13,87	10,40	8,32	6,93	5,94	5,20	4,62	4,1
200	25,30	191,0	85,6	0,43600	26,48	17,66	13,24	10,59	8,83	7,57	6,62	5,89	5,3
220	29,40	245,0	92,0	0,39700	33,97	22,65	16,99	13,59	11,32	9,71	8,49	7,55	6,7
240	33,20	300,0	96,8	0,36400	41,60	27,73	20,80	16,64	13,87	11,89	10,40	9,24	8,3
260	37,90	371,0	102,4	0,33600	47,62	34,30	25,72	20,58	17,15	14,70	12,86	11,43	10,2
280	41,80	448,0	109,6	0,31100	51,55	41,41	31,06	24,85	20,71	17,75	15,53	13,80	12,4
300	46,20	535,0	116,0	0,29100	55,48	49,46	37,09	29,67	24,73	21,20	18,55	16,49	14,8

5.6 1-B 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,54	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,22	80
0,95	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,47	0,43	0,39	100
1,52	1,38	1,26	1,17	1,08	1,01	0,95	0,89	0,84	0,80	0,76	0,69	0,63	120
2,27	2,06	1,89	1,75	1,62	1,51	1,42	1,34	1,26	1,19	1,14	1,03	0,95	140
3,24	2,95	2,70	2,50	2,32	2,16	2,03	1,91	1,80	1,71	1,62	1,47	1,35	160
4,46	4,06	3,72	3,43	3,19	2,98	2,79	2,63	2,48	2,35	2,23	2,03	1,86	180
5,93	5,39	4,95	4,56	4,24	3,96	3,71	3,49	3,30	3,12	2,97	2,70	2,47	200
7,71	7,01	6,42	5,93	5,51	5,14	4,82	4,53	4,28	4,06	3,85	3,50	3,21	220
9,82	8,92	8,18	7,55	7,01	6,54	6,14	5,77	5,45	5,17	4,91	4,46	4,09	240
12,26	11,14	10,21	9,43	8,76	8,17	7,66	7,21	6,81	6,45	6,13	5,57	5,11	260
15,03	13,66	12,53	11,56	10,74	10,02	9,39	8,84	8,35	7,91	7,52	6,83	6,26	280
18,11	14,46	15,09	13,93	12,94	12,07	11,32	10,65	10,06	9,53	9,05	8.23	7.55	300
21,69	19,72	18,07	16,68	15,49	14,46	13,55	12,76	12.05	11,41	10.84	9,86	9,04	320
25,60	23,27	21,33	19,69	18,28	17.06	16,00	15.06	14.22	13.47	12,80	11,63	10,67	340
30,23	27,48	25,19	23,25	21,59	20,15	18,89	17,78	16,79	15.91	15,11	13,74	12.60	360
34,94	31,77	29,12	26,88	24,96	23,30	21.84	20,55	19,41	18.39	17,47	15,88	14,56	380
40,49	36.81	33,74	31.15	28,92	26,99	25,31	23,82	22.49	21,31	20.24	18,40	16,87	400
56,58	51,43	47,15	43.52	40,41	37.72	35,36	23,28	31.43	29.78	28,29	25,72	23,57	450
76,27	69,33	63.56	58,67	54.48	50.84	47,67	44.86	42.37	40,14	38,13	34,67	31.78	500
100,12	91,02	83,43	77.01	71.51	66,74	62,57	58.89	55.62	52.69	50,06	45,51	41,72	550
128.40	116,73	107.00	98,77	91,72	85,60	80,25	75,53	71.34	67,58	64,20	58,37	53,50	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6.0	6.5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,73	0,67	0,61	0 56	0,52	0.49	0,46	0,43	0,41	0,39	0.37	0,33	0,31	80
1.14	1,04	0,95	0,88	0.82	0.76	0,71	0.67	0,63	0.60	0,57	0,52	0,48	100
1.68	1.53	1,40	1.29	1,20	1.12	1,05	0,99	0.93	0.89	0.84	0,76	0.70	120
2,40	2.18	2,00	1.84	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1.26	1.20	1.09	1.00	140
3,22	2,92	2,68	2,47	2.30	2.14	2.01	1.89	1.79	1,69	1,61	1,46	1,34	160
4,16	3,78	3,47	3.20	2,97	2.77	2,60	2.45	2,31	2.19	2,08	1,89	1,73	180
5,30	4.82	4,41	4.07	3,78	3,53	3.31	3.12	2.94	2.79	2,65	2.41	2.21	200
6,79	6,18	5,66	5.23	4,85	4.53	4.25	4.00	3.77	3.58	3,40	3,09	2,83	220
8,32	7,56	6,93	6,40	5.94	5,55	5.20	4.89	4.62	4,38	4.16	3.78	3.47	240
10,29	9.35	8,57	7,91	7,35	6.86	6,43	6,05	5.72	5.41	5.14	4.68	4,29	260
12,42	11,29	10,35	9.56	8,88	8,28	7,76	7.31	6,90	6.54	6.21	5,65	5,18	280
14,84	13,49	12,36	11,41	10,60	9.89	9,27	8.73	8.24	7,81	7,42	6,74	6,18	300

5.6 1-B 2



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	6,00	20,0	42,0	1,08900	2,77	1,85	1,39	1,11	0,92	0,79	0,69	0,62	0,
100	8,10	34,2	49,6	0,87300	4,74	3,16	2,37	1,90	1,58	1,35	1,19	1,05	0,
120	10,40	53,0	58,0	0,72700	7,35	4,90	3,67	2,94	2,45	2,10	1,84	1,63	1,
140	12,90	77,3	66,0	0,62300	10,72	7,15	5,36	4,29	3,57	3,06	2,68	2,38	2,
160	15,80	109,0	73,6	0,54700	15,11	10,08	7,56	6,05	5,04	4,32	3,78	3,36	3,
180	18,80	146,0	82,0	0,48300	18,36	13,50	10,12	8,10	6,75	5,78	5,06	4,50	4,
200	22,40	194,0	89,6	0,43600	21,56	17,93	13,45	10,76	8,97	7,69	6,72	5,98	5
220	26,20	252,0	99,2	0,39700	24,95	23,30	17,47	13,98	11,65	9,98	8,74	7,76	6,
240	30,70	324,0	107,6	0,36300	28,78	28,78	22,46	17,97	14,98	12,84	11,23	9,98	8,
270	36,10	429,0	120,8	0,32300	34,48	34,48	29,74	23,79	19,83	17,00	14,87	13,22	11
300	42,20	557,0	134,0	0,29100	41,27	41,27	38,62	30,89	25,75	22,07	19,31	17,16	15
330	49,10	713,0	142,0	0,26400	47,95	47,95	47,95	39,55	32,96	28,25	24,72	21,97	19
360	57,10	904,0	151,6	0,24200	55,72	55,72	55,72	50,14	41,78	35,82	31,34	27,86	25
400	66,30	1 160,0	158,0	0,21900	66,41	66,41	66,41	64,34	53,62	45,96	40,21	35,74	32
450	77,60	1 500,0	164,8	0,19400	81,37	81,37	81,37	81,37	69,33	59,43	52,00	46,22	41
500	90,70	1 930,0	172,4	0,17500	97,59	97,59	97,59	97,59	89,21	76,46	66,91	59,47	53
550	106,00	2 440,0	178,0	0,15900	117,03	117,03	117,03	117,03	112,78	96,67	84,59	75,19	67
600	122,00	3 070,0	186,4	0,14500	137,08	137,08	137,08	137,08	137,08	121,63	106,43	94,60	85

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	20,40	90,0	101,2	0,87300	11,31	8,32	6,24	4,99	4,16	3,57	3,12	2,77	2
120	26,70	144,0	122,4	0,72700	14,84	13,31	9,98	7,99	6,66	5,70	4,99	4,44	3
140	33,70	216,0	143,2	0,62400	18,76	18,76	14,98	11,98	9,98	8,56	7,49	6,66	5
160	42,60	311,0	162,0	0,54500	24,57	24,57	21,56	17,25	14,38	12,32	10,78	9,58	8
180	51,20	426,0	182,8	0,48500	29,49	29,49	29,49	23,63	19,69	16,88	14,77	13,13	11
200	61,30	570,0	202,8	0,43600	34,89	34,89	34,89	31,62	26,35	22,58	19,76	17,56	15
220	71,50	736,0	223,6	0,39700	40,53	40,53	40,53	40,53	34,02	29,16	25,51	22,68	20
240	83,20	938,0	243,2	0,36300	46,65	46,65	46,65	46,65	43,36	37,16	32,52	28,90	26
260	93,00	1 150,0	263,2	0,33600	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	45,56	39,87	35,44	31
280	103,00	1 380,0	283,6	0,31200	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	54,67	47,84	42,52	38
300	117,00	1 680,0	303,2	0,29100	64,72	64,72	64,72	64,72	64,72	64,72	58,24	51,77	46
320	127,00	1 930,0	302,8	0,27300	72,32	72,32	72,32	72,32	72,32	72,32	66,91	59,47	53
340	134,00	2 160,0	301,2	0,25700	80,04	80,04	80,04	80,04	80,04	80,04	74,88	66,56	59
360	142,00	2 400,0	299,6	0,24200	87,97	87,97	87,97	87,97	87,97	87,97	83,20	73,96	66
400	155,00	2 880,0	296,0	0,21800	104,95	104,95	104,95	104,95	104,95	104,95	99,84	88,75	79
450	171,00	3 550,0	293,2	0,19400	122,71	122,71	122,71	122,71	122,71	122,71	122,71	109,39	98
500	187,00	4 290,0	290,8	0,17500	140,79	140,79	140,79	140,79	140,79	140,79	140,79	132,19	118
550	199,00	4 970,0	286,8	0,15900	159,89	159,89	159,89	159,89	159,89	159,89	159,89	153,15	137
600	212,00	5 700,0	283,2	0,14500	180,33	180,33	180,33	180,33	180,33	180,33	180,33	175,64	158

5.6 1-B 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6.5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,55	0,50	0,46	0.43	0.40	0,37	0,35	0,33	0,31	0.29	0.28	0,25	0,23	80
0,95	0.86	0,79	0.73	0.68	0.63	0,59	0,56	0,53	0.50	0.47	0,43	0.39	100
1,47	1.34	1.22	1.13	1,05	0.98	0.92	0.86	0,82	0.77	0.73	0,67	0.61	120
2.14	1.95	1.79	1.65	1,53	1.43	1.34	1,26	1.19	1.13	1.07	0.97	0,89	140
3,02	2.75	2.52	2.32	2,16	2.01	1,89	1,78	1.68	1.59	1.51	1.37	1,26	160
4,05	3.68	3.37	3,11	2.89	2.70	2.53	2.38	2,25	2,13	2.02	1,84	1.69	180
5,38	4.89	4,48	4.14	3.84	3.59	3.36	3.16	2.99	2.83	2.69	2,45	2.24	200
6,99	6.35	5.82	5.38	4.99	4.66	4.37	4.11	3.88	3.68	3.49	3,18	2.91	220
8,99	8.17	7.49	6.91	6,42	5.99	5.62	5.29	4,99	4.73	4.49	4.08	3,74	240
11,90	10,82	9.91	9.15	8.50	7,93	7.44	7.00	6.61	6.26	5.95	5.41	4,96	270
15.45	14.04	12.87	11.88	11,03	10.30	9,65	9.09	8.58	8.13	7.72	7.02	6,44	300
19,77	17.98	16.48	15.21	14,12	13,18	12,36	11.63	10,98	10.41	9,89	8,99	8.24	330
25.07	22,79	20,89	19,28	17.91	16.71	15.67	14,75	13,93	13,19	12.53	11.40	10,45	360
32.17	29.25	26.81	24,75	22,98	21,45	20.11	18.92	17.87	16,93	16,08	14,62	13.40	400
41.60	37.82	34.67	32.00	29.71	27,73	26,00	24.47	23.11	21.89	20.80	18,91	17,33	450
53.52	48.66	44.60	41.17	38,23	35.68	33,45	31.48	29.74	28,17	26.76	24,33	22,30	500
67,67	61,52	56.39	52.02	48,33	45.11	42.29	39.80	37.59	35.61	33,83	30,76	28.20	550
85,14	77.40	70.95	65.49	60,81	56,76	53,21	50.08	47,30	44.81	42.57	38.70	35.48	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2,50	2.27	2.08	1.92	1.78	1,66	1.56	1,47	1.39	1.31	1.25	1,13	1.04	100
3.99	3.63	3.33	3.07	2.85	2.66	2.50	2,35	2,22	2.10	2,00	1.81	1.66	120
5.99	5.45	4.99	4.61	4,28	3.99	3.74	3.52	3.33	3.15	2.99	2.72	2,50	140
8.63	7.84	7,19	6,63	6.16	5,75	5.39	5,07	4.79	4.54	4.31	3,92	3.59	160
11,81	10.74	9,84	9.09	8,44	7,88	7,38	6.95	6,56	6.22	5.91	5.37	4.92	180
15,81	14.37	13.17	12,16	11.29	10.54	9.88	9.30	8.78	8.32	7.90	7.18	6,59	200
20.41	18.56	17.01	15.70	14.58	13.61	12.76	12.01	11.34	10.74	10.21	9.28	8.50	220
26,01	23,65	21,68	20.01	18,58	17,34	16,26	15,30	14,45	13,69	13,01	11,82	10.84	240
31.89	28.99	26,58	24.53	22.78	21,26	19.93	18.76	17.72	16.79	15.95	14,50	13.29	260
38,27	34.79	31.89	29,44	27.34	25.51	23.92	22.51	21.26	20.14	19.14	17,40	15.95	280
46.59	42.36	38.83	35.84	33.28	31,06	29,12	27,41	25,88	24.52	23,30	21,18	19.41	300
53.52	48.66	44.60	41.17	38,23	35.68	33.45	31.48	29.74	28.17	26,76	24,33	22.30	320
59.90	54.46	49,92	46,08	42.79	39.94	37.44	35.24	33.28	31.53	29,95	27.23	24.96	340
66.56	60.51	55.47	51,20	47.54	44.37	41,60	39,15	36,98	35.03	33.28	30,25	27.73	360
79.87	72.61	66.56	61.44	57.05	53,25	49.92	46,98	44.37	42.04	39,94	36.30	33.28	400
98.45	89.50	82.04	75.73	70,32	65.64	61,53	57.91	54.70	51.82	49.23	44.75	41.02	450
118,98	108,16	99,15	91,52	84.98	79.32	74,36	69,99	66,10	62,62	59.49	54.08	49.57	500
137.83	125,30	114.86	106.03	98.45	91.89	86,15	81,08	76,57	72,54	68,92	62.65	57.43	550
158,08	143.71	131.73	121.60	112,91	105.39	98.80	92.99	87.82	83.20	79.04	71,85	65,87	600

5.6 1-B 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

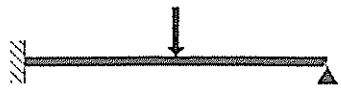
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
100	16,70	72,8	100,4	0,91000	9,18	6,73	5,05	4,04	3,36	2,88	2,52	2,24	2.
120	19,90	106,0	120,8	0,76300	11,08	9,80	7,35	5,88	4,90	4,20	3,67	3,27	2,
140	24,70	155,0	140,8	0,65700	14,27	14,27	10,75	8,60	7,16	6,14	5,37	4,78	4,
160	30,40	220,0	159,2	0,57500	17,79	17,79	15,25	12,20	10,17	8,72	7,63	6,78	6.
180	35,50	294,0	180,8	0,51100	20,30	20,30	20,30	16,31	13,59	11,65	10,19	9,06	8,
200	42,30	389,0	199,2	0,46000	24,36	24,36	24,36	21,58	17,98	15,41	13,48	11,99	10,
220	50,50	515,0	220,4	0,41500	29,11	29,11	29,11	28,56	23,80	20,40	17,85	15,87	14,
240	60,30	675,0	240,0	0,38000	34,16	34,16	34,16	34,16	31,20	26,74	23,40	20,80	18,
260	68,20	836,0	260,0	0,34900	37,20	37,20	37,20	37,20	37,20	33,12	28,98	25,76	23,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,32200	42,95	42,95	42,95	42,95	42,95	40,01	35,01	31,12	28,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,30100	48,97	48,97	48,97	48,97	48,97	48,97	43,68	38,83	34,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,28200	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	55,36	51,31	45,61	41,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,26500	62,09	62,09	62,09	62,09	62,09	62,09	58,24	51,77	46,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,24900	69,47	69,47	69,47	69,47	69,47	69,47	65,52	58,24	52,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,22400	84,57	84,57	84,57	84,57	84,57	84,57	80,08	71,18	64,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,19900	99,38	99,38	99,38	99,38	99,38	99,38	99,38	89,36	80,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,17800	115,67	115,67	115,67	115,67	115,67	115,67	115,67	109,39	98,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,16200	132,21	132,21	132,21	132,21	132,21	132,21	132,21	127,88	115,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,14800	149,55	149,55	149,55	149,55	149,55	149,55	149,55	147,60	132,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	0,72700	25,31	17,56	13,17	10,54	8,78	7,53	6,59	5,85	5,
120	52,10	288,0	130,0	0,62200	31,50	26,62	19,97	15,97	13,31	11,41	9,98	8,88	7,
140	63,20	411,0	150,8	0,54500	37,81	37,81	28,50	22,80	19,00	16,28	14,25	12,66	11,
160	76,20	566,0	170,4	0,48400	46,26	46,26	39,24	31,39	26,16	22,42	19,62	17,44	15,
180	88,90	748,0	190,8	0,43600	53,58	53,58	51,86	41,49	34,57	29,63	25,93	23,05	20,
200	103,00	967,0	210,8	0,39700	61,35	61,35	61,35	53,64	44,70	38,31	33,52	29,80	26,
220	117,00	1 220,0	231,6	0,36500	69,59	69,59	69,59	67,67	56,39	48,33	42,29	37,59	33,
240	157,00	1 800,0	255,6	0,32300	90,06	90,06	90,06	90,06	83,20	71,31	62,40	55,47	49,
260	172,00	2 160,0	276,0	0,30100	97,66	97,66	97,66	97,66	97,66	85,58	74,88	66,56	59,
280	189,00	2 550,0	296,0	0,28100	107,94	107,94	107,94	107,94	107,94	101,03	88,40	78,58	70,
300	238,00	3 480,0	320,0	0,25600	133,06	133,06	133,06	133,06	133,06	133,06	120,64	107,24	96,
320	245,00	3 800,0	318,0	0,24300	140,72	140,72	140,72	140,72	140,72	140,72	131,73	117,10	105,
340	248,00	4 050,0	316,0	0,23100	148,36	148,36	148,36	148,36	148,36	148,36	140,40	124,80	112,
360	250,00	4 300,0	313,2	0,22100	156,28	156,28	156,28	156,28	156,28	156,28	149,07	132,50	119,
400	256,00	4 820,0	308,0	0,20200	171,08	171,08	171,08	171,08	171,08	171,08	167,09	148,53	133,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,18200	190,21	190,21	190,21	190,21	190,21	190,21	190,21	169,48	152,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,16700	209,11	209,11	209,11	209,11	209,11	209,11	209,11	190,43	171,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,15200	228,68	228,68	228,68	228,68	228,68	228,68	228,68	213,24	191,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,14100	247,96	247,96	247,96	247,96	247,96	247,96	247,96	236,04	212,

5.6 1-B 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10.0	11,0	12,0	
2,02	1,83	1,68	1,55	1.44	1.35	1,26	1.19	1.12	1.06	1.01	0.92	0,84	100
2,94	2.67	2,45	2.26	2.10	1.96	1.84	1.73	1.63	1.55	1,47	1.34	1.22	120
4,30	3,91	3.58	3,31	3.07	2,87	2.69	2.53	2.39	2.26	2,15	1,95	1.79	140
6,10	5,55	5,08	4,69	4,36	4.07	3,81	3.59	3,39	3.21	3,05	2,77	2,54	160
8,15	7.41	6,79	6,27	5.82	5.44	5.10	4.80	4.53	4.29	4,08	3.71	3.40	180
10,79	9,81	8.99	8,30	7.71	7.19	6,74	6.35	5.99	5,68	5.39	4.90	4,49	200
14,28	12.98	11.90	10,99	10.20	9,52	8,93	8.40	7.93	7,52	7,14	6.49	5,95	220
18,72	17.02	15.60	14.40	13.37	12.48	11.70	11.01	10.40	9,85	9,36	8,51	7.80	240
23,18	21,08	19.32	17.83	16,56	15,46	14.49	13.64	12.88	12.20	11.59	10.54	9,66	260
28,01	25.46	23.34	21,55	20,01	18,67	17.51	16.48	15.56	14.74	14.00	12.73	11.67	280
34,94	31,77	29.12	26,88	24,96	23.30	21,84	20.55	19,41	18,39	17,47	15.88	14,56	300
41,04	37,31	34.20	31.57	29.32	27.86	25,65	24.14	22,80	21,60	20,52	18,66	17.10	320
46,59	42,36	38.83	35,84	33.28	31.06	29.12	27.41	25.88	24.52	23,30	21,18	19.41	340
52,42	47,65	43.68	40,32	37,44	34,94	32.76	30.83	29.12	27.59	26.21	23.82	21.84	360
64,06	58.24	53,39	49.28	45.76	42,71	40,04	37,68	35,59	33.72	32,03	29,12	26,69	400
80,43	73.11	67,02	61,87	57,45	53,62	50,27	47.31	44,68	42,33	40,21	36,56	33,51	450
98,45	89,50	82,04	75,73	70,32	65.64	61.53	57.91	54,70	51.82	49.23	44.75	41,02	500
115,09	104.63	95.91	88,53	82.21	76,73	71.93	67.70	63.94	60.57	57.55	52.31	47.96	550
132,84	120.77	110.70	102.19	94,89	88.56	83,03	78.14	73,80	69,92	66.42	60,38	55.35	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
5,27	4.79	4.39	4,05	3.76	3.51	3.29	3,10	2,93	2.77	2.63	2.39	2,20	100
7,99	7,26	6,66	6.14	5,70	5.32	4,99	4,70	4,44	4,20	3,99	3,63	3.33	120
11,40	10,36	9.50	8,77	8.14	7,60	7.12	6.70	6,33	6,00	5,70	5.18	4,75	140
15,70	14.27	13.08	12,07	11.21	10.46	9.81	9,23	8,72	8.26	7.85	7,13	6.54	160
20,74	18,86	17,29	15.96	14,82	13.83	12,96	12,20	11.52	10.92	10,37	9,43	8,64	180
26.82	24.38	22.35	20,63	19.16	17.88	16,76	15,77	14,90	14.11	13.41	12.19	11,17	200
33.83	30.76	28.20	26.03	24,17	22.56	21,15	19.90	18,80	17.81	16,92	15,38	14,10	220
49,92	45,38	41.60	38,40	35.66	33,28	31,20	29,36	27,73	26.27	24,96	22,69	20,80	240
59.90	54,46	49.92	46.08	42.79	39,94	37,44	35,24	33.28	31.53	29.95	27.23	24.96	260
70,72	64.29	58,93	54,40	50,51	47.15	44,20	41.60	39.29	37,22	35,36	32.14	29.47	280
96.51	87.74	80,43	74.24	68,94	64.34	60.32	56.77	53.62	50,80	48,26	43,87	40,21	300
105,39	95.81	87,82	81,07	75.28	70,26	65.87	61,99	58,55	55.47	52,69	47.90	43.91	320
112.32	102.11	93.60	86.40	80,23	74,88	70,20	66,07	62,40	59,12	56,16	51.05	46.80	340
119,25	108.41	99,38	91.73	85,18	79.50	74,53	70.15	66.25	62,76	59,63	54.21	49,69	360
133.67	121.52	111.40	102,83	95.48	89,12	83,55	78.63	74.26	70,35	66,84	60.76	55.70	400
152.53	138.67	127.11	117.33	108,95	101.69	95,33	89,72	84.74	80,28	76.27	69.33	63.56	450
171.39	155.81	142,83	131.84	122.42	114.26	107.12	100.82	95,22	90,21	85.70	77,90	71.41	500
191.91	174,47	159.93	147,63	137.08	127,94	119,95	112,89	106.62	101.01	95.96	87.23	79,96	550
212.44	193,13	177,03	163,41	151,74	141,63	132.77	124.96	118,02	111,81	106.22	96,56	88.52	600

5.6 1-B 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	1,00200	1,52	1,01	0,76	0,61	0,51	0,43	0,38	0,34
100	8,32	34,2	42,8	0,80100	2,67	1,78	1,33	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59
120	11,10	54,7	49,2	0,66800	4,27	2,84	2,13	1,71	1,42	1,22	1,07	0,95
140	14,40	81,9	56,0	0,57300	6,17	4,26	3,19	2,55	2,13	1,82	1,60	1,42
160	17,90	117,0	62,0	0,50100	8,33	6,08	4,56	3,65	3,04	2,61	2,28	2,03
180	21,90	161,0	68,4	0,44500	10,85	8,37	6,28	5,02	4,19	3,59	3,14	2,79
200	26,30	214,0	74,8	0,40100	13,59	11,01	8,35	6,68	5,56	4,77	4,17	3,71
220	31,10	278,0	80,8	0,36400	16,79	13,83	10,84	8,67	7,23	6,19	5,42	4,82
240	36,20	354,0	88,0	0,33400	20,21	16,96	13,81	11,04	9,20	7,89	6,90	6,14
260	41,90	442,0	92,8	0,30900	23,64	20,56	17,24	13,79	11,49	9,85	8,62	7,66
280	48,00	542,0	98,0	0,28600	27,31	24,50	20,86	16,91	14,09	12,08	10,57	9,39
300	54,20	653,0	102,4	0,26700	31,27	28,82	24,70	20,37	16,98	14,55	12,73	11,32
320	61,10	782,0	106,8	0,25000	35,44	33,52	28,95	24,40	20,33	17,43	15,25	13,55
340	68,10	923,0	112,0	0,23600	39,93	38,61	33,52	28,80	24,00	20,57	18,00	16,00
360	76,20	1 090,0	116,0	0,22300	44,91	44,34	38,75	33,94	28,34	24,29	21,25	18,89
380	84,00	1 260,0	120,8	0,21000	49,98	49,98	44,16	38,84	32,76	28,08	24,57	21,84
400	92,60	1 460,0	125,2	0,20000	55,26	55,26	49,96	44,12	37,96	32,54	28,47	25,31
450	115,00	2 040,0	137,2	0,17800	69,69	69,69	66,29	59,18	52,97	45,46	39,78	35,36
500	141,00	2 750,0	148,8	0,16000	85,99	85,99	85,23	76,79	69,23	61,29	53,63	47,67
550	167,00	3 610,0	160,8	0,14600	100,07	100,07	100,07	94,45	86,15	78,69	70,39	62,57
600	199,00	4 630,0	172,0	0,13300	123,82	123,82	123,82	119,80	109,48	100,15	90,28	80,25

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	1,00200	2,07	1,38	1,03	0,83	0,69	0,59	0,52	0,46
100	10,60	41,2	58,8	0,80100	3,21	2,14	1,61	1,28	1,07	0,92	0,80	0,71
120	13,40	60,7	63,6	0,66800	4,73	3,16	2,37	1,89	1,58	1,35	1,18	1,05
140	16,00	86,4	70,0	0,57200	6,74	4,49	3,37	2,70	2,25	1,92	1,68	1,50
160	18,80	116,0	75,6	0,50200	9,05	6,03	4,52	3,62	3,02	2,58	2,26	2,01
180	22,00	150,0	80,8	0,44500	11,56	7,80	5,85	4,68	3,90	3,34	2,92	2,60
200	25,30	191,0	85,6	0,40100	14,17	9,93	7,45	5,96	4,97	4,26	3,72	3,31
220	29,40	245,0	92,0	0,36500	17,27	12,74	9,55	7,64	6,37	5,46	4,78	4,25
240	33,20	300,0	96,8	0,33400	20,53	15,60	11,70	9,36	7,80	6,69	5,85	5,20
260	37,90	371,0	102,4	0,30800	24,25	19,29	14,47	11,57	9,65	8,27	7,23	6,43
280	41,80	448,0	109,6	0,28600	26,58	22,61	17,47	13,98	11,65	9,98	8,74	7,76
300	46,20	535,0	116,0	0,26700	28,61	25,58	20,86	16,69	13,91	11,92	10,43	9,27

5.6 1-B 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,30	0,28	0,25	0,23	0.22	0,20	0.19	0.18	0,17	0,16	0.15	0,14	0,13	80
0,53	0.48	0.44	0,41	0,38	0,36	0,33	0.31	0,30	0.28	0.27	0.24	0,22	100
0,85	0,78	0.71	0,66	0.61	0.57	0.53	0.50	0,47	0,45	0.43	0.39	0.36	120
1,28	1,16	1,06	0,98	0,91	0,85	0,80	0.75	0.71	0.67	0.64	0.58	0,53	140
1,82	1,66	1,52	1.40	1,30	1.22	1.14	1,07	1,01	0.96	0.91	0,83	0.76	160
2,51	2.28	2,09	1,93	1.79	1,67	1.57	1.48	1.39	1,32	1.26	1.14	1,05	180
3,34	3.03	2,78	2,57	2.38	2,23	2.09	1,96	1,85	1.76	1.67	1,52	1,39	200
4,34	3,94	3,61	3.34	3,10	2,89	2,71	2.55	2,41	2,28	2.17	1.97	1,81	220
5,52	5.02	4,60	4,25	3,94	3.68	3,45	3.25	3.07	2.91	2,76	2.51	2.30	240
6,89	6,27	5,75	5.30	4.92	4.60	4,31	4.06	3,83	3.63	3.45	3.13	2,87	260
8,45	7,69	7,05	6,50	6,04	5,64	5,28	4.97	4.70	4,45	4.23	3,84	3.52	280
10,19	9,26	8,49	7.84	7,28	6,79	6.37	5,99	5.66	5,36	5.09	4.63	4,24	300
12,20	11,09	10.17	9,38	8,71	8.13	7,62	7.18	6.78	6.42	6.10	5,54	5.08	320
14,40	13.09	12,00	11,08	10,28	9.60	9.00	8,47	8,00	7.58	7,20	6,54	6,00	340
17,00	15,46	14.17	13.08	12.15	11,34	10.63	10,00	9,45	8.95	8,50	7.73	7,08	360
19,66	17,87	16.38	15,12	14,04	13,10	12.28	11,56	10,92	10,34	9,83	8,93	8,19	380
22,78	20,70	18,98	17.52	16,27	15,18	14.23	13.40	12.65	11,99	11,39	10.35	9.49	400
31,82	28,93	26,52	24,48	22,73	21.22	19.89	18.72	17.68	16.75	15,91	14.46	13,26	450
42.90	39,00	35.75	33,00	30,64	28,60	26.81	25,23	23.83	22,58	21,45	19,50	17,88	500
56,32	51,20	46,93	43,32	40.23	37,54	35.20	33,13	31,29	29.64	28.16	25.60	23.46	550
72,23	65.66	60.19	55,56	51,59	48,15	45.14	42,49	40,13	38.01	36.11	32.83	30,09	600

Luz en metros												UPN
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,41	0,38	0,34	0,32	0,29	0,28	0,26	0,24	0,23	0.22	0.21	0,19	0,17	80
0,64	0,58	0.54	0,49	0.46	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0.32	0.29	0,27	100
0,95	0.86	0,79	0,73	0,68	0,63	0.59	0.56	0.53	0.50	0,47	0,43	0.39	120
1.35	1,22	1.12	1,04	0,96	0,90	0,84	0.79	0,75	0,71	0.67	0.61	0,56	140
1.81	1.64	1,51	1,39	1.29	1,21	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90	0.82	0,75	160
2,34	2,13	1,95	1.80	1,67	1,56	1,46	1,38	1.30	1,23	1.17	1,06	0,97	180
2.98	2.71	2.48	2.29	2,13	1,99	1.86	1,75	1,65	1,57	1,49	1.35	1,24	200
3,82	3,47	3,18	2,94	2,73	2.55	2,39	2.25	2.12	2,01	1,91	1,74	1,59	220
4,68	4.25	3,90	3.60	3,34	3,12	2,92	2,75	2.60	2,46	2,34	2,13	1,95	240
5.79	5,26	4.82	4.45	4.13	3.86	3.62	3.40	3,21	3,05	2,89	2.63	2.41	260
6,99	6,35	5,82	5.33	4.99	4,66	4,37	4,11	3,88	3.68	3,49	3,18	2,91	280
8,35	7,59	6,95	6,42	5,96	5,56	5,22	4.91	4.64	4.39	4,17	3,79	3.48	300

5.6 1-B 3



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	1,00000	1,56	1,04	0,78	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35
100	8,10	34,2	49,6	0,80100	2,67	1,78	1,33	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59
120	10,40	53,0	58,0	0,66800	4,03	2,76	2,07	1,65	1,38	1,18	1,03	0,92
140	12,90	77,3	66,0	0,57300	5,41	4,02	3,01	2,41	2,01	1,72	1,51	1,34
160	15,80	109,0	73,6	0,50300	7,07	5,67	4,25	3,40	2,83	2,43	2,13	1,89
180	18,80	146,0	82,0	0,44300	8,87	7,25	5,69	4,55	3,80	3,25	2,85	2,53
200	22,40	194,0	89,6	0,40100	10,80	9,12	7,57	6,05	5,04	4,32	3,78	3,36
220	26,20	252,0	99,2	0,36500	12,87	11,17	9,55	7,86	6,55	5,62	4,91	4,37
240	30,70	324,0	107,6	0,33400	14,84	13,53	11,80	10,11	8,42	7,22	6,32	5,62
270	36,10	429,0	120,8	0,29700	17,78	16,81	14,80	13,03	11,15	9,56	8,36	7,44
300	42,20	557,0	134,0	0,26700	21,28	20,76	18,40	16,29	14,48	12,41	10,86	9,65
330	49,10	713,0	142,0	0,24300	24,72	24,72	22,39	20,06	18,01	15,89	13,90	12,36
360	57,10	904,0	151,6	0,22300	28,73	28,73	26,94	24,34	22,00	19,94	17,63	15,67
400	66,30	1 160,0	158,0	0,20100	34,24	34,24	33,15	30,16	27,41	24,97	22,62	20,11
450	77,60	1 500,0	164,8	0,17800	41,96	41,96	41,80	38,11	34,71	31,66	28,97	26,00
500	90,70	1 930,0	172,4	0,16000	50,32	50,32	50,32	47,30	43,23	39,54	36,28	33,40
550	106,00	2 440,0	178,0	0,14600	60,34	60,34	60,34	58,48	53,67	49,28	45,34	41,85
600	122,00	3 070,0	186,4	0,13400	70,68	70,68	70,68	70,68	65,18	60,08	55,47	51,34

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,80100	5,49	4,68	3,51	2,81	2,34	2,01	1,75	1,56
120	26,70	144,0	122,4	0,66800	7,39	6,73	5,62	4,49	3,74	3,21	2,81	2,50
140	33,70	216,0	143,2	0,57300	9,55	8,82	8,02	6,74	5,62	4,81	4,21	3,74
160	42,60	311,0	162,0	0,50000	12,67	11,86	10,94	9,70	8,09	6,93	6,06	5,39
180	51,20	426,0	182,8	0,44600	15,21	14,72	13,68	12,62	11,08	9,49	8,31	7,38
200	61,30	570,0	202,8	0,40100	17,99	17,61	16,62	15,56	14,50	12,70	11,11	9,88
220	71,50	736,0	223,6	0,36500	20,90	20,75	19,70	18,56	17,40	16,28	14,35	12,76
240	83,20	938,0	243,2	0,33400	24,05	24,05	23,17	22,03	20,85	19,68	18,29	16,26
260	93,00	1 150,0	263,2	0,30900	26,20	26,20	25,69	24,65	23,54	22,40	21,28	19,93
280	103,00	1 380,0	283,6	0,28700	29,70	29,70	29,37	28,22	27,00	25,73	24,47	23,25
300	117,00	1 680,0	303,2	0,26700	33,37	33,37	33,34	32,23	31,01	29,74	28,44	27,16
320	127,00	1 930,0	302,8	0,25100	37,29	37,29	37,29	36,24	34,89	33,47	32,03	30,60
340	134,00	2 160,0	301,2	0,23600	41,27	41,27	41,27	40,28	38,75	37,15	35,52	33,92
360	142,00	2 400,0	299,6	0,22300	45,36	45,36	45,36	44,47	42,76	40,97	39,16	37,38
400	155,00	2 880,0	296,0	0,20000	54,11	54,11	54,11	53,47	51,30	49,05	46,79	44,57
450	171,00	3 550,0	293,2	0,17800	63,27	63,27	63,27	63,27	60,96	58,34	55,69	53,09
500	187,00	4 290,0	290,8	0,16000	72,60	72,60	72,60	72,60	71,11	68,13	65,11	62,14
550	199,00	4 970,0	286,8	0,14600	82,44	82,44	82,44	82,44	81,72	78,22	74,69	71,21
600	212,00	5 700,0	283,2	0,13400	92,98	92,98	92,98	92,98	92,98	89,20	85,09	81,05

5.6 1-B 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,31	0.28	0,26	0.24	0,22	0,21	0,19	0.18	0.17	0,16	0,16	0,14	0.13	80
0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33	0,31	0.30	0.28	0.27	0.24	0.22	100
0,83	0.75	0.69	0.64	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0,38	0,34	120
1,21	1.10	1.00	0.93	0.86	0.80	0.75	0.71	0.67	0.63	0.60	0.55	0.50	140
1,70	1.55	1.42	1.31	1.21	1.13	1.06	1.00	0.94	0.89	0.85	0.77	0,71	160
2.28	2.07	1,90	1,75	1,63	1,52	1.42	1,34	1.26	1.20	1.14	1,03	0.95	180
3.03	2.75	2.52	2.33	2.16	2.02	1.89	1.78	1.68	1.59	1.51	1,38	1,26	200
3.93	3.57	3,28	3.02	2.81	2.62	2.46	2.31	2.18	2.07	1,97	1.79	1.64	220
5,05	4.59	4.20	3.89	3.61	3.37	3.16	2.97	2.81	2,66	2.53	2.30	2.11	240
6,69	6,08	5.58	5,15	4.78	4.46	4,18	3.94	3.72	3.52	3.35	3.04	2,79	270
8.69	7.90	7.24	6.68	6.21	5.79	5,43	5.11	4.83	4.57	4.34	3.95	3,62	300
11.12	10.11	9.27	8.56	7.94	7.41	6.95	6,54	6.18	5.85	5.56	5.06	4.63	330
14.10	12.82	11.75	10,85	10,07	9,40	8,81	8.30	7.83	7.42	7,05	6.41	5.88	360
18.10	16.45	15.08	13.92	12.93	12.06	11.31	10,64	10.05	9.52	9.05	8.22	7,54	400
23,40	21.27	19.50	18.00	16.71	15,60	14.63	13.76	13.00	12.32	11.70	10.64	9.75	450
30.11	27.37	25,09	23.16	21,51	20 07	18,82	17.71	16.73	15.85	15.05	13,68	12.54	500
38.06	34,60	31,72	29,28	27,19	25.38	23.79	22.39	21,15	20,03	19.03	17,30	15,86	550
47,66	43.54	39.91	36.84	34,21	31.93	29,93	28.17	26,61	25.21	23,95	21.77	19,95	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1.40	1.28	1.17	1.08	1.00	0.94	0.88	0.83	0.78	0,74	0,70	0.64	0,58	100
2.25	2.04	1,87	1.73	1,60	1.50	1.40	1.32	1,25	1.18	1.12	1.02	0,94	120
3.37	3.06	2.81	2.59	2.41	2.25	2.11	1.98	1.87	1.77	1.68	1.53	1.40	140
4.85	4.41	4,04	3.73	3.46	3.23	3.03	2.85	2.69	2,55	2.43	2,20	2,02	160
6.65	6.04	5.54	5.11	4.75	4.43	4.15	3,91	3.69	3,50	3.32	3,02	2,77	180
8,89	8.08	7.41	6.84	6,35	5.93	5.56	5.23	4.94	4.68	4.45	4.04	3,70	200
11.48	10.44	9.57	8.83	8,20	7.65	7,18	6.75	6.38	6,04	5.74	5,22	4.78	220
14.63	13.30	12,19	11.26	10.45	9,75	9,14	8.61	8.13	7,70	7,32	6.65	6,10	240
17.94	16.31	14.95	13.80	12,81	11.96	11.21	10.55	9,97	9.44	8.97	8.15	7.47	260
21.53	19.57	17.94	16.56	15.38	14.35	13.45	12.66	11,96	11.33	10,76	9,78	8.97	280
25.92	23.82	21.84	20.16	18.72	17.47	16.38	15.42	14.56	13.79	13.10	11.91	10,92	300
29.21	27.37	25.09	23,16	21,51	20.07	18.82	17.71	16,73	15.85	15.05	13,68	12,54	320
32.36	30.63	28.08	25.92	24.07	22.46	21,06	19.82	18.72	17.73	16.85	15.32	14.04	340
35.64	33.98	31.20	28.80	26.74	24.96	23.40	22,02	20.80	19.70	18,72	17,02	15,60	360
42.43	40.39	37.44	34,56	32.09	29.95	28.08	26.43	24,96	23.65	22.46	20,42	18.72	400
50.57	48.17	45,89	42,60	39.56	36.92	34.61	32,58	30.77	29.15	27.69	25.17	23,07	450
59.25	56.49	53.86	51.39	47.80	44.62	41,83	39.37	37,18	35.22	33,46	30.42	27,88	500
67.85	64.63	61.59	58,72	55.38	51.69	48.46	45.61	43.07	40.81	38.77	35,24	32,30	550
77.16	73.44	69,93	66.64	63.51	59,28	55,57	52,31	49,40	46.80	44,46	40.42	37,05	600

5.6 1-B 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,83600	4,42	3,79	2,84	2,27	1,89	1,62	1,42	1,26
120	19,90	106,0	120,8	0,70100	5,48	4,94	4,13	3,31	2,76	2,36	2,07	1,84
140	24,70	155,0	140,8	0,60300	7,19	6,53	5,85	4,84	4,03	3,45	3,02	2,69
160	30,40	220,0	159,2	0,52800	9,14	8,46	7,73	6,86	5,72	4,90	4,29	3,81
180	35,50	294,0	180,8	0,46900	10,47	9,95	9,21	8,46	7,64	6,55	5,73	5,10
200	42,30	389,0	199,2	0,42200	12,56	12,19	11,41	10,60	9,81	8,67	7,58	6,74
220	50,50	515,0	220,4	0,38100	15,01	14,81	13,97	13,07	12,17	11,32	10,04	8,93
240	60,30	675,0	240,0	0,34900	17,61	17,61	16,82	15,91	14,99	14,07	13,16	11,70
260	68,20	836,0	260,0	0,32100	19,18	19,18	18,72	17,91	17,04	16,17	15,31	14,48
280	76,40	1 010,0	280,0	0,29600	22,14	22,14	21,79	20,87	19,89	18,89	17,91	16,96
300	88,30	1 260,0	299,6	0,27600	25,25	25,25	25,16	24,25	23,27	22,25	21,22	20,22
320	97,60	1 480,0	299,6	0,25900	28,54	28,54	28,54	27,64	26,56	25,43	24,29	23,17
340	105,00	1 680,0	298,4	0,24300	32,02	32,02	32,02	31,14	29,91	28,62	27,32	26,05
360	112,00	1 890,0	297,2	0,22900	35,82	35,82	35,82	34,99	33,58	32,11	30,63	29,18
400	125,00	2 310,0	293,6	0,20500	43,61	43,61	43,61	42,93	41,10	39,21	37,32	35,49
450	140,00	2 900,0	291,6	0,18200	51,24	51,24	51,24	51,24	49,24	47,07	44,89	42,75
500	155,00	3 550,0	289,6	0,16400	59,64	59,64	59,64	59,64	58,31	55,81	53,30	50,83
550	166,00	4 150,0	286,0	0,14900	68,17	68,17	68,17	68,17	67,48	64,54	61,58	58,68
600	178,00	4 790,0	282,0	0,13600	77,11	77,11	77,11	77,11	77,11	73,90	70,47	67,11

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,66800	12,50	9,88	7,41	5,93	4,94	4,23	3,70	3,29
120	52,10	288,0	130,0	0,57100	15,85	14,63	11,23	8,99	7,49	6,42	5,62	4,99
140	63,20	411,0	150,8	0,50100	19,36	18,05	16,03	12,82	10,69	9,16	8,01	7,12
160	76,20	566,0	170,4	0,44500	23,85	22,64	21,09	17,66	14,72	12,61	11,04	9,81
180	88,90	748,0	190,8	0,40100	27,63	26,71	25,06	23,32	19,45	16,67	14,59	12,96
200	103,00	967,0	210,8	0,36400	31,63	31,14	29,55	27,82	25,14	21,55	18,86	16,76
220	117,00	1 220,0	231,6	0,33500	35,88	35,76	34,10	32,27	30,39	27,19	23,79	21,15
240	157,00	1 800,0	255,6	0,29700	46,44	46,44	45,30	43,46	41,49	39,47	35,10	31,20
260	172,00	2 160,0	276,0	0,27600	50,36	50,36	49,75	48,03	46,14	44,18	42,12	37,44
280	189,00	2 550,0	296,0	0,25800	55,66	55,66	55,42	53,58	51,57	49,46	47,31	44,20
300	238,00	3 480,0	320,0	0,23600	68,61	68,61	68,61	67,24	65,22	63,05	60,79	58,50
320	245,00	3 800,0	318,0	0,22300	72,56	72,56	72,56	71,45	69,30	67,00	64,60	62,18
340	248,00	4 050,0	316,0	0,21300	76,50	76,50	76,50	75,55	73,20	70,68	68,08	65,45
360	250,00	4 300,0	313,2	0,20300	80,58	80,58	80,58	79,82	77,23	74,48	71,64	68,78
400	256,00	4 820,0	308,0	0,18600	88,21	88,21	88,21	88,05	85,05	81,87	78,61	75,35
450	263,00	5 500,0	303,6	0,16800	98,07	98,07	98,07	98,07	95,39	91,66	87,85	84,06
500	270,00	6 180,0	298,4	0,15300	107,82	107,82	107,82	107,82	105,87	101,55	97,17	92,83
550	278,00	6 920,0	294,0	0,14000	117,91	117,91	117,91	117,91	117,10	112,18	107,21	102,30
600	285,00	7 660,0	288,8	0,12900	127,85	127,85	127,85	127,85	127,85	122,89	117,31	111,81

5.6 1-B 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2.600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,14	1.03	0.95	0.87	0.81	0.76	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.52	0.47	100
1,65	1,50	1.38	1.27	1.18	1.10	1.03	0,97	0.92	0.87	0,83	0.75	0.69	120
2,42	2.20	2.01	1.86	1.73	1.61	1,51	1.42	1.34	1,27	1,21	1,10	1,01	140
3,43	3.12	2.86	2.64	2,45	2.29	2.14	2.02	1.91	1.81	1.72	1.56	1.43	160
4,59	4,17	3,82	3,53	3,28	3.06	2.87	2.70	2.55	2,41	2.29	2.08	1.91	180
6,07	5.52	5.06	4.67	4.33	4.05	3,79	3.57	3.37	3.19	3.03	2.76	2,53	200
8,03	7,30	6.69	6,18	5.74	5.36	5.02	4.73	4.46	4.23	4.02	3.65	3.35	220
10,53	9.57	8,77	8,10	7.52	7.02	6.58	6.19	5.85	5.54	5.26	4,79	4.39	240
13,04	11.86	10,87	10.03	9,31	8.69	8.15	7.67	7,24	6.86	6,52	5.93	5.43	260
15,76	14,32	13.13	12.12	11.25	10.50	9,85	9,27	8,75	8.29	7,88	7.16	6.56	280
19,25	17.87	16.38	15,12	14.04	13,10	12.28	11.56	10,92	10.34	9.83	8,93	8,19	300
22.08	20.99	19,24	17.76	16,49	15,39	14.43	13.58	12.83	12,15	11,54	10.49	9.62	320
24,81	23.63	21,84	20.16	18.72	17.47	16,38	15,42	14.56	13.79	13.10	11.91	10.92	340
27,78	26.44	24.57	22.68	21.06	19,66	18.43	17.34	16.38	15.52	14.74	13,40	12.28	360
33,72	32,05	30,03	27,72	25,74	24.02	22.52	21.20	20,02	18.97	18,02	16.38	15,01	400
40,69	38.72	36,87	34.80	32.31	30,16	28,27	26.61	25.13	23.81	22.62	20.56	18.85	450
48.43	46.14	43.97	41,93	39.56	36.92	34.61	32.58	30.77	29.15	27.69	25.17	23.07	500
55,87	53,19	50,66	48.28	46,06	43.16	40.46	38.08	35.97	34,07	32,37	29.43	26,97	550
63,87	60.78	57.86	55,12	52.56	49.82	46,70	43.95	41.51	39,33	37,36	33.96	31.13	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2.96	2.69	2.47	2.28	2,12	1,98	1.85	1.74	1.65	1.56	1,48	1,35	1.23	100
4,49	4.08	3.74	3,46	3.21	2,99	2.81	2,64	2.50	2,36	2.25	2.04	1.87	120
6.41	5.83	5.34	4,93	4.58	4.27	4.01	3.77	3.56	3.38	3.21	2.91	2,67	140
8,83	8,03	7.36	6.79	6.31	5.89	5.52	5.19	4.90	4,65	4.41	4,01	3.68	160
11.67	10,61	9.72	8,98	8,33	7.78	7.29	6.86	6.48	6.14	5.83	5.30	4.86	180
15.08	13.71	12,57	11.60	10.77	10,06	9.43	8.87	8.38	7,94	7.54	6.86	6,28	200
19,03	17,30	15,86	14.64	13,59	12.69	11.89	11,19	10,57	10.02	9.52	8.65	7.93	220
28.08	25,53	23.40	21.60	20,06	18,72	17.55	16.52	15.60	14.78	14,04	12.76	11,70	240
33,70	30,63	28.08	25.92	24.07	22.46	21.06	19.82	18,72	17,73	16.85	15.32	14.04	260
39.78	36.16	33.15	30,60	28,41	26.52	24,86	23.40	22.10	20.94	19.89	18,08	16,57	280
54,29	49.35	45,24	41.76	38,78	36,19	33.93	31.93	30,16	28.57	27,14	24,68	22,62	300
59.28	53.89	49,40	45.60	42,34	39.52	37.05	34.87	32.93	31.20	29.64	26.94	24.70	320
62.84	57,44	52.65	48,60	45.13	42.12	39.49	37,16	35.10	33.25	31.59	28.72	26.32	340
65,96	60,98	55.90	51,60	47.91	44.72	41,92	39.46	37.27	35.30	33.54	30.49	27.95	360
72.15	68.36	62,66	57.84	53,71	50,13	46.99	44.23	41.77	39.57	37,60	34.18	31,33	400
80.35	76.78	71.50	66.00	61.29	57,20	53.63	50,47	47.67	45,16	42,90	39,00	35.75	450
88.61	84.55	80.34	74,16	68.86	64.27	60,25	56,71	53.56	50.74	48.20	43.82	40,17	500
97,54	92.98	88,66	83.04	77.11	71.97	67.47	63,50	59.97	56.82	53.98	49,07	44,98	550
106.50	101,42	96.62	91,92	85.35	79.66	74.68	70,29	66,39	62,89	59,75	54.32	49.79	600

5.6 1-B 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

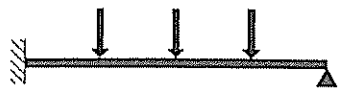
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	0,98200	1,08	0,72	0,54	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24
100	8,32	34,2	42,8	0,78500	1,90	1,26	0,95	0,76	0,63	0,54	0,47	0,42
120	11,10	54,7	49,2	0,65500	3,03	2,02	1,52	1,21	1,01	0,87	0,76	0,67
140	14,40	81,9	56,0	0,56100	4,29	3,03	2,27	1,82	1,51	1,30	1,14	1,01
160	17,90	117,0	62,0	0,49100	5,78	4,33	3,24	2,60	2,16	1,85	1,62	1,44
180	21,90	161,0	68,4	0,43600	7,51	5,95	4,46	3,57	2,98	2,55	2,23	1,98
200	26,30	214,0	74,8	0,39300	9,39	7,68	5,93	4,75	3,96	3,39	2,97	2,64
220	31,10	278,0	80,8	0,35700	11,58	9,63	7,71	6,17	5,14	4,41	3,85	3,43
240	36,20	354,0	88,0	0,32700	13,69	11,79	9,82	7,85	6,54	5,61	4,91	4,36
260	41,90	442,0	92,8	0,30200	16,01	14,27	12,14	9,81	8,17	7,00	6,13	5,45
280	48,00	542,0	98,0	0,28000	18,50	16,98	14,56	12,02	10,02	8,59	7,52	6,68
300	54,20	653,0	102,4	0,26200	21,18	19,95	17,22	14,49	12,07	10,35	9,05	8,05
320	61,10	782,0	106,8	0,24500	24,00	23,18	20,16	17,35	14,46	12,39	10,84	9,64
340	68,10	923,0	112,0	0,23100	27,04	26,67	23,32	20,43	17,06	14,63	12,80	11,38
260	76,20	1 090,0	116,0	0,21800	30,42	30,42	26,93	23,71	20,15	17,27	15,11	13,43
380	84,00	1 260,0	120,8	0,20600	33,85	33,85	30,66	27,11	23,30	19,97	17,47	15,53
400	92,60	1 460,0	125,2	0,19600	37,42	37,42	34,65	30,77	26,99	23,14	20,24	18,00
450	115,00	2 040,0	137,2	0,17500	47,19	47,19	45,87	41,17	37,01	32,33	28,29	25,14
500	141,00	2 750,0	148,8	0,15700	58,24	58,24	58,24	53,32	48,28	43,58	38,13	33,90
550	167,00	3 610,0	160,8	0,14300	67,77	67,77	67,77	65,38	59,90	54,91	50,06	44,50
600	199,00	4 630,0	172,0	0,13100	83,85	83,85	83,85	82,88	76,08	69,85	64,20	57,07

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	0,98200	1,47	0,98	0,73	0,59	0,49	0,42	0,37	0,33
100	10,60	41,2	58,8	0,78500	2,28	1,52	1,14	0,91	0,76	0,65	0,57	0,51
120	13,40	60,7	63,6	0,65500	3,37	2,24	1,68	1,35	1,12	0,96	0,84	0,75
140	16,00	86,4	70,0	0,56100	4,79	3,19	2,40	1,92	1,60	1,37	1,20	1,06
160	18,80	116,0	75,6	0,49200	6,43	4,29	3,22	2,57	2,14	1,84	1,61	1,43
180	22,00	150,0	80,8	0,43600	8,03	5,55	4,16	3,33	2,77	2,38	2,08	1,85
200	25,30	191,0	85,6	0,39300	9,83	7,06	5,30	4,24	3,53	3,03	2,65	2,35
220	29,40	245,0	92,0	0,35800	11,96	9,06	6,79	5,44	4,53	3,88	3,40	3,02
240	33,20	300,0	96,8	0,32700	14,20	11,09	8,32	6,66	5,55	4,75	4,16	3,70
260	37,90	371,0	102,4	0,30200	16,63	13,72	10,29	8,23	6,86	5,88	5,14	4,57
280	41,80	448,0	109,6	0,28000	18,00	15,72	12,42	9,94	8,28	7,10	6,21	5,52
300	46,20	535,0	116,0	0,26200	19,38	17,74	14,84	11,87	9,89	8,48	7,42	6,59

5.6 1-B 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,22	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	80
0,38	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,17	0,16	100
0,61	0,55	0,51	0,47	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,25	120
0,91	0,83	0,76	0,70	0,65	0,61	0,57	0,53	0,50	0,48	0,45	0,41	0,38	140
1,30	1,18	1,08	1,00	0,93	0,86	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,59	0,54	160
1,79	1,62	1,49	1,37	1,28	1,19	1,12	1,05	0,99	0,94	0,89	0,81	0,74	180
2,37	2,16	1,98	1,83	1,70	1,58	1,48	1,40	1,32	1,25	1,19	1,08	0,99	200
3,08	2,80	2,57	2,37	2,20	2,06	1,93	1,81	1,71	1,62	1,54	1,40	1,28	220
3,93	3,57	3,27	3,02	2,80	2,62	2,45	2,31	2,18	2,07	1,96	1,78	1,64	240
4,90	4,46	4,09	3,77	3,50	3,27	3,06	2,88	2,72	2,58	2,45	2,23	2,04	260
6,01	5,47	5,01	4,63	4,29	4,01	3,76	3,54	3,34	3,16	3,01	2,73	2,50	280
7,24	6,58	6,04	5,57	5,17	4,83	4,53	4,26	4,02	3,81	3,62	3,29	3,02	300
8,67	7,89	7,23	6,67	6,20	5,78	5,42	5,10	4,82	4,57	4,34	3,94	3,61	320
10,24	9,31	8,53	7,88	7,31	6,83	6,40	6,02	5,69	5,39	5,12	4,65	4,27	340
12,09	10,99	10,08	9,30	8,64	8,06	7,56	7,11	6,72	6,36	6,05	5,50	5,04	360
13,98	12,71	11,65	10,75	9,98	9,32	8,74	8,22	7,76	7,36	6,99	6,35	5,82	380
16,20	14,72	13,50	12,46	11,57	10,80	10,12	9,53	9,00	8,52	8,10	7,36	6,75	400
22,63	20,57	18,86	17,41	16,16	15,09	14,14	13,31	12,57	11,91	11,31	10,29	9,43	450
30,51	27,73	25,42	23,47	21,79	20,34	19,07	17,94	16,95	16,06	15,25	13,87	12,71	500
40,05	36,41	33,37	30,80	28,60	26,70	25,03	23,56	22,25	21,08	20,02	18,20	16,69	550
51,36	46,69	42,80	39,51	36,69	34,24	32,10	30,21	28,53	27,03	25,68	23,35	21,40	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,29	0,27	0,24	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,13	0,12	80
0,46	0,41	0,38	0,35	0,33	0,30	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	100
0,67	0,61	0,56	0,52	0,48	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,34	0,31	0,28	120
0,96	0,87	0,80	0,74	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48	0,44	0,40	140
1,29	1,17	1,07	0,99	0,92	0,86	0,80	0,76	0,71	0,68	0,64	0,58	0,54	160
1,66	1,51	1,39	1,28	1,19	1,11	1,04	0,98	0,92	0,88	0,83	0,76	0,69	180
2,12	1,93	1,77	1,63	1,51	1,41	1,32	1,25	1,18	1,11	1,06	0,96	0,88	200
2,72	2,47	2,26	2,09	1,94	1,81	1,70	1,60	1,51	1,43	1,36	1,23	1,13	220
3,33	3,02	2,77	2,56	2,38	2,22	2,08	1,96	1,85	1,75	1,66	1,51	1,39	240
4,12	3,74	3,43	3,17	2,94	2,74	2,57	2,42	2,29	2,17	2,06	1,87	1,71	260
4,97	4,52	4,14	3,82	3,55	3,31	3,11	2,92	2,76	2,62	2,48	2,26	2,07	280
5,93	5,39	4,95	4,56	4,24	3,96	3,71	3,49	3,30	3,12	2,97	2,70	2,47	300

5.6 1-B 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

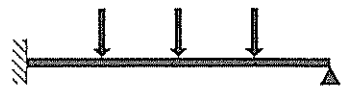
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	0,98100	1,11	0,74	0,55	0,44	0,37	0,32	0,28	0,25	0,22
100	8,10	34,2	49,6	0,78500	1,90	1,26	0,95	0,76	0,63	0,54	0,47	0,42	0,38
120	10,40	53,0	58,0	0,65500	2,80	1,96	1,47	1,18	0,98	0,84	0,73	0,65	0,59
140	12,90	77,3	66,0	0,56100	3,75	2,86	2,14	1,71	1,43	1,22	1,07	0,95	0,86
160	15,80	109,0	73,6	0,49300	4,89	3,97	3,02	2,42	2,01	1,73	1,51	1,34	1,21
180	18,80	146,0	82,0	0,43400	6,12	5,05	4,05	3,24	2,70	2,31	2,02	1,80	1,62
200	22,40	194,0	89,6	0,39300	7,42	6,33	5,38	4,30	3,59	3,07	2,69	2,39	2,15
220	26,20	252,0	99,2	0,35700	8,71	7,73	6,66	5,59	4,66	3,99	3,49	3,11	2,80
240	30,70	324,0	107,6	0,32700	10,05	9,34	8,20	7,19	5,99	5,13	4,49	3,99	3,59
270	36,10	429,0	120,8	0,29100	12,04	11,59	10,27	9,09	7,93	6,80	5,95	5,29	4,76
300	42,20	557,0	134,0	0,26200	14,41	14,29	12,76	11,36	10,14	8,83	7,72	6,87	6,18
330	49,10	713,0	142,0	0,23800	16,74	16,74	15,48	13,94	12,57	11,30	9,89	8,79	7,91
360	57,10	904,0	151,6	0,21800	19,46	19,46	18,60	16,89	15,33	13,95	12,53	11,14	10,03
400	66,30	1 160,0	158,0	0,19700	23,19	23,19	22,85	20,90	19,08	17,44	15,99	14,10	12,87
450	77,60	1 500,0	164,8	0,17500	28,42	28,42	28,42	26,39	24,14	22,10	20,29	18,49	16,64
500	90,70	1 930,0	172,4	0,15700	34,08	34,08	34,08	32,73	30,04	27,58	25,38	23,43	21,41
550	106,00	2 440,0	178,0	0,14300	40,87	40,87	40,87	40,41	37,26	34,33	31,69	29,32	27,07
600	122,00	3 070,0	186,4	0,13100	47,87	47,87	47,87	47,87	45,18	41,81	38,72	35,93	33,43

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	0,78500	3,75	3,33	2,50	2,00	1,66	1,43	1,25	1,11	1,00
120	26,70	144,0	122,4	0,65500	5,05	4,63	3,99	3,19	2,66	2,28	2,00	1,77	1,60
140	33,70	216,0	143,2	0,56200	6,51	6,05	5,53	4,79	3,99	3,42	2,99	2,66	2,40
160	42,60	311,0	162,0	0,49000	8,58	8,12	7,53	6,90	5,75	4,93	4,31	3,83	3,45
180	51,20	426,0	182,8	0,43700	10,30	10,07	9,40	8,71	7,88	6,75	5,91	5,25	4,73
200	61,30	570,0	202,8	0,39300	12,18	12,02	11,39	10,71	10,02	9,03	7,90	7,03	6,32
220	71,50	736,0	223,6	0,35700	14,15	14,15	13,48	12,76	12,01	11,27	10,21	9,07	8,16
240	83,20	938,0	243,2	0,32700	16,29	16,29	15,83	15,11	14,35	13,59	12,84	11,56	10,41
260	93,00	1 150,0	263,2	0,30300	17,75	17,75	17,52	16,87	16,16	15,43	14,70	13,98	12,76
280	103,00	1 380,0	283,6	0,28100	20,11	20,11	20,02	19,31	18,52	17,71	16,90	16,10	15,31
300	117,00	1 680,0	303,2	0,26200	22,60	22,60	22,60	22,02	21,24	20,43	19,60	18,76	17,95
320	127,00	1 930,0	302,8	0,24600	25,26	25,26	25,26	24,75	23,89	22,99	22,06	21,13	20,23
340	134,00	2 160,0	301,2	0,23100	27,95	27,95	27,95	27,51	26,54	25,52	24,48	23,43	22,41
360	142,00	2 400,0	299,6	0,21800	30,72	30,72	30,72	30,38	29,30	28,15	26,99	25,83	24,69
400	155,00	2 880,0	296,0	0,19600	36,65	36,65	36,65	36,55	35,17	33,73	32,27	30,83	29,42
450	171,00	3 550,0	293,2	0,17500	42,85	42,85	42,85	42,85	41,78	40,11	38,40	36,70	35,05
500	187,00	4 290,0	290,8	0,15700	49,17	49,17	49,17	49,17	48,72	46,82	44,87	42,94	41,05
550	199,00	4 970,0	286,8	0,14300	55,83	55,83	55,83	55,83	55,83	53,77	51,49	49,23	47,02
600	212,00	5 700,0	283,2	0,13100	62,97	62,97	62,97	62,97	62,97	61,34	58,68	56,05	53,50

5.6 1-B 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,22	0.20	0.18	0,17	0.16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	80
0,38	0.34	0,32	0.29	0,27	0.25	0.24	0.22	0,21	0,20	0,19	0,17	0,16	100
0,59	0.53	0,49	0,45	0.42	0.39	0,37	0.35	0.33	0,31	0,29	0,27	0.24	120
0,86	0,78	0.71	0.66	0.61	0.57	0.54	0.50	0.48	0.45	0,43	0.39	0,36	140
1,21	1,10	1.01	0.93	0,86	0,81	0,76	0,71	0,67	0,64	0.60	0.55	0,50	160
1,62	1.47	1,35	1.25	1,16	1,08	1.01	0.95	0,90	0,85	0.81	0,74	0,67	180
2,15	1.96	1,79	1,65	1.54	1.43	1.34	1.27	1,20	1.13	1,08	0.98	0.90	200
2,80	2,54	2.33	2,15	2.00	1.86	1.75	1.64	1.55	1.47	1,40	1.27	1,16	220
3,59	3.27	2,99	2,76	2.57	2.40	2.25	2.11	2.00	1.89	1.80	1,63	1,50	240
4,76	4,33	3.97	3,66	3,40	3,17	2.97	2,80	2,64	2,50	2.38	2,16	1,98	270
6,18	5,62	5.15	4.75	4.41	4.12	3.86	3.63	3.43	3.25	3,09	2.81	2.57	300
7,91	7,19	6,59	6,08	5.65	5.27	4.94	4.65	4.39	4.16	3.95	3,59	3,30	330
10,03	9,12	8,36	7,71	7.16	6.69	6.27	5,90	5.57	5,28	5.01	4,56	4,18	360
12,87	11.70	10.72	9.90	9,19	8,58	8.04	7,57	7,15	6,77	6,43	5.85	5,36	400
16,64	15.13	13,87	12.80	11,89	11,09	10,40	9,79	9,24	8,76	8,32	7,56	6,93	450
21.41	19,46	17,84	16,47	15.29	14.27	13.38	12,59	11,89	11.27	10.70	9,73	8,92	500
27,07	24.61	22.56	20,82	19,33	18.04	16.92	15.92	15.04	14.25	13.53	12.30	11,28	550
33,43	30,96	28,38	26.20	24.33	22.70	21,28	20,03	18.92	17,92	17,03	15,48	14,19	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1.00	0.91	0,83	0.77	0,71	0,67	0.62	0,59	0.55	0.52	0,50	0.45	0,42	100
1,60	1.45	1.33	1,23	1,14	1,06	1.00	0,94	0,89	0,84	0.80	0,73	0.67	120
2,40	2,18	2.00	1,84	1.71	1,60	1.50	1.41	1,33	1.26	1,20	1.09	1.00	140
3,45	3.14	2.88	2.65	2,46	2.30	2.16	2.03	1.92	1,82	1,72	1.57	1,44	160
4.73	4,30	3,94	3,63	3,38	3.15	2,95	2,78	2,63	2.49	2,36	2,15	1,97	180
6.32	5.75	5.27	4,86	4,52	4,21	3.95	3.72	3.51	3,33	3,16	2.87	2,63	200
8,16	7.42	6,80	6,28	5,83	5.44	5,10	4,80	4,54	4.30	4.08	3,71	3,40	220
10,41	9,46	8,67	8,00	7.43	6.94	6.50	6,12	5.78	5.48	5,20	4,73	4,34	240
12.76	11,60	10.63	9,81	9.11	8,50	7.97	7.50	7.09	6,71	6,38	5.80	5,32	260
15.31	13,92	12,76	11,78	10,93	10,21	9.57	9,00	8.50	8.06	7.65	6,96	6,38	280
17,95	16.94	15,53	14,34	13.31	12,42	11.65	10,96	10,35	9,81	9.32	8.47	7,76	300
20,23	19,35	17.84	16.47	15,29	14,27	13.38	12.59	11.89	11,27	10,70	9,73	8,92	320
22.41	21.43	19,97	18.43	17,11	15.97	14.98	14,09	13,31	12.61	11,98	10,89	9,98	340
24,69	23,60	22,19	20,48	19.02	17.75	16,64	15,66	14,79	14.01	13,31	12,10	11,09	360
29.42	28.07	26,62	24.58	22.82	21.30	19.97	18,79	17,75	16,81	15.97	14,52	13,31	400
35.05	33,46	31,95	30.29	28,13	26.25	24,61	23,16	21.88	20,73	19.69	17,90	16,41	450
41.05	39,22	37.48	35,83	33.99	31.73	29.74	27.99	26.44	25,05	23.79	21,63	19,83	500
47,02	44,90	42.87	40,96	39,15	36.76	34,46	32.43	30.63	29,02	27.57	25,06	22.97	550
53.50	51.04	48.70	46.49	44,42	42.15	39,52	37.19	35,13	33.28	31,62	28.74	26.35	600

5.6 1-B 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,81900	3,03	2,69	2,02	1,61	1,35	1,15	1,01	0,90
120	19,90	106,0	120,8	0,68700	3,74	3,40	2,94	2,35	1,96	1,68	1,47	1,31
140	24,70	155,0	140,8	0,59100	4,91	4,49	4,05	3,44	2,87	2,46	2,15	1,91
160	30,40	220,0	159,2	0,51700	6,21	5,80	5,33	4,86	4,07	3,49	3,05	2,71
180	35,50	294,0	180,8	0,46000	7,09	6,81	6,33	5,85	5,38	4,66	4,08	3,62
200	42,30	389,0	199,2	0,41400	8,51	8,33	7,83	7,31	6,80	6,16	5,39	4,79
220	50,50	515,0	220,4	0,37400	10,17	10,11	9,57	9,00	8,42	7,86	7,14	6,35
240	60,30	675,0	240,0	0,34200	11,93	11,93	11,50	10,93	10,33	9,73	9,16	8,32
260	68,20	836,0	260,0	0,31400	12,99	12,99	12,78	12,26	11,71	11,15	10,59	10,04
280	76,40	1 010,0	280,0	0,29000	15,00	15,00	14,87	14,29	13,66	13,02	12,38	11,76
300	88,30	1 260,0	299,6	0,27100	17,10	17,10	17,10	16,58	15,95	15,30	14,64	13,98
320	97,60	1 480,0	299,6	0,25300	19,33	19,33	19,33	18,88	18,20	17,48	16,74	16,01
340	105,00	1 680,0	298,4	0,23800	21,68	21,68	21,68	21,28	20,50	19,67	18,84	18,01
360	112,00	1 890,0	297,2	0,22400	24,26	24,26	24,26	23,92	23,02	22,08	21,12	20,18
400	125,00	2 310,0	293,6	0,20100	29,53	29,53	29,53	29,36	28,19	26,98	25,76	24,56
450	140,00	2 900,0	291,6	0,17900	34,70	34,70	34,70	34,70	33,76	32,37	30,96	29,57
500	155,00	3 550,0	289,6	0,16000	40,39	40,39	40,39	40,39	39,96	38,37	36,75	35,13
550	166,00	4 150,0	286,0	0,14600	46,17	46,17	46,17	46,17	46,17	44,38	42,47	40,58
600	178,00	4 790,0	282,0	0,13300	52,22	52,22	52,22	52,22	52,22	50,83	48,61	46,42

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,65500	8,52	7,03	5,27	4,21	3,51	3,01	2,63	2,34
120	52,10	288,0	130,0	0,56000	10,80	10,04	7,99	6,39	5,32	4,56	3,99	3,55
140	63,20	411,0	150,8	0,49100	13,19	12,36	11,40	9,12	7,60	6,51	5,70	5,07
160	76,20	566,0	170,4	0,43600	16,15	15,48	14,49	12,56	10,46	8,97	7,85	6,98
180	88,90	748,0	190,8	0,39300	18,71	18,24	17,19	16,07	13,83	11,85	10,37	9,22
200	103,00	967,0	210,8	0,35700	21,42	21,23	20,23	19,13	17,88	15,32	13,41	11,92
220	117,00	1 220,0	231,6	0,32800	24,30	24,30	23,32	22,16	20,95	19,33	16,92	15,04
240	157,00	1 800,0	255,6	0,29100	31,45	31,45	30,90	29,74	28,49	27,19	24,96	22,19
260	172,00	2 160,0	276,0	0,27100	34,10	34,10	33,90	32,82	31,62	30,37	29,09	26,62
280	189,00	2 550,0	296,0	0,25300	37,69	37,69	37,69	36,60	35,32	33,97	32,60	31,22
300	238,00	3 480,0	320,0	0,23100	46,47	46,47	46,47	45,85	44,57	43,20	41,76	40,29
320	245,00	3 800,0	318,0	0,21900	49,14	49,14	49,14	48,71	47,36	45,90	44,38	42,81
340	248,00	4 050,0	316,0	0,20800	51,81	51,81	51,81	51,52	50,04	48,45	46,78	45,09
360	250,00	4 300,0	313,2	0,19900	54,57	54,57	54,57	54,45	52,82	51,07	49,25	47,41
400	256,00	4 820,0	308,0	0,18200	59,74	59,74	59,74	59,74	58,20	56,18	54,08	51,98
450	263,00	5 500,0	303,6	0,16400	66,42	66,42	66,42	66,42	65,31	62,93	60,48	58,02
500	270,00	6 180,0	298,4	0,15000	73,02	73,02	73,02	73,02	72,52	69,76	66,94	64,12
550	278,00	6 920,0	294,0	0,13700	79,86	79,86	79,86	79,86	79,86	77,09	73,89	70,70
600	285,00	7 660,0	288,8	0,12700	86,59	86,59	86,59	86,59	86,59	84,49	80,88	77,31

5.6 1-B 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_a = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,81	0.73	0,67	0,62	0,58	0,54	0.50	0,47	0,45	0.42	0.40	0.37	0.34	100
1,18	1,07	0,98	0.90	0,84	0,78	0.73	0,69	0.65	0.62	0,59	0.53	0.49	120
1,72	1.56	1.43	1.32	1.23	1.15	1.07	1.01	0,95	0,90	0.86	0.78	0.72	140
2,44	2,22	2.03	1.88	1.74	1.63	1.52	1.44	1.36	1,28	1,22	1,11	1.02	160
3,26	2.96	2,72	2.51	2.33	2.17	2,04	1,92	1,81	1.72	1,63	1,48	1.36	180
4,31	3,92	3.60	3.32	3,08	2,88	2.70	2.54	2.40	2,27	2.16	1,96	1,80	200
5,71	5,19	4.76	4,39	4.08	3.81	3,57	3.36	3,17	3.01	2,86	2.60	2,38	220
7,49	6.81	6.24	5.76	5,35	4.99	4.68	4,40	4,16	3.94	3,74	3,40	3.12	240
9,27	8.43	7.73	7,13	6,62	6.18	5.80	5,45	5.15	4,88	4.64	4.21	3.86	260
11,16	10.19	9.34	8.62	8,00	7,47	7.00	6.59	6,22	5,90	5.60	5,09	4.67	280
13,34	12,71	11,65	10.75	9.98	9.32	8.74	8,22	7,76	7.36	6.99	6,35	5,82	300
15,30	14.61	13.68	12.63	11.73	10,94	10.26	9,66	9,12	8,64	8.21	7,46	6.84	320
17,20	16,42	15.53	14,34	13,31	12,42	11,65	10.96	10,35	9,81	9.32	8.47	7,76	340
19,26	18,38	17.47	16.13	14.98	13,98	13,10	12.33	11,65	11.03	10,48	9.53	8,74	360
23,40	22.29	21,24	19.71	18.30	17,08	16.02	15,07	14,24	13.49	12.81	11,65	10.68	400
28,21	26.91	25,68	24,51	22,98	21.45	20.11	18,92	17,87	16.93	16,08	14,62	13.40	450
33,56	32,05	30.61	29.24	27.95	26,25	24.61	23.16	21.88	20.73	19,69	17.90	16,41	500
38,73	36,96	35.28	33.68	32.19	30,69	28,77	27.08	25.58	24.23	23,02	20.93	19.18	550
44,29	42.24	40,30	38.46	36.74	35.12	33,21	31.26	29.52	27.97	26,57	24.15	22.14	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2.11	1.92	1.76	1.62	1,51	1.40	1.32	1.24	1,17	1,11	1,05	0,96	0.88	100
3.19	2.90	2,66	2.46	2.28	2,13	2.00	1.88	1,77	1.68	1.60	1.45	1.33	120
4,56	4.14	3.80	3.51	3,26	3,04	2.85	2,68	2.53	2.40	2,28	2,07	1.90	140
6,28	5.71	5.23	4,83	4,48	4.19	3.92	3.69	3,49	3.30	3.14	2,85	2,62	160
8.30	7,54	6,91	6.38	5,93	5.53	5,19	4.88	4,61	4,37	4.15	3,77	3,46	180
10.73	9.75	8.94	8.25	7.66	7.15	6.70	6.31	5,96	5,65	5.36	4,88	4.47	200
13.53	12,30	11.28	10.41	9.67	9,02	8.46	7,96	7.52	7,12	6.77	6 15	5,64	220
19.97	18.15	16,64	15.36	14.26	13.31	12.48	11.75	11,09	10.51	9,98	9.08	8.32	240
23,96	21.78	19.97	18,43	17.11	15,97	14.98	14,09	13.31	12.61	11.98	10,89	9.98	260
28,29	25,72	23.57	21.76	20,21	18.86	17.68	16,64	15,72	14.89	14,14	12.86	11,79	280
38.60	35,09	32.17	29,70	27.57	25.74	24,13	22,71	21.45	20,32	19,30	17,55	16.08	300
41.25	38.32	35.13	32.43	30,11	28,10	26.35	24,80	23,42	22.19	21.08	19,16	17.56	320
43.40	40.84	37.44	34.56	32,09	29.95	28.08	26.43	24.96	23,65	22.46	20,42	18,72	340
45.58	43,36	39.75	36,69	34.07	31,80	29.81	28.06	26.50	25,11	23,85	21.68	19.88	360
49.89	47.85	44.56	41.13	38.19	35.65	33.42	31.45	29.70	28.14	26.73	24.30	22.28	400
55.60	53.25	50.84	46.93	43,58	40,68	38,13	35.89	33,90	32.11	30,51	27,73	25,42	450
61.36	58.68	56,12	52.74	48,97	45,70	42.85	40.33	38.09	36.08	34,28	31,16	28.56	500
67.58	64.57	61.70	58.97	54.83	51.18	47.98	45.16	42.65	40.40	38.38	34.89	31.99	550
73.82	70,47	67.27	64.25	60.70	56,65	53.11	49,98	47,21	44.72	42.49	38,63	35,41	600

5.6 1-B 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

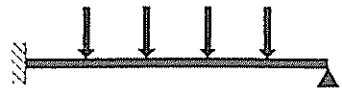
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	1,16700	0,84	0,56	0,42	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19
100	8,32	34,2	42,8	0,93300	1,48	0,99	0,74	0,59	0,49	0,42	0,37	0,33
120	11,10	54,7	49,2	0,77800	2,36	1,58	1,18	0,95	0,79	0,68	0,59	0,53
140	14,40	81,9	56,0	0,66700	3,31	2,37	1,77	1,42	1,18	1,01	0,89	0,79
160	17,90	117,0	62,0	0,58400	4,44	3,38	2,53	2,03	1,69	1,45	1,27	1,13
180	21,90	161,0	68,4	0,51800	5,77	4,65	3,49	2,79	2,33	1,99	1,74	1,55
200	26,30	214,0	74,8	0,46700	7,20	5,92	4,64	3,71	3,09	2,65	2,32	2,06
220	31,10	278,0	80,8	0,42400	8,83	7,42	6,02	4,82	4,02	3,44	3,01	2,68
240	36,20	354,0	88,0	0,38900	10,36	9,07	7,67	6,14	5,11	4,38	3,83	3,41
260	41,90	442,0	92,8	0,35900	12,12	10,97	9,38	7,66	6,38	5,47	4,79	4,26
280	48,00	542,0	98,0	0,33300	14,01	13,04	11,23	9,39	7,83	6,71	5,87	5,22
300	54,20	653,0	102,4	0,31100	16,04	15,31	13,28	11,32	9,43	8,08	7,07	6,29
320	61,10	782,0	106,8	0,29200	18,17	17,78	15,53	13,55	11,30	9,68	8,47	7,53
340	68,10	923,0	112,0	0,27400	20,48	20,44	17,95	15,78	13,33	11,43	10,00	8,89
360	76,20	1 090,0	116,0	0,25900	23,03	23,03	20,72	18,30	15,74	13,49	11,81	10,50
380	84,00	1 260,0	120,8	0,24500	25,63	25,63	23,57	20,91	18,20	15,60	13,65	12,13
400	92,60	1 460,0	125,2	0,23300	28,34	28,34	26,63	23,72	21,09	18,08	15,82	14,06
450	115,00	2 040,0	137,2	0,20800	35,74	35,74	35,19	31,70	28,58	25,26	22,10	19,64
500	141,00	2 750,0	148,8	0,18700	44,10	44,10	44,10	41,00	37,23	33,89	29,79	26,48
550	167,00	3 610,0	160,8	0,17000	51,32	51,32	51,32	50,17	46,09	42,36	39,00	34,76
600	199,00	4 630,0	172,0	0,15500	63,50	63,50	63,50	63,50	58,53	53,87	49,67	44,58

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	1,16700	1,15	0,77	0,57	0,46	0,38	0,33	0,29	0,25
100	10,60	41,2	58,8	0,93300	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,45	0,40
120	13,40	60,7	63,6	0,77800	2,63	1,75	1,31	1,05	0,88	0,75	0,66	0,58
140	16,00	86,4	70,0	0,66700	3,74	2,50	1,87	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83
160	18,80	116,0	75,6	0,58500	5,03	3,35	2,51	2,01	1,68	1,44	1,26	1,12
180	22,00	150,0	80,8	0,51900	6,17	4,33	3,25	2,60	2,17	1,86	1,63	1,44
200	25,30	191,0	85,6	0,46700	7,56	5,52	4,14	3,31	2,76	2,36	2,07	1,84
220	29,40	245,0	92,0	0,42500	9,18	7,08	5,31	4,25	3,54	3,03	2,65	2,36
240	33,20	300,0	96,8	0,38900	10,90	8,67	6,50	5,20	4,33	3,71	3,25	2,89
260	37,90	371,0	102,4	0,35900	12,59	10,58	8,04	6,43	5,36	4,59	4,02	3,57
280	41,80	448,0	109,6	0,33300	13,63	12,10	9,71	7,76	6,47	5,55	4,85	4,31
300	46,20	535,0	116,0	0,31100	14,67	13,63	11,59	9,27	7,73	6,62	5,80	5,15

5.6 1-B 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	80
0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,13	0,12	100
0,47	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0,21	0,20	120
0,71	0,64	0,59	0,55	0,51	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	140
1,01	0,92	0,84	0,78	0,72	0,68	0,63	0,60	0,56	0,53	0,51	0,46	0,42	160
1,39	1,27	1,16	1,07	1,00	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,70	0,63	0,58	180
1,85	1,69	1,55	1,43	1,32	1,24	1,16	1,09	1,03	0,98	0,93	0,84	0,77	200
2,41	2,19	2,01	1,85	1,72	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,20	1,09	1,00	220
3,07	2,79	2,56	2,36	2,19	2,04	1,92	1,80	1,70	1,61	1,53	1,39	1,28	240
3,83	3,48	3,19	2,95	2,74	2,55	2,39	2,25	2,13	2,02	1,91	1,74	1,60	250
4,70	4,27	3,91	3,61	3,35	3,13	2.94	2,76	2,61	2,47	2,35	2.13	1,96	280
5,66	5,14	4,72	4,35	4,04	3.77	3,54	3,33	3,14	2,98	2.83	2,57	2,36	300
6,78	6,16	5,65	5,21	4,84	4,52	4,24	3.99	3,76	3,57	3.39	3,08	2.82	320
8,00	7,27	6,67	6,15	5,71	5,33	5,00	4.70	4,44	4,21	4,00	3.64	3,33	340
9,45	8,59	7.87	7,27	6,75	6,30	5.90	5,56	5,25	4,97	4,72	4,29	3,94	360
10,92	9,93	9,10	8.40	7,80	7.28	6,82	6,42	6,07	5,75	5.46	4,96	4,55	380
12,65	11,50	10,54	9,73	9.04	8,44	7,91	7,44	7.03	6,66	6,33	5.75	5,27	400
17,68	16,07	14,73	13,60	12,63	11.79	11.05	10,40	9,82	9,30	8.84	8,04	7,37	450
23,83	21.67	19,86	18,33	17,02	15,89	14,90	14.02	13.24	12,54	11,92	10,83	9,93	500
31,29	28,44	26,07	24,07	22,35	20.86	19,55	18,40	17.38	16,47	15,64	14,22	13,04	550
40,13	36,48	33,44	30,87	28.66	26,75	25,08	23.60	22,29	21,12	20,06	18,24	16,72	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,23	0,21	0,19	0,18	0.16	0,15	0,14	0.13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	80
0,36	0,32	0,30	0,27	0,25	0,24	0,22	0.21	0,20	0,19	0,18	0.16	0,15	100
0,53	0,48	0,44	0,40	0,38	0.35	0,33	0,31	0,29	0,28	0.26	0,24	0,22	120
0,75	0,68	0,62	0,58	0,53	0,50	0.47	0.44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,31	140
1,00	0,91	0,84	0,77	0,72	0,67	0.63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,46	0,42	160
1,30	1,18	1.08	1,00	0,93	0,87	0.81	0,76	0.72	0.68	0,65	0,59	0,54	180
1,65	1,50	1,38	1,27	1,18	1,10	1,03	0.97	0,92	0.87	0,83	0,75	0,69	200
2,12	1,93	1.77	1,63	1,52	1,42	1,33	1,25	1,18	1,12	1,06	0,96	0,88	220
2,60	2.36	2,17	2,00	1.86	1,73	1,63	1,53	1.44	1,37	1.30	1,18	1,08	240
3,21	2.92	2,68	2,47	2,30	2,14	2,01	1.89	1,79	1,69	1,61	1.46	1.34	260
3,88	3,53	3.24	2,99	2.77	2,59	2.43	2,28	2,16	2.04	1,94	1,76	1,62	280
4,64	4.21	3.86	3,57	3,31	3,09	2,90	2.73	2,58	2.44	2,32	2,11	1,93	300

5.6 1-B 5



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

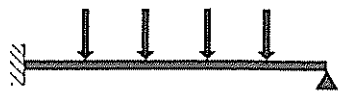
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	6,00	20,0	42,0	1,16500	0,87	0,58	0,43	0,35	0,29	0,25	0,22	0,19	0,
100	8,10	34,2	49,6	0,93300	1,48	0,99	0,74	0,59	0,49	0,42	0,37	0,33	0,
120	10,40	53,0	58,0	0,77800	2,16	1,53	1,15	0,92	0,77	0,66	0,57	0,51	0,
140	12,90	77,3	66,0	0,66700	2,89	2,23	1,67	1,34	1,12	0,96	0,84	0,74	0,
160	15,80	109,0	73,6	0,58500	3,75	3,06	2,36	1,89	1,57	1,35	1,18	1,05	0,
180	18,80	146,0	82,0	0,51600	4,69	3,90	3,16	2,53	2,11	1,81	1,58	1,41	1,
200	22,40	194,0	89,6	0,46700	5,67	4,86	4,16	3,36	2,80	2,40	2,10	1,87	1,
220	26,20	252,0	99,2	0,42500	6,60	5,94	5,14	4,37	3,64	3,12	2,73	2,43	2,
240	30,70	324,0	107,6	0,38900	7,61	7,15	6,31	5,57	4,68	4,01	3,51	3,12	2,
270	36,10	429,0	120,8	0,34600	9,12	8,87	7,90	7,01	6,20	5,31	4,65	4,13	3,
300	42,20	557,0	134,0	0,31100	10,91	10,91	9,80	8,75	7,84	6,90	6,03	5,36	4,
330	49,10	713,0	142,0	0,28300	12,68	12,68	11,87	10,73	9,70	8,80	7,72	6,87	6,
360	57,10	904,0	151,6	0,25900	14,73	14,73	14,24	12,98	11,82	10,77	9,79	8,70	7,
400	66,30	1 160,0	158,0	0,23400	17,56	17,56	17,49	16,05	14,69	13,46	12,36	11,17	10,
450	77,60	1 500,0	164,8	0,20700	21,52	21,52	21,52	20,26	18,58	17,05	15,68	14,44	13,
500	90,70	1 930,0	172,4	0,18700	25,80	25,80	25,80	25,11	23,11	21,27	19,61	18,13	16,
550	106,00	2 440,0	178,0	0,17000	30,95	30,95	30,95	30,95	28,64	26,46	24,47	22,68	21,
600	122,00	3 070,0	186,4	0,15600	36,25	36,25	36,25	36,25	34,70	32,19	29,87	27,77	25,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	0,93300	2,86	2,60	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,87	0,7
120	26,70	144,0	122,4	0,77800	3,84	3,53	3,12	2,50	2,08	1,78	1,56	1,39	1,2
140	33,70	216,0	143,2	0,66800	4,95	4,61	4,24	3,74	3,12	2,67	2,34	2,08	1,8
160	42,60	311,0	162,0	0,58300	6,50	6,19	5,76	5,31	4,49	3,85	3,37	2,99	2,6
180	51,20	426,0	182,8	0,51900	7,80	7,67	7,18	6,68	6,15	5,27	4,61	4,10	3,6
200	61,30	570,0	202,8	0,46700	9,23	9,14	8,68	8,19	7,68	7,06	6,17	5,49	4,9
220	71,50	736,0	223,6	0,42500	10,72	10,72	10,28	9,75	9,20	8,66	7,97	7,09	6,3
240	83,20	938,0	243,2	0,38900	12,34	12,34	12,05	11,53	10,97	10,41	9,86	9,03	8,1
260	93,00	1 150,0	263,2	0,36000	13,44	13,44	13,33	12,85	12,34	11,80	11,27	10,74	9,9
280	103,00	1 380,0	283,6	0,33400	15,23	15,23	15,23	14,71	14,14	13,55	12,95	12,35	11,7
300	117,00	1 680,0	303,2	0,31200	17,11	17,11	17,11	16,76	16,20	15,60	14,99	14,38	13,7
320	127,00	1 930,0	302,8	0,29200	19,12	19,12	19,12	18,84	18,22	17,56	16,88	16,20	15,5
340	134,00	2 160,0	301,2	0,27500	21,17	21,17	21,17	20,94	20,24	19,49	18,73	17,96	17,2
360	142,00	2 400,0	299,6	0,25900	23,26	23,26	23,26	23,12	22,34	21,51	20,65	19,80	18,9
400	155,00	2 880,0	296,0	0,23300	27,75	27,75	27,75	27,75	26,83	25,78	24,71	23,64	22,6
450	171,00	3 550,0	293,2	0,20700	32,45	32,45	32,45	32,45	31,87	30,65	29,39	28,15	26,9
500	187,00	4 290,0	290,8	0,18700	37,23	37,23	37,23	37,33	37,15	35,76	34,34	32,92	31,5
550	199,00	4 970,0	286,8	0,17000	42,28	42,28	42,28	42,28	42,28	41,09	39,42	37,75	36,1
600	212,00	5 700,0	283,2	0,15600	47,68	47,68	47,68	47,68	47,68	46,88	44,93	42,99	41,1

5.6 1-B 5

piezas sometidas a flexión



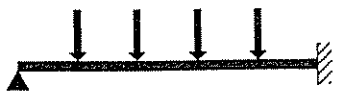
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,17	0.16	0,14	0.13	0.12	0,12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0,08	0,07	80
0,30	0,27	0,25	0,23	0.21	0.20	0,18	0,17	0,16	0.16	0.15	0,13	0.12	100
0,46	0.42	0.38	0.35	0,33	0.31	0,29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.21	0,19	120
0,67	0,61	0.56	0,51	0.48	0,45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.28	140
0,94	0.86	0,79	0.73	0,67	0.63	0.59	0,56	0.52	0,50	0.47	0.43	0,39	160
1,26	1.15	1,05	0.97	0,90	0.84	0.79	0,74	0,70	0,67	0.63	0.57	0.53	180
1,68	1.53	1.40	1,29	1.20	1,12	1,05	0.99	0.93	0.88	0.84	0.76	0.70	200
2,18	1.98	1,82	1,68	1.56	1.46	1.36	1,28	1.21	1.15	1.09	0.99	0.91	220
2,81	2,55	2.34	2.16	2,01	1.87	1,75	1,65	1.56	1,48	1,40	1.28	1,17	240
3,72	3.38	3,10	2,86	2,66	2.48	2,32	2.19	2.07	1.96	1.86	1.69	1.55	270
4,83	4.39	4,02	3,71	3,45	3,22	3.02	2,84	2.68	2.54	2.41	2.19	2.01	300
6,18	5,62	5.15	4.75	4,41	4.12	3,86	3.63	3.43	3.25	3.09	2.81	2.57	330
7,83	7,12	6,53	6,03	5.60	5,22	4,90	4.61	4,35	4,12	3,92	3,56	3,26	360
10,05	9.14	8,38	7,73	7.18	6,70	6.28	5,91	5,58	5,29	5,03	4.57	4,19	400
13,00	11,82	10.83	10.00	9,29	8.67	8.13	7,65	7,22	6.84	6,50	5.91	5,42	450
16,73	15.21	13,94	12,87	11,95	11.15	10.45	9,84	9.29	8,80	8,36	7.60	6,97	500
21,08	19,22	17,62	16.27	15.10	14,10	13.22	12.44	11,75	11,13	10.57	9,61	8,81	550
25,87	24.17	22,17	20.47	19.00	17,74	16,63	15.65	14.78	14,00	13.30	12.09	11.09	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,78	0.71	0.65	0,60	0.56	0,52	0,49	0.46	0,43	0,41	0.39	0.35	0,32	100
1,25	1.13	1.04	0.96	0,89	0,83	0.78	0.73	0.69	0.66	0,62	0,57	0,52	120
1,87	1,70	1,56	1.44	1.34	1.25	1.17	1,10	1.04	0,98	0,94	0.85	0,78	140
2,69	2.45	2,25	2,07	1.92	1,80	1,68	1.58	1,50	1,42	1,35	1.22	1,12	160
3,69	3.36	3.08	2.84	2,64	2.46	2.31	2,17	2.05	1.94	1,85	1,68	1.54	180
4,94	4.49	4,12	3.80	3.53	3.29	3,09	2.91	2,74	2,60	2.47	2.24	2,06	200
6,38	5.80	5.32	4,91	4,56	4.25	3.99	3,75	3.54	3.36	3.19	2,90	2.66	220
8,13	7.39	6.77	6.25	5.81	5,42	5,08	4.78	4.52	4,28	4,06	3,69	3.39	240
9,97	9.06	8,31	7,67	7.12	6.64	6.23	5,86	5,54	5,25	4,98	4.53	4,15	260
11,78	10.87	9.97	9,20	8.54	7.97	7.47	7,03	6.64	6.29	5.98	5,44	4,98	280
13,78	13.19	12,13	11,20	10,40	9,71	9,10	8,56	8,09	7,66	7.28	6.62	6.07	300
15,52	14.87	13,94	12.87	11.95	11.15	10.45	9,84	9,29	8,80	8.36	7,60	6,97	320
17,21	16,47	15,60	14,40	13.37	12.48	11,70	11.01	10.40	9,85	9,36	8.51	7,80	340
18,96	18,15	17.33	16,00	14,86	13,87	13,00	12.23	11,56	10,95	10,40	9,45	8,67	360
22,60	21,59	20,63	19,20	17.83	16.64	15.60	14,68	13.87	13.14	12,48	11.34	10.40	400
26,92	25,74	24,61	23,53	21.98	20.51	19,23	18,10	17,09	16.19	15.38	13,98	12.82	450
31,52	30.16	28.86	27.62	26.45	24,79	23,24	21.87	20,66	19.57	18.59	16,90	15,49	500
36,11	34,53	33,02	31,58	30.22	28,72	26,92	25,34	23,93	22,67	21.54	19,58	17,95	550
41,10	39.27	37,52	35.86	34,30	32.83	30.88	29.06	27,44	26,00	24.70	22,45	20,58	600

5.6 1-B 5



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

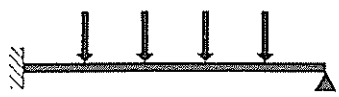
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
100	16,70	72,8	100,4	0,97400	2,30	2,08	1,58	1,26	1,05	0,90	0,79	0,70	
120	19,90	106,0	120,8	0,81600	2,85	2,60	2,30	1,84	1,53	1,31	1,15	1,02	
140	24,70	155,0	140,8	0,70200	3,73	3,43	3,11	2,69	2,24	1,92	1,68	1,49	
160	30,40	220,0	159,2	0,61500	4,70	4,43	4,08	3,73	3,18	2,72	2,38	2,12	
180	35,50	294,0	180,8	0,54700	5,37	5,19	4,84	4,48	4,14	3,64	3,18	2,83	
200	42,30	389,0	199,2	0,49200	6,44	6,34	5,98	5,60	5,22	4,82	4,21	3,75	
220	50,50	515,0	220,4	0,44400	7,70	7,69	7,30	6,88	6,45	6,04	5,58	4,96	
240	60,30	675,0	240,0	0,40600	9,03	9,03	8,76	8,34	7,90	7,47	7,04	6,50	
260	68,20	836,0	260,0	0,37300	9,84	9,84	9,72	9,35	8,95	8,53	8,12	7,72	
280	76,40	1 010,0	280,0	0,34500	11,36	11,36	11,31	10,89	10,43	9,96	9,49	9,03	
300	88,30	1 260,0	299,6	0,32200	12,95	12,95	12,95	12,62	12,17	11,69	11,21	10,72	
320	97,60	1 480,0	299,6	0,30100	14,64	14,64	14,64	14,38	13,88	13,35	12,82	12,28	
340	105,00	1 680,0	298,4	0,28300	16,42	16,42	16,42	16,20	15,63	15,03	14,42	13,81	
360	112,00	1 890,0	297,2	0,26700	18,37	18,37	18,37	18,21	17,56	16,87	16,17	15,48	
400	125,00	2 310,0	293,6	0,23900	22,36	22,36	22,36	22,36	21,51	20,63	19,73	18,85	
450	140,00	2 900,0	291,6	0,21200	26,28	26,28	26,28	26,28	25,75	24,74	23,71	22,68	
500	155,00	3 550,0	289,6	0,19100	30,59	30,59	30,59	30,59	30,48	29,31	28,13	26,94	
550	166,00	4 150,0	286,0	0,17300	34,96	34,96	34,96	34,96	34,96	33,91	32,51	31,12	
600	178,00	4 790,0	282,0	0,15800	39,54	39,54	39,54	39,54	39,54	38,85	37,22	35,60	

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
100	41,80	190,0	109,6	0,77800	6,48	5,49	4,12	3,29	2,74	2,35	2,06	1,83	
120	52,10	288,0	130,0	0,66500	8,21	7,66	6,24	4,99	4,16	3,57	3,12	2,77	
140	63,20	411,0	150,8	0,58300	10,00	9,42	8,74	7,12	5,94	5,09	4,45	3,96	
160	76,20	566,0	170,4	0,51800	12,23	11,79	11,06	9,81	8,18	7,01	6,13	5,45	
180	88,90	748,0	190,8	0,46700	14,17	13,88	13,12	12,30	10,80	9,26	8,10	7,20	
200	103,00	967,0	210,8	0,42400	16,22	16,14	15,42	14,61	13,78	11,97	10,48	9,31	
220	117,00	1 220,0	231,6	0,39000	18,40	18,40	17,76	16,92	16,03	15,10	13,22	11,75	
240	157,00	1 800,0	255,6	0,34600	23,81	23,81	23,50	22,66	21,75	20,80	19,50	17,33	
260	172,00	2 160,0	276,0	0,32200	25,82	25,82	25,76	24,98	24,12	23,20	22,26	20,80	
280	189,00	2 550,0	296,0	0,30100	28,54	28,54	28,54	27,85	26,93	25,95	24,94	23,93	
300	238,00	3 480,0	320,0	0,27400	35,18	35,18	35,18	34,86	33,94	32,94	31,89	30,81	
320	245,00	3 800,0	318,0	0,26000	37,21	37,21	37,21	37,03	36,06	35,00	33,89	32,75	
340	248,00	4 050,0	316,0	0,24800	39,23	39,23	39,23	39,18	38,11	36,95	35,74	34,50	
360	250,00	4 300,0	313,2	0,23600	41,32	41,32	41,32	41,32	40,23	38,96	37,64	36,29	
400	256,00	4 820,0	308,0	0,21600	45,24	45,24	45,24	45,24	44,34	42,87	41,35	39,80	
450	263,00	5 500,0	303,6	0,19500	50,29	50,29	50,29	50,29	49,77	48,04	46,25	44,45	
500	270,00	6 180,0	298,4	0,17800	55,29	55,29	55,29	55,29	55,29	53,28	51,21	49,14	
550	278,00	6 920,0	294,0	0,16300	60,47	60,47	60,47	60,47	60,47	58,89	56,55	54,20	
600	285,00	7 660,0	288,8	0,15100	65,56	65,56	65,56	65,56	65,56	64,56	61,92	59,28	

5.6 1-B 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6.5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,63	0.57	0,53	0.48	0.45	0,42	0.39	0,37	0.35	0.33	0,31	0,29	0,26	100
0,92	0,83	0,77	0.71	0.66	0.61	0.57	0.54	0,51	0.48	0,46	0.42	0.38	120
1,34	1,22	1.12	1,03	0,96	0,90	0.84	0.79	0,75	0.71	0.67	0.61	0,56	140
1,91	1.73	1,59	1.47	1,36	1,27	1.19	1.12	1.06	1,00	0,95	0,87	0.79	160
2,55	2,32	2,12	1.96	1,82	1,70	1,59	1,50	1,42	1,34	1,27	1.16	1,06	180
3,37	3.06	2.81	2,59	2.41	2.25	2.11	1.98	1,87	1,77	1.69	1,53	1,40	200
4,46	4.06	3,72	3,43	3.19	2,98	2.79	2.63	2.48	2,35	2,23	2,03	1.86	220
5,85	5.32	4,88	4.50	4,18	3,90	3.66	3,44	3.25	3.08	2,92	2.66	2,44	240
7,24	6,59	6.04	5.57	5.17	4.83	4.53	4,26	4,02	3.81	3,62	3,29	3.02	260
8,59	7,96	7.29	6,73	6.25	5.84	5.47	5.15	4,86	4,61	4.38	3,98	3,65	280
10,25	9,79	9.10	8,40	7,80	7,28	6.82	6.42	6.07	5,75	5,46	4,96	4.55	300
11,75	11,24	10,69	9,87	9,16	8.55	8,02	7.54	7.13	6,75	6,41	5.83	5,34	320
13,21	12,63	12,07	11.20	11.40	9.71	9,10	8.56	8,09	7.66	7,28	6,62	6.07	340
14,79	14,14	13,51	12.60	11.70	10,92	10.24	9,63	9,10	8,62	8.19	7,44	6,82	360
17,98	17,16	16.37	15,40	14,30	13,35	12,51	11,78	11,12	10,54	10,01	9.10	8,34	400
21,68	20,71	19,78	18,91	17,95	16,76	15.71	14,78	13,96	13,23	12,57	11,42	10.47	450
25,78	24,65	23,57	22.55	21.58	20,51	19.23	18,10	17.09	16,19	15.38	13,98	12.82	500
29,75	28,44	27,18	25.98	24,85	23,79	22.48	21,16	19,98	18.93	17,98	16,35	14,99	550
34,03	32.50	31.05	29,67	28,37	27,15	25,95	24.42	23,06	21,85	20,76	18.87	17,30	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9,5	10,0	11,0	12.0	
1,65	1.50	1.37	1.27	1,18	1,10	1.03	0,97	0.91	0,87	0,82	0,75	0.69	100
2,50	2,27	2,08	1,92	1,78	1,66	1,56	1,47	1,39	1.31	1.25	1.13	1.04	120
3,56	3.24	2,97	2.74	2.54	2,38	2.23	2.09	1.98	1,88	1,78	1,62	1,48	140
4,90	4.46	4,09	3.77	3.50	3,27	3,07	2.88	2.72	2.58	2.45	2,23	2.04	160
6,48	5,89	5.40	4,99	4.63	4,32	4,05	3,81	3,60	3,41	3.24	2.95	2,70	180
8,38	7.62	6,98	6.45	5.99	5,59	5,24	4.93	4,66	4,41	4,19	3.81	3.49	200
10,57	9,61	8,81	8,13	7,55	7.05	6,61	6,22	5.87	5,56	5.29	4.81	4,41	220
15,60	14.18	13.00	12,00	11,14	10,40	9.75	9,18	8,67	8.21	7.80	7,09	6.50	240
18,72	17.02	15,60	14.40	13,37	12,48	11.70	11.01	10.40	9,85	9,36	8.51	7,80	260
22,10	20.09	18,42	17.00	15,79	14,73	13.81	13,00	12.28	11.63	11,05	10.04	9,21	280
29,73	27.42	25,13	23,20	21.54	20.11	18,85	17.74	16,76	15,87	15,08	13.71	12.57	300
31,60	29.94	27,44	25.33	23.52	21,96	20,58	19.37	18.30	17,33	16.47	14,97	13,72	320
33,25	31,91	29,25	27.00	25,07	23,40	21,94	20,65	19,50	18.47	17.55	15,95	14,63	340
34,94	33.61	31.06	28,67	26.62	24,84	23.29	21,92	20,70	19,61	18,63	16,94	15,53	360
38,26	36.75	34,81	32.13	29.84	27,85	26,11	24.57	23.21	21,99	20.89	18,99	17,41	400
42,66	40,92	39.23	36.67	34,05	31,78	29,79	28,04	26,48	25,09	23,83	21.67	19,86	450
47,10	45.11	43,20	41.20	38.26	35.71	33.47	31.51	29,76	28,19	26,78	24,34	22.32	500
51,89	49.65	47,51	45.47	42,84	39,98	37,48	35,28	33.32	31,56	29,99	27.26	24.99	550
56,70	54,21	51,82	49.55	47,41	44.26	41.49	39,05	36,88	34,94	33.19	30.18	27,66	600

5.6 1-B 5



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

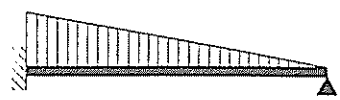
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	0,78500	7,60	3,38	1,90	1,22	0,84	0,62	0,47	0,38	
100	8,32	34,2	42,8	0,62800	12,38	5,93	3,33	2,13	1,48	1,09	0,83	0,66	
120	11,10	54,7	49,2	0,52400	18,07	9,48	5,33	3,41	2,37	1,74	1,33	1,05	
140	14,40	81,9	56,0	0,44900	24,85	13,71	7,98	5,11	3,55	2,61	2,00	1,58	
160	17,90	117,0	62,0	0,39300	32,51	18,52	11,41	7,30	5,07	3,72	2,85	2,25	
180	21,90	161,0	68,4	0,34900	40,20	24,11	15,50	10,05	6,98	5,13	3,92	3,10	
200	26,30	214,0	74,8	0,31400	48,19	30,21	19,67	13,35	9,27	6,81	5,22	4,12	
220	31,10	278,0	80,8	0,28500	57,42	37,31	24,59	17,30	12,05	8,85	6,78	5,35	
240	36,20	354,0	88,0	0,26200	67,36	44,91	30,03	21,30	15,34	11,27	8,63	6,82	
260	41,90	442,0	92,8	0,24200	78,79	52,52	36,27	25,90	19,15	14,07	10,77	8,51	
280	48,00	542,0	98,0	0,22400	91,04	60,69	43,10	30,95	23,18	17,25	13,21	10,44	
300	54,20	653,0	102,4	0,20900	104,25	69,50	50,56	36,49	27,45	20,79	15,92	12,58	
320	61,10	782,0	106,8	0,19600	118,14	78,76	58,63	42,56	32,16	24,90	19,06	15,06	
340	68,10	923,0	112,0	0,18500	133,11	88,74	66,56	49,11	37,24	29,10	22,50	17,78	
360	76,20	1 090,0	116,0	0,17500	149,72	99,81	74,86	56,55	43,06	33,76	26,57	20,99	
380	84,00	1 260,0	120,8	0,16500	166,59	111,06	83,29	64,21	49,07	38,58	30,71	24,27	
400	92,60	1 460,0	125,2	0,15700	184,19	122,79	92,09	72,39	55,51	43,78	35,31	28,12	
450	115,00	2 040,0	137,2	0,14000	232,29	154,86	116,14	92,91	73,66	58,53	47,51	39,24	
500	141,00	2 750,0	148,8	0,12600	286,63	191,09	143,31	114,65	94,70	75,73	61,80	51,28	
550	167,00	3 610,0	160,8	0,11400	333,57	222,38	166,79	133,43	111,19	92,74	76,33	63,81	
600	199,00	4 630,0	172,0	0,10500	412,72	275,15	206,36	165,09	137,57	117,54	96,88	81,09	

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	0,78500	10,33	4,59	2,58	1,65	1,15	0,84	0,65	0,51	
100	10,60	41,2	58,8	0,62800	16,07	7,14	4,02	2,57	1,78	1,31	1,00	0,79	
120	13,40	60,7	63,6	0,52400	23,27	10,52	5,92	3,79	2,63	1,93	1,48	1,17	
140	16,00	86,4	70,0	0,44900	29,32	14,98	8,42	5,39	3,74	2,75	2,11	1,66	
160	18,80	116,0	75,6	0,39400	38,05	20,11	11,31	7,24	5,03	3,69	2,83	2,23	
180	22,00	150,0	80,8	0,34900	45,23	25,68	14,63	9,36	6,50	4,78	3,66	2,89	
200	25,30	191,0	85,6	0,31400	53,44	31,49	18,62	11,92	8,28	6,08	4,66	3,68	
220	29,40	245,0	92,0	0,28600	62,23	38,38	23,89	15,29	10,62	7,80	5,97	4,72	
240	33,20	300,0	96,8	0,26200	71,70	45,62	29,75	18,72	13,00	9,55	7,31	5,78	
260	37,90	371,0	102,4	0,24200	81,85	53,89	35,13	23,15	16,08	11,81	9,04	7,14	
280	41,80	448,0	109,6	0,22400	88,60	59,07	40,10	27,95	19,41	14,26	10,92	8,63	
300	46,20	535,0	116,0	0,20900	95,36	63,58	45,08	32,25	23,18	17,03	13,04	10,30	

5.6 1-B 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,30	0,25	0,21	0,18	0.15	0,13	0.12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,05	80
0,53	0,44	0.37	0.32	0.27	0.24	0,21	0.18	0,16	0,15	0,13	0,11	0,09	100
0,85	0,70	0,59	0,50	0,43	0.38	0,33	0,29	0.26	0.24	0,21	0,18	0,15	120
1,28	1,06	0,89	0,76	0,65	0,57	0.50	0,44	0.39	0,35	0.32	0.26	0.22	140
1,82	1,51	1,27	1.08	0,93	0,81	0,71	0,63	0,56	0,51	0,46	0,38	0,32	160
2,51	2,08	1,74	1,49	1,28	1,12	0,98	0,87	0,77	0,70	0,63	0.52	0,44	180
3,34	2.76	2,32	1,97	1,70	1,48	1,30	1.15	1,03	0,92	0.83	0,69	0,58	200
4,34	3,58	3,01	2,57	2,21	1.93	1.69	1,50	1,34	1,20	1,08	0.90	0.75	220
5,52	4,56	3.83	3,27	2,82	2,45	2,16	1.91	1.70	1,53	1.38	1,14	0,96	240
6,89	5.70	4,79	4.08	3,52	3.06	2,69	2.39	2,13	1,91	1.72	1,42	1,20	260
8,45	6,99	5,87	5,00	4,31	3,76	3,30	2,93	2,61	2.34	2,11	1,75	1,47	280
10,19	8,42	7,07	6,03	5.20	4,53	3,98	3,52	3,14	2,82	2,55	2,10	1,77	300
12,20	10,08	8,47	7,22	6.22	5,42	4.76	4,22	3,76	3,38	3,05	2,52	2,12	320
14,40	11,90	10,00	8.52	7,35	6,40	5,63	4,98	4,44	3,99	3,60	2,97	2,50	340
17,00	14,05	11.81	10,06	8,68	7.56	6,64	5.88	5,25	4,71	4,25	3.51	2.95	260
19,66	16,24	13,65	11,63	10.03	8,74	7,68	6,80	6,07	5,44	4,91	4,06	3,41	380
22,78	18,82	15,82	13.48	11,62	10.12	8,90	7.88	7,03	6.31	5,69	4.71	3,95	400
31,82	26,30	22.10	18,83	16.24	14,14	12.43	11,01	9,82	8,82	7.96	6,57	5.52	450
42,90	35,45	29,79	25,38	21.89	19.07	16.76	14.84	13,24	11.88	10,72	8.86	7,45	500
54,05	46,30	39,11	33,32	28,73	25,03	22.00	19,49	17.38	15,60	14,08	11,64	9.78	550
68,76	58.96	50,16	42.74	36,85	32.10	28.21	24,99	22.29	20.01	18,06	14,92	12,54	600

Luz en metros												UPN
5,0	5.5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,41	0,34	0,29	0,24	0,21	0.18	0,16	0.14	0,13	0.11	0,10	0,08	0,07	80
0,64	0,53	0,45	0,38	0.33	0,29	0,25	0,22	0.20	0,18	0.16	0,13	0,11	100
0,95	0.78	0,66	0,56	0,48	0.42	0,37	0.33	0,29	0.26	0,24	0,20	0,16	120
1,35	1,11	0,94	0,80	0.69	0.60	0.53	0,47	0,42	0,37	0,34	0.28	0,23	140
1,81	1.50	1,26	1.07	0,92	0.80	0,71	0,63	0,56	0,50	0.45	0,37	0,31	160
2,34	1.93	1,63	1,38	1,19	1,04	0,91	0,81	0,72	0,65	0,58	0,48	0,41	180
2,98	2,46	2,07	1,76	1,52	1,32	1,16	1,03	0,92	0,82	0.74	0,62	0.52	200
3,82	3.16	2,65	2,26	1,95	1,70	1,49	1,32	1,18	1.06	0,95	0,79	0,66	220
4,68	3,87	3,25	2.77	2,39	2,08	1,83	1,62	1,44	1.30	1,17	0.97	0,81	240
5,79	4,78	4,02	3,42	2,95	2.57	2,26	2,00	1,79	1,60	1.45	1,20	1,00	260
6,99	5,78	4,85	4,13	3,57	3,11	2,73	2.42	2,16	1,94	1,75	1,44	1,21	280
8,35	6.90	5,80	4,94	4,26	3.71	3,26	2.89	2.58	2,31	2.09	1,72	1,45	300

5.6 1-B 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

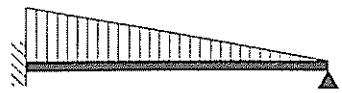
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_a cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,78400	7,78	3,47	1,95	1,25	0,87	0,64	0,49	0,38
100	8,10	34,2	49,6	0,62800	11,78	5,93	3,33	2,13	1,48	1,09	0,83	0,66
120	10,40	53,0	58,0	0,52400	16,24	8,95	5,17	3,31	2,30	1,69	1,29	1,02
140	12,90	77,3	66,0	0,44900	21,35	12,02	7,54	4,82	3,35	2,46	1,88	1,49
160	15,80	109,0	73,6	0,39400	26,34	15,71	10,18	6,80	4,72	3,47	2,66	2,10
180	18,80	146,0	82,0	0,34700	31,56	19,70	12,92	9,06	6,33	4,65	3,56	2,81
200	22,40	194,0	89,6	0,31400	37,06	23,99	16,09	11,48	8,41	6,18	4,73	3,74
220	26,20	252,0	99,2	0,28600	42,89	28,59	19,60	14,13	10,61	8,02	6,14	4,85
240	30,70	324,0	107,6	0,26200	49,46	32,97	23,56	17,24	13,11	10,27	7,90	6,24
270	36,10	429,0	120,8	0,23300	59,26	39,51	29,19	21,50	16,44	12,94	10,42	8,26
300	42,20	557,0	134,0	0,20900	70,94	47,29	35,47	26,61	20,44	16,15	13,05	10,73
330	49,10	713,0	142,0	0,19000	82,41	54,94	41,20	32,07	24,88	19,82	16,12	13,34
360	57,10	904,0	151,6	0,17500	95,78	63,85	47,89	38,31	29,94	23,98	19,61	16,29
400	66,30	1 160,0	158,0	0,15800	114,14	76,09	57,07	45,66	36,83	29,65	24,34	20,31
450	77,60	1 500,0	164,8	0,14000	139,86	93,24	69,93	55,94	46,44	37,45	30,78	25,71
500	90,70	1 930,0	172,4	0,12600	167,73	111,82	83,86	67,09	55,91	46,41	38,25	32,02
550	106,00	2 440,0	178,0	0,11400	201,15	134,10	100,57	80,46	67,05	57,29	47,37	39,76
600	122,00	3 070,0	186,4	0,10500	235,61	157,07	117,80	94,24	78,53	67,32	57,34	48,28

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_a cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,62800	19,37	12,21	8,54	5,62	3,90	2,86	2,19	1,73
120	26,70	144,0	122,4	0,52400	25,51	16,43	11,60	8,67	6,24	4,58	3,51	2,77
140	33,70	216,0	143,2	0,44900	32,25	21,23	15,12	11,40	8,91	6,88	5,26	4,16
160	42,60	311,0	162,0	0,39200	42,23	28,16	20,26	15,41	12,15	9,83	7,58	5,99
180	51,20	426,0	182,8	0,34900	50,69	33,80	25,08	19,18	15,20	12,35	10,23	8,20
200	61,30	570,0	202,8	0,31400	59,97	39,98	29,86	23,06	18,46	15,16	12,67	10,74
220	71,50	736,0	223,6	0,28600	69,67	46,44	34,83	27,22	21,89	18,04	15,14	12,89
240	83,20	938,0	243,2	0,26200	80,18	53,45	40,09	31,81	25,74	21,35	18,04	15,45
260	93,00	1 150,0	263,2	0,24200	87,35	58,23	43,67	34,94	28,55	23,82	20,24	17,44
280	103,00	1 380,0	283,6	0,22500	99,00	66,00	49,50	39,60	32,63	27,25	23,18	20,00
300	117,00	1 680,0	303,2	0,21000	111,24	74,16	55,62	44,50	37,05	31,06	26,53	22,97
320	127,00	1 930,0	302,8	0,19700	124,31	82,87	62,15	49,72	41,44	34,92	29,83	25,84
340	134,00	2 160,0	301,2	0,18500	137,58	91,72	68,79	55,03	45,86	38,82	33,15	28,70
360	142,00	2 400,0	299,6	0,17500	151,20	100,80	75,60	60,48	50,40	42,87	36,59	31,67
400	155,00	2 880,0	296,0	0,15700	180,38	120,26	90,19	72,15	60,13	51,54	43,97	38,00
450	171,00	3 550,0	293,2	0,14000	210,91	140,61	105,46	84,36	70,30	60,26	52,22	45,16
500	187,00	4 290,0	290,8	0,12600	241,99	161,33	121,00	96,80	80,66	69,14	60,50	52,67
550	199,00	4 970,0	286,8	0,11400	274,80	183,20	137,40	109,92	91,60	78,52	68,70	60,54
600	212,00	5 700,0	283,2	0,10500	309,94	206,63	154,97	123,98	103,31	88,55	77,48	68,88

5.6 1-B 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,31	0,26	0.22	0.18	0.16	0,14	0.12	0,11	0.10	0,09	0.08	0.06	0.05	80
0,53	0.44	0,37	0.32	0,27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0,13	0.11	0.09	100
0,83	0.68	0,57	0.49	0,42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.23	0.21	0,17	0.14	120
1,21	1.00	0,84	0,71	0.61	0.54	0 47	0,42	0.37	0.33	0.30	0.25	0.21	140
1,70	1.40	1,18	1.01	0,87	0.76	0.66	0,59	0,52	0,47	0.42	0.35	0.29	160
2,28	1,88	1.58	1.35	1,16	1.01	0.89	0.79	0,70	0,63	0,57	0.47	0.39	180
3,03	2.50	2.10	1.79	1.54	1.34	1.18	1.05	0.93	0.84	0.76	0,63	0.52	200
3,93	3.25	2.73	2.33	2.01	1.75	1,54	1,36	1,21	1,09	0.98	0,81	0.68	220
5,05	4.18	3,51	2.99	2.58	2.25	1.97	1.75	1.56	1.40	1.26	1.04	0.88	240
6,69	5,53	4.65	3.96	3,41	2.97	2.61	2.32	2.07	1.85	1.67	1.38	1,16	270
8,69	7,18	6.03	5.14	4.43	3.86	3.39	3.01	2.68	2.41	2.17	1.79	1.51	300
11,12	9.19	7.72	6.58	5.67	4.94	4,34	3.85	3.43	3.08	2.78	2.30	1,93	330
13,73	11.65	9.79	8.34	7.19	6.27	5,51	4,88	4,35	3.91	3.53	2.91	2.45	360
17,17	14.68	12.57	10.71	9,23	8.04	7,07	6.26	5.58	5.01	4.52	3,74	3.14	400
21,75	18,62	16.10	13.85	11.94	10.40	9.14	8.10	7.22	6.48	5.85	4.83	4,06	450
27,15	23,28	20.15	17,60	15.36	13.38	11,76	10,42	9,29	8,34	7.53	6.22	5.23	500
33,80	29.04	25.19	22,04	19.42	16,92	14.87	13.17	11.75	10.54	9,52	7.86	6,61	550
41,15	35.45	30.81	27.00	23.84	21.18	18.71	16.57	14.78	13.27	11.97	9.89	8.31	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1.40	1,16	0.97	0,83	0,72	0.62	0,55	0.49	0,43	0,39	0,35	0,29	0.24	100
2,25	1,86	1,56	1.33	1.15	1.00	0.88	0.78	0.69	0.62	0.56	0.46	0,39	120
3,37	2.78	2,34	1.99	1.72	1.50	1.32	1,17	1,04	0.93	0.84	0.70	0.58	140
4,85	4.01	3.37	2.87	2.47	2.16	1,89	1.68	1.50	1.34	1.21	1.00	0,84	160
6,65	5.49	4.61	3.93	3.39	2.95	2.60	2.30	2.05	1.84	1.66	1,37	1.15	180
8,89	7.35	6.17	5.26	4.54	3.95	3,47	3,08	2,74	2.46	2,22	1.84	1,54	200
11,10	9.49	7.97	6.79	5.86	5.10	4.48	3.97	3.54	3,18	2.87	2,37	1.99	220
13,38	11,69	10.16	8,66	7.47	6.50	5.72	5,06	4.52	4.05	3.66	3.02	2.54	240
15,19	13.35	11,82	10,53	9,15	7.97	7,01	6,21	5,54	4.97	4,48	3,71	3,11	260
17.44	15.34	13.60	12.13	10,88	9.57	8.41	7,45	6,64	5.96	5,38	4,45	3.74	280
20,11	17.76	15,80	14.15	12.73	11.52	10,24	9.07	8.09	7.26	6.55	5,41	4.55	300
22,63	19.99	17.79	15.93	14,35	12,98	11.76	10,42	9.29	8,34	7.53	6.22	5,23	320
25,12	22.18	19,73	17.67	15.90	14.38	13,06	11,66	10,40	9.33	8,42	6,96	5,85	340
27,71	24.47	21,76	19.47	17.52	15.84	14,39	12.95	11.56	10.37	9.36	7.74	6,50	360
33,20	29,27	26,00	23.23	20.88	18.86	17.11	15,55	13.87	12.44	11.23	9.28	7,80	400
39,48	34.82	30.94	27.67	24,88	22.48	20.40	18.59	17.00	15.34	13,84	11,44	9,61	450
46.08	40.68	36.17	32,37	29.13	26.33	23.91	21.80	19.95	18.31	16.73	13.83	11.62	500
52,93	46.69	41.49	37,11	33,37	30.15	27.37	24.94	22,81	20.93	19.27	16.02	13,46	550
60,38	53,23	47,27	42.25	37,97	34.29	31.11	28,33	25,90	23.76	21.86	18,37	15,44	600

5.6 1-B 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

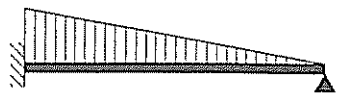
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	16,70	72,8	100,4	0,65500	15,68	9,83	6,84	4,54	3,15	2,32	1,77	1,40	1,
120	19,90	106,0	120,8	0,55000	19,05	12,17	8,54	6,34	4,59	3,38	2,58	2,04	1,
140	24,70	155,0	140,8	0,47300	24,52	15,97	11,26	8,40	6,50	4,93	3,78	2,98	2,
160	30,40	220,0	159,2	0,41400	30,57	20,31	14,50	10,96	8,59	6,90	5,36	4,24	3,
180	35,50	294,0	180,8	0,36800	34,89	23,26	16,97	12,94	10,23	8,29	6,85	5,66	4,
200	42,30	389,0	199,2	0,33100	41,86	27,91	20,72	15,92	12,68	10,35	8,61	7,27	6,
220	50,50	515,0	220,4	0,29900	50,04	33,36	25,02	19,39	15,52	12,73	10,64	9,02	7,
240	60,30	675,0	240,0	0,27300	58,71	39,14	29,36	23,17	18,69	15,45	13,00	11,10	9,
260	68,20	836,0	260,0	0,25100	63,94	42,63	31,97	25,58	20,80	17,32	14,68	12,62	10,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,23200	73,81	49,21	36,91	29,52	24,22	20,18	17,13	14,73	12,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,21700	84,17	56,11	42,09	33,67	27,95	23,39	19,94	17,24	15,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,20300	95,14	63,43	47,57	38,06	31,71	26,65	22,74	19,67	17,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,19100	106,72	71,15	53,36	42,69	35,57	30,03	25,62	22,15	19,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,17900	119,40	79,60	59,70	47,76	39,80	33,75	28,77	24,87	21,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,16100	145,35	96,90	72,68	58,14	48,45	41,44	35,27	30,44	26,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,14300	170,80	113,87	85,40	68,32	56,93	48,80	42,21	36,48	31,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,12800	198,81	132,54	99,40	79,52	66,27	56,80	49,70	43,19	37,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,11700	227,24	151,49	113,62	90,89	75,75	64,92	56,81	49,98	43,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,10700	257,04	171,36	128,52	102,81	85,68	73,44	64,26	57,12	50,

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	0,52400	43,51	27,77	18,52	11,86	8,23	6,05	4,63	3,66	2,9
120	52,10	288,0	130,0	0,44800	54,15	35,23	25,10	17,97	12,48	9,17	7,02	5,55	4,4
140	63,20	411,0	150,8	0,39200	64,98	43,02	30,86	23,43	17,81	13,08	10,02	7,92	6,4
160	76,20	566,0	170,4	0,34900	79,51	53,01	38,55	29,52	23,43	18,02	13,80	10,90	8,8
180	88,90	748,0	190,8	0,31400	92,09	61,39	45,37	34,91	27,84	22,76	18,23	14,41	11,6
200	103,00	967,0	210,8	0,28600	105,45	70,30	52,70	40,85	32,84	27,05	22,70	18,62	15,0
220	117,00	1 220,0	231,6	0,26300	119,61	79,74	59,81	46,98	37,89	31,33	26,37	22,51	19,0
240	157,00	1 800,0	255,6	0,23300	154,79	103,19	77,40	61,88	50,34	42,00	35,68	30,73	26,7
260	172,00	2 160,0	276,0	0,21700	167,86	111,90	83,93	67,14	55,28	46,31	39,51	34,18	29,8
280	189,00	2 550,0	296,0	0,20300	185,53	123,68	92,76	74,21	61,58	51,64	44,11	38,20	33,4
300	238,00	3 480,0	320,0	0,18500	228,70	152,47	114,35	91,48	76,23	64,64	55,49	48,31	42,5
320	245,00	3 800,0	318,0	0,17500	241,86	161,24	120,93	96,74	80,62	68,68	58,96	51,33	45,1
340	248,00	4 050,0	316,0	0,16700	254,99	169,99	127,50	102,00	85,00	72,65	62,33	54,22	47,6
360	250,00	4 300,0	313,2	0,15900	268,61	179,07	134,31	107,44	89,54	76,75	65,82	57,21	50,2
400	256,00	4 820,0	308,0	0,14500	294,05	196,03	147,02	117,62	98,02	84,01	72,57	63,00	55,3
450	263,00	5 500,0	303,6	0,13100	326,92	217,94	163,46	130,77	108,97	93,40	81,49	70,66	61,9
500	270,00	6 180,0	298,4	0,12000	359,41	239,61	179,70	143,76	119,80	102,69	89,85	78,42	68,6
550	278,00	6 920,0	294,0	0,11000	393,05	262,03	196,52	157,22	131,02	112,30	98,26	86,74	75,8
600	285,00	7 660,0	288,8	0,10100	426,17	284,12	213,09	170,47	142,06	121,76	106,54	94,71	83,1

5.6 1-B 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,14	0,94	0,79	0,67	0,58	0,50	0,44	0,39	0.35	0,31	0.28	0,23	0,20	100
1,65	1.37	1,15	0.98	0.84	0,73	0,65	0,57	0,51	0,46	0,41	0.34	0,29	120
2,42	2,00	1.68	1,43	1.23	1.07	0.94	0.84	0,75	0.67	0,60	0.50	0.42	140
3,43	2,84	2,38	2.03	1,75	1,52	1,34	1.19	1,06	0,95	0,86	0,71	0,60	160
4,59	3,79	3,18	2,71	2,34	2,04	1,79	1,59	1,42	1,27	1.15	0,95	0,80	180
6,07	5.01	4,21	3.59	3.10	2,70	2,37	2,10	1.87	1.68	1,52	1,25	1.05	200
7,73	6,64	5,58	4,75	4.10	3,57	3.14	2.78	2,48	2,22	2.01	1,66	1,39	220
9,58	8,35	7,31	6,23	5,37	4,68	4,11	3,64	3.25	2,92	2.63	2.18	1,83	240
10,97	9,62	8,50	7,56	6,65	5,80	5,09	4,51	4.02	3,61	3,26	2.69	2.26	260
12,82	11,25	9,95	8,86	7,93	7,00	6,15	5,45	4,86	4,36	3.94	3,25	2,73	280
15,06	13.28	11,79	10,54	9,47	8,55	7,68	6,80	6.07	5,44	4.91	4,06	3,41	300
17,21	15,18	13,49	12,07	10.86	9,81	8,91	7,99	7,13	6.40	5,77	4.77	4.01	320
19,37	17,08	15,18	13.57	12,20	11,03	10,01	9.07	8,09	7.26	6,55	5,41	4,55	340
21,73	19.16	17,02	15,21	13,67	12.34	11.20	10.20	9,10	8,17	7,37	6,09	5,12	360
26,56	23,38	20,74	18,51	16,61	14,99	13,58	12,36	11,12	9,98	9,01	7.44	6.26	400
31,87	28.09	24,94	22,29	20,03	18,08	16,40	14,94	13,65	12,52	11,31	9,35	7,85	450
37,77	33,32	29.61	26.48	23,82	21.52	19,54	17.80	16,28	14,94	13,76	11.44	9,61	500
43,68	38,52	34,21	30,58	27,49	24,83	22,53	20,52	18,76	17,21	15,84	13,38	11,24	550
50,03	44,10	39,15	34,98	31,43	28,38	25,75	23,44	21,43	19,65	18.08	15,44	12.97	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2,96	2,45	2,06	1,75	1.51	1,32	1,16	1,03	0,91	0.82	0,74	0,61	0.51	100
4,49	3,71	3,12	2,66	2,29	2,00	1,75	1,55	1,39	1,24	1.12	0,93	0,78	120
6,41	5.30	4,45	3,79	3,27	2.85	2.50	2.22	1,98	1,78	1.60	1,32	1.11	140
8,83	7,30	6,13	5,22	4.50	3,92	3.45	3,05	2.72	2.45	2.21	1.82	1.53	160
11,67	9,64	8,10	6,90	5,95	5,19	4.56	4,04	3,60	3,23	2,92	2,41	2,03	180
15,08	12,47	10,48	8,93	7,70	6,70	5,89	5,22	4,66	4.18	3.77	3.12	2,62	200
19,03	15,73	13,22	11,26	9.71	8,46	7,43	6,58	5,87	5.27	4,76	3.93	3,30	220
26,76	23,21	19,50	16,61	14,33	12,48	10,97	9.72	8.67	7,78	7.02	5,80	4.88	240
29,89	26.38	23,40	19.94	17,19	14.98	13,16	11,66	10,40	9,33	8.42	6,96	5,85	260
33,44	29.54	26,29	23,54	20,30	17,68	15,54	13.76	12,28	11,02	9,94	8,22	6,91	280
42,52	37,76	33,77	30,39	27.50	24,13	21,21	18,78	16,76	15,04	13.57	11,22	9,42	300
45,18	40,13	35,89	32.30	29,22	26,35	23,16	20,51	18,30	16,42	14,82	12.25	10.29	320
47,69	42.32	37,82	34.01	30,75	27.93	24,68	21,86	19.50	17,50	15,79	13,05	10.97	340
50,27	44,57	39,80	35,76	32,30	29,32	26,20	23.21	20.70	18,58	16,77	13,86	11.65	360
55,30	48.96	43,67	39.20	35,37	32.07	29,19	26,02	23,21	20,83	18,80	15.54	13.05	400
61,94	54,78	48,80	43,75	39,43	35,71	32,48	29.65	26,48	23,77	21,45	17,73	14,90	450
68,67	60,66	53,98	48,34	43,53	39,38	35,78	32,64	29,76	26.71	24.10	19,92	16,74	500
75,89	66,98	59,56	53.29	47,95	43,35	39,37	35,89	32,84	29,90	26,99	22,30	18,74	550
83,17	73,35	65,17	58,27	52,39	47,33	42,95	39.13	35,79	32,83	29,87	24.69	20.75	600

5.6 1-B 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	1,00200	6,49	2,88	1,62	1,04	0,72	0,53	0,41	0,32
100	8,32	34,2	42,8	0,80200	11,38	5,06	2,34	1,82	1,26	0,93	0,71	0,56
120	11,10	54,7	49,2	0,66800	18,20	8,09	4,55	2,91	2,02	1,49	1,14	0,90
140	14,40	81,9	56,0	0,57300	25,77	12,11	6,81	4,36	3,03	2,22	1,70	1,35
160	17,90	117,0	62,0	0,50200	34,70	17,31	9,73	6,23	4,33	3,18	2,43	1,92
180	21,90	161,0	68,4	0,44500	45,07	23,81	13,09	8,57	5,95	4,37	3,35	2,65
200	26,30	214,0	74,8	0,40100	56,35	30,73	17,80	11,39	7,91	5,81	4,45	3,52
220	31,10	278,0	80,8	0,36400	69,46	38,52	23,13	14,80	10,28	7,55	5,78	4,57
240	36,20	354,0	88,0	0,33400	82,11	47,16	29,45	18,85	13,09	9,62	7,36	5,82
260	41,90	442,0	92,8	0,30900	96,05	57,07	36,43	23,54	16,34	12,01	9,19	7,26
280	48,00	542,0	98,0	0,28600	110,98	67,94	43,68	28,86	20,04	14,72	11,27	8,91
300	54,20	653,0	102,4	0,26700	127,09	79,81	51,66	34,77	24,15	17,74	13,58	10,73
320	61,10	782,0	106,8	0,25100	144,02	92,72	60,47	41,64	28,92	21,24	16,27	12,85
340	68,10	923,0	112,0	0,23600	162,27	106,68	69,96	49,03	34,13	25,07	19,20	15,17
360	76,20	1 090,0	116,0	0,22300	182,51	121,67	80,79	56,91	40,31	29,61	22,67	17,91
380	84,00	1 260,0	120,8	0,21000	203,08	135,39	91,97	65,06	46,59	34,23	26,21	20,71
400	92,60	1 460,0	125,2	0,20000	224,54	149,69	103,95	73,84	53,99	39,66	30,37	23,99
450	115,00	2 040,0	137,2	0,17800	283,17	188,78	137,61	98,82	74,03	55,42	42,43	33,53
500	141,00	2 750,0	148,8	0,16000	349,41	232,94	174,71	127,96	96,57	74,71	57,20	45,19
550	167,00	3 610,0	160,8	0,14600	406,64	271,10	203,32	156,91	119,79	94,13	75,09	59,33
600	199,00	4 630,0	172,0	0,13400	503,13	335,42	261,56	198,92	152,15	119,75	96,30	76,09

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	1,00200	8,82	3,92	2,20	1,41	0,98	0,72	0,55	0,44
100	10,60	41,2	58,8	0,80200	13,71	6,09	3,43	2,19	1,52	1,12	0,86	0,68
120	13,40	60,7	63,6	0,66800	20,20	8,98	5,05	3,23	2,24	1,65	1,26	1,00
140	16,00	86,4	70,0	0,57200	26,75	12,78	7,19	4,60	3,19	2,35	1,80	1,42
160	18,80	116,0	75,6	0,50300	38,60	17,16	9,65	6,18	4,29	3,15	2,41	1,91
180	22,00	190,0	80,8	0,44500	48,17	22,19	12,48	7,99	5,55	4,07	3,12	2,46
200	25,30	191,0	85,6	0,40100	59,01	28,25	15,89	10,17	7,06	5,19	3,97	3,14
220	29,40	245,0	92,0	0,36500	71,78	36,24	20,38	13,05	9,06	6,66	5,10	4,03
240	33,20	300,0	96,8	0,33400	85,23	44,37	24,96	15,97	11,09	8,15	6,24	4,93
260	37,90	371,0	102,4	0,30900	99,78	54,88	30,87	19,75	13,72	10,08	7,72	6,10
280	41,80	448,0	109,6	0,28600	108,01	62,90	37,27	23,85	16,57	12,17	9,32	7,35
300	46,20	535,0	116,0	0,26700	116,25	70,97	44,51	28,49	19,78	14,53	11,13	8,79

5.6 1-B 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	80
0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	100
0,73	0,60	0,51	0,43	0,37	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,13	120
1,09	0,90	0,76	0,64	0,56	0,48	0,43	0,38	0,34	0,30	0,27	0,22	0,19	140
1,56	1,29	1,08	0,92	0,79	0,69	0,61	0,54	0,48	0,43	0,39	0,32	0,27	160
2,14	1,77	1,49	1,27	1,09	0,95	0,84	0,74	0,66	0,59	0,54	0,44	0,37	180
2,85	2,35	1,98	1,69	1,45	1,27	1,11	0,99	0,88	0,79	0,71	0,59	0,49	200
3,70	3,06	2,57	2,19	1,89	1,64	1,45	1,28	1,14	1,02	0,92	0,76	0,64	220
4,71	3,89	3,27	2,79	2,40	2,09	1,84	1,63	1,45	1,30	1,18	0,97	0,82	240
5,88	4,86	4,09	3,48	3,00	2,61	2,30	2,04	1,82	1,63	1,47	1,22	1,02	260
7,21	5,96	5,01	4,27	3,68	3,21	2,82	2,50	2,23	2,00	1,80	1,49	1,25	280
8,69	7,18	6,04	5,14	4,43	3,86	3,40	3,01	2,68	2,41	2,17	1,80	1,51	300
10,41	8,60	7,23	6,16	5,31	4,63	4,07	3,60	3,21	2,88	2,60	2,15	1,81	320
12,29	10,15	8,53	7,27	6,27	5,46	4,80	4,25	3,79	3,40	3,07	2,54	2,13	340
14,51	11,99	10,08	8,59	7,40	6,45	5,67	5,02	4,48	4,02	3,63	3,00	2,52	360
16,77	13,86	11,65	9,92	8,56	7,45	6,55	5,80	5,18	4,65	4,19	3,47	2,91	380
19,43	16,06	13,50	11,50	9,92	8,64	7,59	6,72	6,00	5,38	4,86	4,02	3,37	400
27,16	22,44	18,86	16,07	13,85	12,07	10,61	9,40	8,38	7,52	6,79	5,61	4,71	450
36,61	30,25	25,42	21,66	18,68	16,27	14,30	12,67	11,30	10,14	9,15	7,56	6,36	500
48,06	39,72	33,37	28,44	24,52	21,36	18,77	16,63	14,83	13,31	12,01	9,93	8,34	550
61,63	50,94	42,80	36,47	31,45	27,39	24,08	21,33	19,92	17,07	15,41	12,73	10,70	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,35	0,29	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	80
0,55	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,11	0,09	100
0,81	0,67	0,56	0,48	0,41	0,36	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	120
1,15	0,95	0,80	0,68	0,59	0,51	0,45	0,40	0,35	0,32	0,29	0,24	0,20	140
1,54	1,28	1,07	0,91	0,79	0,69	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,32	0,27	160
2,00	1,65	1,39	1,18	1,02	0,89	0,78	0,69	0,62	0,55	0,50	0,41	0,35	180
2,54	2,10	1,77	1,50	1,30	1,13	0,99	0,88	0,78	0,70	0,64	0,52	0,44	200
3,26	2,69	2,26	1,93	1,66	1,45	1,27	1,13	1,01	0,90	0,81	0,67	0,57	220
3,99	3,30	2,77	2,36	2,04	1,77	1,56	1,38	1,23	1,11	1,00	0,82	0,69	240
4,94	4,08	3,43	2,92	2,52	2,19	1,93	1,71	1,52	1,37	1,23	1,02	0,86	260
5,96	4,93	4,14	3,53	3,04	2,65	2,33	2,06	1,84	1,65	1,49	1,23	1,03	280
7,12	5,89	4,95	4,21	3,63	3,16	2,78	2,46	2,20	1,97	1,78	1,47	1,24	300

5.6 1-B 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	1,00100	6,66	2,96	1,66	1,06	0,74	0,54	0,42	0,33
100	8,10	34,2	49,6	0,80200	11,38	5,06	2,84	1,82	1,26	0,93	0,71	0,56
120	10,40	53,0	58,0	0,66800	16,82	7,84	4,41	2,82	1,96	1,44	1,10	0,87
140	12,90	77,3	66,0	0,57300	22,53	11,43	6,43	4,12	2,86	2,10	1,61	1,27
160	15,80	109,0	73,6	0,50300	29,34	15,87	9,07	5,80	4,03	2,96	2,27	1,79
180	18,80	146,0	82,0	0,44300	36,71	20,22	12,15	7,77	5,40	3,97	3,04	2,40
200	22,40	194,0	89,6	0,40100	44,54	25,31	16,14	10,33	7,17	5,27	4,03	3,19
220	26,20	252,0	99,2	0,36500	52,28	30,93	19,99	13,42	9,32	6,85	5,24	4,14
240	30,70	324,0	107,6	0,33400	60,29	37,35	24,61	17,25	11,98	8,80	6,74	5,32
270	36,10	429,0	120,8	0,29700	72,24	46,37	30,32	21,82	15,86	11,65	8,92	7,05
300	42,20	557,0	134,0	0,26700	86,48	57,17	38,27	27,25	20,28	15,13	11,59	9,15
330	49,10	713,0	142,0	0,24300	100,46	66,97	46,44	33,47	25,14	19,37	14,83	11,72
360	57,10	904,0	151,6	0,22300	116,76	77,84	55,79	40,54	30,66	23,91	18,80	14,86
400	66,30	1 160,0	158,0	0,20100	139,15	92,76	68,54	50,15	38,15	29,89	23,98	19,06
450	77,60	1 500,0	164,8	0,17800	170,50	113,66	85,25	63,35	48,28	37,89	30,43	24,65
500	90,70	1 930,0	172,4	0,16100	204,47	136,31	102,23	78,54	60,08	47,28	38,07	31,23
550	106,00	2 440,0	178,0	0,14600	245,21	163,47	122,60	96,99	74,51	58,86	47,53	39,10
600	122,00	3 070,0	186,4	0,13400	287,21	191,48	143,61	114,89	90,36	71,67	58,07	47,90

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,80200	22,52	13,31	7,49	4,79	3,33	2,44	1,87	1,48
120	26,70	144,0	122,4	0,66800	30,28	18,50	11,98	7,67	5,32	3,91	2,99	2,37
140	33,70	216,0	143,2	0,57300	39,07	24,18	16,61	11,50	7,99	5,87	4,49	3,55
160	42,60	311,0	162,0	0,50100	51,49	32,49	22,59	16,56	11,50	8,45	6,47	5,11
180	51,20	426,0	182,8	0,44600	61,80	40,27	28,21	20,92	15,75	11,57	8,86	7,00
200	61,30	570,0	202,8	0,40100	73,11	48,07	34,16	25,70	20,04	15,48	11,86	9,37
220	71,50	736,0	223,6	0,36500	84,93	56,58	40,45	30,62	24,02	19,33	15,31	12,10
240	83,20	938,0	243,2	0,33400	97,75	65,16	47,48	36,26	28,71	23,30	19,27	15,42
260	93,00	1 150,0	263,2	0,30900	106,48	70,99	52,57	40,49	32,32	26,45	22,05	18,64
280	103,00	1 380,0	283,6	0,28700	120,68	80,46	60,08	46,33	37,05	30,36	25,34	21,46
300	117,00	1 680,0	303,2	0,26800	135,61	90,41	67,81	52,84	42,49	35,02	29,39	25,02
320	127,00	1 930,0	302,8	0,25100	151,54	101,02	75,77	59,40	47,79	39,41	33,09	28,18
340	134,00	2 160,0	301,2	0,23600	167,71	111,81	83,86	66,03	53,09	43,75	36,71	31,25
360	142,00	2 400,0	299,6	0,22300	184,31	122,88	92,16	72,91	58,59	48,26	40,48	34,44
400	155,00	2 880,0	296,0	0,20000	219,90	146,60	109,95	87,71	70,34	57,83	48,41	41,10
450	171,00	3 550,0	293,2	0,17800	257,11	171,41	128,56	102,84	83,57	68,75	57,60	48,94
500	187,00	4 290,0	290,8	0,16000	295,00	196,67	147,50	118,00	97,44	80,26	67,31	57,25
550	199,00	4 970,0	286,8	0,14600	335,00	223,33	167,50	134,00	111,67	92,18	77,24	65,64
600	212,00	5 700,0	283,2	0,13400	377,83	251,89	188,92	151,13	125,94	105,16	88,03	74,74

5.6 1-B 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,27	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0.08	0,07	0,07	0.05	0,05	80
0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	100
0,71	0,58	0,49	0,42	0,36	0,31	0,28	0,24	0,22	0,19	0.18	0.15	0,12	120
1,03	0,85	0,71	0,61	0,52	0,46	0,40	0,36	0,32	0,28	0,26	0,21	0,18	140
1,45	1,20	1,01	0,86	0,74	0,64	0,57	0,50	0,45	0,40	0,36	0,30	0,25	160
1,94	1,61	1,35	1,15	0,99	0,86	0.76	0,67	0,60	0,54	0,49	0,40	0,34	180
2,58	2.13	1,79	1,53	1,32	1,15	1,01	0,89	0,80	0,71	0.65	0,53	0,45	200
3,35	2,77	2,33	1,98	1,71	1,49	1,31	1.16	1,03	0,93	0,84	0,69	0,58	220
4,31	3,56	2.99	2,55	2,20	1,92	1,68	1,49	1,33	1,19	1,08	0,89	0.75	240
5,71	4,72	3,97	3,38	2,91	2.54	2.23	1,98	1,76	1,58	1,43	1,18	0,99	270
7,41	6,13	5,15	4,39	3,78	3,29	2.90	2.57	2,29	2,05	1,85	1,53	1,29	300
9,49	7,84	6,59	5,62	4,84	4,22	3,71	3,28	2,93	2,63	2,37	1,96	1.65	330
12,03	9,94	8,36	7,12	6,14	5,35	4,70	4.16	3,71	3,33	3,01	2,49	2,09	360
15,44	12,76	10,72	9,14	7,88	6,86	6,03	5,34	4.77	4,28	3,86	3,19	2.68	400
19,97	16,50	13,87	11,81	10,19	8,88	7,80	6,91	6,16	5,53	4,99	4,13	3,47	450
25,69	21,23	17,84	15,20	13.11	11,42	10,04	8.89	7,93	7,12	6,42	5,31	4,46	500
32,48	26,84	22,56	19,22	16,57	14,44	17,69	11,24	10.02	9,00	8,12	6,71	5,64	550
40,11	33,77	28,38	24,18	20,85	18,16	15,96	14,14	12,61	11,32	10,22	8,44	7,09	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,20	0,99	0.83	0,71	0,61	0,53	0,47	0,41	0,37	0,33	0,30	0,25	0,21	100
1,92	1,58	1.33	1,13	0,98	0,85	0,75	0,66	0,59	0,53	0,48	0,40	0,33	120
2,88	2,38	2,00	1,70	1,47	1,28	1,12	0,99	0,89	0,80	0,72	0,59	0,50	140
4,14	3,42	2,88	2.45	2,11	1,84	1,62	1,43	1,28	1.15	1,03	0,85	0,72	160
5,67	4,69	3.94	3,36	2,89	2,52	2,21	1,96	1,75	1,57	1,42	1,17	0,98	180
7,59	6,27	5.27	4,49	3,87	3,37	2,96	2,63	2,34	2,10	1,90	1,57	1,32	200
9,80	8,10	6,80	5.80	5.00	4,35	3,83	3,39	3,02	2,71	2,45	2,02	1,70	220
12,49	10,32	8,67	7.39	6,37	5,55	4,88	4,32	3,85	3,46	3,12	2,58	2,17	240
15,31	12.65	10.63	9,06	7,81	6,80	5,98	5,30	4,72	4,24	3,83	3,16	2,66	260
18,37	15,18	12,76	10,87	9.37	8,16	7,18	6,36	5,67	5,09	4,59	3,80	3,19	280
21,54	18,48	15,53	13,23	11,41	9,94	8,74	7,74	6,90	6,19	5,59	4,62	3,88	300
24,27	21,10	17,84	15,20	13,11	11,42	10,04	8,89	7,93	7,12	6,42	5,31	4,46	320
26,90	23.38	19.97	17,01	14,67	12,78	11,23	9,95	8,88	7.96	7,19	5,94	4,99	340
29,63	25,74	22,19	18,90	16,30	14,20	12,48	11,05	9,86	8,85	7,99	6,60	5,55	360
35.30	30.62	26,62	22.69	19,56	17,04	14,98	13,27	11,83	10,62	9,58	7.92	6,66	400
42,06	36,51	31,95	27.96	24,11	21,00	18,46	16,35	14,59	13,09	11,81	9,76	8,20	450
49,26	42,79	37.48	33,07	29,14	25,38	22.31	19.76	17,63	15,82	14,28	11,80	9,91	500
56,43	48,98	42.87	37,80	33,56	29,40	25,84	22,89	20,42	18.33	16,54	13,67	11,49	550
64.20	55,68	48,70	42,92	38,07	33,72	29,64	26,25	23,42	21,02	18,97	15,68	13.17	600

5.6 1-B 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	16,70	72,8	100,4	0,83600	18,15	10,77	6,06	3,88	2,69	1,98	1,51	1,20	0,
120	19,90	106,0	120,8	0,70100	22,45	13,59	8,82	5,64	3,92	2,88	2,20	1,74	1,
140	24,70	155,0	140,8	0,60300	29,44	17,95	12,15	8,25	5,73	4,21	3,22	2,55	2,
160	30,40	220,0	159,2	0,52800	37,27	23,21	15,99	11,67	8,13	5,98	4,58	3,62	2,
180	35,50	294,0	180,8	0,47000	42,53	27,23	19,00	14,03	10,76	7,99	6,11	4,83	3,
200	42,30	389,0	199,2	0,42300	51,04	33,31	23,50	17,55	13,59	10,57	8,09	6,39	5,
220	50,50	515,0	220,4	0,38200	61,00	40,43	28,72	21,59	16,83	13,47	10,71	8,46	6,
240	60,30	675,0	240,0	0,34900	71,57	47,72	34,51	26,22	20,66	16,69	13,74	11,09	8,
260	68,20	836,0	260,0	0,32100	77,95	51,96	38,33	29,43	23,42	19,11	15,88	13,39	11,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,29600	89,98	59,99	44,62	34,30	27,33	22,32	18,57	15,67	13,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,27700	102,61	68,41	51,30	39,78	31,91	26,23	21,96	18,64	16,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,25900	115,98	77,32	57,99	45,32	36,40	29,96	25,12	21,35	18,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,24300	130,10	86,73	65,05	51,08	41,00	33,73	28,26	24,01	20,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,22900	145,56	97,04	72,78	57,40	46,04	37,85	31,68	26,90	23,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,20500	177,19	118,13	88,60	70,46	56,39	46,26	38,64	32,75	28,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,18200	208,22	138,81	104,11	83,29	67,52	55,49	46,44	39,42	33,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,16400	242,36	161,57	121,18	96,94	79,92	65,77	55,12	46,85	40,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,14900	277,01	184,68	138,51	110,81	92,34	76,07	63,70	54,10	46,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,13600	313,34	208,89	156,67	125,34	104,45	87,13	72,92	61,89	53,

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	41,80	190,0	109,6	0,66800	51,15	28,10	15,81	10,12	7,03	5,16	3,95	3,12	2,
120	52,10	288,0	130,0	0,57200	64,83	40,14	23,96	15,33	10,65	7,82	5,99	4,73	3,
140	63,20	411,0	150,8	0,50100	79,12	49,44	34,19	21,88	15,20	11,17	8,55	6,75	5,
160	76,20	566,0	170,4	0,44500	96,93	61,91	43,46	30,14	20,93	15,38	11,77	9,30	7,
180	88,90	748,0	190,8	0,40100	112,26	72,97	51,58	38,58	27,66	20,32	15,56	12,29	9,
200	103,00	967,0	210,8	0,36400	128,55	84,93	60,69	45,90	35,76	26,27	20,11	15,89	12,
220	117,00	1 220,0	231,6	0,33500	145,81	97,21	69,96	53,18	41,89	33,14	25,38	20,05	16,
240	157,00	1 800,0	255,6	0,29700	188,70	125,80	92,71	71,38	56,97	46,61	37,44	29,58	23,
260	172,00	2 160,0	276,0	0,27700	204,63	136,42	101,70	78,76	63,25	52,06	43,63	35,50	28,
280	189,00	2 550,0	296,0	0,25800	226,17	150,78	113,08	87,84	70,65	58,24	48,89	41,63	33,
300	238,00	3 480,0	320,0	0,23600	278,79	185,86	139,40	110,04	89,15	74,05	62,63	53,71	46,
320	245,00	3 800,0	318,0	0,22400	294,83	196,56	147,42	116,91	94,72	78,69	66,56	57,09	49,
340	248,00	4 050,0	316,0	0,21300	310,85	207,23	155,42	123,66	100,09	83,05	70,17	60,12	52,
360	250,00	4 300,0	313,2	0,20300	327,45	218,30	163,73	130,68	105,64	87,55	73,88	63,21	54,
400	256,00	4 820,0	308,0	0,18600	358,46	238,97	179,23	143,38	116,40	96,30	81,13	69,30	59,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,16800	398,53	265,68	199,26	159,41	130,61	107,87	90,72	77,36	66,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,15300	438,14	292,09	219,07	175,25	145,03	119,59	100,41	85,50	73,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,14000	479,14	319,43	239,57	191,66	159,71	132,16	110,83	94,26	81,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,12900	519,53	346,35	259,76	207,81	173,18	144,84	121,33	103,08	88,

5.6 1-B 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5.5	6.0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,97	0.80	0,67	0,57	0.49	0,43	0,38	0.33	0,30	0,27	0,24	0,20	0.17	100
1,41	1.17	0,98	0.83	0,72	0,63	0,55	0,49	0,44	0,39	0,35	0,29	0,24	120
2.06	1,70	1.43	1.22	1,05	0,92	0.81	0.71	0,64	0,57	0,52	0,43	0,36	140
2,93	2.42	2.03	1,73	1.49	1.30	1,14	1,01	0,90	0,81	0,73	0.60	0,51	160
3,91	3.23	2,72	2.32	2.00	1,74	1,53	1,35	1,21	1.08	0,98	0.81	0,68	180
5,18	4.28	3.60	3.06	2,64	2,30	2.02	1,79	1,60	1,43	1,29	1,07	0,90	200
6,86	5,67	4.76	4,06	3,50	3,05	2.68	2,37	2,12	1.90	1.71	1.42	1,19	220
8,99	7.43	6.24	5,32	4,58	3.99	3,51	3.11	2.77	2,49	2.25	1,86	1,56	240
11,13	9.20	7,73	6,58	5.68	4,95	4,35	3.85	3,43	3,08	2,78	2,30	1,93	260
13,39	11.11	9,34	7.96	6,86	5,98	5,25	4,65	4,15	3,72	3,36	2.78	2,33	280
16,01	13,86	11,65	9.92	8,56	7.45	6,55	5,80	5.18	4.65	4,19	3,47	2.91	300
18,36	15.94	13,68	11.66	10,05	8.76	7,70	6,82	6.08	5.46	4,92	4.07	3,42	320
20,64	17,91	15.53	13,23	11,41	9,94	8,74	7.74	6.90	6,19	5.59	4,62	3,88	340
23,11	20,05	17,47	14,89	12,84	11,18	9,83	8,71	7,76	6,97	6,29	5,20	4,37	360
28,08	24.31	21.24	18.20	15,69	13,67	12.01	10,64	9.49	8,52	7,69	6,35	5,34	400
33,86	29,36	25,68	22.62	19,70	17,16	15.08	13,36	11,91	10,69	9,65	7,98	6,70	450
40,28	34,96	30.61	26,99	23.96	21,00	18,46	16,35	14,59	13.09	11,81	9,76	8.20	500
46,48	40.32	35,28	31,09	27,59	24,55	21,58	19,12	17,05	15,30	13,81	11,41	9,59	550
53,15	46.08	40,30	35.51	31,49	28,10	24.91	22.06	19,68	17,66	15,94	13,17	11,07	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2.53	2.09	1,76	1.50	1,29	1,12	0,99	0,88	0,78	0,70	0,63	0,52	0,44	100
3,83	3,17	2.66	2,27	1,96	1,70	1.50	1,33	1,18	1,06	0,96	0,79	0,67	120
5.47	4,52	3,80	3,24	2,79	2,43	2.14	1,89	1,69	1,52	1,37	1,13	0,95	140
7.53	6.23	5,23	4,46	3.84	3,35	2,94	2.61	2,32	2,09	1.88	1,56	1,31	160
9.96	8,23	6.91	5,89	5,08	4,42	3.89	3,44	3,07	2.76	2,49	2,06	1,73	180
12,87	10.64	8,94	7,62	6,57	5,72	5,03	4.45	3,97	3,57	3,22	2,66	2.23	200
16.24	13.42	11,28	9,61	8,29	7,22	6,34	5,62	5,01	4.50	4,06	3.36	2.82	220
23,96	19,80	16.64	14,18	12,22	10,65	9,36	8,29	7,40	6,64	5,99	4.95	4,16	240
28,75	23,76	19,97	17,01	14,67	12,78	11,23	9,95	8,88	7,96	7,19	5,94	4,99	260
33,95	28.05	23,57	20,09	17.32	15,09	13,26	11,75	10,48	9,40	8,49	7,01	5,89	280
46,33	38.29	32.17	27,41	23.64	20.59	18.10	16,03	14,30	12,83	11,58	9.57	8,04	300
49,50	41,81	35,13	29.93	25,81	22,48	19,76	17,50	15,61	14,01	12.65	10,45	8,78	320
52,08	44,56	37,44	31.90	27.51	23,96	21,06	18.65	16,64	14.93	13,48	11,14	9,36	340
54,69	47.31	39.75	33,87	29,20	25,44	22,36	19,81	17,67	15,86	14,31	11,83	9.94	360
59.87	52.20	44,56	37,97	32,74	28,52	25.06	22.20	19,80	17,77	16,04	13,26	11,14	400
66,72	58,09	50.84	43,32	37,35	32,54	28,60	25,33	22,60	20,28	18,30	15,13	12.71	450
73,63	64.02	56,12	48.68	41,97	36,56	32,14	28.47	25,39	22.79	20,57	17,00	14,28	500
81.10	70.44	61,70	54.43	47,00	40,94	35.98	31,88	28,43	25.52	23,03	19,03	15,99	550
88.58	76.87	67.27	59,31	52,02	45.32	39,83	35,28	31,47	28,25	25,49	21,07	17.70	600

5.6 1-B 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
80	5,95	19,5	36,4	0,68600	6,08	2,70	1,52	0,97	0,68	0,50	0,38	0,30	0
100	8,32	34,2	42,8	0,54900	9,91	4,74	2,67	1,71	1,19	0,87	0,67	0,53	0
120	11,10	54,7	49,2	0,45800	14,46	7,58	4,27	2,73	1,90	1,39	1,07	0,84	0
140	14,40	81,9	56,0	0,39200	19,88	10,97	6,39	4,09	2,84	2,09	1,60	1,26	1
160	17,90	117,0	62,0	0,34300	26,01	14,82	9,13	5,84	4,06	2,98	2,28	1,80	1
180	21,90	161,0	68,4	0,30500	32,16	19,29	12,40	8,04	5,58	4,10	3,14	2,48	2
200	26,30	214,0	74,8	0,27400	38,55	24,17	15,74	10,68	7,42	5,45	4,17	3,30	2
220	31,10	278,0	80,8	0,24900	45,93	29,85	19,67	13,84	9,64	7,08	5,42	4,28	3
240	36,20	354,0	88,0	0,22900	53,89	35,92	24,03	17,04	12,27	9,02	6,90	5,45	4
260	41,90	442,0	92,8	0,21100	63,03	42,02	29,02	20,72	15,32	11,26	8,62	6,81	5
280	48,00	542,0	98,0	0,19600	72,83	48,55	34,48	24,76	18,54	13,80	10,57	8,35	6
300	54,20	653,0	102,4	0,18300	83,40	55,60	40,45	29,19	21,96	16,63	12,73	10,06	8
320	61,10	782,0	106,8	0,17200	94,51	63,01	46,91	34,05	25,73	19,92	15,25	12,05	9
340	68,10	923,0	112,0	0,16100	106,49	70,99	53,24	39,29	29,80	23,28	18,00	14,22	11
360	76,20	1 090,0	116,0	0,15300	119,77	79,85	59,89	45,24	34,45	27,01	21,25	16,79	13
380	84,00	1 260,0	120,8	0,14400	133,27	88,85	66,64	51,36	39,25	30,87	24,57	19,41	15
400	92,60	1 460,0	125,2	0,13700	147,35	98,23	73,68	57,91	44,41	35,02	28,25	22,49	18
450	115,00	2 040,0	137,2	0,12200	185,83	123,89	92,91	74,33	58,93	46,82	38,01	31,39	25
500	141,00	2 750,0	148,8	0,11000	229,30	152,87	114,65	91,72	75,76	60,58	49,44	41,03	34
550	167,00	3 610,0	160,8	0,10000	266,86	177,91	133,43	106,74	88,95	74,19	61,07	51,05	43
600	199,00	4 630,0	172,0	0,09100	330,18	220,12	165,09	132,07	110,06	94,04	77,51	64,88	55

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
80	8,65	26,5	53,2	0,68600	8,27	3,67	2,07	1,32	0,92	0,67	0,52	0,41	0
100	10,60	41,2	58,8	0,54900	12,85	5,71	3,21	2,06	1,43	1,05	0,80	0,63	0
120	13,40	60,7	63,6	0,45800	18,62	8,42	4,73	3,03	2,10	1,55	1,18	0,93	0
140	16,00	86,4	70,0	0,39200	23,46	11,98	6,74	4,31	2,99	2,20	1,68	1,33	1
160	18,80	116,0	75,6	0,34400	30,44	16,08	9,05	5,79	4,02	2,95	2,26	1,79	1
180	22,00	150,0	80,8	0,30500	36,19	20,55	11,70	7,49	5,20	3,82	2,92	2,31	1
200	25,30	191,0	85,6	0,27400	42,75	25,19	14,90	9,53	6,62	4,86	3,72	2,94	2
220	29,40	245,0	92,0	0,25000	49,78	30,70	19,11	12,23	8,49	6,24	4,78	3,77	3
240	33,20	300,0	96,8	0,22900	57,36	36,50	23,40	14,98	10,40	7,64	5,85	4,62	3
260	37,90	371,0	102,4	0,21100	65,48	43,11	28,10	18,52	12,86	9,45	7,23	5,72	4
280	41,80	448,0	109,6	0,19600	70,88	47,25	32,08	22,36	15,53	11,41	8,74	6,90	5
300	46,20	535,0	116,0	0,18300	76,29	50,86	36,07	25,80	18,55	13,63	10,43	8,24	6

5.6 1-C 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,24	0,20	0,17	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0.07	0,06	0.05	0,04	80
0,43	0,35	0,30	0,25	0,22	0.19	0.17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09	0.07	100
0,68	0,56	0,47	0,40	0.35	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12	120
1,02	0.84	0,71	0,60	0,52	0,45	0,40	0.35	0.31	0.28	0,26	0,21	0,18	140
1,46	1,21	1,01	0,86	0,74	0,65	0,57	0,50	0,45	0.40	0,36	0,30	0,25	160
2,01	1,66	1,39	1,19	1,02	0,89	0,78	0,69	0,62	0,56	0,50	0,41	0,35	180
2,67	2,21	1,85	1,58	1,36	1.19	1.04	0,92	0,82	0.74	0,67	0,55	0.46	200
3,47	2,87	2,41	2.05	1,77	1,54	1,35	1,20	1,07	0,96	0,87	0,72	0,60	220
4,42	3,65	3,07	2,61	2.25	1,96	1,73	1.53	1,36	1,22	1,10	0,91	0,77	240
5,52	4.56	3,83	3.26	2,81	2,45	2.15	1.91	1,70	1.53	1.38	1.14	0,96	260
6,76	5,59	4,70	4,00	3,45	3,01	2,64	2,34	2,09	1,87	1.69	1,40	1,17	280
8,15	6,73	5,66	4.82	4,16	3,62	3,18	2.82	2.51	2,26	2.04	1,68	1.41	300
9,76	8.07	6,78	5,77	4,98	4,34	3,81	3,38	3,01	2,70	2,44	2,02	1,69	320
11,52	9.52	8,00	6,82	5.88	5,12	4,50	3,99	3,55	3,19	2,88	2,38	2,00	340
13,60	11,24	9.45	8,05	6,94	6,05	5.31	4.71	4.20	3.77	3.40	3.81	2,36	360
15,72	13,00	10,92	9,30	8,02	6,99	6,14	5,44	4.85	4.36	3,93	3,25	2,73	380
18,22	15,06	12.65	10,78	9,30	8,10	7,12	6,30	5,62	5,05	4.55	3.76	3,16	400
25,46	21,04	17,68	15,06	12,99	11,31	9.94	8.81	7.86	7,05	6.36	5,26	4,42	450
34,32	28,36	23,83	20.31	17,51	15,25	13,41	11.88	10.59	9.51	8.58	7.09	5,96	500
43,24	37,04	31.29	26,66	22,99	20.02	17,60	15.59	13.90	12,48	11,26	9,31	7,82	550
55,01	47,17	40,13	34,19	29,48	25,68	22.57	19,99	17,83	16,01	14,45	11,94	10.03	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,33	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0.09	0.08	0,07	0,06	80
0,51	0,42	0.36	0,30	0.26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0.13	0,11	0,09	100
0,76	0.63	0.53	0,45	0.39	0,34	0,30	0,26	0,23	0.21	0,19	0.16	0,13	120
1,08	0,89	0,75	0,64	0,55	0,48	0,42	0.37	0,33	0,30	0,27	0,22	0,19	140
1,45	1,20	1.00	0,86	0.74	0,64	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36	0,30	0,25	160
1,87	1.55	1,30	1,11	0,95	0,83	0,73	0,65	0,58	0.52	0.47	0.39	0.32	180
2,38	1,97	1,65	1,41	1,22	1,06	0,93	0,82	0,74	0,66	0,60	0,49	0,41	200
3.06	2,53	2,12	1,81	1,56	1,36	1,19	1,06	0.94	0.85	0,76	0,63	0.53	220
3,74	3,09	2.60	2,21	1,91	1,66	1,46	1,30	1,16	1.04	0.94	0.77	0.65	240
4.63	3,83	3.21	2,74	2,36	2.06	1.81	1,60	1,43	1,28	1.16	0,96	0,80	260
5,59	4,62	3,88	3.31	2,85	2.48	2,18	1,93	1,73	1,55	1,40	1,15	0.97	280
6.68	5,52	4.64	3.95	3.41	2,97	2.61	2,31	2.06	1,85	1,67	1,38	1,16	300

5.6 1-C 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	0,68500	6,23	2,77	1,56	1,00	0,69	0,51	0,39	0,31	0,2
100	8,10	34,2	49,6	0,54900	9,43	4,74	2,67	1,71	1,19	0,87	0,67	0,53	0,4
120	10,40	53,0	58,0	0,45700	12,99	7,16	4,13	2,65	1,84	1,35	1,03	0,82	0,6
140	12,90	77,3	66,0	0,39200	17,08	9,62	6,03	3,86	2,68	1,97	1,51	1,19	0,9
160	15,80	109,0	73,6	0,34400	21,07	12,57	8,14	5,44	3,78	2,78	2,13	1,68	1,3
180	18,80	146,0	82,0	0,30400	25,24	15,76	10,34	7,25	5,06	3,72	2,85	2,25	1,8
200	22,40	194,0	89,6	0,27400	29,65	19,19	12,87	9,18	6,72	4,94	3,78	2,99	2,4
220	26,20	252,0	99,2	0,25000	34,31	22,87	15,68	11,30	8,49	6,42	4,91	3,88	3,1
240	30,70	324,0	107,6	0,22900	39,57	26,38	18,85	13,79	10,49	8,22	6,32	4,99	4,0
270	36,10	429,0	120,8	0,20300	47,41	31,60	23,36	17,20	13,16	10,35	8,34	6,61	5,3
300	42,20	557,0	134,0	0,18300	56,75	37,83	28,38	21,28	16,36	12,92	10,44	8,58	6,9
330	49,10	713,0	142,0	0,16600	65,93	43,95	32,96	25,65	19,90	15,85	12,89	10,67	8,9
360	57,10	904,0	151,6	0,15200	76,62	51,08	38,31	30,65	23,95	19,19	15,69	13,03	10,9
400	66,30	1 160,0	158,0	0,13800	91,31	60,88	45,66	36,53	29,47	23,72	19,48	16,24	13,7
450	77,60	1 500,0	164,8	0,12200	111,89	74,59	55,94	44,75	37,16	29,96	24,63	20,57	17,4
500	90,70	1 930,0	172,4	0,11000	134,18	89,45	67,09	53,67	44,73	37,13	30,60	25,62	21,7
550	106,00	2 440,0	178,0	0,10000	160,92	107,28	80,46	64,37	53,64	45,83	37,89	31,81	27,0
600	122,00	3 070,0	186,4	0,09100	188,48	125,66	94,24	75,39	62,83	53,85	45,87	38,62	32,9

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	0,54900	15,50	9,76	6,83	4,49	3,12	2,29	1,75	1,39	1,12
120	26,70	144,0	122,4	0,45700	20,41	13,14	9,28	6,94	4,99	3,67	2,81	2,22	1,80
140	33,70	216,0	143,2	0,39300	25,80	16,98	12,10	9,12	7,13	5,50	4,21	3,33	2,70
160	42,60	311,0	162,0	0,34300	33,79	22,52	16,21	12,33	9,72	7,86	6,06	4,79	3,88
180	51,20	426,0	182,8	0,30500	40,55	27,04	20,06	15,34	12,16	9,88	8,18	6,56	5,32
200	61,30	570,0	202,8	0,27400	47,98	31,99	23,88	18,45	14,77	12,12	10,13	8,59	7,11
220	71,50	736,0	223,6	0,25000	55,73	37,16	27,87	21,78	17,51	14,44	12,12	10,31	8,88
240	83,20	938,0	243,2	0,22900	64,15	42,76	32,07	25,45	20,59	17,08	14,43	12,36	10,70
260	93,00	1 150,0	263,2	0,21200	69,88	46,59	34,94	27,95	22,84	19,06	16,19	13,95	12,15
280	103,00	1 380,0	283,6	0,19700	79,20	52,80	39,60	31,68	26,10	21,80	18,55	16,00	13,95
300	117,00	1 680,0	303,2	0,18300	89,00	59,33	44,50	35,60	29,64	24,85	21,22	18,38	16,09
320	127,00	1 930,0	302,8	0,17200	99,45	66,30	49,72	39,78	33,15	27,94	23,87	20,67	18,10
340	134,00	2 160,0	301,2	0,16200	110,06	73,37	55,03	44,02	36,69	31,06	26,52	22,96	20,10
360	142,00	2 400,0	299,6	0,15200	120,96	80,64	60,48	48,38	40,32	34,29	29,27	25,34	22,17
400	155,00	2 880,0	296,0	0,13700	144,31	96,20	72,15	57,72	48,10	41,23	35,17	30,40	26,56
450	171,00	3 550,0	293,2	0,12200	168,73	112,49	84,36	67,49	56,24	48,21	41,77	36,13	31,58
500	187,00	4 290,0	290,8	0,11000	193,59	129,06	96,80	77,44	64,53	55,31	48,40	42,14	36,87
550	199,00	4 970,0	286,8	0,10000	219,84	146,56	109,92	87,94	73,28	62,81	54,96	48,43	42,34
600	212,00	5 700,0	283,2	0,09100	247,95	165,30	123,98	99,18	82,65	70,84	61,99	55,10	48,31

5.6 1-C 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5.5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,25	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	80
0,43	0,35	0,30	0,25	0,22	0,19	0,17	0.15	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	100
0,66	0,55	0,46	0,39	0,34	0,29	0.26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	120
0,96	0,80	0,67	0,57	0,49	0,43	0,38	0,33	0,30	0,27	0.24	0,20	0,17	140
1,36	1,12	0,94	0,80	0,69	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,34	0,28	0,24	160
1,82	1,51	1,26	1,08	0,93	0,81	0,71	0,63	0,56	0,50	0,46	0,38	0,32	180
2,42	2,00	1,68	1,43	1,23	1,08	0,95	0,84	0,75	0,67	0,60	0,50	0,42	200
3,14	2,60	2.18	1,86	1,60	1,40	1,23	1,09	0,97	0,87	0,79	0,65	0,55	220
4,04	3.34	2,81	2,39	2,06	1,80	1,58	1,40	1,25	1.12	1,01	0,83	0.70	240
5,35	4,42	3,72	3,17	2,73	2,38	2,09	1,85	1.65	1,48	1,34	1,11	0,93	270
6,95	5,74	4,83	4,11	3,55	3,09	2.71	2,40	2,14	1,93	1,74	1,44	1,21	300
8,90	7,35	6,18	5,26	4,54	3,95	3,48	3,08	2,75	2,46	2,22	1,84	1,54	330
10,98	9.32	7,83	6,68	5,76	5,01	4,41	3,90	3.48	3,13	2,82	2,33	1,96	360
13,73	11,74	10,05	8,57	7,39	6,43	5,65	5.01	4,47	4,01	3,62	2,99	2,51	400
17,40	14,90	12,88	11,08	9,55	8,32	7,31	6,48	5,78	5,19	4,68	3,87	3,25	450
21,72	18.62	16,12	14,08	12,29	10,70	9,41	8,33	7,43	6,67	6.02	4,98	4,18	500
27,04	23,23	20,15	17,63	15,54	13,53	11,89	10,54	9,40	8,43	7,61	6,29	5,29	550
32,92	28,36	24,65	21,60	19,07	16,94	14,97	13,26	11,82	10,61	9,58	7,92	6.65	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,12	0,93	0.78	0,66	0,57	0,50	0,44	0,39	0,35	0.31	0,28	0.23	0,19	100
1,80	1,48	1,25	1,06	0,92	0,80	0,70	0,62	0.55	0,50	0,45	0,37	0,31	120
2,70	2.23	1,87	1,59	1.38	1,20	1,05	0,93	0,83	0,75	0,67	0,56	0,47	140
3,88	3,21	2,69	2,30	1,98	1,72	1,52	1.34	1,20	1,07	0,97	0,80	0,67	160
5,32	4,39	3,69	3,15	2.71	2,36	2.08	1,84	1,64	1,47	1,33	1,10	0,92	180
7,11	5,88	4,94	4.21	3,63	3,16	2,78	2,46	2,20	1,97	1,78	1,47	1,23	200
8,88	7,59	6,38	5,43	4.69	4,08	3,59	3,18	2,83	2,54	2,30	1.90	1,59	220
10,70	9.35	8,13	6,93	5,97	5.20	4.57	4.05	3,61	3,24	2,93	2,42	2,03	240
12,15	10,68	9,46	8,43	7,32	6,38	5,61	4,97	4,43	3,98	3,59	2,96	2,49	260
13,95	12,27	10,88	9,70	8,70	7,65	6,73	5,96	5,32	4,77	4,31	3,56	2,99	280
16,09	14,21	12,64	11.32	10,19	9,21	8,19	7,25	6,47	5,81	5,24	4,33	3,64	300
18,10	15,99	14,23	12,75	11,48	10,39	9,41	8,33	7,43	6,67	6.02	4,98	4,18	320
20,10	17,75	15,79	14,13	12,72	11,51	10,45	9,33	8,32	7,47	6,74	5,57	4,68	340
22.17	19,57	17,41	15,58	14,02	12,67	11,51	10,36	9.24	8,30	7,49	6.19	5,20	360
26,56	23,42	20,80	18,59	16.70	15,09	13.69	12.44	11,09	9,96	8,99	7.43	6,24	400
31,58	27,86	24,75	22,13	19,90	17,98	16,32	14,87	13,60	12,27	11,08	9,15	7,69	450
36,87	32.54	28,94	25.90	23,30	21,07	19,13	17,44	15,96	14,65	13,38	11,06	9,29	500
42,34	37,35	33,19	29,69	26.70	24,12	21,89	19,95	18,25	16,75	15,41	12,81	10,77	550
48,31	42,58	37,82	33,80	30,38	27,43	24,89	22,67	20,72	19,01	17,49	14,70	12,35	600

5.6 1-C 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,57200	12,54	7,86	5,47	3,63	2,52	1,85	1,42	1,12
120	19,90	106,0	120,8	0,48000	15,24	9,74	6,83	5,07	3,67	2,70	2,07	1,63
140	24,70	155,0	140,8	0,41300	19,62	12,78	9,01	6,72	5,20	3,95	3,02	2,39
160	30,40	220,0	159,2	0,36100	24,46	16,25	11,60	8,77	6,87	5,52	4,29	3,39
180	35,50	294,0	180,8	0,32100	27,91	18,61	13,58	10,35	8,18	6,63	5,48	4,53
200	42,30	389,0	199,2	0,28900	33,49	22,33	16,57	12,74	10,15	8,28	6,89	5,81
220	50,50	515,0	220,4	0,26100	40,03	26,69	20,02	15,51	12,42	10,19	8,51	7,21
240	60,30	675,0	240,0	0,23900	46,97	31,31	23,48	18,54	14,95	12,36	10,40	8,88
260	68,20	836,0	260,0	0,22000	51,15	34,10	25,58	20,46	16,64	13,86	11,75	10,10
280	76,40	1 010,0	280,0	0,20300	59,05	39,37	29,52	23,62	19,37	16,14	13,70	11,79
300	88,30	1 260,0	299,6	0,18900	67,34	44,89	33,67	26,93	22,36	18,72	15,95	13,79
320	97,60	1 480,0	299,6	0,17700	76,11	50,74	38,06	30,45	25,37	21,32	18,19	15,74
340	105,00	1 680,0	298,4	0,16600	85,38	56,92	42,69	34,15	28,46	24,03	20,49	17,72
360	112,00	1 890,0	297,2	0,15700	95,52	63,68	47,76	38,21	31,84	27,00	23,02	19,90
400	125,00	2 310,0	293,6	0,14100	116,28	77,52	58,14	46,51	38,76	33,15	28,22	24,35
450	140,00	2 900,0	291,6	0,12500	136,64	91,10	68,32	54,66	45,55	39,04	33,77	29,18
500	155,00	3 550,0	289,6	0,11200	159,05	106,03	79,52	63,62	53,02	45,44	39,76	34,55
550	166,00	4 150,0	286,0	0,10200	181,79	121,19	90,89	72,72	60,60	51,94	45,45	39,99
600	178,00	4 790,0	282,0	0,09300	205,63	137,09	102,81	82,25	68,54	58,75	51,41	45,69

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,45700	34,80	22,22	14,82	9,48	6,59	4,84	3,70	2,93
120	52,10	288,0	130,0	0,39100	43,32	28,18	20,08	14,38	9,98	7,33	5,62	4,44
140	63,20	411,0	150,8	0,34300	51,99	34,42	24,68	18,74	14,25	10,47	8,01	6,33
160	76,20	566,0	170,4	0,30500	63,61	42,40	30,84	23,61	18,74	14,42	11,04	8,72
180	88,90	748,0	190,8	0,27400	73,67	49,11	36,29	27,93	22,27	18,21	14,59	11,52
200	103,00	967,0	210,8	0,24900	84,36	56,24	42,16	32,68	26,27	21,64	18,16	14,90
220	117,00	1 220,0	231,6	0,22900	95,69	63,79	47,84	37,58	30,31	25,06	21,10	18,01
240	157,00	1 800,0	255,6	0,20300	123,83	82,55	61,92	49,50	40,27	33,60	28,54	24,59
260	172,00	2 160,0	276,0	0,18900	134,28	89,52	67,14	53,71	44,22	37,05	31,61	27,34
280	189,00	2 550,0	296,0	0,17700	148,42	98,95	74,21	59,37	49,26	41,31	35,28	30,56
300	238,00	3 480,0	320,0	0,16100	182,96	121,97	91,48	73,18	60,99	51,71	44,39	38,65
320	245,00	3 800,0	318,0	0,15300	193,48	128,99	96,74	77,39	64,49	54,94	47,17	41,07
340	248,00	4 050,0	316,0	0,14600	203,99	135,99	102,00	81,60	68,00	58,12	49,86	43,38
360	250,00	4 300,0	313,2	0,13900	214,89	143,26	107,44	85,96	71,63	61,40	52,65	45,77
400	256,00	4 820,0	308,0	0,12700	235,24	156,83	117,62	94,09	78,41	67,21	58,05	50,40
450	263,00	5 500,0	303,6	0,11500	261,53	174,36	130,77	104,61	87,18	74,72	65,19	56,53
500	270,00	6 180,0	298,4	0,10500	287,53	191,68	143,76	115,01	95,84	82,15	71,88	62,74
550	278,00	6 920,0	294,0	0,09600	314,44	209,63	157,22	125,78	104,81	89,84	78,61	69,39
600	285,00	7 660,0	288,8	0,08900	340,94	227,29	170,47	136,38	113,65	97,41	85,23	75,76

5.6 1-C 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,91	0.75	0.63	0,54	0,46	0,40	0.35	0,31	0,28	0.25	0,23	0,19	0,16	100
1,32	1,09	0,92	0,78	0,67	0,59	0,52	0,46	0,41	0,37	0,33	0,27	0,23	120
1,93	1,60	1,34	1,14	0,99	0,86	0,76	0,67	0.60	0,54	0,48	0,40	0,34	140
2,75	2.27	1,91	1,63	1,40	1,22	1,07	0,95	0,85	0,76	0.69	0.57	0,48	160
3,67	3,03	2,55	2,17	1,87	1.63	1,43	1.27	1,13	1,02	0,92	0,76	0,64	180
4,85	4,01	3,37	2,87	2,48	2,16	1,90	1,68	1,50	1,34	1,21	1,00	0,84	200
6,19	5,31	4,46	3.80	3,28	2,86	2,51	2,22	1,98	1,78	1,61	1,33	1,12	220
7,67	6,68	5,85	4,98	4.30	3,74	3,29	2,91	2,60	2,33	2,11	1,74	1,46	240
8,78	7,70	6,80	6,05	5,32	4.64	4,07	3,61	3,22	2,89	2,61	2,16	1,81	260
10,25	9,00	7,96	7,08	6,34	5,60	4,92	4,36	3,89	3,49	3,15	2,60	2,19	280
12,05	10,62	9,43	8,43	7,58	6,84	6,14	5.44	4,85	4,36	3,93	3,25	2,73	300
13,76	12,14	10.80	9.66	8,69	7,85	7,13	6,39	5,70	5,12	4,62	3,82	3,21	320
15,49	13,67	12,14	10.86	9,76	8,82	8,01	7,25	6,47	5.81	5,24	4,33	3,64	340
17,39	15,33	13,61	12,17	10,93	9,88	8,96	8,16	7,28	6,53	5,90	4,87	4,09	360
21,25	18,70	16,59	14.81	13,29	11,99	10,86	9,88	8,90	7,99	7,21	5,96	5,00	400
25,49	22,47	19,95	17,83	16,02	14,47	13,12	11,95	10,92	10,02	9,05	7,48	6,28	450
30,21	26,65	23,69	21,19	19,05	17,22	15,63	14.24	13,03	11,96	11,01	9,15	7,69	500
34,95	30,81	27,37	24,47	21,99	19,86	18,02	16.42	15,01	13,77	12,67	10,70	8.99	550
40,03	35,28	31,32	27,99	25,15	22,71	20,60	18,76	17,14	15,72	14,47	12,35	10,38	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9.0	9,5	10,0	11.0	12,0	
2,37	1,96	1.65	1,40	1,21	1,05	0,93	0,82	0,73	0,66	0,59	0,49	0,41	100
3,59	2,97	2,50	2,13	1,83	1,60	1,40	1,24	1,11	1,00	0,90	0,74	0,62	120
5,13	4,24	3,56	3,03	2.62	2,28	2,00	1,77	1.58	1,42	1,28	1,06	0,89	140
7,06	5.84	4,90	4,18	3,60	3,14	2,76	2,44	2,18	1,96	1,77	1,46	1,23	160
9,33	7,71	6,48	5,52	4.76	4,15	3,65	3.23	2,88	2,59	2,33	1,93	1,62	180
12.07	9,97	8,38	7,14	6.16	5,36	4,71	4,18	3,72	3,34	3,02	2,49	2,09	200
15,23	12,58	10,57	9,01	7,77	6,77	5,95	5,27	4,70	4,22	3.81	3.15	2,64	220
21.41	18,56	15,60	13,29	11,46	9,98	8.77	7,77	6,93	6,22	5.62	4.64	3,90	240
23,91	21,10	18,72	15,95	13,75	11,98	10,53	9,33	8,32	7,47	6,74	5,57	4,68	260
26,76	23,63	21,03	18,83	16,24	14,14	12,43	11,01	9,82	8,82	7,96	6,57	5,52	280
34,02	30,21	27,02	24,31	22,00	19,30	16,96	15,03	13,40	12,03	10,86	8,97	7,54	300
36,15	32.10	28,71	25,84	23,38	21,08	18,52	16.41	14,64	13,14	11,86	9,80	8,23	320
38.15	33,85	30,26	27,21	24,60	22,34	19,74	17,49	15,60	14,00	12,64	10,44	8,77	340
40,22	35,65	31,84	28,61	25,84	23.45	20,96	18,57	16,56	14,86	13,42	11,09	9,32	360
44,24	39.17	34,94	31,36	28,30	25,65	23,35	20,81	18,57	16,66	15,04	12,43	10,44	400
49.55	43,83	39,04	35,00	31,55	28,57	25,98	23,72	21,18	19,01	17,16	14,18	11,92	450
54,94	48,53	43,19	38,67	34,82	31,50	28,63	26,11	23,80	21.36	19,28	15,93	13,39	500
60,71	53.59	47,65	42,63	38,36	34,68	31,49	28,71	26.27	23,92	21,59	17,84	14,99	550
66,54	58,68	52,14	46,62	41,91	37,87	34,36	31,31	28,63	26.27	23,90	19,75	16,60	600

5.6 1-C 1



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	0,91500	4,06	2,70	2,03	1,62	1,35	1,16	1,01	0,90	0,8
100	8,32	34,2	42,8	0,73200	7,11	4,74	3,56	2,84	2,37	2,03	1,78	1,58	1,4
120	11,10	54,7	49,2	0,61000	11,38	7,58	5,69	4,55	3,79	3,25	2,84	2,53	2,2
140	14,40	81,9	56,0	0,52300	16,46	11,36	8,52	6,81	5,68	4,87	4,26	3,79	3,4
160	17,90	117,0	62,0	0,45800	22,22	16,22	12,17	9,73	8,11	6,95	6,08	5,41	4,8
180	21,90	161,0	68,4	0,40600	28,93	22,32	16,74	13,39	11,16	9,57	8,37	7,44	6,7
200	26,30	214,0	74,8	0,36600	36,25	29,36	22,26	17,80	14,84	12,72	11,13	9,89	8,9
220	31,10	278,0	80,8	0,33200	44,77	36,88	28,91	23,13	19,27	16,52	14,46	12,85	11,5
240	36,20	354,0	88,0	0,30500	53,89	45,23	36,82	29,45	24,54	21,04	18,41	16,36	14,7
260	41,90	442,0	92,8	0,28200	63,03	54,82	45,97	36,77	30,64	26,27	22,98	20,43	18,3
280	48,00	542,0	98,0	0,26100	72,83	65,34	55,63	45,09	37,58	32,21	28,18	25,05	22,5
300	54,20	653,0	102,4	0,24400	83,40	76,85	65,87	54,33	45,27	38,81	33,96	30,18	27,1
320	61,10	782,0	106,8	0,22900	94,51	89,39	77,19	65,06	54,22	46,47	40,66	36,15	32,5
340	68,10	923,0	112,0	0,21500	106,49	102,95	89,39	76,79	63,99	54,85	48,00	42,66	38,4
360	76,20	1 090,0	116,0	0,20300	119,77	118,25	103,35	90,51	75,57	64,78	56,68	50,38	45,3
380	84,00	1 260,0	120,8	0,19200	133,27	133,27	117,76	103,57	87,36	74,88	65,52	58,24	52,4
400	92,60	1 460,0	125,2	0,18300	147,35	147,35	133,22	117,65	101,23	86,77	75,92	67,48	60,7
450	115,00	2 040,0	137,2	0,16300	185,83	185,83	176,78	157,82	141,27	121,23	106,08	94,29	84,8
500	141,00	2 750,0	148,8	0,14600	229,30	229,30	227,29	204,77	184,63	163,43	143,00	127,11	114,4
550	167,00	3 610,0	160,8	0,13300	266,86	266,86	266,86	251,88	229,74	209,84	187,72	166,86	150,1
600	199,00	4 630,0	172,0	0,12200	330,18	330,18	330,18	319,47	291,94	267,08	240,76	214,01	192,61

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	0,91500	5,51	3,67	2,76	2,20	1,84	1,57	1,38	1,22	1,10
100	10,60	41,2	58,8	0,73200	8,57	5,71	4,28	3,43	2,86	2,45	2,14	1,90	1,71
120	13,40	60,7	63,6	0,61000	12,63	8,42	6,31	5,05	4,21	3,61	3,16	2,81	2,52
140	16,00	86,4	70,0	0,52200	17,97	11,98	8,99	7,19	5,99	5,13	4,49	3,99	3,59
160	18,80	116,0	75,6	0,45900	24,13	16,08	12,06	9,65	8,04	6,89	6,03	5,36	4,83
180	22,00	150,0	80,8	0,40700	30,82	20,80	15,60	12,48	10,40	8,91	7,80	6,93	6,24
200	25,30	191,0	85,6	0,36600	37,79	26,48	19,86	15,89	13,24	11,35	9,93	8,83	7,95
220	29,40	245,0	92,0	0,33300	46,06	33,97	25,48	20,38	16,99	14,56	12,74	11,32	10,19
240	33,20	300,0	96,8	0,30500	54,74	41,60	31,20	24,96	20,80	17,83	15,60	13,87	12,48
260	37,90	371,0	102,4	0,28200	64,67	51,44	38,58	30,87	25,72	22,05	19,29	17,15	15,43
280	41,80	448,0	109,6	0,26100	70,88	60,29	46,59	37,27	31,06	26,62	23,30	20,71	18,64
300	46,20	535,0	116,0	0,24400	76 29	68,20	55,64	44,51	37,09	31,79	27,82	24,73	22,26

5.6 1-C 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,81	0,74	0,68	0.62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,43	0.41	0.37	0,34	80
1,42	1.29	1,19	1,09	1,02	0,95	0,89	0.84	0,79	0,75	0,71	0,65	0,59	00
2,28	2,07	1,90	1,75	1,63	1.52	1,42	1,34	1,26	1,20	1,14	1.03	0,95	120
3,41	3,10	2.84	2,62	2,43	2,27	2,13	2,00	1.89	1.79	1,70	1,55	1,42	140
4.87	4.42	4.06	3,74	3.48	3,24	3,04	2.86	2.70	2,56	2.43	2,21	2,03	160
6,70	6,09	5.58	5,15	4,78	4,46	4.19	3,94	3,72	3.52	3,35	3,04	2,79	180
8,90	8,09	7,42	6,85	6,36	5,93	5.56	5,24	4,95	4,68	4.45	4,05	3,71	200
11,56	10,51	9,64	8.90	8,26	7.71	7,23	6,80	6,42	6,09	5,78	5,26	4,82	220
14,73	13,39	12,27	11,33	10.52	9,82	9,20	8,66	8,18	7,75	7.36	6,69	6,14	240
18,39	16.72	15.32	14.14	13,13	12,26	11,49	10,82	10,21	9,68	9.19	8,36	7,66	260
22,55	20,50	18,79	17,34	16,10	15,03	14,09	13,26	12.53	11.87	11,27	10,25	9,39	280
27,16	24,69	22.64	20,90	19,40	18.11	16,98	15,98	15,09	14.30	13,58	12,35	11,32	300
32,53	29,57	27.11	25,02	23,24	21,69	20,33	19,14	18,07	17.12	16,27	14,79	13,55	320
38,40	34,91	32,00	29,54	27,43	25,60	24,00	22.59	21,33	20,21	19.20	17.45	16.00	340
45,34	41.22	37,79	34,88	32.39	30,23	28,34	26,67	25,19	23,86	22.67	20,61	18,89	360
52,42	47.65	43,68	40,32	37,44	34,94	32,76	30,83	29,12	27.59	26,21	23,82	21,84	380
60.74	55.21	50,61	46.72	43,38	40,49	37.96	35,73	33.74	31.97	30,37	27,61	25,31	400
84,86	77.15	70,72	65,28	60.62	56,58	53,04	49,92	47.15	44,66	42,43	38,57	35.36	450
114,40	104,00	95,33	88,00	81.71	76,27	71.50	67,29	63.56	60.21	57.20	52,00	47.67	500
150,18	136.52	125,15	115,52	107,27	100,12	93,86	88,34	83.43	79,04	75,09	68.26	62.57	550
192.61	175.10	160,51	148.16	137.58	128,40	120,38	113,30	107.00	101.37	96,30	87,55	80.25	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6.0	6.5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11.0	12,0	
1,10	1,00	0,92	0,85	0,79	0,73	0,69	0,65	0,61	0,58	0.55	0,50	0,46	80
1.71	1,56	1,43	1,32	1.22	1,14	1,07	1,01	0,95	0.90	0,86	0.78	0,71	100
2.52	2,30	2.10	1,94	1,80	1,68	1.58	1,48	1,40	1.33	1,26	1,15	1,05	120
3,59	3.27	2,99	2,76	2,57	2,40	2,25	2,11	2,00	1,89	1,80	1.63	1,50	140
4.83	4,39	4,02	3,71	3,45	3.22	3,02	2,84	2,68	2,54	2.41	2,19	2,01	160
6,24	5,67	5,20	4,80	4,46	4,16	3,90	3,67	3,47	3,28	3,12	2,84	2,60	180
7,95	7,22	6,62	6,11	5.67	5.30	4,97	4.67	4,41	4.18	3.97	3,61	3,31	200
10,19	9,26	8.49	7,84	7,28	6,79	6,37	5,99	5,66	5.36	5,10	4,63	4,25	220
12,48	11,34	10,40	9,60	8,91	8.32	7,80	7.34	6.93	6,57	6,24	5.67	5,20	240
15,43	14,03	12.86	11,87	11,02	10.29	9,65	9,08	8,57	8,12	7,72	7,01	6,43	260
18,64	16,94	15,53	14.34	13,31	12,42	11.65	10,96	10,35	9,81	9,32	8.47	7.76	280
22.26	20,23	18,55	17,12	15,90	14,84	13.91	13.09	12,36	11,71	11.13	10,12	9,27	300

5.6 1-C 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

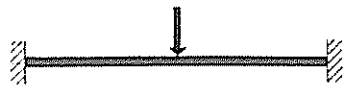
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	0,91400	4,16	2,77	2,08	1,66	1,39	1,19	1,04	0,92	0,83
100	8,10	34,2	49,6	0,73200	7,11	4,74	3,56	2,84	2,37	2,03	1,78	1,58	1,42
120	10,40	53,0	58,0	0,61000	10,74	7,35	5,51	4,41	3,67	3,15	2,76	2,45	2,20
140	12,90	77,3	66,0	0,52300	14,43	10,72	8,04	6,43	5,36	4,59	4,02	3,57	3,22
160	15,80	109,0	73,6	0,45900	18,86	15,11	11,34	9,07	7,56	6,48	5,67	5,04	4,53
180	18,80	146,0	82,0	0,40500	23,64	19,34	15,18	12,15	10,12	8,68	7,59	6,75	6,07
200	22,40	194,0	89,6	0,36600	28,79	24,31	20,18	16,14	13,45	11,53	10,09	8,97	8,07
220	26,20	252,0	99,2	0,33300	34,31	29,77	25,47	20,97	17,47	14,98	13,10	11,65	10,48
240	30,70	324,0	107,6	0,30500	39,57	36,07	31,47	26,96	22,46	19,25	16,85	14,98	13,48
270	36,10	429,0	120,8	0,27100	47,41	44,84	39,47	34,75	29,74	25,49	22,31	19,83	17,85
300	42,20	557,0	134,0	0,24400	56,75	55,36	49,07	43,45	38,62	33,10	28,96	25,75	23,17
330	49,10	713,0	142,0	0,22200	65,93	65,93	59,70	53,49	48,02	42,37	37,08	32,96	29,66
360	57,10	904,0	151,6	0,20300	76,62	76,62	71,85	64,91	58,66	53,18	47,01	41,78	37,61
400	66,30	1 160,0	158,0	0,18300	91,31	91,31	88,40	80,43	73,10	66,58	60,32	53,62	48,26
450	77,60	1 500,0	164,8	0,16300	111,89	111,89	111,47	101,64	92,55	84,42	77,26	69,33	62,40
500	90,70	1 930,0	172,4	0,14600	134,18	134,18	134,18	126,14	115,27	105,45	96,74	89,07	80,29
550	106,00	2 440,0	178,0	0,13300	160,92	160,92	160,92	155,95	143,13	131,42	120,92	111,61	101,50
600	122,00	3 070,0	186,4	0,12200	188,48	188,48	188,48	188,47	173,80	160,22	147,91	136,90	127,09

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	0,73200	14,65	12,48	9,36	7,49	6,24	5,35	4,68	4,16	3,74
120	26,70	144,0	122,4	0,61000	19,72	17,95	14,98	11,98	9,98	8,56	7,49	6,66	5,99
140	33,70	216,0	143,2	0,52300	25,47	23,51	21,39	17,97	14,98	12,84	11,23	9,98	8,99
160	42,60	311,0	162,0	0,45700	33,79	31,64	29,17	25,88	21,56	18,48	16,17	14,38	12,94
180	51,20	426,0	182,8	0,40700	40,55	39,26	36,48	33,65	29,54	25,32	22,15	19,69	17,72
200	61,30	570,0	202,8	0,36600	47,98	46,97	44,32	41,49	38,67	33,87	29,64	26,35	23,71
220	71,50	736,0	223,6	0,33300	55,73	55,34	52,54	49,50	46,41	43,41	38,27	34,02	30,62
240	83,20	938,0	243,2	0,30500	64,15	64,15	61,77	58,76	55,61	52,47	48,78	43,36	39,02
260	93,00	1 150,0	263,2	0,28200	69,88	69,88	68,51	65,74	62,78	59,75	56,74	53,16	47,84
280	103,00	1 380,0	283,6	0,26200	79,20	79,20	78,31	75,27	71,99	68,62	65,26	61,99	57,41
300	117,00	1 680,0	303,2	0,24400	89,00	89,00	88,92	85,95	82,70	79,30	75,85	72,43	69,11
320	127,00	1 930,0	302,8	0,22900	99,45	99,45	99,45	96,64	93,03	89,24	85,40	81,60	77,89
340	134,00	2 160,0	301,2	0,21600	110,06	110,06	110,06	107,41	103,33	99,05	94,73	90,45	86,29
360	142,00	2 400,0	299,6	0,20300	120,96	120,96	120,96	118,58	114,02	109,26	104,43	99,67	95,05
400	155,00	2 880,0	296,0	0,18300	144,31	144,31	144,31	142,58	136,81	130,81	124,78	118,86	113,15
450	171,00	3 550,0	293,2	0,16300	168,73	168,73	168,73	168,73	162,57	155,57	148,51	141,57	134,86
500	187,00	4 290,0	290,8	0,14600	193,59	193,59	193,59	193,59	189,62	181,67	173,63	165,70	158,00
550	199,00	4 970,0	286,8	0,13300	219,84	219,84	219,84	219,84	217,93	208,59	199,17	189,90	180,93
600	212,00	5 700,0	283,2	0,12200	247,95	247,95	247,95	247,95	247,95	237,87	226,91	216,14	205,75

5.6 1-C 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.83	0.76	0,69	0,64	0,59	0.55	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42	0,38	0.35	80
1,42	1,29	1.19	1,09	1,02	0.95	0,89	0,84	0,79	0,75	0,71	0,65	0,59	100
2,20	2,00	1,84	1.70	1.57	1.47	1,38	1,30	1,22	1,16	1,10	1,00	0,92	120
3,22	2.92	2,68	2,47	2,30	2,14	2,01	1,89	1,79	1.69	1,61	1,46	1,34	140
4,53	4.12	3,78	3,49	3,24	3,02	2.83	2,67	2.52	2,39	2,27	2.06	1,89	160
6,07	5,52	5.06	4,67	4,34	4,05	3,80	3,57	3,37	3,20	3,04	2,76	2,53	180
8,07	7,34	6,72	6,21	5,76	5,38	5.04	4.75	4,48	4.25	4,03	3.67	3,36	200
10,48	9,53	8,74	8,06	7,49	6,99	6,55	6,17	5,82	5,52	5,24	4,76	4,37	220
13,48	12,25	11,23	10,37	9.63	8,99	8,42	7,93	7,49	7.09	6,74	6,13	5,62	240
17,85	16,22	14,87	13,73	12,75	11,90	11,15	10,50	9,91	9.39	8,92	8,11	7,44	270
23,17	21,06	19,31	17,82	16,55	15,45	14,48	13,63	12,87	12,19	11,59	10.53	9,65	300
29,66	26,96	24,72	22,82	21,19	19,77	18,54	17,45	16,48	15,61	14,83	13,48	12,36	330
37,61	34,19	31,34	28,93	26,86	25,07	23,50	22,12	20,89	19,79	18,80	17,09	15,67	360
48,26	43,87	40,21	37,12	34.47	32,17	30,16	28,39	26,81	25,40	24,13	21,93	20,11	400
62,40	56.73	52,00	48,00	44,57	41,60	39.00	36,71	34,67	32,84	31,20	28,36	26,00	450
80,29	72,99	66.91	61,76	57,35	53,52	50,18	47,23	44,60	42,26	40,14	36,49	33,45	500
101,50	92,28	84,59	78,08	72,50	67,67	63,44	59,71	56,39	53,42	50,75	46,14	42,29	550
127,09	116,10	106,43	98,24	91,22	85,14	79,82	75;13	70,95	67,22	63,86	58,05	53,21	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7.0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,74	3,40	3,12	2,88	2,67	2,50	2,34	2.20	2,08	1,97	1,87	1,70	1,56	100
5,99	5,45	4,99	4,61	4,28	3,99	3,74	3,52	3,33	3,15	2,99	2,72	2,50	120
8,99	8,17	7,49	6,91	6,42	5,99	5,62	5,29	4,99	4,73	4,49	4,08	3,74	140
12,94	11,76	10,78	9,95	9,24	8,63	8.09	7.61	7,19	6,81	6,47	5,88	5,39	160
17,72	16,11	14,77	13,63	12,66	11,81	11,08	10,42	9,84	9,33	8.86	8.05	7,38	180
23,71	21,56	19,76	18,24	16,94	15,81	14,82	13,95	13,17	12,48	11,86	10.78	9,88	200
30,62	27,83	25,51	23,55	21,87	20,41	19.14	18,01	17,01	16,11	15,31	13,92	12,76	220
39.02	35,47	32,52	30,02	27,87	26.01	24,39	22,95	21,68	20,54	19,51	17,74	16,26	240
47,84	43,49	39,87	36,80	34,17	31,89	29,90	28,14	26,58	25,18	23,92	21,74	19,93	260
57.41	52,19	47,84	44,16	41,01	38,27	35,88	33,77	31,89	30,21	28,70	26,09	23,92	280
69,11	63,53	58.24	53,76	49,92	46.59	43,68	41,11	38,83	36,78	34,94	31,77	29,12	300
77,89	72,99	66,91	61,76	57,35	53,52	50,18	47,23	44,60	42,26	40,14	36,49	33,45	320
86,29	81,69	74,88	69,12	64,18	59,90	56,16	52,86	49,92	47,29	44,93	40,84	37,44	340
95,05	90,63	83,20	76,80	71,31	66,56	62,40	58,73	55,47	52 55	49,92	45,38	41,60	360
113,15	107.70	99,84	92.16	85,58	79,87	74,88	70,47	66,56	63,06	59,90	54.46	49,92	400
134.86	128,45	122,38	113,60	105,49	98,45	92,30	86,87	82,04	77,73	73,84	67,13	61,53	450
158.00	150,63	143,63	137,03	127,47	118,98	111,54	104,98	99,15	93,93	89,23	81,12	74,36	500
180,93	172,35	164,23	156,59	147,68	137.83	129,22	121,62	114,86	108,82	103,38	93,98	86,15	550
205,75	195.85	186,49	177,70	169,37	158,08	148,20	139,48	131,73	124.80	118,56	107,78	98,80	600

5.6 1-C 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

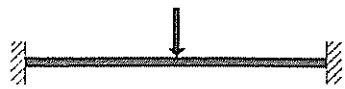
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,76300	11,80	10,09	7,57	6,06	5,05	4,33	3,79	3,36
120	19,90	106,0	120,8	0,64000	14,60	13,17	11,02	8,82	7,35	6,30	5,51	4,90
140	24,70	155,0	140,8	0,55100	19,16	17,41	15,61	12,90	10,75	9,21	8,06	7,16
160	30,40	220,0	159,2	0,48200	24,38	22,57	20,61	18,30	15,25	13,07	11,44	10,17
180	35,50	294,0	180,8	0,42900	27,91	26,54	24,55	22,55	20,38	17,47	15,29	13,59
200	42,30	389,0	199,2	0,38600	33,49	32,51	30,44	28,27	26,17	23,12	20,23	17,98
220	50,50	515,0	220,4	0,34800	40,03	39,50	37,25	34,85	32,46	30,19	26,78	23,80
240	60,30	675,0	240,0	0,31800	46,97	46,97	44,85	42,44	39,96	37,53	35,10	31,20
260	68,20	836,0	260,0	0,29300	51,15	51,15	49,92	47,75	45,45	43,11	40,82	38,61
280	76,40	1 010,0	280,0	0,27000	59,05	59,05	58,12	55,66	53,04	50,38	47,75	45,22
300	88,30	1 260,0	299,6	0,25200	67,34	67,34	67,08	64,67	62,05	59,33	56,60	53,91
320	97,60	1 480,0	299,6	0,23600	76,11	76,11	76,11	73,71	70,82	67,81	64,78	61,78
340	105,00	1 680,0	298,4	0,22200	85,38	85,38	85,38	83,05	79,75	76,32	72,86	69,46
360	112,00	1 890,0	297,2	0,20900	95,52	95,52	95,52	93,31	89,54	85,62	81,68	77,81
400	125,00	2 310,0	293,6	0,18800	116,28	116,28	116,28	114,48	109,60	104,56	99,53	94,61
450	140,00	2 900,0	291,6	0,16700	136,64	136,64	136,64	136,64	131,31	125,52	119,71	114,00
500	155,00	3 550,0	289,6	0,14900	159,05	159,05	159,05	159,05	155,49	148,84	142,14	135,54
550	166,00	4 150,0	286,0	0,13600	181,79	181,79	181,79	181,79	179,94	172,10	164,22	156,47
600	178,00	4 790,0	282,0	0,12400	205,63	205,63	205,63	205,63	205,63	197,08	187,93	178,96

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,61000	33,33	26,35	19,76	15,81	13,17	11,29	9,88	8,78
120	52,10	288,0	130,0	0,52200	42,27	39,03	29,95	23,96	19,97	17,11	14,98	13,31
140	63,20	411,0	150,8	0,45700	51,63	48,13	42,74	34,19	28,50	24,42	21,37	19,00
160	76,20	566,0	170,4	0,40600	63,61	60,39	56,23	47,09	39,24	33,64	29,43	26,16
180	88,90	748,0	190,8	0,36600	73,67	71,24	66,82	62,19	51,86	44,45	38,90	34,57
200	103,00	967,0	210,8	0,33300	84,36	83,05	78,81	74,20	67,04	57,47	50,28	44,70
220	117,00	1 220,0	231,6	0,30600	95,69	95,36	90,94	86,06	81,05	72,50	63,44	56,39
240	157,00	1 800,0	255,6	0,27100	123,83	123,83	120,81	115,90	110,64	105,26	93,60	83,20
260	172,00	2 160,0	276,0	0,25200	134,28	134,28	132,67	128,07	123,05	117,81	112,32	99,84
280	189,00	2 550,0	296,0	0,23600	148,42	148,42	147,79	142,89	137,51	131,88	126,17	117,87
300	238,00	3 480,0	320,0	0,21500	182,96	182,96	182,96	179,32	173,92	168,12	162,11	156,01
320	245,00	3 800,0	318,0	0,20400	193,48	193,48	193,48	190,52	184,80	178,66	172,28	165,81
340	248,00	4 050,0	316,0	0,19400	203,99	203,99	203,99	201,47	195,20	188,49	181,55	174,53
360	250,00	4 300,0	313,2	0,18500	214,89	214,89	214,89	212,85	205,95	198,61	191,04	183,42
400	256,00	4 820,0	308,0	0,16900	235,24	235,24	235,24	234,81	226,81	218,33	209,64	200,94
450	263,00	5 500,0	303,6	0,15300	261,53	261,53	261,53	261,53	254,38	244,42	234,26	224,15
500	270,00	6 180,0	298,4	0,14000	287,53	287,53	287,53	287,53	282,32	270,81	259,12	247,55
550	278,00	6 920,0	294,0	0,12800	314,44	314,44	314,44	314,44	312,26	299,14	285,89	272,80
600	285,00	7 660,0	288,8	0,11800	340,94	340,94	340,94	340,94	340,94	327,72	312,82	298,16

5.6 1-C 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,03	2,75	2,52	2.33	2,16	2,02	1,89	1,78	1,68	1,59	1,51	1.38	1,26	100
4,41	4.01	3,67	3,39	3,15	2,94	2.76	2.59	2,45	2,32	2,20	2,00	1,84	120
6,45	5.86	5,37	4.96	4.61	4,30	4,03	3,79	3,58	3,39	3,22	2,93	2.69	140
9,15	8,32	7,63	7,04	6,54	6.10	5,72	5,38	5,08	4.82	4.58	4.16	3,81	160
12,23	11,12	10.19	9,41	8,74	8,15	7,64	7,19	6,79	6,44	6,11	5,56	5,10	180
16,18	14,71	13.48	12,45	11,56	10,79	10,11	9,52	8,99	8,52	8,09	7,36	6,74	200
21,42	19,48	17.85	16,48	15,30	14,28	13,39	12,60	11,90	11,28	10.71	9,74	8,93	220
28,08	25,53	23,40	21,60	20,06	18,72	17.55	16,52	15,60	14,78	14,04	12,76	11,70	240
34,78	31,62	28,98	26,75	24,84	23.18	21,74	20.46	19.32	18,30	17,39	15,81	14,49	260
42,02	38,20	35.01	32,32	30,01	28,01	26.26	24,71	23,34	22,11	21,01	19,10	17,51	280
51,32	47,65	43,68	40,32	37.44	34,94	32,76	30,83	29,12	27,59	26,21	23.82	21.84	300
58,88	55,97	51,31	47,36	43,98	41,04	38.48	36,22	34,20	32,40	30,78	27,98	25,65	320
66,16	63.02	58,24	53,76	49,92	46,59	43.68	41,11	38,83	36.78	34,94	31,77	29,12	340
74,07	70,51	65,52	60,48	56,16	52,42	49,14	46,25	43,68	41,38	39,31	35,74	32,76	360
89,92	85,45	80,08	73,92	68,64	64.06	60,06	56,53	53,39	50,58	48,05	43.68	40,04	400
108,50	103,26	98,31	92,80	86,17	80,43	75,40	70,96	67,02	63,49	60,32	54,84	50,27	450
129,15	123,04	117.25	111.80	105,49	98.45	92,30	86.87	82.04	77,73	73,84	67,13	61,53	500
148,99	141,85	135,10	128,76	122,82	115,09	107,90	101,55	95,91	90,86	86,32	78,47	71,93	550
170,31	162,07	154,29	146,99	140,16	132,84	124,54	117,21	110,70	104.88	99,63	90,57	83.03	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6.5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10.0	11,0	12,0	
7,90	7,18	6,59	6,08	5.65	5,27	4.94	4,65	4,39	4,16	3,95	3,59	3.29	100
11,98	10.89	9.98	9,22	8,56	7,99	7.49	7.05	6,66	6,31	5,99	5,45	4,99	120
17.10	15,54	14.25	13.15	12,21	11,40	10,69	10,06	9.50	9,00	8,55	7,77	7,12	140
23,55	21,40	19,62	18,11	16,82	15,70	14,72	13,85	13,08	12,39	11,77	10,70	9.81	160
31,12	28,29	25,93	23,94	22,23	20.74	19.45	18.30	17,29	16.38	15,56	14,14	12,96	180
40,23	36.57	33.52	30,94	28,73	26,82	25,14	23,66	22,35	21,17	20,11	18.28	16.76	200
50.75	46,14	42,29	39,04	36,25	33,83	31,72	29.85	28,20	26,71	25,38	23,07	21,15	220
74,88	68,07	62,40	57,60	53.49	49.92	46.80	44,05	41,60	39,41	37,44	34,04	31,20	240
89,86	81,69	74,88	69,12	64,18	59,90	56.16	52.86	49,92	47,29	44.93	40,84	37,44	260
106,08	96,44	88,40	81,60	75.77	70,72	66,30	62,40	58.93	55,83	53,04	48,22	44,20	280
144,77	131,61	120,64	111,36	103,41	96,51	90.48	85,16	80,43	76,19	72,38	65,80	60,32	300
158,08	143,71	131,73	121.60	112,91	105.39	98.80	92.99	87,82	83,20	79,04	71,85	65,87	320
167,58	153,16	140.40	129.60	120.34	112,32	105,30	99,11	93.60	88,67	84.24	76,58	70,20	340
175,90	162,62	149,07	137,60	127,77	119,25	111,80	105,22	99,38	94,15	89,44	81.31	74,53	360
192,39	182,28	167,09	154,24	143,22	133,67	125,32	117.95	111,40	105,53	100,26	91,14	83,55	400
214,27	204,73	190,67	176.00	163.43	152,53	143,00	134,59	127,11	120,42	114,40	104,00	95.33	450
236,29	225,47	214,24	197.76	183.63	171,39	160,68	151,23	142.83	135,31	128,54	116,86	107,12	500
260,11	247,96	236,42	221.44	205.62	191.91	179,92	169.34	159,93	151,51	143.94	130.85	119,95	550
283,99	270.47	257,66	245,12	227.61	212.44	199,16	187,44	177.03	167,71	159,33	144,84	132,77	600

5.6 1-C 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

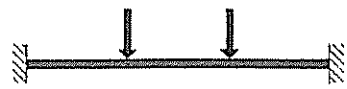
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	0,76200	2,28	1,52	1,14	0,91	0,76	0,65	0,57	0,51
100	8,32	34,2	42,8	0,61000	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,00	0,89
120	11,10	54,7	49,2	0,50800	6,27	4,27	3,20	2,56	2,13	1,83	1,60	1,42
140	14,40	81,9	56,0	0,43600	8,77	6,39	4,79	3,83	3,19	2,74	2,40	2,13
160	17,90	117,0	62,0	0,38200	11,76	9,13	6,84	5,48	4,56	3,91	3,42	3,04
180	21,90	161,0	68,4	0,33900	15,23	12,40	9,42	7,53	6,28	5,38	4,71	4,19
200	26,30	214,0	74,8	0,30500	18,98	15,74	12,52	10,01	8,35	7,15	6,26	5,56
220	31,10	278,0	80,8	0,27700	22,97	19,67	16,26	13,01	10,84	9,29	8,13	7,23
240	36,20	354,0	88,0	0,25400	26,94	24,03	20,48	16,57	13,81	11,83	10,35	9,20
260	41,90	442,0	92,8	0,23500	31,51	29,02	24,94	20,69	17,24	14,77	12,93	11,49
280	48,00	542,0	98,0	0,21800	36,42	34,48	29,86	25,37	21,14	18,12	15,85	14,09
300	54,20	653,0	102,4	0,20300	41,70	40,45	35,26	30,56	25,47	21,83	19,10	16,98
320	61,10	782,0	106,8	0,19100	47,25	46,91	41,19	36,21	30,50	26,14	22,87	20,33
340	68,10	923,0	112,0	0,17900	53,24	53,24	47,59	42,01	36,00	30,85	27,00	24,00
360	76,20	1 090,0	116,0	0,16900	59,89	59,89	54,88	48,68	42,51	36,44	31,88	28,34
380	84,00	1 260,0	120,8	0,16000	66,64	66,64	62,39	55,58	49,14	42,12	36,85	32,76
400	92,60	1 460,0	125,2	0,15200	73,68	73,68	70,42	63,01	56,49	48,81	42,70	37,96
450	115,00	2 040,0	137,2	0,13600	92,91	92,91	92,91	84,04	76,01	68,19	59,67	53,04
500	141,00	2 750,0	148,8	0,12200	114,65	114,65	114,65	108,52	98,88	90,25	80,44	71,50
550	167,00	3 610,0	160,8	0,11100	133,43	133,43	133,43	132,48	122,13	112,56	103,89	93,86
600	199,00	4 630,0	172,0	0,10200	165,09	165,09	165,09	165,09	155,01	143,09	132,24	120,38

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	0,76200	3,10	2,07	1,55	1,24	1,03	0,89	0,77	0,69
100	10,60	41,2	58,8	0,61000	4,82	3,21	2,41	1,93	1,61	1,38	1,20	1,07
120	13,40	60,7	63,6	0,50800	7,10	4,73	3,55	2,84	2,37	2,03	1,77	1,58
140	16,00	86,4	70,0	0,43500	10,11	6,74	5,05	4,04	3,37	2,89	2,53	2,25
160	18,80	116,0	75,6	0,38200	13,42	9,05	6,79	5,43	4,52	3,88	3,39	3,02
180	22,00	150,0	80,8	0,33900	16,35	11,70	8,77	7,02	5,85	5,01	4,39	3,90
200	25,30	191,0	85,6	0,30500	20,01	14,90	11,17	8,94	7,45	6,38	5,59	4,97
220	29,40	245,0	92,0	0,27800	24,26	19,11	14,33	11,47	9,55	8,19	7,17	6,37
240	33,20	300,0	96,8	0,25400	28,68	23,40	17,55	14,04	11,70	10,03	8,77	7,80
260	37,90	371,0	102,4	0,23500	32,74	28,10	21,70	17,36	14,47	12,40	10,85	9,65
280	41,80	448,0	109,6	0,21800	35,44	32,08	26,21	20,97	17,47	14,98	13,10	11,65
300	46,20	535,0	116,0	0,20300	38,14	36,07	31,07	25,04	20,86	17,88	15,65	13,91

5.6 1-C 3

piezas sometidas a flexión



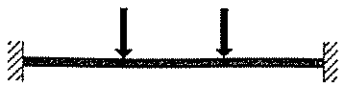
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,46	0,41	0,38	0,35	0.33	0,30	0,28	0,27	0.25	0,24	0,23	0,21	0,19	80
0,80	0,73	0,67	0,62	0,57	0,53	0.50	0,47	0,44	0,42	0.40	0,36	0,33	100
1,28	1,16	1,07	0,98	0,91	0.85	0,80	0,75	0,71	0,67	0,64	0.58	0.53	120
1,92	1,74	1,60	1.47	1,37	1,28	1,20	1,13	1,06	1.01	0.96	0,87	0.80	140
2,74	2,49	2.28	2,11	1,96	1,82	1,71	1,61	1,52	1,44	1,37	1,24	1,14	160
3,77	3,42	3,14	2,90	2.69	2,51	2.35	2.22	2,09	1,98	1.88	1,71	1,57	180
5,01	4,55	4,17	3,85	3,58	3,34	3,13	2.95	2.78	2,64	2,50	2.28	2,09	200
6,50	5,91	5,42	5,00	4,65	4.34	4,07	3,83	3.61	3,42	3.25	2,96	2.71	220
8,28	7,53	6.90	6,37	5,92	5.52	5,18	4,87	4,60	4,36	4.14	3,76	3,45	240
10,34	9,40	8,62	7,96	7,39	6,89	6.46	6,08	5,75	5,44	5,17	4.70	4,31	260
12,68	11,53	10,57	9.76	9,06	8,45	7,93	7,46	7.05	6,67	6,34	5.76	5.28	280
15,28	13,89	12,73	11,75	10,91	10,19	9,55	8,99	8,49	8,04	7,64	6,95	6.37	300
18,30	16,63	15,25	14,08	13,07	12,20	11,44	10,76	10.17	9,63	9,15	8,32	7,62	320
21,60	19.63	18,00	16,61	15,43	14.40	13,50	12,70	12,00	11,37	10.80	9,82	9,00	340
25,51	23.19	21,25	19,62	18,22	17,00	15.94	15,00	14,17	13,42	12,75	11,59	10.63	360
29,48	26,80	24,57	22,68	21,06	19,66	18,43	17,34	16,38	15.52	14,74	13,40	12,28	380
34,16	31.06	28,47	26,28	24,40	22,78	21,35	20,10	18,98	17,98	17,08	15.53	14.23	400
47,74	43,40	39,78	36,72	34.10	31.82	29.83	28,08	26.52	25.12	23,87	21,70	19,89	450
64.35	58.50	53,63	49.50	45.96	42,90	40.22	37.85	35.75	33.87	32.17	29.25	26.81	500
84,47	76,79	70,39	64,98	60,34	56,32	52,80	49,69	46.93	44.46	42.24	38,40	35,20	550
108,34	98,49	90,28	83,34	77,39	72,23	67,71	63,73	60.19	57,02	54,17	49,25	45,14	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,62	0,56	0,52	0,48	0,44	0.41	0,39	0.36	0.34	0.33	0.31	0,28	0.26	80
0,96	0,88	0.80	0.74	0.69	0,64	0.60	0.57	0.54	0,51	0.48	0.44	0,40	100
1,42	1,29	1,18	1.09	1.01	0.95	0.89	0.84	0.79	0,75	0,71	0,65	0,59	120
2,02	1.84	1,68	1,55	1,44	1,35	1,26	1,19	1,12	1.06	1,01	0,92	0,84	140
2,71	2,47	2,26	2.09	1,94	1,81	1,70	1,60	1,51	1,43	1,36	1,23	1,13	160
3,51	3,19	2,92	2.70	2,51	2,34	2,19	2.06	1,95	1,85	1.75	1,59	1.46	180
4,47	4.06	3,72	3,44	3.19	2.98	2,79	2,63	2,48	2.35	2.23	2.03	1,86	200
5,73	5,21	4,78	4.41	4.09	3,82	3,58	3.37	3.18	3,02	2.87	2.61	2.39	220
7,02	6.38	5.85	5.40	5,01	4,68	4,39	4.13	3.90	3,69	3.51	3,19	2.92	240
8.68	7,89	7,23	6.68	6,20	5.79	5,43	5,11	4,82	4.57	4,34	3,95	3,62	260
10,48	9,53	8,74	8.06	7,49	6,99	6,55	6.17	5,82	5.52	5.24	4.76	4,37	280
12,52	11,38	10,43	9.63	8,94	8,35	7,82	7,36	6,95	6,59	6,26	5,69	5.22	300

5.6 1-C 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,76100	2,34	1,56	1,17	0,94	0,78	0,67	0,58	0,52
100	8,10	34,2	49,6	0,61000	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,00	0,89
120	10,40	53,0	58,0	0,50800	5,72	4,13	3,10	2,48	2,07	1,77	1,55	1,38
140	12,90	77,3	66,0	0,43600	7,64	6,03	4,52	3,62	3,01	2,58	2,26	2,01
160	15,80	109,0	73,6	0,38200	9,89	8,14	6,38	5,10	4,25	3,64	3,19	2,83
180	18,80	146,0	82,0	0,33700	12,35	10,34	8,54	6,83	5,69	4,88	4,27	3,80
200	22,40	194,0	89,6	0,30500	14,83	12,87	11,06	9,08	7,57	6,48	5,67	5,04
220	26,20	252,0	99,2	0,27700	17,16	15,68	13,64	11,79	9,83	8,42	7,37	6,55
240	30,70	324,0	107,6	0,25400	19,78	18,85	16,72	14,81	12,64	10,83	9,48	8,42
270	36,10	429,0	120,8	0,22600	23,70	23,36	20,89	18,64	16,67	14,34	12,55	11,15
300	42,20	557,0	134,0	0,20300	28,38	28,38	25,90	23,24	20,88	18,62	16,29	14,48
330	49,10	713,0	142,0	0,18500	32,96	32,96	31,32	28,43	25,79	23,45	20,85	18,54
360	57,10	904,0	151,6	0,16900	38,31	38,31	37,53	34,35	31,37	28,69	26,31	23,50
400	66,30	1 160,0	158,0	0,15300	45,66	45,66	45,66	42,40	38,95	35,79	32,95	30,16
450	77,60	1 500,0	164,8	0,13600	55,94	55,94	55,94	53,52	49,26	45,33	41,79	38,63
500	90,70	1 930,0	172,4	0,12200	67,09	67,09	67,09	66,27	61,21	56,50	52,21	48,37
550	106,00	2 440,0	178,0	0,11100	80,46	80,46	80,46	80,46	75,79	70,21	65,09	60,46
600	122,00	3 070,0	186,4	0,10200	94,24	94,24	94,24	94,24	91,74	85,34	79,39	73,96

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,61000	7,48	6,83	5,26	4,21	3,51	3,01	2,63	2,34
120	26,70	144,0	122,4	0,50800	10,03	9,28	8,42	6,74	5,62	4,81	4,21	3,74
140	33,70	216,0	143,2	0,43600	12,90	12,10	11,17	10,11	8,42	7,22	6,32	5,62
160	42,60	311,0	162,0	0,38100	16,89	16,21	15,14	14,03	12,13	10,40	9,10	8,09
180	51,20	426,0	182,8	0,33900	20,28	20,06	18,87	17,61	16,36	14,24	12,46	11,08
200	61,30	570,0	202,8	0,30500	23,99	23,88	22,76	21,53	20,27	19,03	16,67	14,82
220	71,50	736,0	223,6	0,27700	27,87	27,87	26,91	25,60	24,23	22,87	21,53	19,14
240	83,20	938,0	243,2	0,25400	32,07	32,07	31,51	30,23	28,86	27,45	26,06	24,39
260	93,00	1 150,0	263,2	0,23500	34,94	34,94	34,82	33,66	32,39	31,05	29,70	28,37
280	103,00	1 380,0	283,6	0,21800	39,60	39,60	39,60	38,50	37,10	35,62	34,12	32,63
300	117,00	1 680,0	303,2	0,20400	44,50	44,50	44,50	43,82	42,45	40,98	39,46	37,92
320	127,00	1 930,0	302,8	0,19100	49,72	49,72	49,72	49,26	47,73	46,10	44,41	42,70
340	134,00	2 160,0	301,2	0,18000	55,03	55,03	55,03	54,77	53,04	51,19	49,29	47,36
360	142,00	2 400,0	299,6	0,16900	60,48	60,48	60,48	60,48	58,55	56,49	54,36	52,22
400	155,00	2 880,0	296,0	0,15200	72,15	72,15	72,15	72,15	70,35	67,74	65,07	62,39
450	171,00	3 550,0	293,2	0,13500	84,36	84,36	84,36	84,36	83,55	80,51	77,39	74,26
500	187,00	4 290,0	290,8	0,12200	96,80	96,80	96,80	96,80	96,80	93,93	90,39	86,82
550	199,00	4 970,0	286,8	0,11100	109,92	109,92	109,92	109,92	109,92	107,94	103,77	99,58
600	212,00	5 700,0	283,2	0,10200	123,98	123,98	123,98	123,98	123,98	123,19	118,32	113,45

5.6 1-C 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6.0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,47	0,42	0,39	0.36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	80
0,80	0.73	0,67	0.62	0.57	0,53	0.50	0,47	0,44	0,42	0.40	0,36	0,33	100
1,24	1.13	1,03	0.95	0,89	0.83	0.77	0,73	0.69	0,65	0.62	0,56	0.52	120
1,81	1,64	1,51	1,39	1.29	1.21	1,13	1,06	1,00	0,95	0.90	0,82	0,75	140
2,55	2,32	2.13	1,96	1,82	1,70	1,59	1.50	1,42	1.34	1.27	1,16	1,06	160
3,42	3,11	2.85	2.63	2,44	2,28	2,13	2,01	1,90	1.80	1,71	1,55	1,42	180
4,54	4,13	3,78	3.49	3.24	3,03	2.84	2,67	2,52	2,39	2.27	2,06	1.89	200
5,90	5,36	4,91	4,54	4.21	3.93	3.68	3,47	3,28	3,10	2.95	2,68	2,46	220
7,58	6.89	6,32	5,83	5,41	5,05	4,74	4,46	4,21	3.99	3,79	3.45	3,16	240
10,04	9.13	8,36	7,72	7,17	6.69	6,27	5.90	5,58	5,28	5,02	4.56	4,18	270
13,03	11,85	10,86	10,03	9,31	8,69	8,15	7,67	7.24	6,86	6.52	5,92	5,63	300
16,68	15,17	13,90	12,83	11.92	11,12	10,43	9,81	9,27	8.78	8,34	7.58	6,95	330
21,15	19,23	17,63	16,27	15,11	14,10	13,22	12,44	11,75	11,13	10,58	9.61	8,81	360
27,14	24,68	22,62	20,88	19.39	18.10	16.96	15.97	15.08	14,29	13,57	12,34	11,31	400
35,10	31,91	29.25	27,00	25,07	23,40	21,94	20,65	19,50	18,47	17,55	15,95	14,63	450
44,94	41,06	37,63	34,74	32,26	30,11	28,23	26,57	25.09	23,77	22,58	20,53	18.82	500
56,29	51,90	47,58	43,92	40,78	38,06	35.68	33,59	31,72	30,05	28,55	25,95	23,79	550
69,03	64,58	59,86	55,26	51,31	47,89	44,90	42,26	39,91	37,81	35,92	32,65	29,93	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6.5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2.11	1,91	1,75	1,62	1,50	1,40	1,32	1,24	1,17	1,11	1,05	0,96	0,88	100
3,37	3,06	2,81	2,59	2,41	2,25	2,11	1,98	1,87	1,77	1,68	1,53	1,40	120
5,05	4,59	4,21	3,89	3,61	3,37	3,16	2,97	2,81	2,66	2.53	2,30	2,11	140
7,28	6,62	6,06	5,60	5,20	4,85	4,55	4.28	4,04	3,83	3,64	3,31	3,03	160
9,97	9,06	8.31	7,67	7,12	6,65	6,23	5,86	5,54	5,25	4,98	4,53	4,15	180
13,34	12.13	11,11	10,26	9,53	8,89	8,34	7,85	7,41	7.02	6,67	6,06	5,56	200
17,22	15,66	14,35	13,25	12,30	11,48	10.76	10,13	9,57	9,06	8,61	7,83	7,18	220
21,95	19,95	18,29	16,88	15,68	14,63	13,72	12,91	12,19	11,55	10,97	9,98	9,14	240
26,91	24.46	22,42	20,70	19,22	17,94	16,82	15,83	14,95	14,16	13,45	12,23	11,21	260
31,17	29,36	26,91	24,84	23,07	21,53	20,18	18,99	17,94	17,00	16,15	14,68	13,45	280
36,40	34,92	32,76	30,24	28,08	26,21	24,57	23,13	21,84	20,69	19,66	17,87	16,38	300
41,01	39,35	37,63	34,74	32,26	30,11	28,23	26,57	25,09	23,77	22.58	20,53	18,82	320
45.46	43,60	41,81	38,88	36,10	33,70	31,59	29,73	28,08	26,60	25,27	22,97	21,06	340
50,10	48,03	46,04	43,20	40,11	37,44	35,10	33,03	31,20	29,56	28,08	25,53	23,40	360
59,75	57,20	54,74	51,84	48,14	44,93	42,12	39,64	37,44	35,47	33,70	30,63	28,08	400
71.17	68,16	65,28	62,52	59,34	55,38	51,92	48,86	46,15	43,72	41,53	37,76	34,61	450
83,29	79.84	76,52	73,35	70,32	66,92	62,74	59,05	55,77	52,83	50,19	45.63	41,83	500
95.46	91,44	87,58	83,89	80,39	77,07	72,69	68,41	64,61	61,21	58,15	52,86	48,46	550
108,66	104.01	99,55	95,29	91,26	87,45	83,36	78,46	74,10	70,20	66,69	60,63	55,57	600

5.6 1-C 3



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	16,70	72,8	100,4	0,63600	6,03	5,47	4,26	3,41	2,84	2,43	2,13	1,89	1,
120	19,90	106,0	120,8	0,53300	7,45	6,83	6,18	4,96	4,13	3,54	3,10	2,76	2,
140	24,70	155,0	140,8	0,45900	9,76	9,01	8,20	7,25	6,04	5,18	4,53	4,03	3,
160	30,40	220,0	159,2	0,40200	12,23	11,60	10,74	9,87	8,58	7,35	6,43	5,72	5,
180	35,50	294,0	180,8	0,35700	13,95	13,58	12,72	11,83	10,95	9,83	8,60	7,64	6,
200	42,30	389,0	199,2	0,32100	16,75	16,57	15,69	14,74	13,78	12,86	11,38	10,11	9,
220	50,50	515,0	220,4	0,29000	20,02	20,02	19,14	18,09	17,02	15,97	14,97	13,39	12,
240	60,30	675,0	240,0	0,26500	23,48	23,48	22,93	21,90	20,81	19,71	18,63	17,55	15,
260	68,20	836,0	260,0	0,24400	25,58	25,58	25,41	24,49	23,50	22,46	21,43	20,41	19,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,22500	29,52	29,52	29,52	28,53	27,40	26,22	25,04	23,88	22,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,21000	33,67	33,67	33,67	33,02	31,91	30,73	29,51	28,30	27,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,19700	38,06	38,06	38,06	37,61	36,38	35,08	33,74	32,39	31,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,18500	42,69	42,69	42,69	42,39	40,99	39,50	37,97	36,43	34,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,17400	47,76	47,76	47,76	47,64	46,04	44,34	42,59	40,84	39,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,15600	58,14	58,14	58,14	58,14	56,44	54,24	52,00	49,77	47,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,13900	68,32	68,32	68,32	68,32	67,53	65,02	62,44	59,85	57,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,12400	79,52	79,52	79,52	79,52	79,52	77,01	74,05	71,07	68,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,11300	90,89	90,89	90,89	90,89	90,89	89,11	85,61	82,11	78,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,10300	102,81	102,81	102,81	102,81	102,81	102,09	98,03	93,97	89,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	0,50800	16,94	14,82	11,11	8,89	7,41	6,35	5,56	4,94	4,
120	52,10	288,0	130,0	0,43500	21,45	20,08	16,85	13,48	11,23	9,63	8,42	7,49	6,
140	63,20	411,0	150,8	0,38100	25,99	24,68	23,00	19,23	16,03	13,74	12,02	10,69	9,
160	76,20	566,0	170,4	0,33800	31,80	30,84	29,06	26,49	22,07	18,92	16,55	14,72	13,
180	88,90	748,0	190,8	0,30500	36,83	36,29	34,42	32,39	29,17	25,00	21,88	19,45	17,
200	103,00	967,0	210,8	0,27700	42,18	42,16	40,38	38,39	36,32	32,32	28,28	25,14	22,
220	117,00	1 220,0	231,6	0,25500	47,84	47,84	46,49	44,40	42,20	39,97	35,68	31,72	28,
240	157,00	1 800,0	255,6	0,22600	61,92	61,92	61,40	59,34	57,09	54,73	52,33	46,80	42,
260	172,00	2 160,0	276,0	0,21000	67,14	67,14	67,14	65,35	63,22	60,95	58,61	56,16	50,
280	189,00	2 550,0	296,0	0,19700	74,21	74,21	74,21	72,84	70,57	68,14	65,63	63,09	59,
300	238,00	3 480,0	320,0	0,17900	91,48	91,48	91,48	91,04	88,79	86,33	83,73	81,05	78,
320	245,00	3 800,0	318,0	0,17000	96,74	96,74	96,74	96,72	94,34	91,73	88,98	86,14	83,
340	248,00	4 050,0	316,0	0,16200	102,00	102,00	102,00	102,00	99,72	96,87	93,86	90,77	87,
360	250,00	4 300,0	313,2	0,15400	107,44	107,44	107,44	107,44	105,31	102,18	98,89	95,52	92,
400	256,00	4 820,0	308,0	0,14100	117,62	117,62	117,62	117,62	116,11	112,48	108,69	104,82	100,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,12800	130,77	130,77	130,77	130,77	130,38	126,10	121,65	117,13	112,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,11600	143,76	143,76	143,76	143,76	143,76	139,90	134,76	129,56	124,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,10700	157,22	157,22	157,22	157,22	157,22	154,69	148,84	142,94	137,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,09800	170,47	170,47	170,47	170,47	170,47	169,63	163,03	156,41	149,

5.6 1-C 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,70	1,55	1,42	1,31	1.22	1,14	1,06	1,00	0,95	0,90	0,85	0,77	0,71	100
2,48	2,25	2,07	1,91	1,77	1,65	1,55	1,46	1,38	1,30	1.24	1.13	1,03	120
3,63	3,30	3,02	2.79	2,59	2.42	2,27	2,13	2,01	1,91	1,81	1,65	1,51	140
5,15	4.68	4,29	3,96	3,68	3,43	3,22	3.03	2,86	2.71	2,57	2,34	2,14	160
6,88	6,25	5,73	5,29	4,91	4,59	4,30	4,05	3,82	3,62	3,44	3,13	2,87	180
9,10	8,27	7,58	7,00	6,50	6,07	5,69	5,35	5,06	4,79	4,55	4,14	3,79	200
12,05	10,95	10,04	9.27	8,61	8.03	7,53	7,09	6,69	6,34	6,02	5,48	5,02	220
15,79	14,36	13,16	12,15	11,28	10,53	9,87	9.29	8,77	8.31	7,90	7,18	6,58	240
19,43	17,78	16,30	15,05	13,97	13,04	12,23	11.51	10,87	10,30	9,78	8,89	8.15	260
22,75	21,48	19,69	18,18	16,88	15,76	14.77	13,90	13,13	12,44	11,82	10.74	9,85	280
27,10	25,94	24,57	22,68	21,06	19,66	18,43	17,34	16.38	15,52	14.74	13.40	12,28	300
31,06	29,76	28,51	26,64	24.74	23,09	21,64	20,37	19,24	18,23	17,32	15.74	14,43	320
34,91	33,44	32,02	30,24	28,08	26.21	24,57	23,13	21,84	20,69	19.66	17,87	16,38	340
39,12	37,44	35,84	34,02	31,59	29,48	27,64	26,01	24,57	23,28	22,11	20,10	18,43	360
47,58	45,47	43,46	41,54	38,61	36,04	33,78	31,80	30,03	28,45	27,03	24,57	22,52	400
57,31	54,85	52,49	50,24	48,10	45,24	42,41	39,92	37,70	35,72	33,93	30,84	28,27	450
68,13	65,27	62,52	59,89	57,39	55,03	51,92	48.86	46,15	43,72	41,53	37.76	34,61	500
78,66	75,31	72,09	69,03	66,11	63,37	60,69	57,12	53,95	51,11	48,55	44,14	40,46	550
89,97	86,10	82,39	78,85	75,49	72,33	69,35	65,93	62,27	58,99	56.04	50,95	46,70	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12.0	
4,45	4,04	3.70	3,42	3,18	2,96	2,78	2,61	2,47	2,34	2.22	2.02	1,85	100
6,74	6,13	5,62	5,18	4,81	4.49	4,21	3,96	3,74	3.55	3,37	3,06	2,81	120
9,62	8.74	8,01	7.40	6,87	6,41	6,01	5.66	5,34	5,06	4,81	4,37	4,01	140
13,24	12,04	11,04	10,19	9,46	8,83	8,28	7.79	7,36	6,97	6.62	6,02	5,52	160
17,50	15,91	14,59	13,46	12,50	11,67	10,94	10,30	9,72	9,21	8,75	7,96	7,29	180
22.63	20,57	18,86	17,41	16,16	15,08	14.14	13,31	12,57	11,91	11,31	10,28	9.43	200
28,55	25,95	23,79	21,96	20,39	19,03	17,84	16,79	15,86	15 02	14,27	12.98	11,89	220
42,12	38,29	35,10	32,40	30,09	28,08	26,32	24,78	23,40	22,17	21,06	19,14	17,55	240
50,54	45,95	42,12	38,88	36,10	33.70	31.59	29,73	28,08	26,60	25,27	22,97	21,06	260
59,67	54,24	49,72	45,90	42,62	39.78	37,29	35,10	33,15	31,40	29,83	27,12	24,86	280
78,34	74,03	67,86	62,64	58,17	54,29	50.89	47,90	45,24	42.86	40,72	37,01	33,93	300
83,26	80,40	74,10	68,40	63,51	59,28	55,57	52.31	49.40	46,80	44,46	40,42	37,05	320
87.66	84,56	78,97	72,90	67,69	63,18	59,23	55,75	52,65	49,88	47,38	43,08	39,49	340
92,13	88,78	83,85	77,40	71,87	67,08	62,89	59,19	55,90	52,96	50,31	45,74	41,92	360
100,95	97,14	93,42	86,76	80,56	75,19	70,49	66,35	62,66	59,36	56,39	51,27	46,99	400
112,63	108,22	103,93	99,00	91,93	85,80	80,44	75,71	71,50	67,74	64,35	58,50	53,63	450
124,41	119.38	114,51	109,84	103,29	96,41	90,38	85,07	80,34	76,11	72.31	65.73	60,25	500
137,12	131,44	125,97	120,73	115,66	107,95	101,20	95,25	89,96	85,22	80,96	73,60	67,47	550
149,89	143,55	137,45	131,63	126,11	119,50	112,03	105,44	99,58	94,34	89,62	81,47	74,68	600

5.6 1-C 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

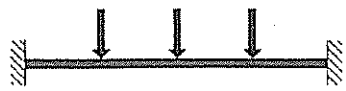
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	0,73200	1,62	1,08	0,81	0,65	0,54	0,46	0,41	0,36	0,3
100	8,32	34,2	42,8	0,58500	2,84	1,90	1,42	1,14	0,95	0,81	0,71	0,63	0,5
120	11,10	54,7	49,2	0,48800	4,33	3,03	2,28	1,82	1,52	1,30	1,14	1,01	0,9
140	14,40	81,9	56,0	0,41800	6,03	4,54	3,41	2,73	2,27	1,95	1,70	1,51	1,3
160	17,90	117,0	62,0	0,36600	8,06	6,49	4,87	3,89	3,24	2,78	2,43	2,16	1,9
180	21,90	161,0	68,4	0,32500	10,41	8,59	6,70	5,36	4,46	3,83	3,35	2,98	2,6
200	26,30	214,0	74,8	0,29300	12,85	10,87	8,90	7,12	5,93	5,09	4,45	3,96	3,5
220	31,10	278,0	80,8	0,26600	15,31	13,55	11,54	9,25	7,71	6,61	5,78	5,14	4,6
240	36,20	354,0	88,0	0,24400	17,96	16,51	14,20	11,78	9,82	8,41	7,36	6,54	5,8
260	41,90	442,0	92,8	0,22500	21,01	19,90	17,26	14,71	12,26	10,51	9,19	8,17	7,3
280	48,00	542,0	98,0	0,20900	24,28	23,61	20,63	18,04	15,03	12,88	11,27	10,02	9,0
300	54,20	653,0	102,4	0,19500	27,80	27,65	24,33	21,41	18,11	15,52	13,58	12,07	10,8
320	61,10	782,0	106,8	0,18300	31,50	31,50	28,37	25,12	21,69	18,59	16,27	14,46	13,0
340	68,10	923,0	112,0	0,17200	35,50	35,50	32,74	29,11	25,60	21,94	19,20	17,06	15,3
360	76,20	1 090,0	116,0	0,16300	39,92	39,92	37,70	33,68	30,17	25,91	22,67	20,15	18,1
380	84,00	1 260,0	120,8	0,15400	44,42	44,42	42,80	38,41	34,52	29,95	26,21	23,30	20,9
400	92,60	1 460,0	125,2	0,14600	49,12	49,12	48,26	43,49	39,22	34,71	30,37	26,99	24,2
450	115,00	2 040,0	137,2	0,13000	61,94	61,94	61,94	57,82	52,61	47,95	42,43	37,72	33,9
500	141,00	2 750,0	148,8	0,11700	76,43	76,43	76,43	74,47	68,26	62,60	57,20	50,84	45,7
550	167,00	3 610,0	160,8	0,10700	88,95	88,95	88,95	88,95	83,96	77,76	72,07	66,74	60,0
600	199,00	4 630,0	172,0	0,09700	110,06	110,06	110,06	110,06	106,49	98,78	91,68	85,23	77,0

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	0,73200	2,20	1,47	1,10	0,88	0,73	0,63	0,55	0,49	0,44
100	10,60	41,2	58,8	0,58500	3,43	2,28	1,71	1,37	1,14	0,98	0,86	0,76	0,69
120	13,40	60,7	63,6	0,48800	5,05	3,37	2,52	2,02	1,68	1,44	1,26	1,12	1,01
140	16,00	86,4	70,0	0,41800	7,11	4,79	3,59	2,88	2,40	2,05	1,80	1,60	1,44
160	18,80	116,0	75,6	0,36700	9,24	6,43	4,83	3,86	3,22	2,76	2,41	2,14	1,93
180	22,00	150,0	80,8	0,32500	11,23	8,32	6,24	4,99	4,16	3,57	3,12	2,77	2,50
200	25,30	191,0	85,6	0,29300	13,72	10,59	7,95	6,36	5,30	4,54	3,97	3,53	3,18
220	29,40	245,0	92,0	0,26700	16,59	13,59	10,19	8,15	6,79	5,82	5,10	4,53	4,08
240	33,20	300,0	96,8	0,24400	19,12	16,29	12,48	9,98	8,32	7,13	6,24	5,55	4,99
260	37,90	371,0	102,4	0,22500	21,83	19,40	15,43	12,35	10,29	8 82	7,72	6,86	6,17
280	41,80	448,0	109,6	0,20900	23,63	22,07	18,64	14,91	12,42	10,65	9,32	8,28	7,45
300	46,20	535,0	116,0	0,19500	25,43	24,72	21,50	17,80	14,84	12,72	11,13	9,89	8,90

5.6 1-C 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,32	0,29	0,27	0.25	0.23	0.22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0.15	0,13	80
0,57	0,52	0,47	0,44	0,41	0,38	0,36	0,33	0,32	0.30	0,28	0.26	0,24	100
0,91	0,83	0,76	0,70	0,65	0,61	0,57	0,53	0,51	0,48	0,45	0,41	0,38	120
1,36	1,24	1,14	1,05	0,97	0,91	0,85	0,80	0.76	0,72	0,68	0,62	0,57	140
1,95	1,77	1.62	1,50	1,39	1,30	1,22	1.14	1,08	1,02	0,97	0,88	0,81	160
2,68	2,43	2,23	2,06	1,91	1,79	1,67	1,58	1,49	1,41	1,34	1,22	1,12	180
3,56	3,24	2,97	2.74	2.54	2,37	2.23	2,09	1,98	1,87	1,78	1,62	1,48	200
4,63	4,20	3.85	3,56	3,30	3,08	2,89	2.72	2,57	2.43	2,31	2,10	1,93	220
5,89	5,35	4,91	4.53	4.21	3,93	3,68	3,46	3,27	3,10	2,94	2.68	2,45	240
7,35	6,69	6,13	5.66	5,25	4,90	4.60	4,33	4.09	3,87	3.68	3,34	3,06	260
9,02	8,20	7,52	6,94	6,44	6,01	5,64	5,30	5.01	4,75	4,51	4,10	3,76	280
10,87	9,88	9,05	8,36	7,76	7,24	6,79	6,39	6,04	5,72	5,43	4,94	4,53	300
13,01	11,83	10,84	10,01	9,29	8,67	8,13	7,65	7.23	6,85	6,51	5,91	5,42	320
15,36	13,96	12,80	11.81	10,97	10,24	9,60	9.03	8.53	8,08	7,68	6,98	6,40	340
18,14	16,49	15,11	13,95	12,95	12,09	11,34	10,67	10,08	9,55	9,07	8.24	7,56	360
20,97	19,06	17,47	16,13	14.98	13.98	13,10	12,33	11.65	11,03	10,48	9,53	8,74	380
24,29	22,09	20,24	18.69	17.35	16,20	15,18	14,29	13,50	12,79	12.15	11.04	10,12	400
33,95	30,86	28,29	26,11	24,25	22.63	21,22	19,97	18.86	17,87	16,97	15,43	14,14	450
45,76	41,60	38,13	35,20	32.69	30,51	28.60	26,92	25,42	24.08	22,88	20.80	19,07	500
60,07	54.61	50,06	46,21	42,91	40,05	37,54	35,34	33,37	31,62	30,03	27,30	25,03	550
77,04	70.04	64.20	59.26	55.03	51,36	48,15	45,32	42,80	40,55	38,52	35,02	32,10	600

Luz en metros													UPN
5,0	5.5	6.0	6,5	7.0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,44	0,40	0,37	0,34	0,31	0,29	0,28	0,26	0,24	0.23	0,22	0,20	0,18	80
0,69	0.62	0.57	0,53	0,49	0,46	0,43	0.40	0,38	0.36	0,34	0.31	0,29	100
1,01	0,92	0,84	0,78	0,72	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0.50	0,46	0.42	120
1,44	1.31	1,20	1.11	1.03	0.96	0.90	0,85	0,80	0,76	0,72	0,65	0,60	140
1,93	1,75	1,61	1.48	1.38	1,29	1,21	1.13	1,07	1.02	0,96	0,88	0,80	160
2,50	2,27	2.08	1,92	1,78	1.66	1,56	1,47	1,39	1,31	1,25	1,13	1.04	180
3,18	2,89	2,65	2.44	2,27	2.12	1,99	1.87	1,77	1.67	1,59	1,44	1,32	200
4,08	3.71	3,40	3,14	2.91	2,72	2,55	2,40	2,26	2,15	2,04	1,85	1,70	220
4,99	4,54	4.16	3.84	3.57	3.33	3.12	2,94	2,77	2,63	2.50	2,27	2.08	240
6,17	5.61	5,14	4,75	4,41	4,12	3.86	3.63	3,43	3,25	3,09	2.81	2,57	260
7,45	6,78	6,21	5,73	5,32	4,97	4,66	4,38	4,14	3,92	3,73	3,39	3,11	280
8,90	8,09	7.42	6,85	6,36	5,93	5,56	5.24	4,95	4,68	4,45	4,05	3,71	300

5.6 1-C 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

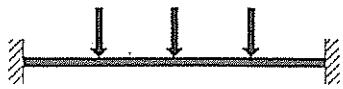
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,73100	1,66	1,11	0,83	0,67	0,55	0,47	0,42	0,37
100	8,10	34,2	49,6	0,58500	2,82	1,90	1,42	1,14	0,95	0,81	0,71	0,63
120	10,40	53,0	58,0	0,48800	3,94	2,94	2,20	1,76	1,47	1,26	1,10	0,98
140	12,90	77,3	66,0	0,41800	5,24	4,23	3,22	2,57	2,14	1,84	1,61	1,43
160	15,80	109,0	73,6	0,36700	6,75	5,63	4,53	3,63	3,02	2,59	2,27	2,01
180	18,80	146,0	82,0	0,32400	8,41	7,13	6,04	4,86	4,05	3,47	3,04	2,70
200	22,40	194,0	89,6	0,29300	9,88	8,83	7,65	6,46	5,38	4,61	4,03	3,59
220	26,20	252,0	99,2	0,26600	11,44	10,73	9,42	8,28	6,99	5,99	5,24	4,66
240	30,70	324,0	107,6	0,24400	13,19	12,84	11,49	10,25	8,99	7,70	6,74	5,99
270	36,10	429,0	120,8	0,21700	15,80	15,80	14,33	12,88	11,58	10,20	8,92	7,93
300	42,20	557,0	134,0	0,19500	18,92	18,92	17,74	16,03	14,48	13,13	11,59	10,30
330	49,10	713,0	142,0	0,17700	21,97	21,97	21,38	19,54	17,83	16,29	14,83	13,18
360	57,10	904,0	151,6	0,16300	25,54	25,54	25,54	23,55	21,64	19,88	18,31	16,71
400	66,30	1 160,0	158,0	0,14700	30,44	30,44	30,44	29,01	26,81	24,76	22,89	21,21
450	77,60	1 500,0	164,8	0,13000	37,30	37,30	37,30	36,60	33,88	31,33	29,01	26,91
500	90,70	1 930,0	172,4	0,11700	44,73	44,73	44,73	44,73	42,05	39,01	36,20	33,65
550	106,00	2 440,0	178,0	0,10600	53,64	53,64	53,64	53,64	51,98	48,40	45,06	42,00
600	122,00	3 070,0	186,4	0,09800	62,83	62,83	62,83	62,83	62,82	58,73	54,87	51,30

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,58500	5,03	4,64	3,74	2,99	2,50	2,14	1,87	1,66
120	26,70	144,0	122,4	0,48800	6,74	6,29	5,78	4,79	3,99	3,42	2,99	2,66
140	33,70	216,0	143,2	0,41900	8,60	8,18	7,60	7,01	5,99	5,13	4,49	3,99
160	42,60	311,0	162,0	0,36600	11,26	10,93	10,28	9,58	8,63	7,39	6,47	5,75
180	51,20	426,0	182,8	0,32600	13,52	13,51	12,79	12,00	11,22	10,13	8,86	7,88
200	61,30	570,0	202,8	0,29300	15,99	15,99	15,37	14,62	13,83	13,04	11,86	10,54
220	71,50	736,0	223,6	0,26600	18,58	18,58	18,15	17,35	16,50	15,64	14,80	13,61
240	83,20	938,0	243,2	0,24400	21,38	21,38	21,21	20,43	19,59	18,71	17,84	16,98
260	93,00	1 150,0	263,2	0,22600	23,29	23,29	23,29	22,69	21,91	21,09	20,25	19,41
280	103,00	1 380,0	283,6	0,21000	26,40	26,40	26,40	25,94	25,09	24,18	23,25	22,31
300	117,00	1 680,0	303,2	0,19500	29,66	29,66	29,66	29,48	28,65	27,75	26,81	25,86
320	127,00	1 930,0	302,8	0,18300	33,15	33,15	33,15	33,14	32,21	31,22	30,17	29,11
340	134,00	2 160,0	301,2	0,17200	36,69	36,69	36,69	36,69	35,80	34,67	33,50	32,30
360	142,00	2 400,0	299,6	0,16300	40,32	40,32	40,32	40,32	39,53	38,27	36,95	35,61
400	155,00	2 880,0	296,0	0,14600	48,10	48,10	48,10	48,10	47,53	45,93	44,27	42,60
450	171,00	3 550,0	293,2	0,13000	56,24	56,24	56,24	56,24	56,24	54,57	52,64	50,68
500	187,00	4 290,0	290,8	0,11700	64,53	64,53	64,53	64,53	64,53	63,64	61,45	59,22
550	199,00	4 970,0	286,8	0,10600	73,28	73,28	73,28	73,28	73,28	73,15	70,57	67,96
600	212,00	5 700,0	283,2	0,09800	82,65	82,65	82,65	82,65	82,65	82,65	80,51	77,46

5.6 1-C 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,33	0,30	0,28	0,26	0.24	0,22	0.21	0,20	0,18	0.17	0,17	0.15	0.14	80
0,57	0,52	0.47	0.44	0.41	0,38	0.36	0.33	0,32	0,30	0.28	0,26	0,24	100
0,88	0.80	0.73	0.68	0,63	0,59	0.55	0.52	0.49	0.46	0,44	0.40	0,37	120
1,29	1.17	1.07	0,99	0,92	0,86	0.80	0.76	0.71	0.68	0,64	0.58	0.54	140
1,81	1,65	1,51	1,39	1.30	1.21	1,13	1.07	1.01	0,95	0.91	0,82	0.76	160
2,43	2,21	2,02	1.87	1,73	1.62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,21	1,10	1.01	180
3,23	2.93	2.69	2,48	2.31	2.15	2.02	1.90	1.79	1,70	1.61	1.47	1.34	200
4,19	3.81	3,49	3.23	2.99	2,80	2.62	2.47	2.33	2,21	2,10	1.91	1,75	220
5,39	4.90	4,49	4.15	3.85	3.59	3.37	3.17	2.99	2.84	2,70	2,45	2.25	240
7,14	6,49	5,95	5.49	5,10	4.76	4,46	4,20	3,97	3,76	3,57	3.24	2,97	270
9,27	8,43	7,72	7.13	6,62	6.18	5.79	5.45	5.15	4.88	4.63	4,21	3.86	300
11,86	10.79	9,89	9,13	8.47	7.91	7.41	6,98	6.59	6.24	5.93	5,39	4,94	330
15,04	13,67	12,53	11.57	10.74	10,03	9,40	8.85	8,36	7,92	7,52	6.84	6,27	360
19,30	17.55	16,08	14,85	13,79	12,87	12.06	11.35	10.72	10.16	9,65	8,77	8.04	400
24,96	22.69	20,80	19,20	17,83	16.64	15,60	14.68	13.87	13.14	12.48	11.34	10,40	450
31,36	29,20	26,76	24.70	22.94	21,41	20,07	18,89	17.84	16.90	16.06	14.60	13,38	500
39,23	36,72	33,83	31.23	29,00	27,07	25,38	23.88	22,56	21,37	20,30	18.45	16.92	550
48,03	45.06	42.36	39,30	36,49	34,06	31,93	30,05	28,38	26,89	25,54	23.22	21.28	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,50	1,36	1.25	1,15	1,07	1,00	0.94	0.88	0,83	0,79	0,75	0,68	0.62	100
2,40	2,18	2.00	1.84	1.71	1,60	1.50	1,41	1,33	1.26	1,20	1.09	1.00	120
3,59	3.27	2.99	2.76	2,57	2.40	2.25	2,11	2,00	1.89	1.80	1.63	1,50	140
5,17	4,70	4,31	3,98	3.70	3,45	3.23	3.04	2.88	2,72	2.59	2,35	2,16	160
7,09	6.44	5,91	5,45	5.06	4,73	4.43	4,17	3.94	3.73	3,54	3.22	2.95	180
9,48	8,62	7,90	7,30	6,77	6.32	5.93	5,58	5,27	4.99	4,74	4.31	3,95	200
12,25	11,13	10,21	9.42	8,75	8,16	7,65	7,20	6,80	6,45	6.12	5,57	5.10	220
15,61	14.19	13,01	12.01	11,15	10.41	9,75	9.18	8.67	8,21	7,80	7.09	6,50	240
19,58	17,40	15.95	14.72	13.67	12,76	11.96	11,26	10,63	10.07	9,57	8.70	7.97	260
24,39	20.49	19,14	17.66	16.40	15.31	14.35	13.51	12,76	12,09	11,48	10,44	9.57	280
29,90	23,96	23,04	21.50	19.97	18,64	17.47	16,44	15,53	14,71	13,98	12.71	11.65	300
36,04	26,99	25,96	24.70	22.94	21,41	20.07	18.89	17,84	16,90	16.06	14,60	13,38	320
41,10	29.92	28,76	27.65	25,67	23,96	22,46	21.14	19,97	18,92	17,97	16.34	14.98	340
34,28	32.96	31,68	30,45	28.53	26.62	24,96	23.49	22.19	21,02	19.97	18.15	16,64	360
40.93	39,30	37.72	36,20	34.23	31,95	29.95	28.19	26.62	25,22	23,96	21.78	19.97	400
48,73	46.81	44,95	43.17	41.45	39,38	36,92	34,75	32,82	31,09	29.54	26,85	24.61	450
56,99	54.80	52,67	50,61	48,64	46,76	44.62	41.99	39.66	37.57	35.69	32.45	29,74	500
65,35	62.79	60,31	57,92	55.63	53,45	51.38	48.65	45,94	43.53	41,35	37.59	34,46	550
74,43	71.46	68,58	65,82	63,18	60,67	58,30	55.79	52,69	49.92	47,42	43.11	39,52	600

5.6 1-C 4



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

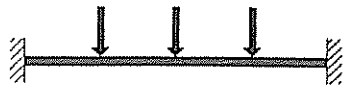
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
100	16,70	72,8	100,4	0,61100	4,06	3,72	3,03	2,42	2,02	1,73	1,51	1,35	1
120	19,90	106,0	120,8	0,51200	5,01	4,63	4,23	3,53	2,94	2,52	2,20	1,96	1
140	24,70	155,0	140,8	0,44000	6,54	6,10	5,60	5,11	4,30	3,68	3,22	2,87	2
160	30,40	220,0	159,2	0,38600	8,15	7,84	7,31	6,76	6,10	5,23	4,58	4,07	3
180	35,50	294,0	180,8	0,34300	9,30	9,15	8,63	8,07	7,52	6,99	6,11	5,44	4
200	42,30	389,0	199,2	0,30900	11,16	11,15	10,61	10,03	9,42	8,84	8,09	7,19	6
220	50,50	515,0	220,4	0,27900	13,34	13,34	12,93	12,28	11,62	10,95	10,31	9,52	8
240	60,30	675,0	240,0	0,25500	15,66	15,66	15,45	14,82	14,15	13,46	12,78	12,12	11
260	68,20	836,0	260,0	0,23400	17,05	17,05	17,05	16,52	15,92	15,28	14,63	13,99	13
280	76,40	1 010,0	280,0	0,21600	19,68	19,68	19,68	19,24	18,55	17,83	17,09	16,35	15
300	88,30	1 260,0	299,6	0,20200	22,45	22,45	22,45	22,23	21,56	20,83	20,08	19,32	18
320	97,60	1 480,0	299,6	0,18900	25,37	25,37	25,37	25,31	24,57	23,77	22,94	22,10	21,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,17800	28,46	28,46	28,46	28,46	27,68	26,77	25,82	24,86	23,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,16700	31,84	31,84	31,84	31,84	31,10	30,06	28,98	27,88	26,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,15000	38,76	38,76	38,76	38,76	38,16	36,81	35,41	34,01	32,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,13300	45,55	45,55	45,55	45,55	45,55	44,09	42,49	40,87	39,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,11900	53,02	53,02	53,02	53,02	53,02	52,19	50,36	48,49	46,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,10900	60,60	60,60	60,60	60,60	60,60	60,41	58,24	56,05	53,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,09900	68,54	68,54	68,54	68,54	68,54	68,54	66,71	64,16	61,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
100	41,80	190,0	109,6	0,48800	11,38	10,54	7,90	6,32	5,27	4,52	3,95	3,51	3,1
120	52,10	288,0	130,0	0,41700	14,40	13,57	11,98	9,58	7,99	6,85	5,99	5,32	4,7
140	63,20	411,0	150,8	0,36600	17,33	16,65	15,62	13,68	11,40	9,77	8,55	7,60	6,8
160	76,20	566,0	170,4	0,32500	21,20	20,76	19,68	18,50	15,70	13,45	11,77	10,46	9,4
180	88,90	748,0	190,8	0,29300	24,56	24,41	23,27	22,02	20,73	17,78	15,56	13,83	12,4
200	103,00	967,0	210,8	0,26600	28,12	28,12	27,23	26,02	24,73	22,99	20,11	17,88	16,0
220	117,00	1 220,0	231,6	0,24500	31,90	31,90	31,32	30,05	28,69	27,29	25,38	22,56	20,3
240	157,00	1 800,0	255,6	0,21700	41,28	41,28	41,25	40,01	38,63	37,18	35,69	33,28	29,9
260	172,00	2 160,0	276,0	0,20200	44,76	44,76	44,76	43,98	42,69	41,30	39,86	38,39	35,9
280	189,00	2 550,0	296,0	0,18900	49,47	49,47	49,47	49,00	47,63	46,14	44,59	43,01	41,4
300	238,00	3 480,0	320,0	0,17200	60,99	60,99	60,99	60,99	59,77	58,28	56,70	55,04	53,3
320	245,00	3 800,0	318,0	0,16300	64,49	64,49	64,49	64,49	63,51	61,93	60,25	58,49	56,7
340	248,00	4 050,0	316,0	0,15500	68,00	68,00	68,00	68,00	67,16	65,43	63,59	61,68	59,7
360	250,00	4 300,0	313,2	0,14800	71,63	71,63	71,63	71,63	70,95	69,05	67,03	64,95	62,8
400	256,00	4 820,0	308,0	0,13600	78,41	78,41	78,41	78,41	78,27	76,06	73,73	71,33	68,9
450	263,00	5 500,0	303,6	0,12200	87,18	87,18	87,18	87,18	87,18	85,33	82,59	79,78	76,9
500	270,00	6 180,0	298,4	0,11200	95,84	95,84	95,84	95,84	95,84	94,73	91,56	88,32	85,0
550	278,00	6 920,0	294,0	0,10200	104,81	104,81	104,81	104,81	104,81	104,80	101,18	97,50	93,8
600	285,00	7 660,0	288,8	0,09400	113,65	113,65	113,65	113,65	113,65	113,65	110,89	106,75	102,6

5.6 1-C 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,21	1,10	1,01	0,93	0,86	0.81	0,76	0.71	0,67	0,64	0,61	0,55	0.50	100
1,76	1,60	1,47	1,36	1,26	1,18	1.10	1.04	0,98	0.93	0.88	0.80	0,73	120
2,58	2,34	2,15	1,98	1,84	1.72	1,61	1.52	1,43	1.36	1.29	1,17	1.07	140
3,66	3,33	3,05	2,82	2,61	2,44	2.29	2,15	2.03	1,93	1,83	1,66	1.52	160
4,89	4.45	4,08	3,76	3,49	3,26	3,06	2.88	2.72	2.57	2.45	2.22	2.04	180
6,47	5,88	5,39	4.98	4,62	4,31	4.05	3,81	3.60	3.41	3,24	2,94	2.70	200
8,57	7,79	7,14	6.59	6,12	5,71	5.36	5.04	4.76	4,51	4.28	3.89	3.57	220
11,23	10.21	9.36	8.64	8,02	7,49	7,02	6,61	6,24	5,91	5,62	5.10	4,68	240
13,36	12,65	11,59	10,70	9.94	9,27	8,69	8,18	7,73	7,32	6,96	6,32	5,80	260
15,63	14,94	14.00	12.93	12.00	11.20	10,50	9,89	9,34	8,84	8.40	7,64	7,00	280
18,56	17,82	17,11	16,13	14,98	13,98	13,10	12,33	11,65	11,03	10.48	9.53	8,74	300
21,26	20,43	19,63	18,85	17.59	16,42	15,39	14.49	13,68	12.96	12.31	11,19	10,26	320
23,90	22.97	22.05	21,18	19.97	18.64	17,47	16,44	15,53	14,71	13,98	12,71	11.65	340
26,79	25,72	24,69	23,70	22,46	20.97	19,66	18,50	17,47	16,55	15,72	14.29	13.10	360
32,63	31,28	29,97	28,73	27,46	25,63	24,02	22.61	21,35	20,23	19,22	17,47	16,02	400
39,26	37,69	36,17	34,70	33,31	31,98	30,16	28.39	26,81	25.40	24,13	21,93	20,11	450
46,64	44,82	43.05	41.34	39,71	38,16	36.69	34,75	32,82	31.09	29.54	26.85	24,61	500
53,87	51,73	49,66	47.67	45,77	43,96	42,24	40,62	38,36	36,34	34.53	31,39	28,77	550
61,64	59,16	56,77	54,47	52,28	50,19	48,22	46,35	44.28	41,95	39.85	36.23	33.21	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,16	2,87	2,63	2.43	2,26	2,11	1.98	1,86	1.76	1.66	1,58	1,44	1,32	100
4,79	4.36	3,99	3.69	3,42	3,19	2.99	2,82	2.66	2.52	2,40	2,18	2,00	120
6,84	6.22	5.70	5.26	4,88	4,56	4,27	4.02	3,80	3,60	3,42	3.11	2.85	140
9,42	8,56	7,85	7,24	6,73	6,28	5,89	5,54	5,23	4,96	4,71	4,28	3,92	160
12,45	11,31	10,37	9,57	8,89	8,30	7,78	7.32	6,91	6.55	6,22	5,66	5,19	180
16,09	14.63	13.41	12,38	11,49	10,73	10,06	9.46	8,94	8,47	8.04	7.31	6,70	200
20.30	18,45	16,92	15,62	14.50	13.53	12,69	11,94	11.28	10,68	10,15	9,23	8,46	220
24,95	27,23	24,96	23,04	21.39	19,97	18,72	17,62	16,64	15,76	14.98	13,61	12,48	240
35,94	32.67	29,95	27.65	25,67	23.96	22,46	21.14	19,97	18,92	17.97	16,34	14,98	260
41,43	38,57	35,36	32,64	30,31	28,29	26,52	24,96	23,57	22,33	21,22	19,29	17,68	280
53.36	51.66	48,26	44,54	41.36	38,60	36.19	34,06	32,17	30,48	28.95	26,32	24,13	300
56,71	54.91	52.69	48.64	45,17	42.15	39,52	37,19	35,13	33,28	31,62	28,74	26,35	320
59,74	57,79	55.86	51,84	48,14	44,93	42,12	39,64	37.44	35,47	33,70	30.63	28.08	340
62,83	60.72	58,63	55,04	51,11	47,70	44,72	42,09	39,75	37,66	35,78	32,52	29,81	360
68,91	66,50	64,13	61,70	57,29	53.47	50.13	47.18	44.56	42,21	40,10	36.46	33,42	400
76,96	74.16	71.42	68,76	65,37	61.01	57,20	53,83	50,84	48,17	45.76	41,60	38,13	450
85,08	81.88	78,76	75,74	72,85	68.56	64,27	60.49	57,13	54,12	51,42	46,74	42.85	500
93.83	90,22	86,70	83,31	80.06	76.77	71,97	67.73	63.97	60,60	57,57	52,34	47,98	550
102,63	98.59	94,66	90,89	87.28	83,85	79.66	74,98	70.81	67,08	63,73	57.94	53,11	600

5.6 1-C 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

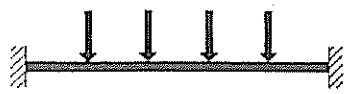
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	0,71300	1,27	0,84	0,63	0,51	0,42	0,36	0,32	0,28
100	8,32	34,2	42,8	0,57100	2,22	1,48	1,11	0,89	0,74	0,63	0,56	0,49
120	11,10	54,7	49,2	0,47600	3,32	2,37	1,78	1,42	1,18	1,02	0,89	0,79
140	14,40	81,9	56,0	0,40800	4,61	3,55	2,66	2,13	1,77	1,52	1,33	1,18
160	17,90	117,0	62,0	0,35700	6,15	5,02	3,80	3,04	2,53	2,17	1,90	1,69
180	21,90	161,0	68,4	0,31700	7,92	6,59	5,23	4,19	3,49	2,99	2,62	2,33
200	26,30	214,0	74,8	0,28500	9,64	8,33	6,95	5,56	4,64	3,97	3,48	3,09
220	31,10	278,0	80,8	0,25900	11,48	10,36	8,87	7,23	6,02	5,16	4,52	4,02
240	36,20	354,0	88,0	0,23800	13,47	12,61	10,91	9,20	7,67	6,57	5,75	5,11
260	41,90	442,0	92,8	0,22000	15,76	15,18	13,25	11,49	9,58	8,21	7,18	6,38
280	48,00	542,0	98,0	0,20400	18,21	17,99	15,81	13,91	11,74	10,07	8,81	7,83
300	54,20	653,0	102,4	0,19000	20,85	20,85	18,63	16,47	14,15	12,13	10,61	9,43
320	61,10	782,0	106,8	0,17800	23,63	23,63	21,70	19,30	16,94	14,52	12,71	11,30
340	68,10	923,0	112,0	0,16800	26,62	26,62	25,02	22,35	20,00	17,14	15,00	13,33
360	76,20	1 090,0	116,0	0,15900	29,94	29,94	28,78	25,84	23,22	20,24	17,71	15,74
380	84,00	1 260,0	120,8	0,15000	33,32	33,32	32,66	29,44	26,55	23,40	20,47	18,20
400	92,60	1 460,0	125,2	0,14300	36,84	36,84	36,79	33,30	30,14	27,11	23,72	21,09
450	115,00	2 040,0	137,2	0,12700	46,46	46,46	46,46	44,19	40,36	36,90	33,15	29,47
500	141,00	2 750,0	148,8	0,11400	57,33	57,33	57,33	56,82	52,28	48,09	44,32	39,72
550	167,00	3 610,0	160,8	0,10400	66,71	66,71	66,71	66,71	64,13	59,58	55,37	51,53
600	199,00	4 630,0	172,0	0,09500	82,54	82,54	82,54	82,54	81,31	75,66	70,41	65,61

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	0,71300	1,72	1,15	0,86	0,69	0,57	0,49	0,43	0,38
100	10,60	41,2	58,8	0,57100	2,68	1,78	1,34	1,07	0,89	0,76	0,67	0,59
120	13,40	60,7	63,6	0,47600	3,94	2,63	1,97	1,58	1,31	1,13	0,99	0,88
140	16,00	86,4	70,0	0,40800	5,44	3,74	2,81	2,25	1,87	1,60	1,40	1,25
160	18,80	116,0	75,6	0,35800	7,06	5,03	3,77	3,02	2,51	2,15	1,88	1,68
180	22,00	150,0	80,8	0,31700	8,57	6,50	4,88	3,90	3,25	2,79	2,44	2,17
200	25,30	191,0	85,6	0,28500	10,47	8,28	6,21	4,97	4,14	3,55	3,10	2,76
220	29,40	245,0	92,0	0,26000	12,45	10,48	7,96	6,37	5,31	4,55	3,98	3,54
240	33,20	300,0	96,8	0,23800	14,34	12,50	9,75	7,80	6,50	5,57	4,88	4,33
260	37,90	371,0	102,4	0,22000	16,37	14,86	12,06	9,65	8,04	6,89	6,03	5,36
280	41,80	448,0	109,6	0,20400	17,72	16,86	14,52	11,65	9,71	8,32	7,28	6,47
300	46,20	535,0	116,0	0,19000	19,07	18,85	16,49	13,91	11,59	9,94	8,69	7,73

5.6 I-C S

piezas sometidas a flexión



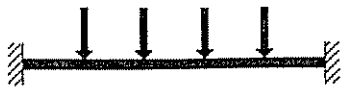
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.25	0.23	0,21	0,19	0 18	0 17	0 16	0 15	0 14	0 13	0 13	0 11	0 11	80
0 44	0 40	0 37	0 34	0 32	0.30	0.28	0,26	0.25	0,23	0.22	0.20	01,8	100
0,71	0.65	0,59	0.55	0.51	0.47	0.44	0.42	0,39	0.37	0.36	0 32	0.30	120
1,06	0.97	0,89	0,82	0,76	0.71	0.66	0,63	0,59	0.56	0,53	0.48	0,44	140
1,52	1,38	1.27	1,17	1.09	1.01	0,95	0,89	0.84	0,80	0.76	0.69	0,63	160
2,09	1.90	1.74	1.61	1.49	1.39	1.31	1,23	1.16	1,10	1.05	0.95	0,87	180
2,78	2.53	2,32	2,14	1,99	1.85	1.74	1.64	1,55	1.46	1,39	1.26	1,16	200
3.61	3.28	3.01	2.78	2.58	2.41	2,26	2,13	2.01	1,90	1.81	1,64	1,51	220
4.60	4,18	3,83	3,54	3.29	3,07	2.88	2,71	2.56	2.42	2,30	2.09	1.92	240
5,75	5.22	4.79	4.42	4,10	3,83	3.59	3.38	3.19	3,02	2,87	2.61	2,39	260
7.05	6.40	5,87	5.42	5.03	4.70	4.40	4,14	3.91	3,71	3,52	3,20	2.94	280
8,49	7.72	7,07	6,53	6,06	5,66	5,31	4.99	4.72	4.47	4.24	3.86	3.54	300
10.17	9.24	8,47	7.82	7.26	6.78	6.35	5,98	5,65	5,35	5.08	4,62	4.24	320
12.00	10,91	10,00	9,23	8,57	8,00	7.50	7.06	6,67	6.31	6.00	5.45	5,00	340
14,17	12.88	11.81	10,90	10.12	9.45	8,86	8.33	7.87	7,46	7.08	6,44	5.90	360
16,38	14,89	13.65	12.60	11,70	10.92	10,24	9,63	9,10	8,62	8.19	7.44	6,82	380
18,98	17.25	15.82	14,60	13.56	12.65	11,86	11,16	10.54	9,99	9,49	8,63	7,91	400
26,52	24.11	22.10	20,40	18.94	17.68	16.57	15.60	14,73	13.96	13,26	12,05	11.05	450
35.75	32.50	29.79	27.50	25.54	23.83	22.34	21.03	19,86	18,82	17,88	16,25	14.90	500
46.93	42,66	39.11	36.10	33.52	31,29	29,33	27.61	27.07	24,70	23.46	21.33	19,55	550
60.19	54.72	50.16	46.30	42.99	40,13	37,62	35,41	33,44	31,68	30.09	27,36	25.08	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,34	0,31	0,29	0.26	0.25	0.23	0,21	0,20	0,19	0,18	0.17	0,16	0,14	80
0.54	0,49	0,45	0,41	0,38	0,36	0,33	0,31	0.30	0,28	0.27	0,24	0,22	100
0.79	0.72	0,66	0,61	0,56	0,53	0,49	0,46	0,44	0.41	0,39	0.36	0,33	120
1.12	1.02	0.94	0,86	0,80	0,75	0,70	0.66	0.62	0,59	0.56	0,51	0.47	140
1,51	1.37	1,26	1,16	1,08	1,00	0.94	0,89	0,84	0.79	0,75	0.68	0,63	160
1.95	1.77	1.63	1,50	1.39	1.30	1.22	1,15	1.08	1,03	0,97	0.89	0.81	180
2.48	2.26	2,07	1,91	1.77	1,65	1,55	1,46	1,38	1,31	1.24	1.13	1,03	200
3,18	2.89	2.65	2.45	2.27	2.12	1,99	1,87	1,77	1.68	1,59	1,45	1.33	220
3,90	3,54	3.25	3,00	2.79	2,60	2.44	2.29	2.17	2,05	1.95	1,77	1.63	240
4.82	4,38	4,02	3.71	3,44	3.21	3,01	2,84	2,68	2.54	2.41	2,19	2,01	260
5.82	5.29	4.85	4.48	4.16	3.88	3.64	3,43	3,24	3,06	2,91	2.65	2.43	280
6.95	6.32	5.80	5.35	4,97	4,64	4,35	4,09	3,86	3.66	3.48	3,16	2,90	300

5.6 1-C 5



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

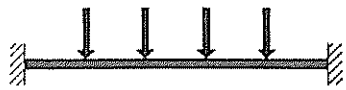
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,71300	1,30	0,87	0,65	0,52	0,43	0,37	0,32	0,29
100	8,10	34,2	49,6	0,57100	2,16	1,48	1,11	0,89	0,74	0,63	0,56	0,49
120	10,40	53,0	58,0	0,47600	3,01	2,30	1,72	1,38	1,15	0,98	0,86	0,77
140	12,90	77,3	66,0	0,40800	4,00	3,26	2,51	2,01	1,67	1,44	1,26	1,12
160	15,80	109,0	73,6	0,35800	5,14	4,32	3,54	2,83	2,36	2,02	1,77	1,57
180	18,80	146,0	82,0	0,31600	6,31	5,46	4,65	3,80	3,16	2,71	2,37	2,11
200	22,40	194,0	89,6	0,28500	7,41	6,74	5,87	5,04	4,20	3,60	3,15	2,80
220	26,20	252,0	99,2	0,26000	8,58	8,17	7,21	6,37	5,46	4,68	4,09	3,64
240	30,70	324,0	107,6	0,23800	9,89	9,75	8,78	7,87	7,02	6,02	5,26	4,68
270	36,10	429,0	120,8	0,21100	11,85	11,85	10,93	9,87	8,91	7,97	6,97	6,20
300	42,20	557,0	134,0	0,19000	14,19	14,19	13,52	12,27	11,13	10,12	9,05	8,05
330	49,10	713,0	142,0	0,17300	16,48	16,48	16,26	14,93	13,67	12,53	11,51	10,30
360	57,10	904,0	151,6	0,15900	19,15	19,15	19,15	17,96	16,56	15,27	14,09	13,04
400	66,30	1 160,0	158,0	0,14300	22,83	22,83	22,83	22,10	20,50	18,98	17,60	16,34
450	77,60	1 500,0	164,8	0,12700	27,97	27,97	27,97	27,87	25,89	24,02	22,29	20,73
500	90,70	1 930,0	172,4	0,11400	33,55	33,55	33,55	33,55	32,11	29,88	27,80	25,91
550	106,00	2 440,0	178,0	0,10400	40,23	40,23	40,23	40,23	39,65	37,04	34,58	32,30
600	122,00	3 070,0	186,4	0,09500	47,12	47,12	47,12	47,12	47,12	44,89	42,06	39,41

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,57100	3,79	3,52	2,92	2,34	1,95	1,67	1,46	1,30
120	26,70	144,0	122,4	0,47600	5,08	4,76	4,40	3,74	3,12	2,67	2,34	2,08
140	33,70	216,0	143,2	0,40800	6,45	6,18	5,77	5,35	4,68	4,01	3,51	3,12
160	42,60	311,0	162,0	0,35600	8,45	8,25	7,79	7,29	6,74	5,78	5,05	4,49
180	51,20	426,0	182,8	0,31700	10,14	10,14	9,68	9,12	8,55	7,91	6,92	6,15
200	61,30	570,0	202,8	0,28500	11,99	11,99	11,62	11,08	10,51	9,95	9,26	8,23
220	71,50	736,0	223,6	0,26000	13,93	13,93	13,70	13,13	12,53	11,91	11,30	10,63
240	83,20	938,0	243,2	0,23800	16,04	16,04	15,99	15,44	14,84	14,22	13,59	12,96
260	93,00	1 150,0	263,2	0,22000	17,47	17,47	17,47	17,13	16,58	15,99	15,39	14,78
280	103,00	1 380,0	283,6	0,20400	19,80	19,80	19,80	19,58	18,97	18,33	17,66	16,99
300	117,00	1 680,0	303,2	0,19000	22,25	22,25	22,25	22,23	21,64	21,01	20,34	19,65
320	127,00	1 930,0	302,8	0,17900	24,86	24,86	24,86	24,86	24,33	23,63	22,88	22,12
340	134,00	2 160,0	301,2	0,16800	27,51	27,51	27,51	27,51	27,05	26,25	25,41	24,55
360	142,00	2 400,0	299,6	0,15900	30,24	30,24	30,24	30,24	29,86	28,97	28,03	27,07
400	155,00	2 880,0	296,0	0,14200	36,08	36,08	36,08	36,08	35,92	34,79	33,61	32,40
450	171,00	3 550,0	293,2	0,12700	42,18	42,18	42,18	42,18	42,18	41,33	39,95	38,54
500	187,00	4 290,0	290,8	0,11400	48,40	48,40	48,40	48,40	48,40	48,18	46,62	45,01
550	199,00	4 970,0	286,8	0,10400	54,96	54,96	54,96	54,96	54,96	54,96	53,55	51,68
600	212,00	5 700,0	283,2	0,09500	61,99	61,99	61,99	61,99	61,99	61,99	61,11	58,92

5.6 1-C 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,26	0,24	0.22	0,20	0.19	0.17	0,16	0.15	0,14	0,14	0,13	0,12	0.11	80
0,44	0,40	0,37	0.34	0,32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0,22	0,20	0.18	100
0,69	0.63	0.57	0.53	0,49	0,46	0,43	0.40	0.38	0,36	0.34	0.31	0.29	120
1,00	0.91	0.84	0,77	0.72	0.67	0.63	0,59	0,56	0.53	0,50	0,46	0,42	140
1,42	1.29	1.18	1,09	1.01	0.94	0.89	0.83	0.79	0,75	0,71	0.64	0.59	160
1,90	1.72	1,58	1.46	1,36	1,26	1.19	1,12	1,05	1,00	0,95	0,86	0,79	180
2,52	2.29	2.10	1,94	1.80	1.68	1,58	1.48	1,40	1.33	1,26	1.15	1,05	200
3,28	2.98	2.73	2.52	2.34	2.18	2.05	1,93	1,82	1.72	1,64	1,49	1,36	220
4,21	3.83	3,51	3,24	3,01	2.81	2.63	2.48	2.34	2,22	2,11	1,91	1.75	240
5,58	5,07	4.65	4,29	3,98	3,72	3,49	3.28	3.10	2,93	2,79	2.53	2.32	270
7,24	6.58	6,03	5.57	5,17	4.83	4.53	4,26	4.02	3.81	3,62	3,29	3,02	300
9,27	8,43	7,72	7,13	6.62	6,18	5.79	5,45	5.15	4.88	4,63	4,21	3,86	330
11,75	10,68	9;79	9,04	8,39	7,83	7.34	6.91	6.53	6.18	5,88	5.34	4,90	360
15,08	13.71	12,57	11.60	10,77	10,05	9.42	8,87	8.38	7,94	7.54	6.85	6.28	400
19,32	17,73	16,25	15.00	13,93	13,00	12.19	11.47	10,83	10,26	9.75	8.86	8,13	450
24,18	22,63	20.91	19.30	17,92	16,73	15.68	14,76	13.94	13.20	12,54	11,40	10,45	500
30,23	28,34	26,43	24,40	22,66	21,15	19,82	18,66	17.62	16,69	15.86	14,42	13.22	550
36,98	34,75	32,72	30,70	28.51	26,61	24,94	23,48	22,17	21,00	19.95	18,14	16,63	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8;0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,17	1,06	0,97	0,90	0.84	0.78	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0.53	0,49	100
1,87	1.70	1.56	1,44	1,34	1.25	1,17	1.10	1.04	0,98	0.94	0,85	0.78	120
2,81	2,55	2.34	2,16	2,01	1,87	1.75	1,65	1.56	1,48	1,40	1,28	1,17	140
4,04	3.67	3,37	3.11	2.89	2.69	2.53	2,38	2,25	2.13	2,02	1.84	1,68	160
5,54	5.03	4.61	4,26	3.96	3,69	3,46	3,26	3.08	2,91	2.77	2,52	2.31	180
7,41	6.74	6,17	5.70	5,29	4.94	4.63	4,36	4,12	3.90	3.70	3.37	3.09	200
9.57	8,70	7.97	7,36	6.83	6.38	5.98	5.63	5,32	5,04	4.78	4,35	3,99	220
12,19	11,08	10,16	9,38	8.71	8.13	7,62	7.17	6,77	6.42	6,10	5,54	5.08	240
14,18	13.59	12,46	11,50	10,68	9.97	9,34	8,79	8,31	7,87	7,47	6.79	6,23	260
16,31	15,66	14.95	13,80	12,81	11,96	11.21	10,55	9,97	9.44	8,97	8,15	7,47	280
18,96	18.28	17.61	16,80	15,60	14.56	13,65	12,85	12.13	11,49	10,92	9,93	9.10	300
21,35	20.59	19,84	19,11	17,92	16.73	15.68	14,76	13,94	13.20	12,54	11.40	10,45	320
23,68	22.82	21.98	21,17	20.06	18.72	17.55	16,52	15.60	14,78	14.04	12,76	11,70	340
26,11	25.15	24.22	23,31	22.29	20.80	19,50	18,35	17.33	16.42	15.60	14,18	13,00	360
31,19	30,01	28,85	27.73	26,66	24,96	23.40	22,02	20,80	19.70	18.72	17,02	15.60	400
37.13	35.74	34.38	33,06	31.80	30.60	28,84	27.15	25.64	24,29	23,07	20,98	19,23	450
43.41	41,82	40,26	38.75	37,30	35,91	34.58	32,81	30,98	29.35	27.88	25,35	23.24	500
49,79	47.93	46.12	44.36	42,67	41.06	39,52	38.01	35.89	34.00	32.30	29,37	26,92	550
56,73	54.57	52.46	50,43	48,48	46.62	44.85	43,17	41,17	39,00	37.05	33,68	30,88	600

5.6 1-C 5



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

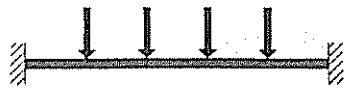
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
100	16,70	72,8	100,4	0,59500	3,07	2,82	2,37	1,89	1,58	1,35	1,18	1,05	0
120	19,90	106,0	120,8	0,49900	3,78	3,51	3,22	2,76	2,30	1,97	1,72	1,53	1
140	24,70	155,0	140,8	0,42900	4,90	4,62	4,26	3,90	3,36	2,88	2,52	2,24	2
160	30,40	220,0	159,2	0,37600	6,11	5,92	5,55	5,15	4,77	4,09	3,57	3,18	2
180	35,50	294,0	180,8	0,33400	6,98	6,91	6,54	6,14	5,74	5,35	4,78	4,25	3
200	42,30	389,0	199,2	0,30100	8,37	8,37	8,03	7,61	7,18	6,75	6,32	5,62	5
220	50,50	515,0	220,4	0,27200	10,01	10,01	9,77	9,31	8,83	8,35	7,88	7,44	6,
240	60,30	675,0	240,0	0,24800	11,74	11,74	11,66	11,21	10,73	10,24	9,74	9,26	8,
260	68,20	836,0	260,0	0,22800	12,79	12,79	12,79	12,48	12,05	11,59	11,13	10,66	10,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,21100	14,76	14,76	14,76	14,53	14,04	13,52	12,99	12,46	11,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,19700	16,83	16,83	16,83	16,77	16,29	15,78	15,24	14,70	14,
320	97,60	1 480,0	299,6	0,18400	19,03	19,03	19,03	19,03	18,56	18,00	17,41	16,80	16,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,17300	21,34	21,34	21,34	21,34	20,92	20,27	19,60	18,91	18,
360	112,00	1 890,0	297,2	0,16300	23,88	23,88	23,88	23,88	23,51	22,77	21,99	21,21	20,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,14600	29,07	29,07	29,07	29,07	28,85	27,89	26,90	25,89	24,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,13000	34,16	34,16	34,16	34,16	34,16	33,39	32,25	31,09	29,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,11600	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,52	38,21	36,88	35,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,10600	45,45	45,45	45,45	45,45	45,45	45,45	44,21	42,63	41,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,09700	51,41	51,41	51,41	51,41	51,41	51,41	50,64	48,81	46,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	0,47600	8,57	8,06	6,17	4,94	4,12	3,53	3,09	2,74	2,47
120	52,10	288,0	130,0	0,40700	10,83	10,26	9,36	7,49	6,24	5,35	4,68	4,16	3,74
140	63,20	411,0	150,8	0,35700	13,00	12,58	11,84	10,69	8,90	7,63	6,68	5,94	5,34
160	76,20	566,0	170,4	0,31700	15,90	15,66	14,89	14,06	12,26	10,51	9,20	8,18	7,36
180	88,90	748,0	190,8	0,28500	18,42	18,40	16,70	16,71	15,78	13,89	12,15	10,80	9,72
200	103,00	967,0	210,8	0,25900	21,09	21,09	20,56	19,70	18,78	17,85	15,71	13,97	12,57
220	117,00	1 220,0	231,6	0,23800	23,92	23,92	23,63	22,73	21,76	20,76	19,76	17,62	15,86
240	157,00	1 800,0	255,6	0,21100	30,96	30,96	30,96	30,20	29,23	28,19	27,12	26,00	23,40
260	172,00	2 160,0	276,0	0,19700	33,57	33,57	33,57	33,17	32,26	31,27	30,24	29,19	28,08
280	189,00	2 550,0	296,0	0,18400	37,11	37,11	37,11	36,95	35,98	34,93	33,82	32,69	31,54
300	238,00	3 480,0	320,0	0,16800	45,74	45,74	45,74	45,74	45,08	44,08	42,91	41,73	40,53
320	245,00	3 800,0	318,0	0,15900	48,37	48,37	48,37	48,37	47,90	46,79	45,60	44,35	43,07
340	248,00	4 050,0	316,0	0,15100	51,00	51,00	51,00	51,00	50,66	49,44	48,14	46,78	45,39
360	250,00	4 300,0	313,2	0,14500	53,72	53,72	53,72	53,72	53,54	52,19	50,76	49,28	47,76
400	256,00	4 820,0	308,0	0,13200	58,81	58,81	58,81	58,81	58,81	57,52	55,86	54,15	52,41
450	263,00	5 500,0	303,6	0,11900	65,38	65,38	65,38	65,38	65,38	64,56	62,61	60,60	58,56
500	270,00	6 180,0	298,4	0,10900	71,88	71,88	71,88	71,88	71,88	71,70	69,44	67,12	64,78
550	278,00	6 920,0	294,0	0,10000	78,61	78,61	78,61	78,61	78,61	78,61	76,76	74,12	71,47
600	285,00	7 660,0	288,8	0,09200	85,23	85,23	85,23	85,23	85,23	85,23	84,16	81,18	78,20

5.6 1-C 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,95	0.86	0.79	0,73	0,68	0,63	0,59	0.56	0,53	0.50	0,47	0,43	0.39	100
1,38	1,25	1.15	1.06	0,98	0.92	0.86	0.81	0.77	0,72	0,69	0,63	0,57	120
2,01	1,83	1.68	1,55	1,44	1,34	1.26	1.18	1,12	1.06	1,01	0,92	0,84	140
2,86	2.60	2,38	2,20	2,04	1,91	1.79	1,68	1,59	1,50	1.43	1.30	1.19	160
3,82	3,47	3,18	2,94	2.73	2.55	2,39	2,25	2,12	2,01	1,91	1.74	1,59	180
5,06	4.60	4.21	3,89	3,61	3,37	3,16	2,97	2,81	2.66	2,53	2,30	2,11	200
6,69	6,09	5,58	5,15	4.78	4.46	4.18	3.94	3.72	3.52	3.35	3,04	2,79	220
8,77	7.98	7,31	6,75	6.27	5.85	5.48	5,16	4,88	4,62	4,39	3,99	3.66	240
10,20	9,76	9.06	8,36	7.76	7.24	6,79	6.39	6,04	5,72	5,43	4,94	4,53	260
11,94	11,43	10.94	10,10	9,38	8,75	8.21	7.72	7.29	6.91	6,56	5,97	5.47	280
14,15	13.61	13,09	12,58	11.70	10.92	10.24	9,63	9,10	8,62	8,19	7.44	6.82	300
16,19	15.59	15,01	14.44	13.74	12.83	12,02	11,32	10.69	10,13	9,62	8,74	8,02	320
18,21	17,53	16,87	16,22	15,60	14,56	13.65	12.85	12.13	11.49	10.92	9,93	9,10	340
20,42	19.64	18,89	18,16	17,46	16.38	15.36	14,45	13,65	12.93	12.28	11,17	10,24	360
24,88	23,90	22.94	22,03	21.15	20,02	18,77	17,66	16,68	15,80	15,01	13,65	12.51	400
29,93	28,78	27,67	26,59	25,56	24,58	23,56	22.18	20.94	19,84	18,85	17.14	15,71	450
35,53	34.21	32,92	31,67	30,46	29,31	28.22	27.15	25.64	24.29	23.07	20,98	19,23	500
41,05	39,50	37,99	36,52	35,12	33.77	32,50	31,29	29,97	28,39	26,97	24.52	22,48	550
46,98	45.18	43,43	41,74	40.12	38,57	37,10	35,71	34,39	32,77	31,13	28,30	25,95	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6.0	6.5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
2,47	2.24	2.06	1,90	1,76	1,65	1,54	1.45	1.37	1.30	1.23	1.12	1,03	100
3,74	3,40	3,12	2.88	2.67	2,50	2.34	2.20	2,08	1.97	1,87	1.70	1,56	120
5,34	4,86	4,45	4.11	3,82	3.56	3,34	3.14	2,97	2,81	2,67	2.43	2,23	140
7,36	6.69	6,13	5,66	5.26	4,90	4.60	4.33	4.09	3.87	3.68	3.34	3.07	160
9,72	8,84	8.10	7,48	6,95	6,48	6.08	5,72	5,40	5,12	4.86	4.42	4.05	180
12,57	11,43	10.48	9.67	8.98	8,38	7.86	7.39	6.98	6,62	6.28	5,71	5,24	200
15,86	14.42	13.22	12.20	11.33	10.57	9.91	9,33	8,81	8.35	7,93	7,21	6.61	220
23.40	21,27	19,50	18.00	16.71	15,60	14.63	13,76	13,00	12,32	11,70	10,64	9,75	240
28,08	25,53	23,40	21,60	20,06	18,72	17,55	16.52	15,60	14,78	14.04	12.76	11,70	260
31.54	30.14	27,63	25,50	23.68	22,10	20,72	19.50	18,42	17,45	16,57	15,07	13.81	280
40,53	39.31	37,70	34.80	32,31	30,16	28.27	26,61	25,13	23,81	22.62	20,56	18,85	300
43,07	41.78	40.49	38,00	35,29	32.93	30.88	29,06	27,44	26.00	24.70	22.45	20,58	320
45,39	43.98	42.59	40,50	37.61	35,10	32.91	30.97	29.25	27,71	26.32	23.93	21.94	340
47.76	46,23	44.72	43,00	39.93	37.27	34,94	32,88	31.06	29,42	27,95	25,41	23,29	360
52.41	50.67	48,95	47,26	44,76	41,77	39.16	36,86	34.81	32.98	31.33	28.48	26,11	400
58,56	56.54	54.55	52.60	50.72	47,67	44.69	42,06	39.72	37.63	35,75	32,50	29,79	450
64,78	62.46	60.19	57.97	55,84	53.56	50.21	47,26	44,63	42,28	40,17	36.52	33.47	500
71,47	68.85	66.28	63,79	61,40	59.10	56,22	52.92	49,98	47.35	44,98	40,89	37,48	550
78,20	75.26	72,40	69.63	66.96	64,41	61,99	58,58	55,32	52,41	49,79	45.26	41,49	600

5.6 1-C 5



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

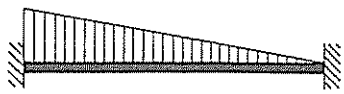
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	0,57500	9,61	4,51	2,53	1,62	1,13	0,83	0,63	0,50
100	8,32	34,2	42,8	0,46000	15,16	7,90	4,45	2,84	1,98	1,45	1,11	0,88
120	11,10	54,7	49,2	0,38300	21,92	12,19	7,11	4,55	3,16	2,32	1,78	1,40
140	14,40	81,9	56,0	0,32900	29,37	17,00	10,65	6,81	4,73	3,48	2,66	2,10
160	17,90	117,0	62,0	0,28800	37,15	22,76	14,76	9,73	6,76	4,97	3,80	3,00
180	21,90	161,0	68,4	0,25500	45,94	29,43	19,34	13,39	9,30	6,83	5,23	4,13
200	26,30	214,0	74,8	0,23000	55,07	36,62	24,38	17,28	12,36	9,08	6,95	5,49
220	31,10	278,0	80,8	0,20900	65,62	43,75	30,27	21,67	16,06	11,80	9,03	7,14
240	36,20	354,0	88,0	0,19100	76,98	51,32	36,77	26,53	19,95	15,03	11,50	9,09
260	41,90	442,0	92,8	0,17700	90,04	60,03	44,21	32,10	24,27	18,76	14,36	11,35
280	48,00	542,0	98,0	0,16400	104,04	69,36	52,02	38,21	29,02	22,71	17,61	13,92
300	54,20	653,0	102,4	0,15300	119,14	79,43	59,57	44,90	34,24	26,89	21,22	16,77
320	61,10	782,0	106,8	0,14400	135,01	90,01	67,51	52,16	39,97	31,51	25,40	20,08
340	68,10	923,0	112,0	0,13500	152,13	101,42	76,06	60,01	46,15	36,48	29,49	23,70
360	76,20	1 090,0	116,0	0,12800	171,11	114,07	85,55	68,44	53,17	42,18	34,19	27,99
380	84,00	1 260,0	120,8	0,12100	190,39	126,92	95,19	76,15	60,40	48,06	39,06	32,29
400	92,60	1 460,0	125,2	0,11500	210,50	140,33	105,25	84,20	68,13	54,38	44,30	36,70
450	115,00	2 040,0	137,2	0,10200	265,47	176,98	132,74	106,19	88,49	72,15	59,17	49,30
500	141,00	2 750,0	148,8	0,09200	327,57	218,38	163,79	131,03	109,19	92,77	76,49	64,04
550	167,00	3 610,0	160,8	0,08400	381,23	254,15	190,61	152,49	127,08	108,92	93,55	78,92
600	199,00	4 630,0	172,0	0,07700	471,68	314,45	235,84	188,67	157,23	134,77	117,92	100,12

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	0,57500	13,78	6,12	3,44	2,20	1,53	1,13	0,86	0,68
100	10,60	41,2	58,8	0,46000	19,89	9,52	5,36	3,43	2,38	1,75	1,34	1,06
120	13,40	60,7	63,6	0,38300	28,35	14,03	7,89	5,05	3,51	2,58	1,97	1,56
140	16,00	86,4	70,0	0,32800	35,29	19,97	11,23	7,19	4,99	3,67	2,81	2,22
160	18,80	116,0	75,6	0,28800	44,54	26,03	15,08	9,65	6,70	4,92	3,77	2,98
180	22,00	150,0	80,8	0,25500	51,70	31,68	19,50	12,48	8,67	6,37	4,88	3,85
200	25,30	191,0	85,6	0,23000	61,08	38,73	24,83	15,89	11,04	8,11	6,21	4,90
200	29,40	245,0	92,0	0,20900	71,12	46,90	30,75	20,38	14,16	10,40	7,96	6,29
240	33,20	300,0	96,8	0,19200	81,94	54,63	36,65	24,96	17,33	12,73	9,75	7,70
260	37,90	371,0	102,4	0,17700	93,54	62,36	43,50	30,87	21,44	15,75	12,06	9,53
280	41,80	448,0	109,6	0,16400	101,26	67,50	49,22	35,38	25,88	19,02	14,56	11,50
300	46,20	535,0	116,0	0,15300	108,99	72,66	54,49	39,92	30,23	22,71	17,39	13,74

5.6 1-C 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_a = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,41	0,33	0,28	0,24	0.21	0,18	0,16	0.14	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	80
0,71	0,59	0,49	0,42	0,36	0,32	0,28	0,25	0.22	0,20	0,18	0.15	0,12	100
1,14	0,94	0,79	0,67	0,58	0.51	0,44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,23	0,20	120
1,70	1,41	1,18	1.01	0.87	0.76	0,66	0.59	0,53	0.47	0,43	0,35	0.30	140
2,43	2,01	1,69	1.44	1,24	1.08	0.95	0,84	0,75	0.67	0,61	0,50	0,42	160
3,35	2,77	2,33	1,98	1,71	1,49	1,31	1,16	1,03	0,93	0.84	0,69	0,58	180
4,45	3,68	3,09	2,63	2,27	1,98	1,74	1,54	1.37	1.23	1,11	0,92	0,77	200
5,78	4,78	4,02	3.42	2,95	2,57	2.26	2,00	1.78	1,60	1,45	1,19	1,00	220
7,36	6,08	5,11	4,36	3,76	3.27	2.88	2.55	2,27	2,04	1.84	1,52	1.28	240
9,19	7,60	6,38	5,44	4,69	4,09	3,59	3 18	2,84	2,55	2,30	1,90	1,60	260
11,27	9,32	7,83	6,67	5,75	5,01	4,40	3,90	3,48	3,12	2,82	2.33	1,96	280
13,58	11,22	9,43	8,04	6,93	6,04	5,31	4,70	4.19	3,76	3,40	2,81	2.36	300
16,27	13,44	11,30	9,63	8,30	7.23	6,35	5,63	5,02	4,51	4,07	3.36	2,82	320
19,20	15,87	13,33	11.36	9,79	8.53	7.50	6.64	5,92	5,32	4.80	3,97	3,33	340
22,67	18,74	15,74	13,41	11,57	10,08	8,86	7,84	7,00	6,28	5.67	4,68	3.94	360
26,21	21,66	18,20	15,51	13,37	11,65	10,24	9,07	8.09	7,26	6,55	5,41	4.55	380
30,37	25,10	21,09	17,97	15,49	13,50	11,86	10,51	9.37	8,41	7.59	6,27	5.27	400
41,64	35,07	29,47	25,11	21,65	18,86	16,57	14,68	13,10	11,75	10,61	8,77	7,37	450
54,32	46,58	39,72	33.85	29.18	25,42	22,34	19,79	17,65	15,84	14,30	11,82	9.93	500
67,38	58,13	50,60	44,40	38,31	33,37	29,33	25,98	23.17	20,80	18,77	15,51	13,04	550
85,59	73,91	64,39	56,55	49,13	42,80	37,62	33,32	29,72	26.68	24,08	19,90	16,72	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,55	0,46	0,38	0,33	0,28	0,24	0.21	0,19	0.17	0,15	0,14	0,11	0,10	80
0.86	0,71	0,59	0,51	0,44	0,38	0,33	0,30	0,26	0.24	0.21	0.18	0,15	100
1,26	1.04	0,88	0.75	0,64	0.56	0,49	0,44	0.39	0,35	0,32	0,26	0,22	120
1.80	1,48	1,25	1,06	0,92	0,80	0.70	0.62	0,55	0,50	0,45	0,37	0,31	140
2,41	1,99	1,68	1,43	1,23	1,07	0.94	0.83	0,74	0,67	0,60	0,50	0,42	160
3,12	2,58	2,17	1.85	1,59	1,39	1,22	1,08	0,96	0,86	0,78	0,64	0,54	180
3,97	3,28	2,76	2,35	2,03	1,77	1,55	1.38	1,23	1,10	0,99	0,82	0,69	200
5,10	4.21	3,54	3.01	2.60	2.26	1,99	1,76	1.57	1,41	1,27	1,05	0,88	220
6,24	5,16	4,33	3,69	3,18	2,77	2,44	2.16	1,93	1,73	1,56	1,29	1.08	240
7,72	6,38	5,36	4.57	3,94	3,43	3.01	2.67	2,38	2.14	1,93	1,59	1,34	260
9,32	7.70	6,47	5.51	4,75	4,14	3.64	3,22	2.88	2,58	2.33	1,92	1,62	280
11,13	9,20	7,73	6.58	5,68	4,95	4,35	3,85	3,43	3,08	2,78	2,30	1,93	300

5.6 1-C 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

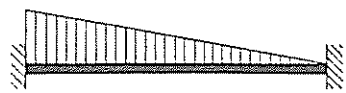
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,57400	9,61	4,62	2,60	1,66	1,16	0,85	0,65	0,51
100	8,10	34,2	49,6	0,46000	14,30	7,90	4,45	2,84	1,98	1,45	1,11	0,88
120	10,40	53,0	58,0	0,38300	19,55	11,10	6,89	4,41	3,06	2,25	1,72	1,36
140	12,90	77,3	66,0	0,32800	24,67	14,79	9,58	6,43	4,47	3,28	2,51	1,98
160	15,80	109,0	73,6	0,28800	30,10	19,11	12,65	8,93	6,30	4,63	3,54	2,80
180	18,80	146,0	82,0	0,25400	36,06	23,80	15,95	11,37	8,44	6,20	4,74	3,75
200	22,40	194,0	89,6	0,23000	42,36	28,24	19,62	14,24	10,76	8,23	6,30	4,98
220	26,20	252,0	99,2	0,20900	49,02	32,68	23,74	17,40	13,26	10,40	8,19	6,47
240	30,70	324,0	107,6	0,19100	56,52	37,68	28,26	21,01	16,20	12,84	10,40	8,32
270	36,10	429,0	120,8	0,17000	67,72	45,15	33,86	26,08	20,23	16,11	13,10	10,84
300	42,20	557,0	134,0	0,15300	81,07	54,05	40,54	32,16	25,05	20,03	16,34	13,56
330	49,10	713,0	142,0	0,13900	94,18	62,79	47,09	37,67	30,23	24,37	20,02	16,72
360	57,10	904,0	151,6	0,12800	109,46	72,97	54,73	43,78	36,19	29,33	24,22	20,31
400	66,30	1 160,0	158,0	0,11500	130,45	86,97	65,22	52,18	43,48	36,08	29,92	25,19
450	77,60	1 500,0	164,8	0,10200	159,84	106,56	79,92	63,94	53,28	45,50	37,78	31,84
500	90,70	1 930,0	172,4	0,09200	191,69	127,79	95,84	76,68	63,90	54,77	46,81	39,53
550	106,00	2 440,0	178,0	0,08400	229,88	153,25	114,94	91,95	76,63	65,68	57,47	48,91
600	122,00	3 070,0	186,4	0,07700	269,26	179,51	134,63	107,70	89,75	76,93	67,32	59,15

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,46000	22,23	14,32	10,17	7,49	5,20	3,82	2,92	2,31
120	26,70	144,0	122,4	0,38300	29,16	19,20	13,74	10,41	8,17	6,11	4,68	3,70
140	33,70	216,0	143,2	0,32900	36,86	24,57	17,82	13,60	10,76	8,73	7,02	5,55
160	42,60	311,0	162,0	0,28700	48,27	32,18	23,76	18,27	14,57	11,90	9,91	7,99
180	51,20	426,0	182,8	0,25600	57,94	38,62	28,97	22,65	18,14	14,89	12,45	10,56
200	61,30	570,0	202,8	0,23000	68,54	45,69	34,27	27,04	21,84	18,09	15,25	13,04
220	71,50	736,0	223,6	0,20900	79,62	53,08	39,81	31,83	25,80	21,44	18,15	15,57
240	83,20	938,0	243,2	0,19100	91,64	61,09	45,82	36,65	30,17	25,21	21,46	18,51
260	93,00	1 150,0	263,2	0,17700	99,83	66,55	49,91	39,93	33,28	27,96	23,91	20,74
280	103,00	1 380,0	283,6	0,16500	113,14	75,43	56,57	45,26	37,71	31,96	27,36	23,75
300	117,00	1 680,0	303,2	0,15300	127,14	84,76	63,57	50,85	42,38	36,29	31,17	27,14
320	127,00	1 930,0	302,8	0,14400	142,07	94,71	71,03	56,83	47,35	40,59	35,03	30,52
340	134,00	2 160,0	301,2	0,13500	157,23	104,82	78,61	62,89	52,41	44,92	38,95	33,92
360	142,00	2 400,0	299,6	0,12800	172,80	115,20	86,40	69,12	57,60	49,37	43,01	37,44
400	155,00	2 880,0	296,0	0,11500	206,15	137,43	103,08	82,46	68,72	58,90	51,54	45,01
450	171,00	3 550,0	293,2	0,10200	241,04	160,70	120,52	96,42	80,35	68,87	60,26	53,45
500	187,00	4 290,0	290,8	0,09200	276,56	184,38	138,28	110,63	92,19	79,02	69,14	61,46
550	199,00	4 970,0	286,8	0,08400	314,06	209,38	157,03	125,63	104,69	89,73	78,52	69,79
600	212,00	5 700,0	283,2	0,07700	354,22	236,15	177,11	141,69	118,07	101,20	88,55	78,71

5.6 1-C 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = **2 600 kg/cm²**

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,42	0,34	0,29	0,25	0.21	0,18	0,16	0.14	0.13	0.11	0,10	0,09	0,07	80
0,71	0.59	0.49	0.42	0,36	0.32	0,28	0,25	0,22	0.20	0,18	0,15	0,12	100
1,10	0,91	0.77	0,65	0.56	0.49	0.43	0.38	0,34	0.30	0,28	0,23	0.19	120
1,61	1.33	1.12	0,95	0,82	0.71	0.63	0,56	0.50	0,44	0.40	0.33	0,28	140
2,27	1.87	1.57	1,34	1,16	1,01	0.89	0.78	0.70	0,63	0.57	0,47	0.39	160
3,04	2,51	2,11	1.80	1,55	1,35	1,19	1,05	0,94	0,84	0,76	0,63	0,53	180
4,03	3,33	2.80	2,39	2.06	1,79	1.58	1.40	1,24	1.12	1,01	0,83	0,70	200
5,24	4,33	3,64	3,10	2,67	2,33	2,05	1.81	1,62	1,45	1,31	1,08	0.91	220
6,74	5,57	4,68	3.99	3.44	2,99	2.63	2,33	2.08	1.87	1,68	1.39	1,17	240
8,92	7,38	6,20	5.28	4,55	3,97	3,49	3,09	2,75	2.47	2,23	1.84	1,55	270
11,41	9,57	8,05	6,85	5.91	5.15	4.53	4.01	3,58	3,21	2,90	2,39	2,01	300
14,14	12,10	10,30	8,77	7,57	6,59	5,79	5.13	4,58	4,11	3,71	3,06	2.57	330
17,25	14.81	12,84	11,13	9,59	8,36	7,34	6,51	5.80	5,21	4,70	3,88	3,26	360
21,46	18,48	16,06	14,07	12,31	10.72	9.42	8.35	7.45	6,68	6,03	4.98	4,19	400
27,16	23,41	20.36	17,85	15.77	13,87	12,19	10,80	9,63	8.64	7,80	6,45	5.42	450
33,79	29,18	25,43	22.33	19.74	17,57	15,68	13.89	12.39	11,12	10,04	8.29	6,97	500
41,91	36.28	31,67	27.86	24,68	21,99	19,71	17.56	15.66	14,06	12.69	10,49	8,81	550
50,83	44.10	38,59	34,02	30.19	26,94	24,18	21.81	19.71	17.69	15,96	13.19	11,09	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,87	1.55	1,30	1,11	0,95	0,83	0,73	0,65	0,58	0,52	0,47	0.39	0.32	100
2.99	2,47	2,08	1,77	1,53	1.33	1.17	1.04	0,92	0.83	0,75	0,62	0,52	120
4.49	3,71	3,12	2.66	2,29	2.00	1.75	1,55	1,39	1.24	1.12	0,93	0,78	140
6.47	5.35	4,49	3,83	3,30	2,88	2.53	2,24	2,00	1,79	1.62	1,34	1.12	160
8,86	7,32	6.15	5,24	4,52	3.94	3,46	3.07	2,73	2,45	2,21	1,83	1,54	180
11,27	9,80	8.23	7.01	6,05	5,27	4,63	4,10	3,66	3.28	2.96	2.45	2,06	200
13,51	11,83	10.44	9,06	7,81	6,80	5.98	5,30	4,72	4,24	3,83	3,16	2,66	220
16,15	14.21	12,60	11.24	9,95	8,67	7.62	6,75	6,02	5.40	4.88	4,03	3,39	240
18,18	16,08	14.33	12.85	11,58	10,49	9,34	8,28	7,38	6,63	5.98	4,94	4,15	260
20,84	18,45	16.45	14.76	13,32	12,07	10.99	9,93	8,86	7,95	7,18	5.93	4.98	280
23,90	21.23	19,00	17,10	15,48	14,07	12.85	11,77	10,78	9,68	8,74	7,22	6,07	300
26,88	23,89	21,38	19.25	17.43	15.85	14,47	13,27	12,20	11,12	10.04	8,29	6,97	320
29.86	26,52	23,73	21.36	19.33	17.58	16,04	14,70	13,51	12,44	11,23	9.28	7,80	340
32,96	29,27	26.18	23.56	21,31	19.37	17,68	16,19	14,88	13,72	12,48	10,31	8.67	360
39.57	35.09	31,35	28.18	25,46	23,12	21,08	19.29	17.71	16,31	14.98	12,38	10.40	400
47,01	41,71	37,28	33,52	30,31	27.53	25.11	22,98	21.11	19.45	17,97	15,26	12,82	450
54,81	48,67	43,53	39.17	35,43	32,20	29.39	26.92	24,74	22,81	21,08	18,16	15.49	500
62.81	55,92	49.98	44.95	40,65	36,92	33.68	30.83	28.32	26,10	24,12	20,75	17,95	550
70,84	63,81	57,01	51,24	46,31	42.04	38.33	35,07	32,20	29.66	27,40	23.56	20,45	600

5.6 1-C 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

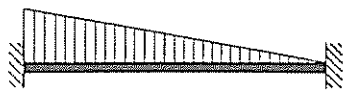
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	16,70	72,8	100,4	0,47900	18,03	11,56	8,17	6,06	4,21	3,09	2,37	1,87
120	19,90	106,0	120,8	0,40200	21,77	14,26	10,15	7,65	5,97	4,50	3,44	2,72
140	24,70	155,0	140,8	0,34600	28,02	18,68	13,35	10,10	7,92	6,37	5,04	3,98
160	30,40	220,0	159,2	0,30300	34,94	23,29	17,07	13,05	10,35	8,41	6,96	5,65
180	35,50	294,0	180,8	0,26900	39,87	26,58	19,88	15,32	12,24	10,02	8,36	7,07
200	42,30	389,0	199,2	0,24200	47,85	31,90	23,92	18,74	15,07	12,42	10,43	8,88
220	50,50	515,0	220,4	0,21900	57,19	38,13	28,59	22,74	18,36	15,20	12,82	10,95
240	60,30	675,0	240,0	0,20000	67,10	44,73	33,55	26,84	21,97	18,31	15,53	13,36
260	68,20	836,0	260,0	0,18400	73,07	48,72	36,54	29,23	24,31	20,38	17,39	15,06
280	76,40	1 010,0	280,0	0,17000	84,36	56,24	42,18	33,74	28,12	23,72	20,26	17,55
300	88,30	1 260,0	299,6	0,15900	96,20	64,13	48,10	38,48	32,06	27,38	23,48	20,42
320	97,60	1 480,0	299,6	0,14800	108,73	72,49	54,37	43,49	36,24	31,07	26,74	23,27
340	105,00	1 680,0	298,4	0,13900	121,97	81,31	60,98	48,79	40,66	34,85	30,14	26,22
360	112,00	1 890,0	297,2	0,13100	136,46	90,97	68,23	54,58	45,49	38,99	33,87	29,46
400	125,00	2 310,0	293,6	0,11800	166,12	110,74	83,06	66,45	55,37	47,46	41,53	36,13
450	140,00	2 900,0	291,6	0,10500	195,20	130,14	97,60	78,08	65,07	55,77	48,80	43,21
500	155,00	3 550,0	289,6	0,09400	227,21	151,47	113,60	90,88	75,74	64,92	56,80	50,49
550	166,00	4 150,0	286,0	0,08500	259,70	173,13	129,85	103,88	86,57	74,20	64,92	57,71
600	178,00	4 790,0	282,0	0,07800	293,76	195,84	146,88	117,50	97,92	83,93	73,44	65,28

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	41,80	190,0	109,6	0,38300	49,72	32,41	23,26	15,81	10,98	8,06	6,17	4,88
120	52,10	288,0	130,0	0,32800	61,88	41,02	29,57	22,58	16,64	12,22	9,36	7,40
140	63,20	411,0	150,8	0,28700	74,26	49,51	36,22	27,81	22,14	17,45	13,36	10,55
160	76,20	566,0	170,4	0,25500	90,87	60,58	45,03	34,83	27,92	22,95	18,39	14,53
180	88,90	748,0	190,8	0,23000	105,24	70,16	52,62	41,04	33,05	27,27	22,92	19,21
200	103,00	967,0	210,8	0,20900	120,51	80,34	60,26	47,77	38,71	32,17	27,21	23,34
220	117,00	1 220,0	231,6	0,19200	136,70	91,13	68,35	54,68	44,54	37,12	31,49	27,09
240	157,00	1 800,0	255,6	0,17000	176,90	117,94	88,45	70,76	58,74	49,31	42,17	36,56
260	172,00	2 160,0	276,0	0,15900	191,84	127,89	95,92	76,73	63,94	54,15	46,47	40,44
280	189,00	2 550,0	296,0	0,14800	212,03	141,35	106,02	84,81	70,68	60,32	51,81	45,13
300	238,00	3 480,0	320,0	0,13500	261,37	174,25	130,68	104,55	87,12	74,68	64,81	56,69
320	245,00	3 800,0	318,0	0,12800	276,41	184,27	138,20	110,56	92,14	78,97	68,86	60,23
340	248,00	4 050,0	316,0	0,12200	291,42	194,28	145,71	116,57	97,14	83,26	72,85	63,69
360	250,00	4 300,0	313,2	0,11600	306,99	204,66	153,49	122,79	102,33	87,71	76,75	67,27
400	256,00	4 820,0	308,0	0,10600	336,05	224,04	168,03	134,42	112,02	96,02	84,01	74,19
450	263,00	5 500,0	303,6	0,09600	373,62	249,08	186,81	149,45	124,54	106,75	93,40	83,03
500	270,00	6 180,0	298,4	0,08800	410,75	273,84	205,38	164,30	136,92	117,36	102,69	91,28
550	278,00	6 920,0	294,0	0,08000	449,20	299,47	224,60	179,68	149,73	128,34	112,30	99,82
600	285,00	7 660,0	288,8	0,07400	487,06	324,70	243,53	194,82	162,35	139,16	121,76	108,23

5.6 1-C 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7.0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,51	1.25	1.05	0,90	0,77	0.67	0.59	0,52	0.47	0,42	0.38	0.31	0,26	100
2,20	1,82	1.53	1.30	1.13	0.98	0.86	0,76	0,68	0,61	0,55	0,46	0,38	120
3,22	2,66	2.24	1.91	1.64	1,43	1,26	1,12	0,99	0,89	0,81	0,67	0.56	140
4.58	3,78	3.18	2,71	2,33	2.03	1.79	1.58	1,41	1,27	1,14	0,94	0,79	160
6,05	5,05	4,25	3.62	3,12	2.72	2.39	2,12	1.89	1,69	1,53	1,26	1,06	180
7.64	6.65	5.62	4.79	4.13	3,60	3,16	2,80	2,50	2,24	2,02	1,67	1.40	200
9,47	8,26	7,26	6,34	5,46	4.76	4,18	3,71	3,31	2.97	2.68	2,21	1,86	220
11,62	10,20	9,02	8,02	7,16	6,24	5.48	4,86	4.33	3,89	3,51	2.90	2,44	240
13,17	11,63	10,34	9.26	8.33	7.53	6.79	6,02	5.37	4,82	4,35	3,59	3,02	260
15.37	13.58	12.08	10.82	9,74	8,82	8,01	7,27	6,48	5,82	5,25	4,34	3,65	280
17.95	15,92	14,22	12.78	11,55	10.49	9.56	8,75	8,03	7.26	6,55	5,41	4,55	300
20.47	18.17	16.25	14.62	13.22	12.01	10,96	10,03	9.22	8,50	7.70	6.36	5,34	320
23,06	20,46	18.29	16,45	14.87	13,50	12,32	11,28	10,36	9,54	8,74	7.22	6,07	340
25,90	22.97	20,52	18,44	16,67	15.13	13,80	12,63	11,59	10,68	9,83	8,12	6,82	360
31.72	28,09	25.07	22.50	20.31	18,42	16,77	15,33	14,07	12,94	11,95	9,93	8,34	400
37,98	33.68	30,08	27.04	24.43	22.18	20,21	18,50	16,98	15,64	14,44	12,42	10,47	450
44.96	39,90	35,67	32,08	29,01	26.35	24,04	22.01	20,22	18,63	17,22	14,82	12,82	500
51,94	46,16	41,25	37,08	33,51	30,43	27,75	25,39	23,32	21,48	19,84	17,07	14,82	550
58.75	52.88	47.23	42.45	38.35	34,81	31,73	29,03	26,65	24,54	22,67	19,49	16.91	600

Luz en metros													HEM
5.0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3,95	3,27	2,74	2.34	2,02	1,76	1,54	1.37	1,22	1.09	0,99	0,82	0,69	100
5.99	4,95	4,16	3,54	3.06	2,66	2,34	2.07	1,85	1,66	1,50	1.24	1.04	120
8.55	7,06	5.94	5.06	4,36	3.80	3.34	2,96	2.64	2.37	2,14	1,77	1,48	140
11,77	9.73	8,18	6,97	6.01	5,23	4.60	4,07	3.63	3,26	2,94	2,43	2,04	160
15,56	12,86	10,80	9,21	7,94	6,91	6.08	5,38	4,80	4,31	3,89	3,21	2,70	180
20.11	16.62	13,97	11.90	10,26	8.94	7,86	6,96	6.21	5.57	5,03	4,16	3,49	200
23.56	20,68	17,62	15,01	12.95	11,28	9.91	8,78	7,83	7,03	6,34	5.24	4,41	220
32.05	28,34	25.25	22.15	19,10	16,64	14.63	12,95	11,56	10.37	9,36	7.74	6,50	240
35.58	31,58	28,23	25,39	22,92	19.97	17,55	15,55	13.87	12,44	11,23	9,28	7,80	260
39.74	35.30	31,59	28,45	25,75	23,41	20,72	18,35	16.37	14,69	13,26	10,96	9,21	280
50,15	44,75	40,23	36.39	33,08	30,21	27.70	25,05	22,34	20,05	18,10	14,95	12,57	300
53.28	47,55	42.75	38.67	35,16	32.11	29.44	27,09	24,39	21.89	19,76	16,33	13,72	320
56,30	50.21	45,11	40,78	37.05	33.82	30,99	28.50	26,00	23,33	21.06	17,40	14,63	340
59,42	52,96	47,54	42.94	38,99	35,56	32.56	29,92	27,58	24,78	22,36	18,48	15,53	360
65,47	58.29	52,28	47,17	42,78	38.98	35.66	32.74	30.16	27.77	25,06	20.71	17,41	400
73,47	65.34	58,54	52.76	47.81	43,52	39.77	36.48	33.57	30,99	28,60	23,64	19.86	450
81,58	72,49	64,87	58,42	52.88	48.09	43,91	40,25	37,01	34.13	31,57	26.56	22,32	500
89,84	80.14	71,67	64,50	58,34	53.02	48,39	44,32	40,73	37,54	34,70	29,74	24,99	550
97.41	87.88	78,53	70,62	63,84	57,98	52.88	48,40	44,45	40,96	37,84	32,56	27,66	600

5.6 1-C 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
80	5,95	19,5	36,4	0,76800	9,73	4,33	2,43	1,56	1,08	0,79	0,61	0,48	0,
100	8,32	34,2	42,8	0,61500	17,07	7,59	4,27	2,73	1,90	1,39	1,07	0,84	0,(
120	11,10	54,7	49,2	0,51300	25,99	12,14	6,83	4,37	3,03	2,23	1,71	1,35	1,(
140	14,40	81,9	56,0	0,43900	36,20	18,17	10,22	6,54	4,54	3,34	2,55	2,02	1,(
160	17,90	117,0	62,0	0,38500	48,38	25,96	14,60	9,34	6,49	4,77	3,65	2,88	2,:
180	21,90	161,0	68,4	0,34100	62,46	34,35	20,09	12,86	8,93	6,56	5,02	3,97	3,:
200	26,30	214,0	74,8	0,30700	77,10	43,48	26,71	17,09	11,87	8,72	6,68	5,27	4,:
220	31,10	278,0	80,8	0,27900	91,87	54,20	34,61	22,20	15,42	11,33	8,67	6,85	5,!
240	36,20	354,0	88,0	0,25600	107,77	66,04	42,60	28,27	19,63	14,43	11,04	8,73	7,(
260	41,90	442,0	92,8	0,23700	126,06	79,60	51,79	35,30	24,52	18,01	13,79	10,90	8,8
280	48,00	542,0	98,0	0,21900	145,66	94,44	61,89	43,29	30,06	22,09	16,91	13,36	10,8
300	54,20	653,0	102,4	0,20500	166,80	110,62	72,98	51,39	36,22	26,61	20,37	16,10	13,(
320	61,10	782,0	106,8	0,19200	189,02	126,01	85,12	60,28	43,38	31,87	24,40	19,28	15,6
340	68,10	923,0	112,0	0,18100	212,98	141,99	98,23	69,86	51,20	37,61	28,80	22,75	18,4
360	76,20	1 090,0	116,0	0,17100	239,55	159,70	113,10	80,84	60,34	44,42	34,01	26,87	21,7
380	84,00	1 260,0	120,8	0,16100	266,54	177,69	128,41	92,19	69,04	51,35	39,31	31,06	25,1
400	92,60	1 460,0	125,2	0,15400	294,70	196,47	144,77	104,37	78,43	59,50	45,55	35,99	29,1
450	115,00	2 040,0	137,2	0,13700	371,66	247,77	185,83	138,77	105,21	82,20	63,65	50,29	40,7
500	141,00	2 750,0	148,8	0,12300	458,61	305,74	229,30	178,72	136,51	107,31	85,80	67,79	54,9
550	167,00	3 610,0	160,8	0,11200	533,72	355,81	266,86	213,49	167,92	133,30	108,10	88,99	72,0
600	199,00	4 630,0	172,0	0,10200	660,36	440,24	330,18	264,14	212,98	169,35	137,53	113,64	92,4

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	0,76800	13,23	5,88	3,31	2,12	1,47	1,08	0,83	0,65	0,5
100	10,60	41,2	58,8	0,61500	20,57	9,14	5,14	3,29	2,28	1,68	1,28	1,02	0,8
120	13,40	60,7	63,6	0,51200	30,30	13,47	7,57	4,85	3,37	2,47	1,89	1,50	1,2
140	16,00	86,4	70,0	0,43900	42,67	19,17	10,78	6,90	4,79	3,52	2,70	2,13	1,7
160	18,80	116,0	75,6	0,38500	55,42	25,74	14,48	9,26	6,43	4,73	3,62	2,86	2,3
180	22,00	150,0	80,8	0,34100	67,37	33,28	18,72	11,98	8,32	6,11	4,68	3,70	2,9
200	25,30	191,0	85,6	0,30700	82,33	42,38	23,84	15,26	10,59	7,78	5,96	4,71	3,8
220	29,40	245,0	92,0	0,28000	99,57	54,36	30,58	19,57	13,59	9,98	7,64	6,04	4,8
240	33,20	300,0	96,8	0,25600	114,72	65,17	37,44	23,96	16,64	12,22	9,36	7,40	5,9
260	37,90	371,0	102,4	0,23700	130,96	77,62	46,30	29,63	20,58	15,12	11,57	9,15	7,4
280	41,80	448,0	109,6	0,21900	141,76	88,27	55,91	35,78	24,85	18,26	13,98	11,04	8,9
300	46,20	535,0	116,0	0,20500	152,58	98,89	64,49	42,73	29,67	21,80	16,69	13,19	10,6

5.6 1-C 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,39	0.32	0,27	0,23	0.20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	80
0,68	0.56	0.47	0,40	0.35	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0,14	0.12	100
1,09	0,90	0,76	0.65	0,56	0.48	0.43	0,38	0,34	0,30	0,27	0,23	0,19	120
1,63	1,35	1.14	0.97	0,83	0,73	0,64	0.57	0,50	0,45	0,41	0.34	0.28	140
2,34	1.93	1.62	1.38	1,19	1.04	0.91	0.81	0,72	0,65	0,58	0,48	0.41	160
3,21	2,66	2.23	1,90	1,64	1.43	1,26	1,11	0,99	0,89	0,80	0,66	0,56	180
4,27	3.53	2,97	2.53	2,18	1,90	1.67	1.48	1.32	1,18	1,07	0,88	0,74	200
5.55	4,59	3.85	3.28	2.83	2.47	2,17	1,92	1.71	1,54	1,39	1,15	0,96	220
7,07	5.84	4.91	4.18	3,61	3,14	2,76	2.45	2,18	1,96	1,77	1,46	1.23	240
8,83	7.29	6.13	5,22	4.50	3.92	3.45	3.05	2.72	2.44	2,21	1,82	1,53	260
10,82	8.94	7.52	6,40	5.52	4,81	4,23	3,74	3,34	3,00	2.71	2,24	1,88	280
13,04	10,78	9,05	7.71	6,65	5.79	5,09	4.51	4.02	3,61	3.26	2,69	2,26	300
15,61	12.90	10,84	9,24	7,97	6.94	6,10	5,40	4,82	4,32	3,90	3,23	2,71	320
18,43	15.23	12,80	10,91	9,40	8,19	7.20	6,38	5,69	5,10	4,61	3,81	3,20	340
21,76	17,99	15.11	12.88	11.10	9.67	8,50	7.53	6.72	6.03	5,44	4,50	3,78	360
25,16	20,79	17.47	14,89	12.84	11,18	9.83	8,71	7.76	6,97	6.29	5.20	4,37	380
29.15	24,09	20.24	17,25	14.87	12.96	11,39	10,09	9.00	8,08	7.29	6,02	5,06	400
40,73	33,66	28,29	24.10	20.78	18,10	15,91	14,09	12.57	11,28	10.18	8,42	7,07	450
54.91	45.38	38.13	32.49	28.02	24,40	21.45	19.00	16,95	15.21	13.73	11,34	9,53	500
72,08	59.57	50.06	42.65	36.78	32.04	28,16	24,94	22,25	19.97	18.02	14.89	12.51	550
92,45	76,41	64.20	54.70	47.17	41.09	36.11	31.99	28.53	25,61	23.11	19,10	16,05	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6.5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,53	0,44	0,37	0,31	0.27	0,23	0,21	0.18	0.16	0,15	0,13	0,11	0,09	80
0,82	0.68	0,57	0.49	0,42	0,37	0,32	0.28	0,25	0,23	0.21	0,17	0,14	100
1.21	1.00	0,84	0,72	0,62	0.54	0.47	0.42	0.37	0,34	0,30	0.25	0.21	120
1,72	1.43	1.20	1,02	0,88	0.77	0,67	0,60	0,53	0,48	0,43	0,36	0,30	140
2,32	1.91	1.61	1,37	1,18	1,03	0,90	0.80	0.71	0.64	0.58	0,48	0,40	160
2,99	2,47	2,08	1,77	1,53	1,33	1,17	1.04	0,92	0,83	0.75	0,62	0,52	180
3,81	3,15	2.65	2,26	1,95	1.69	1,49	1,32	1,18	1,06	0.95	0,79	0,66	200
4,89	4,04	3,40	2,89	2.50	2.17	1,91	1,69	1.51	1.35	1.22	1,01	0.85	220
5,99	4.95	4,16	3.54	3,06	2,66	2.34	2,07	1,85	1,66	1,50	1.24	1,04	240
7,41	6.12	5,14	4,38	3,78	3.29	2,89	2,56	2,29	2.05	1,85	1,53	1.29	260
8,95	7.39	6,21	5,29	4,56	3,98	3,49	3,09	2,76	2,48	2.24	1,85	1,55	280
10.68	8,83	7,42	6,32	5,45	4,75	4,17	3,70	3.30	2,96	2,67	2.21	1,85	300

5.6 1-C 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	0,76700	9,98	4,44	2,50	1,60	1,11	0,81	0,62	0,49
100	8,10	34,2	49,6	0,61500	16,93	7,59	4,27	2,73	1,90	1,39	1,07	0,84
120	10,40	53,0	58,0	0,51200	23,64	11,76	6,61	4,23	2,94	2,16	1,65	1,31
140	12,90	77,3	66,0	0,43900	31,44	16,94	9,65	6,17	4,29	3,15	2,41	1,91
160	15,80	109,0	73,6	0,38500	40,53	22,52	13,60	8,71	6,05	4,44	3,40	2,69
180	18,80	146,0	82,0	0,34000	50,43	28,52	18,12	11,66	8,10	5,95	4,55	3,60
200	22,40	194,0	89,6	0,30700	59,30	35,32	22,96	15,49	10,76	7,91	6,05	4,78
220	26,20	252,0	99,2	0,28000	68,62	42,90	28,26	19,87	13,98	10,27	7,86	6,21
240	30,70	324,0	107,6	0,25600	79,13	51,37	34,48	24,61	17,97	13,20	10,11	7,99
270	36,10	429,0	120,8	0,22800	94,82	63,21	42,99	30,90	23,17	17,48	13,38	10,58
300	42,20	557,0	134,0	0,20500	113,50	75,67	53,21	38,46	28,96	22,51	17,38	13,73
330	49,10	713,0	142,0	0,18600	131,85	87,90	64,13	46,90	35,66	27,93	22,25	17,58
360	57,10	904,0	151,6	0,17100	153,24	102,16	76,62	56,52	43,27	34,08	27,46	22,28
400	66,30	1 160,0	158,0	0,15400	182,63	121,75	91,31	69,63	53,62	42,44	34,33	28,28
450	77,60	1 500,0	164,8	0,13700	223,78	149,18	111,89	87,84	67,76	53,71	43,51	35,88
500	90,70	1 930,0	172,4	0,12300	268,36	178,91	134,18	107,35	84,10	66,87	54,30	44,87
550	106,00	2 440,0	178,0	0,11200	321,83	214,56	160,92	128,73	103,97	82,97	67,59	56,01
600	122,00	3 070,0	186,4	0,10200	376,97	251,31	188,48	150,79	125,65	100,67	82,30	68,40

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	0,61500	30,19	18,55	11,23	7,19	4,99	3,67	2,81	2,22
120	26,70	144,0	122,4	0,51200	40,46	25,15	17,34	11,50	7,99	5,87	4,49	3,55
140	33,70	216,0	143,2	0,44000	51,60	32,70	22,81	16,84	11,98	8,80	6,74	5,32
160	42,60	311,0	162,0	0,38400	67,57	43,73	30,83	23,00	17,25	12,67	9,70	7,67
180	51,20	426,0	182,8	0,34200	81,11	54,06	38,36	28,81	22,43	17,36	13,29	10,50
200	61,30	570,0	202,8	0,30700	95,96	63,97	46,12	35,08	27,66	22,36	17,78	14,05
220	71,50	736,0	223,6	0,28000	111,47	74,31	54,45	41,63	33,00	26,81	22,20	18,14
240	83,20	938,0	243,2	0,25600	128,29	85,53	63,62	49,03	39,17	32,08	26,76	22,64
260	93,00	1 150,0	263,2	0,23700	139,76	93,17	69,88	54,46	43,83	36,16	30,38	25,88
280	103,00	1 380,0	283,6	0,22000	158,40	105,60	79,20	62,26	50,18	41,45	34,87	29,75
300	117,00	1 680,0	303,2	0,20500	177,99	118,66	89,00	70,76	57,30	47,58	40,22	34,48
320	127,00	1 930,0	302,8	0,19200	198,89	132,59	99,45	79,53	64,43	53,51	45,26	38,81
340	134,00	2 160,0	301,2	0,18100	220,12	146,75	110,06	88,05	71,60	59,44	50,24	43,06
360	142,00	2 400,0	299,6	0,17100	241,91	161,28	120,96	96,77	79,06	65,60	55,43	47,49
400	155,00	2 880,0	296,0	0,15300	288,61	192,41	144,31	115,44	95,06	78,74	66,41	56,79
450	171,00	3 550,0	293,2	0,13700	337,46	224,97	168,73	134,98	112,49	93,55	78,96	67,57
500	187,00	4 290,0	290,8	0,12300	387,19	258,13	193,59	154,88	129,06	109,09	92,17	78,95
550	199,00	4 970,0	286,8	0,11200	439,69	293,13	219,84	175,88	146,56	125,41	105,86	90,61
600	212,00	5 700,0	283,2	0,10200	495,91	330,60	247,95	198,36	165,30	141,69	120,76	103,28

5.6 1-C 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,40	0.33	0,28	0.24	0.20	0,18	0,16	0.14	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	80
0,68	0.56	0,47	0.40	0,35	0.30	0,27	0,24	0,21	0,19	0.17	0.14	0,12	100
1,06	0,88	0.73	0,63	0,54	0,47	0.41	0,37	0.33	0,29	0,26	0,22	0,18	120
1,54	1,28	1.07	0,91	0.79	0.69	0,60	0,53	0,48	0,43	0,39	0,32	0,27	140
2,18	1.80	1,51	1,29	1.11	0,97	0,85	0.75	0,67	0,60	0.54	0,45	0,38	160
2.91	2.41	2,02	1,72	1,49	1.30	1,14	1,01	0,90	0,81	0.73	0.60	0.51	180
3,87	3,20	2,69	2,29	1,98	1.72	1,51	1,34	1.20	1,07	0,97	0,80	0,67	200
5,03	4,16	3,49	2,98	2.57	2,24	1.97	1.74	1.55	1,39	1,26	1.04	0,87	220
6,47	5,35	4,49	3.83	3.30	2,88	2,53	2,24	2,00	1,79	1,62	1,34	1,12	240
8,57	7.08	5,95	5.07	4,37	3.81	3,35	2.96	2,64	2.37	2,14	1.77	1.49	270
11,12	9.19	7.72	6,58	5,67	4,94	4,34	3,85	3,43	3,08	2,78	2,30	1.93	300
14,24	11,77	9,89	8.42	7.26	6,33	5,56	4,93	4,39	3,94	3,56	2,94	2,47	330
18,05	14,92	12.53	10,68	9,21	8,02	7,05	6,25	5,57	5,00	4,51	3,73	3,13	360
23,16	19.14	16,08	13.71	11,82	10,29	9.05	8,01	7,15	6.42	5.79	4,79	4,02	400
29,95	24,75	20.80	17.72	15,28	13,31	11,70	10,36	9,24	8,30	7,49	6,19	5,20	450
37,63	31.85	26,76	22,80	19,66	17,13	15,05	13,33	11,89	10,67	9,63	7,96	6,69	500
47,07	40.06	33,83	28.83	24,86	21,65	19,03	16.86	15,04	13.50	12.18	10.07	8,46	550
57.64	49,16	42.36	36,27	31,28	27.24	23,95	21.21	18.92	16,98	15.32	12,67	10,64	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1.80	1.48	1,25	1,06	0.92	0,80	0,70	0.62	0,55	0,50	0.45	0.37	0,31	100
2,88	2.38	2.00	1.70	1,47	1,28	1,12	0,99	0,89	0,80	0,72	0,59	0,50	120
4.31	3,56	2.99	2.55	2.20	1,92	1,68	1,49	1,33	1.19	1,08	0.89	0,75	140
6,21	5.13	4,31	3,67	3,17	2.76	2,43	2,15	1,92	1.72	1,55	1.28	1.08	160
8,51	7.03	5,91	5,03	4,34	3.78	3,32	2,94	2.63	2,36	2,13	1,76	1,48	180
11,38	9,41	7,90	6.73	5.81	5.06	4.45	3.94	3,51	3.15	2,84	2.35	1.98	200
14.70	12.15	10,21	8.70	7.50	6.53	5,74	5,08	4,54	4,07	3.67	3,04	2,55	220
18,73	15,48	13,01	11,08	9,56	8,32	7,32	6,48	5,78	5.19	4,68	3.87	3,25	240
22.30	18.98	15.95	13,59	11,72	10,21	8.97	7.95	7,09	6,36	5,74	4,74	3,99	260
25.66	22.35	19,14	16,30	14.06	12.25	10.76	9,53	8,50	7,63	6,89	5,69	4,78	280
29,88	26,14	23,04	19,85	17,11	14,91	13,10	11,61	10,35	9,29	8.39	6,93	5,82	300
33,65	29,44	25.96	22.80	19,66	17,13	15,05	13,33	11,89	10.67	9,63	7,96	6,69	320
37.32	32,64	28,76	25.52	22.01	19.17	16.85	14,92	13.31	11,95	10,78	8,91	7,49	340
41,13	35,96	31,68	28,11	24,45	21.30	18,72	16,58	14,79	13.27	11,98	9,90	8,32	360
49.12	42.87	37,72	33,41	29,34	25,56	22,46	19,90	17,75	15,93	14,38	11,88	9,98	400
58,47	51,07	44,95	39,84	35.53	31,50	27.69	24,53	21,88	19,64	17,72	14,65	12,31	450
68,39	59,78	52,67	46,72	41,69	37,41	33,46	29,64	26,44	23,73	21,42	17,70	14,87	500
78,42	68,50	60.31	53,46	47.68	42,76	38,54	34.34	30,63	27.49	24,81	20,50	17,23	550
89.31	77.96	68,58	60,76	54.16	48,54	43,72	39,38	35,13	31,53	28,45	23,52	19,76	600

5.6 1-C 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	16,70	72,8	100,4	0,64100	24,38	14,89	9,08	5,81	4,04	2,97	2,27	1,79	1
120	19,90	106,0	120,8	0,53800	30,06	18,54	12,68	8,47	5,88	4,32	3,31	2,61	2
140	24,70	155,0	140,8	0,46200	39,23	24,42	16,80	12,25	8,60	6,32	4,84	3,82	3
160	30,40	220,0	159,2	0,40500	48,91	31,35	21,92	16,22	12,20	8,96	6,86	5,42	4
180	35,50	294,0	180,8	0,36000	55,82	36,61	25,89	19,37	15,03	11,98	9,17	7,25	5
200	42,30	389,0	199,2	0,32400	66,98	44,60	31,84	24,06	18,85	15,15	12,14	9,59	7
220	50,50	515,0	220,4	0,29300	80,07	53,38	38,78	29,48	23,23	18,77	15,47	12,70	10,
240	60,30	675,0	240,0	0,26700	93,94	62,63	46,34	35,57	28,29	23,07	19,16	16,15	13.
260	68,20	836,0	260,0	0,24600	102,30	68,20	51,15	39,66	31,83	26,19	21,94	18,65	16,
280	76,40	1 010,0	280,0	0,22700	118,10	78,73	59,05	46,18	37,11	30,56	25,63	21,80	18,
300	88,30	1 260,0	299,6	0,21200	134,67	89,78	67,34	53,36	43,12	35,71	30,12	25,76	22.
320	97,60	1 480,0	299,6	0,19800	152,23	101,48	76,11	60,74	49,14	40,75	34,41	29,46	25,
340	105,00	1 680,0	298,4	0,18600	170,76	113,84	85,38	68,30	55,37	45,89	38,73	33,15	28.
360	112,00	1 890,0	297,2	0,17600	191,04	127,36	95,52	76,42	62,21	51,53	43,47	37,17	32,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,15800	232,56	155,04	116,28	93,03	76,32	63,10	53,12	45,35	39,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,14000	273,29	182,19	136,64	109,31	91,10	75,58	63,73	54,49	47,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,12500	318,09	212,06	159,05	127,24	106,03	89,47	75,54	64,66	55.
550	166,00	4 150,0	286,0	0,11400	363,58	242,39	181,79	145,43	121,19	103,56	87,37	74,74	64.
600	178,00	4 790,0	282,0	0,10400	411,26	274,17	205,63	164,50	137,09	117,50	100,07	85,55	73.

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	0,51200	68,29	42,15	23,71	15,18	10,54	7,74	5,93	4,68	3,7
120	52,10	288,0	130,0	0,43800	86,39	54,29	35,94	23,00	15,97	11,74	8,99	7,10	5,7
140	63,20	411,0	150,8	0,38400	103,97	66,62	46,86	32,83	22,80	16,75	12,82	10,13	8,2
160	76,20	566,0	170,4	0,34100	127,22	83,05	59,04	44,41	31,39	23,06	17,66	13,95	11,3
180	88,90	748,0	190,8	0,30700	147,34	97,64	69,82	52,85	41,46	30,48	23,34	18,44	14,9
200	103,00	967,0	210,8	0,27900	168,72	112,48	81,70	62,44	49,47	39,41	30,17	23,84	19,3
220	117,00	1 220,0	231,6	0,25700	191,38	127,59	93,96	72,12	57,37	46,79	38,06	30,07	24,3
240	157,00	1 800,0	255,6	0,22800	247,67	165,11	123,75	96,02	77,27	63,73	53,53	44,37	35,9
260	172,00	2 160,0	276,0	0,21200	268,57	179,05	134,28	105,56	85,38	70,80	59,79	51,19	43,1
280	189,00	2 550,0	296,0	0,19800	296,84	197,90	148,42	117,61	95,26	79,10	66,89	57,35	49,7
300	238,00	3 480,0	320,0	0,18100	365,92	243,94	182,96	146,37	119,55	99,91	85,04	73,39	64,0
320	245,00	3 800,0	318,0	0,17100	386,97	257,98	193,48	154,79	127,02	106,16	90,37	77,99	68,0
340	248,00	4 050,0	316,0	0,16300	407,99	271,99	203,99	163,19	134,32	112,16	95,38	82,24	71,6
360	250,00	4 300,0	313,2	0,15600	429,78	286,52	214,89	171,91	141,90	118,37	100,55	86,59	75,4
400	256,00	4 820,0	308,0	0,14200	470,48	313,65	235,24	188,19	156,54	130,39	110,60	95,11	82,6
450	263,00	5 500,0	303,6	0,12900	523,07	348,71	261,53	209,23	174,36	146,28	123,89	106,38	92,3
500	270,00	6 180,0	298,4	0,11700	575,06	383,37	287,53	230,02	191,68	162,40	137,34	117,76	102,1
550	278,00	6 920,0	294,0	0,10700	628,88	419,25	314,44	251,55	209,63	179,66	151,77	130,00	112,6
600	285,00	7 660,0	288,8	0,09900	681,88	454,59	340,94	272,75	227,29	194,82	166,34	142,34	123,1

5.6 1-C 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,45	1,20	1.01	0,86	0.74	0,65	0.57	0,50	0,45	0.40	0.36	0,30	0,25	100
2.12	1.75	1.47	1.25	1.08	0.94	0.83	0,73	0,65	0,59	0.53	0,44	0,37	120
3.09	2.56	2.15	1.83	1,58	1.38	1,21	1.07	0,95	0.86	0,77	0.64	0.54	140
4,39	3,63	3,05	2,60	2.24	1.95	1,72	1.52	1,36	1,22	1,10	0,91	0.76	160
5.87	4,85	4,08	3.47	2,99	2,61	2.29	2,03	1.81	1,63	1.47	1,21	1,02	180
7.77	6,42	5,39	4,60	3.96	3.45	3,03	2.69	2.40	2,15	1,94	1.60	1,35	200
10.28	8,50	7,14	6,08	5.25	4.57	4.02	3,56	3.17	2,85	2.57	2,13	1,78	220
13,48	11,14	9.36	7,97	6,88	5,99	5,26	4,66	4,16	3.73	3,37	2,78	2,34	240
16.03	13,80	11,59	9.88	8,52	7,42	6,52	5,78	5,15	4.62	4,17	3.45	2.90	260
18.76	16.29	14,00	11,93	10.29	8,96	7,88	6,98	6.22	5,59	5,04	4,17	3,50	280
12.28	19,44	17.11	14.89	12,84	11.18	9,83	8,71	7.76	6,97	6,29	5,20	4,37	300
15,51	22,29	19,63	17.40	15,08	13,13	11.54	10,23	9,12	8,19	7.39	6.11	5,13	320
18.69	25.05	22,05	19,55	17.11	14,91	13.10	11,61	10,35	9.29	8.39	6.93	5.82	340
12,15	28,06	24,69	21,87	19,25	16.77	14,74	13.06	11,65	10,45	9.43	7,80	6,55	360
19.15	34.12	29,97	26,52	23.53	20.50	18.02	15.96	14,24	12,78	11.53	9,53	8,01	400
17.11	41.12	36.17	32,03	28,55	25.59	22,62	20.04	17,87	16.04	14.48	11,96	10.05	450
15.97	48,89	43.05	38.16	34.04	30,53	27,52	24,53	21,88	19,64	17,72	14.65	12,31	500
14.65	56.44	49.66	44.00	39.23	35,17	31.68	28,67	25,58	22,95	20,72	17.12	14,39	550
13.96	64.54	56.77	50,28	44,81	40.15	36,16	32.72	29.52	26,49	23,91	19,76	16.60	600

Luz en metros													HEM
5.0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
3.79	3,13	2.63	2.24	1.94	1.69	1.48	1.31	1,17	1.05	0,95	0.78	0.66	100
5,75	4.75	3,99	3,40	2,93	2.56	2.25	1.99	1,77	1,59	1,44	1,19	1.00	120
8,21	6.78	5,70	4.86	4,19	3,65	3,21	2,84	2.53	2,27	2.05	1,70	1,42	140
11,30	9.34	75,8	6.69	5,77	5.02	4.41	3,91	3,49	3.13	2.82	2.33	1.96	160
14,94	12,34	10.37	8,84	7,62	6,64	5.83	5,17	4;61	4.14	3,73	3,09	2.59	180
19,31	15.96	13.41	11.42	9,85	8.58	7,54	6,68	5,96	5,35	4,83	3,99	3,35	200
24,36	20.13	16.92	14.41	12.43	10,83	9.52	8.43	7.52	6.75	6,09	5.03	4,23	220
35.94	29,70	24,96	21,27	18,34	15,97	14,04	12.44	11.09	9,96	8.99	7,43	6.24	240
43.13	35.64	29,95	25,52	22,01	19,17	16,85	14,92	13,31	11.95	10,78	8.91	7,49	260
49.71	42.08	35,36	30.13	25,98	22.63	19,89	17,62	15,72	14.10	12,73	10,52	8,84	280
54,03	56.36	48.26	41.12	35.45	30.88	27,14	24.04	21.45	19,25	17.37	14,36	12.06	300
58,05	59.90	52,69	44,90	38.71	33,72	29.64	26,25	23,42	21,02	18,97	15,68	13.17	320
71.68	63,04	55,86	47,85	41.26	35,94	31,59	27,98	24,96	22.40	20,22	16.71	14.04	340
75.40	66,24	58,63	50,81	43.81	38,16	33,54	29,71	26,50	23.78	21,47	17.74	14,91	360
82,69	72.55	64.13	56.95	49.10	42.78	37,60	33,30	29,70	26.66	24.06	19,88	16,71	400
92.35	80.90	71.42	63.48	56.03	48.81	42.90	38.00	33,90	30,42	27.46	22,69	19.07	450
02.10	89.33	78,76	69.92	62.44	54.84	48,20	42.70	38,09	34,18	30,85	25.50	21.42	500
12,60	98.42	86,70	76,90	68,63	61,41	53,98	47,81	42.65	38.28	34,54	28.55	23,99	550
23.16	107,55	94.66	83,90	74,81	67,08	59,75	52.93	47.21	42.37	38,24	31,60	26,55	600

5.6 1-C 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	5,95	19,5	36,4	5,48800	1,01	0,45	0,25	0,16	0,11	0,08	0,06	0,05
100	8,32	34,2	42,8	4,39000	1,78	0,79	0,44	0,28	0,20	0,14	0,11	0,09
120	11,10	54,7	49,2	3,66100	2,84	1,26	0,71	0,45	0,32	0,23	0,18	0,14
140	14,40	81,9	56,0	3,13800	4,26	1,89	1,06	0,68	0,47	0,35	0,27	0,21
160	17,90	117,0	62,0	2,74700	6,08	2,70	1,52	0,97	0,68	0,50	0,38	0,30
180	21,90	161,0	68,4	2,43700	8,37	3,72	2,09	1,34	0,93	0,68	0,52	0,41
200	26,30	214,0	74,8	2,19500	11,13	4,95	2,78	1,78	1,24	0,91	0,69	0,55
220	31,10	278,0	80,8	1,99400	14,46	6,42	3,61	2,31	1,61	1,18	0,90	0,71
240	36,20	354,0	88,0	1,82800	18,41	8,18	4,60	2,94	2,04	1,50	1,15	0,91
260	41,90	442,0	92,8	1,69000	22,98	10,21	5,75	3,68	2,55	1,88	1,44	1,13
280	48,00	542,0	98,0	1,56800	27,82	12,53	7,05	4,51	3,13	2,30	1,76	1,39
300	54,20	653,0	102,4	1,46300	32,94	15,09	8,49	5,43	3,77	2,77	2,12	1,68
320	61,10	782,0	106,8	1,37200	38,60	18,07	10,17	6,51	4,52	3,32	2,54	2,01
340	68,10	923,0	112,0	1,29100	44,69	21,33	12,00	7,68	5,33	3,92	3,00	2,37
360	76,20	1 090,0	116,0	1,22000	51,67	25,19	14,17	9,07	6,30	4,63	3,54	2,80
380	84,00	1 260,0	120,8	1,15200	58,88	29,12	16,38	10,48	7,28	5,35	4,09	3,24
400	92,60	1 460,0	125,2	1,09700	66,61	33,74	18,98	12,15	8,44	6,20	4,74	3,75
450	115,00	2 040,0	137,2	0,97700	88,39	47,09	26,52	16,97	11,79	8,66	6,63	5,24
500	141,00	2 750,0	148,8	0,87800	113,64	61,54	35,75	22,88	15,89	11,67	8,94	7,06
550	167,00	3 610,0	160,8	0,79900	133,43	76,58	46,93	30,03	20,86	15,32	11,73	9,27
600	199,00	4 630,0	172,0	0,73100	165,09	97,31	60,19	38,52	26,75	19,65	15,05	11,89

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	l_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	8,65	26,5	53,2	5,48800	1,38	0,61	0,34	0,22	0,15	0,11	0,09	0,07
100	10,60	41,2	58,8	4,39000	2,14	0,95	0,54	0,34	0,24	0,17	0,13	0,11
120	13,40	60,7	63,6	3,66100	3,16	1,40	0,79	0,50	0,35	0,26	0,20	0,16
140	16,00	86,4	70,0	3,13500	4,49	2,00	1,12	0,72	0,50	0,37	0,28	0,22
160	18,80	116,0	75,6	2,75300	6,03	2,68	1,51	0,96	0,67	0,49	0,38	0,30
180	22,00	150,0	80,8	2,43900	7,80	3,47	1,95	1,25	0,87	0,64	0,49	0,38
200	25,30	191,0	85,6	2,19500	9,93	4,41	2,48	1,59	1,10	0,81	0,62	0,49
220	29,40	245,0	92,0	1,99900	12,74	5,66	3,18	2,04	1,42	1,04	0,80	0,63
240	33,20	300,0	96,8	1,82900	15,60	6,93	3,90	2,50	1,73	1,27	0,97	0,77
260	37,90	371,0	102,4	1,69000	19,29	8,57	4,82	3,09	2,14	1,57	1,21	0,95
280	41,80	448,0	109,6	1,56600	23,30	10,35	5,82	3,73	2,59	1,90	1,46	1,15
300	46,20	535,0	116,0	1,46300	27,82	12,36	6,95	4,45	3,09	2,27	1,74	1,37

5.6 1-D 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.04	0,03	0.03	0,02	0,02	0.02	0,02	0,01	0.01	0,01	0,01	0,01	0,01	80
0,07	0.06	0,05	0.04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	100
0,11	0,09	0,08	0,07	0.06	0,05	0,04	0,04	0.03	0,03	0.03	0.02	0.02	120
0.17	0,14	0.12	0,10	0,09	0.08	0,07	0,06	0,05	0.05	0,04	0,03	0,03	140
0,24	0.20	0.17	0,14	0,12	0,11	0.09	0,08	0,07	0,07	0,06	0.05	0.04	160
0,33	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0.10	0,09	0,08	0.07	0,06	180
0,44	0.37	0.31	0.26	0,23	0,20	0,17	0.15	0,14	0,12	0.11	0.09	0.08	200
0,58	0.48	0,40	0,34	0,29	0,26	0,23	0,20	0.18	0,16	0,14	0.12	0,10	220
0,74	0,61	0,51	0,44	0.38	0,33	0.29	0,25	0.23	0.20	0,18	0,15	0.13	240
0,92	0.76	0.64	0,54	0,47	0,41	0.36	0.32	0.28	0,25	0.23	0.19	0,16	260
1.13	0.93	0,78	0,67	0,57	0,50	0,44	0,39	0,35	0,31	0.28	0,23	0,20	280
1.36	1.12	0.94	0.80	0.69	0,60	0,53	0.47	0,42	0,38	0.34	0.28	0.24	300
1,63	1,34	1,13	0,96	0.83	0,72	0,63	0,56	0,50	0.45	0.41	0,34	0,28	320
1.92	1,59	1,33	1.14	0,98	0.85	0,75	0,66	0,59	0.53	0,48	0.40	0.33	340
2,27	1.87	1.57	1.34	1,16	1.01	0,89	0.78	0,70	0,63	0.57	0.47	0.39	360
2.62	2.17	1,82	1.55	1.34	1,16	1,02	0.91	0.81	0,73	0.65	0,54	0,45	380
3.04	2,51	2,11	1.80	1.55	1.35	1,19	1.05	0,94	0,84	0.76	0.63	0,53	400
4,24	3,51	2,95	2,51	2,16	1,89	1,66	1.47	1.31	1,17	1,06	0,88	0.74	450
5.72	4.73	3.97	3.38	2,92	2.54	2.23	1.98	1.76	1,58	1.43	1,18	0.99	500
7.51	6,21	5,21	4,44	3,83	3,34	2,93	2.60	2.32	2,08	1,88	1,55	1.30	550
9,63	7.96	6,69	5,70	4,91	4,28	3.76	3.33	2,97	2,67	2.41	1.99	1.67	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,05	0.05	0,04	0,03	0.03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	80
0.09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0.02	0,02	0,02	0,01	100
0.13	0,10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0,04	0,04	0,03	0.03	0,03	0.02	120
0,18	0,15	0.13	0,11	0,09	0,08	0.07	0,06	0.05	0.05	0,04	0,04	0,03	140
0,24	0.20	0.17	0.14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0.06	0,05	0,04	160
0,31	0.26	0,22	0,18	0.16	0.14	0,12	0,11	0,10	0,09	0.08	0,06	0,05	180
0,40	0.33	0.28	0.23	0.20	0,18	0,15	0.14	0,12	0,11	0,10	0,08	0.07	200
0.51	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0.18	0,16	0,14	0,13	0,10	0,09	220
0,62	0,52	0,43	0.37	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,17	0,16	0,13	0,11	240
0.77	0.64	0.54	0.46	0,39	0,34	0,30	0,27	0,24	0,21	0.19	0,16	0,13	260
0,93	0,77	0,65	0,55	0,47	0.41	0.36	0.32	0,29	0,26	0,23	0,19	0,16	280
1,11	0,92	0,77	0,66	0,57	0,49	0,43	0,38	0.34	0,31	0,28	0,23	0,19	300

5.6 1-D 1

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

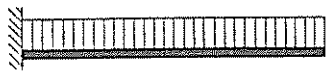
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
80	6,00	20,0	42,0	5,48100	1,04	0,46	0,26	0,17	0,12	0,08	0,06	0,05	
100	8,10	34,2	49,6	4,39000	1,78	0,79	0,44	0,28	0,20	0,14	0,11	0,09	
120	10,40	53,0	58,0	3,65900	2,76	1,22	0,69	0,44	0,31	0,22	0,17	0,14	
140	12,90	77,3	66,0	3,13700	4,02	1,79	1,00	0,64	0,45	0,33	0,25	0,20	
160	15,80	109,0	73,6	2,75300	5,67	2,52	1,42	0,91	0,63	0,46	0,35	0,28	
180	18,80	146,0	82,0	2,42800	7,59	3,37	1,90	1,21	0,84	0,62	0,47	0,38	
200	22,40	194,0	89,6	2,19500	10,09	4,48	2,52	1,61	1,12	0,82	0,63	0,50	
220	26,20	252,0	99,2	1,99700	12,74	5,82	3,28	2,10	1,46	1,07	0,82	0,65	
240	30,70	324,0	107,6	1,82800	15,73	7,49	4,21	2,70	1,87	1,38	1,05	0,83	
270	36,10	429,0	120,8	1,62600	19,73	9,91	5,58	3,57	2,48	1,82	1,39	1,10	
300	42,20	557,0	134,0	1,46300	24,53	12,87	7,24	4,63	3,22	2,36	1,81	1,43	
330	49,10	713,0	142,0	1,33000	29,85	16,01	9,27	5,93	4,12	3,03	2,32	1,83	
360	57,10	904,0	151,6	1,22000	35,92	19,55	11,75	7,52	5,22	3,84	2,94	2,32	
400	66,30	1 160,0	158,0	1,10100	44,20	24,37	15,08	9,65	6,70	4,92	3,77	2,98	
450	77,60	1 500,0	164,8	0,97600	55,73	30,85	19,32	12,48	8,67	6,37	4,88	3,85	
500	90,70	1 930,0	172,4	0,87900	67,09	38,42	24,18	16,06	11,15	8,19	6,27	4,96	
550	106,00	2 440,0	178,0	0,79800	80,46	47,71	30,23	20,30	14,10	10,36	7,93	6,27	
600	122,00	3 070,0	186,4	0,73200	94,24	57,93	36,98	25,42	17,74	13,03	9,98	7,88	

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	4,39000	4,68	2,08	1,17	0,75	0,52	0,38	0,29	0,23	
120	26,70	144,0	122,4	3,65900	7,49	3,33	1,87	1,20	0,83	0,61	0,47	0,37	
140	33,70	216,0	143,2	3,14000	10,70	4,99	2,81	1,80	1,25	0,92	0,70	0,55	
160	42,60	311,0	162,0	2,74200	14,58	7,19	4,04	2,59	1,80	1,32	1,01	0,80	
180	51,20	426,0	182,8	2,44200	18,24	9,84	5,54	3,54	2,46	1,81	1,38	1,09	
200	61,30	570,0	202,8	2,19500	22,16	12,89	7,41	4,74	3,29	2,42	1,85	1,46	
220	71,50	736,0	223,6	1,99700	26,27	15,47	9,57	6,12	4,25	3,12	2,39	1,89	
240	83,20	938,0	243,2	1,82900	30,89	18,54	12,19	7,80	5,42	3,98	3,05	2,41	
260	93,00	1 150,0	263,2	1,69200	34,25	20,93	14,18	9,57	6,64	4,88	3,74	2,95	
280	103,00	1 380,0	283,6	1,57200	39,15	24,00	16,31	11,48	7,97	5,86	4,48	3,54	
300	117,00	1 680,0	303,2	1,46500	44,46	27,57	18,96	13,82	9,71	7,13	5,46	4,31	
320	127,00	1 930,0	302,8	1,37500	49,72	31,01	21,35	15,58	11,15	8,19	6,27	4,96	
340	134,00	2 160,0	301,2	1,29300	55,03	34,44	23,68	17,26	12,48	9,17	7,02	5,55	
360	142,00	2 400,0	299,6	1,22000	60,48	38,01	26,11	19,01	13,87	10,19	7,80	6,16	
400	155,00	2 880,0	296,0	1,09600	72,15	45,60	31,19	22,63	16,64	12,22	9,36	7,40	
450	171,00	3 550,0	293,2	0,97500	84,36	54,19	37,13	26,97	20,40	15,07	11,54	9,12	
500	187,00	4 290,0	290,8	0,87900	96,80	63,20	43,41	31,60	23,94	18,21	13,94	11,02	
550	199,00	4 970,0	286,8	0,79800	109,92	72,64	49,79	36,19	27,37	21,10	16,15	12,76	
600	212,00	5 700,0	283,2	0,73200	123,98	82,65	56,73	41,15	31,08	24,20	18,52	14,64	

5.6 1-D 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.04	0,03	0 03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0,01	0,01	80
0.07	0.06	0.05	0,04	0,04	0,03	0.03	0.02	0.02	0.02	0,02	0.01	0,01	100
0.11	0.09	0.08	0.06	0.06	0,05	0,04	0,04	0,03	0.03	0.03	0,02	0.02	120
0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0,06	0.06	0,05	0,04	0.04	0,03	0,03	140
0.23	0.19	0,16	0.13	0.12	0,10	0.09	0,08	0,07	0.06	0.06	0,05	0.04	160
0,30	0,25	0,21	0,18	0.15	0.13	0.12	0.10	0,09	0.08	0,08	0.06	0,05	180
0,40	0.33	0.28	0.24	0,21	0.18	0,16	0.14	0,13	0.11	0,10	0,08	0.07	200
0.52	0.43	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0,16	0.14	0,13	0,11	0.09	220
0.67	0,56	0.47	0,40	0,34	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0,14	0,12	240
0.89	0.74	0,62	0.53	0,45	0,40	0.35	0.31	0,27	0,25	0.22	0.18	0,15	270
1.16	0,96	0.80	0,69	0.59	0,51	0,45	0,40	0.36	0.32	0,29	0,24	0,20	300
1.48	1.23	1,03	0,88	0,76	0,66	0,58	0,51	0.46	0.41	0,37	0,31	0.26	330
1,88	1,55	1,31	1,11	0,96	0,84	0.73	0,65	0,58	0,52	0,47	0,39	0,33	360
2,41	1.99	1.68	1.43	1.23	1.07	0.94	0,83	0,74	0,67	0.60	0.50	0,42	400
3,12	2.58	2,17	1,85	1.59	1.39	1.22	1.08	0,96	0,86	0,78	0.64	0,54	450
4,01	3,32	2,79	2,38	2,05	1.78	1.57	1,39	1.24	1.11	1,00	0,83	0,70	500
5.07	4.19	3,52	3,00	2.59	2.26	1,98	1,76	1.57	1,41	1.27	1,05	0,88	550
6,39	5,28	4.43	3.78	3.26	2.84	2.49	2.21	1.97	1.77	1.60	1,32	1,11	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.19	0,15	0,13	0.11	0.10	0,08	0.07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	100
0.30	0,25	0,21	0,18	0.15	0.13	0.12	0,10	0,09	0,08	0.07	0,06	0,05	120
0.45	0,37	0,31	0.27	0,23	0,20	0,17	0,15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	140
0,65	0.53	0,45	0.38	0,33	0.29	0,25	0.22	0.20	0,18	0.16	0,13	0,11	160
0,89	0.73	0.61	0.52	0,45	0,39	0,35	0.31	0,27	0,24	0,22	0,18	0,15	180
1.19	0,98	0.82	0.70	0.60	0.53	0.46	0,41	0,37	0.33	0,30	0,24	0.21	200
1,53	1,26	1,06	0.91	0,78	0.68	0.60	0,53	0,47	0,42	0,38	0.32	0.27	220
1.95	1,61	1,35	1.15	0.99	0.87	0,76	0.67	0.60	0.54	0,49	0,40	0,34	240
2.39	1,98	1,66	1.41	1.22	1.06	0,93	0.83	0,74	0,66	0.60	0,49	0,41	260
2,87	2,37	1.99	1.70	1.46	1.28	1.12	0,99	0,89	0.79	0,72	0.59	0,50	280
3.49	2.89	2,43	2,07	1.78	1.55	1.36	1,21	1,08	0,97	0,87	0,72	0,61	300
4.01	3,32	2.79	2.38	2.05	1.78	1,57	1,39	1,24	1.11	1,00	0,83	0,70	320
4.49	3,71	3,12	2.66	2,29	2.00	1,75	1.55	1.39	1,24	1.12	0,93	0,78	340
4.99	4.13	3.47	2,95	2,55	2,22	1,95	1.73	1.54	1.38	1.25	1,03	0,87	360
5.99	4.95	4.16	3.54	3.06	2,66	2.34	2,07	1,85	1.66	1.50	1,24	1.04	400
7.38	6,10	5.13	4.37	3,77	3.28	2,88	2,55	2,28	2,04	1,85	1.53	1.28	450
8.92	7,38	6,20	5,28	4,55	3,97	3.49	3,09	2.75	2.47	2,23	1,84	1,55	500
10,34	8,54	7,18	6,12	5,27	4,59	4.04	3.58	3,19	2,86	2.58	2,14	1,79	550
11.86	9.80	8,23	7.01	6,05	5.27	4,63	4.10	3.66	3.28	2,96	2,45	2.06	600

5.6 1-D 1



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

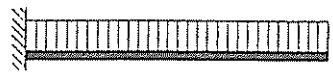
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros 1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
100	16,70	72,8	100,4	4,57900	3,79	1,68	0,95	0,61	0,42	0,31	0,24	0,19	0,
120	19,90	106,0	120,8	3,84000	5,51	2,45	1,38	0,88	0,61	0,45	0,34	0,27	0,
140	24,70	155,0	140,8	3,30300	7,80	3,58	2,01	1,29	0,90	0,66	0,50	0,40	0,
160	30,40	220,0	159,2	2,89200	10,30	5,08	2,86	1,83	1,27	0,93	0,71	0,56	0,
180	35,50	294,0	180,8	2,57100	12,28	6,79	3,82	2,45	1,70	1,25	0,95	0,75	0,
200	42,30	389,0	199,2	2,31400	15,22	8,72	5,06	3,24	2,25	1,65	1,26	1,00	0,
220	50,50	515,0	220,4	2,09000	18,62	10,82	6,69	4,28	2,98	2,19	1,67	1,32	1,
240	60,30	675,0	240,0	1,90900	22,42	13,32	8,77	5,62	3,90	2,86	2,19	1,73	1,
260	68,20	836,0	260,0	1,75600	24,96	15,15	10,20	6,96	4,83	3,55	2,72	2,15	1,
280	76,40	1 010,0	280,0	1,62200	29,06	17,68	11,94	8,40	5,84	4,29	3,28	2,59	2,
300	88,30	1 260,0	299,6	1,51500	33,54	20,68	14,15	10,26	7,28	5,35	4,09	3,24	2,
320	97,60	1 480,0	299,6	1,41700	38,06	23,61	16,19	11,78	8,55	6,28	4,81	3,80	3
340	105,00	1 680,0	298,4	1,33200	42,69	26,58	18,21	13,23	9,71	7,13	5,46	4,31	3,
360	112,00	1 890,0	297,2	1,25400	47,76	29,85	20,42	14,81	10,92	8,02	6,14	4,85	3,
400	125,00	2 310,0	293,6	1,12500	58,14	36,53	24,88	17,98	13,35	9,81	7,51	5,93	4,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,99900	68,32	43,77	29,93	21,70	16,38	12,31	9,42	7,45	6,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,89600	79,52	51,83	35,53	25,83	19,54	15,07	11,54	9,12	7,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,81400	90,89	59,98	41,05	29,80	22,52	17,54	13,49	10,66	8,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,74500	102,81	68,54	46,98	34,06	25,72	20,02	15,57	12,30	9,

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros 1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	41,80	190,0	109,6	3,65900	9,88	4,39	2,47	1,58	1,10	0,81	0,62	0,49	0,
120	52,10	288,0	130,0	3,13000	14,98	6,66	3,74	2,40	1,66	1,22	0,94	0,74	0,
140	63,20	411,0	150,8	2,74200	21,37	9,50	5,34	3,42	2,38	1,74	1,34	1,05	0,
160	76,20	566,0	170,4	2,43600	28,11	13,08	7,36	4,71	3,27	2,40	1,84	1,45	1,
180	88,90	748,0	190,8	2,19500	33,41	17,29	9,72	6,22	4,32	3,17	2,43	1,92	1,
200	103,00	967,0	210,8	1,99500	39,40	22,35	12,57	8,04	5,59	4,10	3,14	2,48	2,
220	117,00	1 220,0	231,6	1,83400	45,47	27,01	15,86	10,15	7,05	5,18	3,96	3,13	2,
240	157,00	1 800,0	255,6	1,62700	60,41	36,88	23,40	14,98	10,40	7,64	5,85	4,62	3,
260	172,00	2 160,0	276,0	1,51400	66,34	41,02	28,08	17,97	12,48	9,17	7,02	5,55	4,
280	189,00	2 550,0	296,0	1,41500	73,89	45,84	31,54	21,22	14,73	10,82	8,29	6,55	5,
300	238,00	3 480,0	320,0	1,29000	91,48	57,97	40,53	28,95	20,11	14,77	11,31	8,94	7,
320	245,00	3 800,0	318,0	1,22400	96,74	61,60	43,07	31,62	21,96	16,13	12,35	9,76	7,
340	248,00	4 050,0	316,0	1,16400	102,00	65,07	45,39	33,52	23,40	17,19	13,16	10,40	8,
360	250,00	4 300,0	313,2	1,11200	107,44	68,65	47,76	35,18	24,84	18,25	13,97	11,04	8,
400	256,00	4 820,0	308,0	1,01600	117,62	75,60	52,41	38,48	27,85	20,46	15,66	12,38	10,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,91800	130,77	84,79	58,57	42,85	31,78	23,35	17,88	14,12	11,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,83800	143,76	94,11	64,78	47,26	35,71	26,23	20,08	15,87	12,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,76700	157,22	104,09	71,47	52,02	39,40	29,38	22,49	17,77	14,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,70800	170,47	113,65	78,20	56,80	42,94	32,52	24,89	19,67	15,

5.6 1-D 1

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,15	0,13	0,10	0,09	0,08	0.07	0,06	0,05	0.05	0,04	0.04	0,03	0,03	100
0,22	0,18	0.15	0,13	0,11	0.10	0.09	0,08	0,07	0.06	0,05	0,05	0,04	120
0,32	0,27	0.22	0.19	0,16	0,14	0.13	0.11	0,10	0.09	0,08	0.07	0.06	140
0,46	0.38	0.32	0,27	0.23	0,20	0,18	0.16	0,14	0,13	0.11	0,09	0,08	160
0,61	0,50	0,42	0,36	0.31	0,27	0,24	0.21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	180
0,81	0.67	0.56	0,48	0,41	0.36	0,32	0,28	0,25	0.22	0,20	0.17	0.14	200
1,07	0,88	0.74	0,63	0,55	0,48	0.42	0,37	0.33	0,30	0,27	0,22	0,19	220
1,40	1.16	0,97	0,83	0.72	0.62	0,55	0.49	0.43	0.39	0.35	0,29	0.24	240
1,74	1,44	1.21	1,03	0,89	0.77	0,68	0,60	0.54	0.48	0.43	0.36	0,30	260
2,10	1,74	1.46	1,24	1,07	0.93	0.82	0,73	0,65	0,58	0,52	0.43	0,36	280
2,62	2,17	1,82	1,55	1.34	1,16	1,02	0,91	0,81	0,73	0,65	0,54	0,45	300
3,08	2,54	2,14	1,82	1,57	1.37	1,20	1,06	0,95	0.85	0,77	0.64	0,53	320
3,49	2,89	2,43	2,07	1,78	1,55	1.36	1.21	1,08	0,97	0,87	0,72	0,61	340
3,93	3,25	2,73	2.33	2,01	1.75	1,54	1,36	1,21	1,09	0.98	0,81	0,68	360
4,80	3.97	3.34	2,84	2,45	2.13	1.88	1,66	1.48	1,33	1,20	0,99	0,83	400
6,03	4,98	4.19	3,57	3,08	2.68	2.36	2,09	1,86	1,67	1,51	1,25	1,05	450
7,38	6,10	5,13	4,37	3.77	3,28	2.88	2.55	2.28	2,04	1.85	1,53	1,28	500
8,63	7,13	5.99	5,11	4,40	3,84	3,37	2,99	2.66	2.39	2,16	1,78	1,50	550
9,96	8,23	6,92	5.89	5,08	4.43	3.89	3.45	3,07	2,76	2,49	2.06	1,73	600

Luz en metros												HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,39	0.33	0,27	0,23	0,20	0.18	0.15	0,14	0,12	0,11	0.10	0,08	0,07	100
0,60	0.49	0,42	0.35	0,31	0,27	0,23	0,21	0,18	0,17	0,15	0.12	0,10	120
0,85	0,71	0,59	0,51	0.44	0,38	0,33	0.30	0,26	0.24	0,21	0,18	0.15	140
1,18	0.97	0.82	0,70	0,60	0,52	0.46	0.41	0,36	0,33	0.29	0,24	0.20	160
1,56	1,29	1.08	0.92	0.79	0,69	0,61	0,54	0.48	0.43	0,39	0.32	0,27	180
2,01	1,66	1,40	1,19	1,03	0.89	0,79	0.70	0.62	0,56	0.50	0.42	0,35	200
2,54	2.10	1.76	1,50	1,29	1,13	0,99	0,88	0.78	0.70	0,63	0.52	0,44	220
3,14	3.09	2.60	2.21	1.91	1.66	1.46	1.30	1.16	1.04	0.94	0,77	0.65	240
4,49	3.71	3,12	2.66	2,29	2.00	1,75	1,55	1.39	1,24	1,12	0,93	0,78	260
5,30	4.38	3,68	3,14	2.71	2.36	2.07	1.83	1.64	1.47	1,33	1.10	0,92	280
7,24	5.98	5,03	4.28	3,69	3,22	2,83	2.50	2.23	2,00	1,81	1,50	1.26	300
7,90	6.53	5.49	4,68	4,03	3,51	3,09	2,73	2,44	2,19	1,98	1,63	1,37	320
8,42	6,96	5.85	4,98	4,30	3,74	3.29	2.91	2.60	2.33	2,11	1,74	1.46	340
8,94	7,39	6.21	5,29	4.56	3.97	3.49	3.09	2.76	2,48	2,24	1.85	1,55	360
10,03	8,29	6.96	5,93	5.11	4,46	3,93	3.47	3.09	2,78	2,51	2.07	1,74	400
11,44	9,45	7,94	6,77	5,84	5,08	4,47	3,96	3,53	3,17	2,86	2.36	1,99	450
12,85	10,62	8,93	7.61	6,56	5,71	5.02	4.45	3.97	3,56	3.21	2.66	2.23	500
14,39	11.90	10.00	8,52	7,34	6,40	5.62	4,98	4,44	3,99	3,60	2,97	2.50	550
15,93	13,17	11.06	9,43	8,13	7.08	6,22	5.51	4,92	4,41	3,98	3,29	2,77	600

5.6 1-D 1

Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

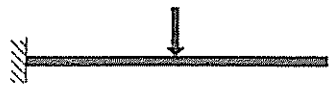
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	4,57300	1,01	0,68	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,20
100	8,32	34,2	42,8	3,65900	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,44	0,39	0,36
120	11,10	54,7	49,2	3,05100	2,84	1,90	1,42	1,14	0,95	0,81	0,71	0,63	0,57
140	14,40	81,9	56,0	2,61500	4,26	2,84	2,13	1,70	1,42	1,22	1,06	0,95	0,85
160	17,90	117,0	62,0	2,28900	6,08	4,06	3,04	2,43	2,03	1,74	1,52	1,35	1,22
180	21,90	161,0	68,4	2,03100	8,37	5,58	4,19	3,35	2,79	2,39	2,09	1,86	1,67
200	26,30	214,0	74,8	1,82900	11,13	7,42	5,56	4,45	3,71	3,18	2,78	2,47	2,23
220	31,10	278,0	80,8	1,66200	14,46	9,64	7,23	5,78	4,82	4,13	3,61	3,21	2,89
240	36,20	354,0	88,0	1,52400	18,41	12,27	9,20	7,36	6,14	5,26	4,60	4,09	3,68
260	41,90	442,0	92,8	1,40900	22,98	15,32	11,49	9,19	7,66	6,57	5,75	5,11	4,60
280	48,00	542,0	98,0	1,30600	27,82	18,79	14,09	11,27	9,39	8,05	7,05	6,26	5,64
300	54,20	653,0	102,4	1,21900	32,94	22,64	16,98	13,58	11,32	9,70	8,49	7,55	6,79
320	61,10	782,0	106,8	1,14400	38,60	27,11	20,33	16,27	13,55	11,62	10,17	9,04	8,13
340	68,10	923,0	112,0	1,07500	44,69	32,00	24,00	19,20	16,00	13,71	12,00	10,67	9,60
360	76,20	1 090,0	116,0	1,01700	51,67	37,79	28,34	22,67	18,89	16,19	14,17	12,60	11,34
380	84,00	1 260,0	120,8	0,96000	58,88	43,68	32,76	26,21	21,84	18,72	16,38	14,56	13,10
400	92,60	1 460,0	125,2	0,91400	66,61	50,61	37,96	30,37	25,31	21,69	18,98	16,87	15,18
450	115,00	2 040,0	137,2	0,81400	88,39	70,63	53,04	42,43	35,36	30,31	26,52	23,57	21,22
500	141,00	2 750,0	148,8	0,73200	113,64	92,31	71,50	57,20	47,67	40,86	35,75	31,78	28,60
550	167,00	3 610,0	160,8	0,66600	133,43	114,87	93,86	75,09	62,57	53,63	46,93	41,72	37,54
600	199,00	4 630,0	172,0	0,60900	165,09	145,97	120,38	96,30	80,25	68,79	60,19	53,50	48,15

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	4,57300	1,38	0,92	0,69	0,55	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
100	10,60	41,2	58,8	3,65900	2,14	1,43	1,07	0,86	0,71	0,61	0,54	0,48	0,43
120	13,40	60,7	63,6	3,05100	3,16	2,10	1,58	1,26	1,05	0,90	0,79	0,70	0,63
140	16,00	86,4	70,0	2,61200	4,49	2,99	2,25	1,80	1,50	1,28	1,12	1,00	0,90
160	18,80	116,0	75,6	2,29400	6,03	4,02	3,02	2,41	2,01	1,72	1,51	1,34	1,21
180	22,00	150,0	80,8	2,03300	7,80	5,20	3,90	3,12	2,60	2,23	1,95	1,73	1,56
200	25,30	191,0	85,6	1,82900	9,93	6,62	4,97	3,97	3,31	2,84	2,48	2,21	1,99
220	29,40	245,0	92,0	1,66600	12,74	8,49	6,37	5,10	4,25	3,64	3,18	2,83	2,55
240	33,20	300,0	96,8	1,52400	15,60	10,40	7,80	6,24	5,20	4,46	3,90	3,47	3,12
260	37,90	371,0	102,4	1,40800	19,29	12,86	9,65	7,72	6,43	5,51	4,82	4,29	3,86
280	41,80	448,0	109,6	1,30500	23,30	15,53	11,65	9,32	7,76	6,66	5,82	5,18	4,66
300	46,20	535,0	116,0	1,21900	27,82	18,55	13,91	11,13	9,27	7,95	6,95	6,18	5,56

5.6 1-D 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,20	0.18	0,17	0.16	0.14	0.13	0.13	0 12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	80
0,36	0.32	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	100
0,57	0,52	0.47	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	120
0,85	0,77	0.71	0.65	0.61	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45	0,43	0.39	0.35	140
1,22	1.11	1.01	0.94	0.87	0.81	0.76	0.72	0.68	0.64	0.61	0.55	0,51	160
1,67	1,52	1.39	1.29	1.20	1.12	1.05	0.98	0.93	0.88	0.84	0,76	0.70	180
2,23	2.02	1.85	1.71	1.59	1.48	1.39	1.31	1.24	1.17	1.11	1.01	0.93	200
2,89	2.63	2.41	2.22	2.06	1.93	1.81	1.70	1.61	1.52	1.45	1.31	1.20	220
3,68	3.35	3.07	2.83	2.63	2.45	2.30	2.17	2,04	1.94	1.84	1.67	1.53	240
4,60	4.18	3.83	3,54	3.28	3.06	2.87	2.70	2.55	2.42	2,30	2,09	1.91	260
5,64	5.12	4.70	4.34	4.03	3.76	3.52	3.32	3.13	2.97	2.82	2.56	2.35	280
6,79	6.17	5.66	5.22	4.85	4.53	4.24	3.99	3.77	3,57	3.40	3.09	2.83	300
8,13	7.39	6.78	6,26	5.81	5.42	5,08	4.78	4.52	4.28	4.07	3.70	3.39	320
9,60	8.73	8.00	7.38	6,86	6.40	6.00	5.65	5.33	5.05	4.80	4.36	4,00	340
11,34	10,30	9.45	8.72	8.10	7.56	7.08	6.67	6.30	5.97	5.67	5.15	4.72	360
13,10	11.91	10.92	10,08	9.36	8.74	8.19	7.71	7.28	6.90	6.55	5.96	5.46	380
15,18	13,80	13.65	11.68	10.85	10.12	9.49	8.93	8.44	7.99	7.59	6.90	6.33	400
19,22	19.29	17.68	16.32	15.15	14.14	13.26	12.48	11.79	11.17	10.61	9.64	8.84	450
25,60	26.00	23.83	22.00	20.43	19.07	17.83	16.82	15.89	15.05	14,30	13.00	11.92	500
31,54	34.13	31.29	28.88	26 82	25.03	23.46	22.08	20.86	19.76	18.77	17.06	15.64	550
39,15	43.77	40.13	37.04	34.39	32.10	30.09	28.32	26.75	25.34	24.08	21.89	20.06	600

Luz en metros												UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9.5	10,0	11,0	12,0	
0,28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0,14	0.14	0.13	0,11	80
0,43	0.39	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0,23	0.21	0 19	0.18	100
0,63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.29	0.26	120
0,90	0.82	0.75	0.69	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.47	0.45	0.41	0.37	140
1,21	1.10	1.00	0.93	0.86	0.80	0.75	0.71	0.67	0.63	0.60	0.55	0.50	160
1,56	1.42	1.30	1.20	1,11	1.04	0.97	0.92	0.87	0.82	0.78	0.71	0.65	180
1,99	1.81	1.65	1.53	1,42	1 32	1.24	1.17	1.10	1.04	0.99	0.90	0.83	200
2,55	2 32	2.12	1.96	1.82	1,70	1.59	1.50	1.42	1.34	1.27	1.16	1.06	220
3,12	2.84	2.60	2 40	2,23	2.08	1 95	1.83	1.73	1.64	1.56	1.42	1.30	240
3,85	3.51	3,21	2.97	2.76	2.57	2.41	2.27	2.14	2.03	1.93	1,75	1.61	260
4,66	4.24	3,88	3.58	3.33	3.11	2.91	2.74	2.59	2.45	2.33	2.12	1,94	280
5,56	5.06	4,64	4.28	3,97	3.71	3,48	3.27	3.09	2,93	2.78	2.53	2.32	300

5.6 1-D 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	4,56800	1,04	0,69	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21
100	8,10	34,2	49,6	3,65900	1,78	1,19	0,89	0,71	0,59	0,51	0,44	0,39	0,36
120	10,40	53,0	58,0	3,04900	2,76	1,84	1,38	1,10	0,92	0,79	0,69	0,61	0,55
140	12,90	77,3	66,0	2,61400	4,02	2,68	2,01	1,61	1,34	1,15	1,00	0,89	0,80
160	15,80	109,0	73,6	2,29500	5,67	3,78	2,83	2,27	1,89	1,62	1,42	1,26	1,13
180	18,80	146,0	82,0	2,02300	7,59	5,06	3,80	3,04	2,53	2,17	1,90	1,69	1,52
200	22,40	194,0	89,6	1,82900	10,09	6,72	5,04	4,03	3,36	2,88	2,52	2,24	2,02
220	26,20	252,0	99,2	1,66400	12,74	8,74	6,55	5,24	4,37	3,74	3,28	2,91	2,62
240	30,70	324,0	107,6	1,52400	15,73	11,23	8,42	6,74	5,62	4,81	4,21	3,74	3,37
270	36,10	429,0	120,8	1,35500	19,73	14,87	11,15	8,92	7,44	6,37	5,58	4,96	4,46
300	42,20	557,0	134,0	1,21900	24,53	19,31	14,48	11,58	9,65	8,27	7,24	6,44	5,79
330	49,10	713,0	142,0	1,10800	29,85	24,01	18,54	14,83	12,36	10,59	9,27	8,24	7,41
360	57,10	904,0	151,6	1,01600	35,92	29,33	23,50	18,80	15,67	13,43	11,75	10,45	9,40
400	66,30	1 160,0	158,0	0,91700	44,20	36,55	30,16	24,13	20,11	17,23	15,08	13,40	12,06
450	77,60	1 500,0	164,8	0,81300	55,73	46,27	38,63	31,20	26,00	22,29	19,50	17,33	15,60
500	90,70	1 930,0	172,4	0,73200	67,09	57,64	48,37	40,14	33,45	28,67	25,09	22,30	20,07
550	106,00	2 440,0	178,0	0,66500	80,46	71,57	60,46	50,75	42,29	36,25	31,72	28,20	25,38
600	122,00	3 070,0	186,4	0,61000	94,24	86,90	73,96	63,54	53,21	45,61	39,91	35,48	31,93

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	3,65900	4,68	3,12	2,34	1,87	1,56	1,34	1,17	1,04	0,94
120	26,70	144,0	122,4	3,04900	7,49	4,99	3,74	2,99	2,50	2,14	1,87	1,66	1,50
140	33,70	216,0	143,2	2,61700	10,70	7,49	5,62	4,49	3,74	3,21	2,81	2,50	2,25
160	42,60	311,0	162,0	2,28500	14,58	10,78	8,09	6,47	5,39	4,62	4,04	3,59	3,23
180	51,20	426,0	182,8	2,03500	18,24	14,77	11,08	8,66	7,38	6,33	5,54	4,92	4,43
200	61,30	570,0	202,8	1,82900	22,16	19,33	14,82	11,86	9,88	8,47	7,41	6,59	5,93
220	71,50	736,0	223,6	1,66400	26,27	23,20	19,14	15,31	12,76	10,93	9,57	8,50	7,65
240	83,20	938,0	243,2	1,52400	30,89	27,81	24,39	19,51	16,26	13,94	12,19	10,84	9,75
260	93,00	1 150,0	263,2	1,41000	34,25	31,39	28,37	23,92	19,93	17,09	14,95	13,29	11,96
280	103,00	1 380,0	283,6	1,31000	39,15	35,99	32,63	28,70	23,92	20,50	17,94	15,95	14,35
300	117,00	1 680,0	303,2	1,22100	44,46	41,35	37,92	34,56	29,12	24,96	21,84	19,41	17,47
320	127,00	1 930,0	302,8	1,14600	49,72	46,51	42,70	38,95	33,45	28,67	25,09	22,30	20,07
340	134,00	2 160,0	301,2	1,07800	55,03	51,66	47,36	43,15	37,44	32,09	28,08	24,96	22,46
360	142,00	2 400,0	299,6	1,01700	60,48	57,01	52,22	47,53	41,60	35,66	31,20	27,73	24,96
400	155,00	2 880,0	296,0	0,91300	72,15	68,40	62,39	56,57	49,92	42,79	37,44	33,28	29,95
450	171,00	3 550,0	293,2	0,81300	84,36	81,28	74,26	67,43	61,19	52,74	46,15	41,02	36,92
500	187,00	4 290,0	290,8	0,73200	96,80	94,81	86,82	79,00	71,82	63,74	55,77	49,57	44,62
550	199,00	4 970,0	286,8	0,66500	109,92	108,96	99,58	90,46	82,12	73,84	64,61	57,43	51,69
600	212,00	5 700,0	283,2	0,61000	123,98	123,98	113,45	102,88	93,24	84,69	74,10	65,87	59,28

5.6 1-D 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros												IPE
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0.11	0.10	0.09	0,09	80
0,32	0.30	0.27	0,25	0,24	0.22	0,21	0,20	0.19	0.18	0.16	0,15	100
0,50	0,46	0,42	0,39	0,37	0.34	0.32	0.31	0.29	0,28	0,25	0.23	120
0.73	0,67	0,62	0.57	0,54	0.50	0,47	0.45	0,42	0.40	0,36	0,33	140
1,03	0,94	0.87	0,81	0,76	0,71	0.67	0.63	0.60	0.57	0,51	0,47	160
1,38	1,26	1.17	1.08	1.01	0,95	0,89	0.84	0,80	0,76	0.69	0,63	180
1,83	1,68	1,55	1,44	1,34	1.26	1,19	1.12	1,06	1,01	0.92	0.84	200
2.38	2.18	2.02	1,87	1.75	1,64	1.54	1.46	1.38	1.31	1,19	1,09	220
3.06	2.81	2.59	2.41	2.25	2,11	1.98	1,87	1,77	1.68	1.53	1.40	240
4,06	3.72	3,43	3.19	2,97	2.79	2.62	2,48	2,35	2.23	2.03	1,86	270
5.27	4,83	4,46	4.14	3,86	3,62	3.41	3,22	3,05	2,90	2,63	2,41	300
6,74	6,18	5.70	5.30	4.94	4,63	4,36	4,12	3.90	3,71	3.37	3.09	330
8,55	7.83	7.23	6,71	6,27	5,88	5.53	5.22	4.95	4.70	4,27	3.92	360
10,97	10,05	9.28	8,62	8,04	7.54	7,10	6,70	6,35	6,03	5.48	5.03	400
14,18	13.00	12.00	11,14	10.40	9,75	9,18	8,67	8,21	7,80	7,09	6,50	450
18,25	16,73	15,44	14,34	13,38	12,54	11.81	11.15	10.56	10.04	9.12	8,36	500
23,07	21,15	19,52	18,13	16,92	15,86	14,93	14,10	13,36	12,69	11,53	10,57	550
29,02	26,61	24,56	22,81	21,28	19,95	18,78	17,74	16,80	15,96	14,51	13,30	600

Luz en metros												HEB
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,85	0,78	0,72	0,67	0.62	0,58	0.55	0.52	0,49	0,47	0,42	0,39	100
1,36	1,25	1.15	1,07	1.00	0.94	0,88	0,83	0,79	0,75	0.68	0,62	120
2,04	1.87	1,73	1.60	1,50	1.40	1,32	1,25	1,18	1,12	1.02	0,94	140
2.94	2,69	2.49	2,31	2,16	2,02	1.90	1.80	1,70	1,62	1,47	1,35	160
4,03	3.69	3,41	3,16	2.95	2,77	2,61	2,46	2,33	2,21	2.01	1,85	180
5.39	4,94	4.56	4,23	3,95	3,70	3.49	3,29	3,12	2,96	2,69	2,47	200
6,96	6,38	5.89	5,47	5,10	4.78	4,50	4,25	4.03	3.83	3.48	3,19	220
8.87	8.13	7,50	6,97	6,50	6,10	5.74	5.42	5.13	4,88	4,43	4,06	240
10,87	9.97	9,20	8.54	7,97	7,47	7,03	6,64	6,29	5,98	5,44	4,98	260
13,05	11,96	11.04	10.25	9,57	8.97	8,44	7,97	7,55	7.18	6.52	5,98	280
15.88	14,56	13,44	12,48	11,65	10,92	10,28	9,71	9,20	8,74	7,94	7.28	300
18,25	16,73	15,44	14,34	13,38	12.54	11,81	11,15	10,56	10,04	9,12	8,36	320
20.42	18,72	17,28	16.05	14,98	14,04	13,21	12.48	11,82	11,23	10,21	9,36	340
22,69	20,80	19,20	17,83	16,64	15.60	14.68	13.87	13,14	12,48	11,34	10,40	360
27,23	24,96	23,04	21.39	19.97	18.72	17.62	16,64	15,76	14,98	13,61	12.48	400
33.56	30,77	28,40	26,37	24,61	23,07	21,72	20,51	19,43	18,46	16,78	15,38	450
40,56	37,18	34,32	31,87	29,74	27.88	26,24	24,79	23,48	22,31	20,28	18,59	500
46,99	43,07	39,76	36,92	34.46	32.30	30,40	28.72	27,20	25,84	23,49	21,54	550
53,89	49,40	45,60	42,34	39,52	37,05	34,87	32.93	31,20	29.64	26,94	24,70	600

5.6 1-D 2



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

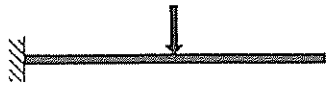
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	16,70	72,8	100,4	3,81600	3,79	2,52	1,89	1,51	1,26	1,08	0,95	0,84	0,7
120	19,90	106,0	120,8	3,20000	5,51	3,67	2,76	2,20	1,84	1,57	1,38	1,22	1,1
140	24,70	155,0	140,8	2,75300	7,80	5,37	4,03	3,22	2,69	2,30	2,01	1,79	1,6
160	30,40	220,0	159,2	2,41000	10,30	7,63	5,72	4,58	3,81	3,27	2,86	2,54	2,3
180	35,50	294,0	180,8	2,14300	12,28	10,19	7,64	6,11	5,10	4,37	3,82	3,40	3,0
200	42,30	389,0	199,2	1,92800	15,22	13,08	10,11	8,09	6,74	5,78	5,06	4,49	4,0
220	50,50	515,0	220,4	1,74100	18,62	16,23	13,39	10,71	8,93	7,65	6,69	5,95	5,3
240	60,30	675,0	240,0	1,59100	22,42	19,98	17,55	14,04	11,70	10,03	8,77	7,80	7,0
260	68,20	836,0	260,0	1,46300	24,96	22,72	20,41	17,39	14,49	12,42	10,87	9,66	8,6
280	76,40	1 010,0	280,0	1,35200	29,06	26,52	23,88	21,01	17,51	15,01	13,13	11,67	10,5
300	88,30	1 260,0	299,6	1,26200	33,54	31,03	28,30	25,66	21,84	18,72	16,38	14,56	13,1
320	97,60	1 480,0	299,6	1,18100	38,06	35,41	32,39	29,44	25,65	21,99	19,24	17,10	15,3
340	105,00	1 680,0	298,4	1,11000	42,69	39,88	36,43	33,08	29,12	24,96	21,84	19,41	17,4
360	112,00	1 890,0	297,2	1,04500	47,76	44,77	40,84	37,04	32,76	28,08	24,57	21,84	19,6
400	125,00	2 310,0	293,6	0,93800	58,14	54,80	49,77	44,96	40,04	34,32	30,03	26,69	24,0
450	140,00	2 900,0	291,6	0,83300	68,32	65,66	59,85	54,25	49,15	43,09	37,70	33,51	30,1
500	155,00	3 550,0	289,6	0,74700	79,52	77,74	71,07	64,57	58,63	52,74	46,15	41,02	36,9
550	166,00	4 150,0	286,0	0,67800	90,89	89,97	82,11	74,49	67,55	61,41	53,95	47,96	43,1
600	178,00	4 790,0	282,0	0,62100	102,81	102,81	93,97	85,16	77,15	70,08	62,27	55,35	49,82

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	3,04900	9,88	6,59	4,94	3,95	3,29	2,82	2,47	2,20	1,98
120	52,10	288,0	130,0	2,60800	14,98	9,98	7,49	5,99	4,99	4,28	3,74	3,33	2,99
140	63,20	411,0	150,8	2,28500	21,37	14,25	10,69	8,55	7,12	6,11	5,34	4,75	4,27
160	76,20	566,0	170,4	2,03000	28,11	19,62	14,72	11,77	9,81	8,41	7,36	6,54	5,89
180	88,90	748,0	190,8	1,82900	33,41	25,93	19,45	15,56	12,96	11,11	9,72	8,64	7,78
200	103,00	967,0	210,8	1,66300	39,40	33,52	25,14	20,11	16,76	14,37	12,57	11,17	10,06
220	117,00	1 220,0	231,6	1,52900	45,47	40,52	31,72	25,38	21,15	18,13	15,86	14,10	12,69
240	157,00	1 800,0	255,6	1,35600	60,41	55,32	46,80	37,44	31,20	26,74	23,40	20,80	18,72
260	172,00	2 160,0	276,0	1,26200	66,34	61,52	56,16	44,93	37,44	32,09	28,08	24,96	22,46
280	189,00	2 550,0	296,0	1,17900	73,89	68,76	63,09	53,04	44,20	37,89	33,15	29,47	26,52
300	238,00	3 480,0	320,0	1,07500	91,48	86,96	81,05	72,38	60,32	51,70	45,24	40,21	36,19
320	245,00	3 800,0	318,0	1,02000	96,74	92,40	86,14	79,04	65,87	56,46	49,40	43,91	39,52
340	248,00	4 050,0	316,0	0,97000	102,00	97,60	90,77	83,79	70,20	60,17	52,65	46,80	42,12
360	250,00	4 300,0	313,2	0,92700	107,44	102,98	95,52	87,95	74,53	63,89	55,90	49,69	44,72
400	256,00	4 820,0	308,0	0,84700	117,62	113,40	104,82	96,20	83,55	71,61	62,66	55,70	50,13
450	263,00	5 500,0	303,6	0,76500	130,77	127,19	117,13	107,13	95,33	81,71	71,50	63,56	57,20
500	270,00	6 180,0	298,4	0,69800	143,76	141,16	129,56	118,14	107,12	91,82	80,34	71,41	64,27
550	278,00	6 920,0	294,0	0,63900	157,22	156,13	142,94	130,06	118,21	102,81	89,96	79,96	71,97
600	285,00	7 660,0	288,8	0,59000	170,47	170,47	156,41	142,00	128,83	113,81	99,58	88,52	79,66

5.6 1-D 2

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,76	0.69	0,63	0,58	0.54	0.50	0,47	0,44	0,42	0,40	0.38	0.34	0,31	100
1,10	1.00	0,92	0,85	0.79	0.73	0.69	0.65	0,61	0,58	0,55	0,50	0,46	120
1,61	1.46	1.34	1,24	1.15	1,07	1.01	0.95	0.90	0,85	0,81	0,73	0,67	140
2,29	2,08	1.91	1.76	1,63	1,52	1,43	1,35	1.27	1,20	1.14	1.04	0.95	160
3,06	2,78	2.55	2,35	2,18	2,04	1,91	1,80	1.70	1,61	1,53	1,39	1.27	180
4,05	3.68	3.37	3,11	2.89	2.70	2.53	2,38	2,25	2,13	2,02	1,84	1.69	200
5,36	4.87	4,46	4,12	3,83	3,57	3,35	3,15	2,98	2,82	2,68	2,43	2,23	220
7,02	6.38	5.85	5,40	5,01	4,68	4.39	4,13	3.90	3,69	3,51	3,19	2,92	240
8,69	7,90	7,24	6,69	6.21	5,80	5.43	5,11	4.83	4.58	4,35	3,95	3.62	260
10,50	9,55	8,75	8,08	7,50	7,00	6,56	6,18	5,84	5,53	5,25	4,77	4,38	280
13,10	11,91	10.92	10.08	9.36	8,74	8.19	7.71	7,28	6,90	6.55	5,96	5,46	300
15,39	13.99	12,83	11,84	10,99	10,26	9,62	9,05	8,55	8.10	7.70	7.00	6,41	320
17,47	15.88	14.56	13,44	12,48	11,65	10,92	10,28	9,71	9,20	8,74	7.94	7,28	340
19,66	17,87	16.38	15.12	14,04	13,10	12,28	11,56	10,92	10.34	9,83	8,93	8.19	360
24,02	21.84	20,02	18,48	17,16	16,02	15,01	14,13	13,35	12.64	12.01	10,92	10.01	400
30,16	27,42	25,13	23,20	21.54	20,11	18,85	17,74	16,76	15,87	15.08	13,71	12,57	450
36,92	33.56	30,77	28.40	26,37	24,61	23,07	21,72	20,51	19.43	18,46	16.78	15,38	500
43,16	39.24	35.97	33.20	30,83	28,77	26,97	25,39	23,98	22.72	21,58	19,62	17,98	550
49,82	45.29	41,51	38.32	35,58	33.21	31,13	29,30	27.68	26,22	24,91	22,64	20.76	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
1,98	1.80	1.65	1,52	1,41	1,32	1.23	1,16	1,10	1.04	0,99	0.90	0,82	100
2,99	2.72	2.50	2.30	2.14	2,00	1,87	1,76	1,66	1.58	1.50	1,36	1,25	120
4,27	3,89	3,56	3.29	3.05	2,85	2.67	2.51	2,38	2,25	2,14	1,94	1,78	140
5,89	5.35	4,90	4.53	4.20	3,92	3.68	3.46	3,27	3,10	2,94	2.68	2,45	160
7,78	7.07	6.48	5,98	5.56	5,19	4,86	4.58	4,32	4.09	3,89	3,54	3.24	180
10,06	9.14	8,38	7.74	7.18	6.70	6.28	5.92	5,59	5.29	5.03	4,57	4.19	200
12,69	11,53	10.57	9.76	9,06	8,46	7.93	7,46	7,05	6.68	6,34	5.77	5.29	220
15,72	17.02	15.60	14,40	13,37	12.48	11.70	11.01	10,40	9.85	9,36	8,51	7,80	240
18,46	20.42	18,72	17,28	16.05	14,98	14,04	13,21	12,48	11.82	11.23	10,21	9,36	260
21,52	24,11	22,10	20.40	18.94	17,68	16,57	15,60	14,73	13,96	13.26	12,05	11,05	280
26,19	32.90	30,16	27.84	25,85	24,13	22.62	21,29	20,11	19.05	18,10	16,45	15.08	300
29,52	35.93	32,93	30,40	28,23	26,35	24.70	23,25	21,96	20,80	19.76	17,96	16,47	320
33,12	38,29	35,10	32,40	30.09	28.08	26,32	24.78	23.40	22.17	21.06	19,14	17,55	340
36,72	40,65	37.27	34.40	31.94	29.81	27,95	26.31	24,84	23.54	22,36	20,33	18,63	360
40,13	45,57	41,77	38.56	35.81	33.42	31,33	29.49	27.85	26,38	25.06	22.78	20,89	400
47,20	52,00	47.67	44.00	40.86	38,13	35,75	33.65	31,78	30,10	28,60	26,00	23,83	450
54,27	58.43	53,56	49,44	45,91	42,85	40.17	37.81	35,71	33,83	32.14	29.21	26.78	500
61,97	65.42	59,97	55.36	51,41	47.98	44.98	42.33	39,98	37,88	35.98	32,71	29,99	550
69,66	72.42	66.39	61.28	56.90	53.11	49.79	46.86	44,26	41.93	39.83	36,21	33.19	600

5.6 1-D 2

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

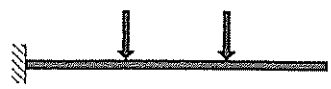
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	4,87800	0,51	0,34	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10
100	8,32	34,2	42,6	3,90300	0,89	0,59	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,20	0,18
120	11,10	54,7	49,2	3,25400	1,42	0,95	0,71	0,57	0,47	0,41	0,36	0,32	0,28
140	14,40	81,9	56,0	2,78900	2,13	1,42	1,06	0,85	0,71	0,61	0,53	0,47	0,43
160	17,90	117,0	62,0	2,44200	3,04	2,03	1,52	1,22	1,01	0,87	0,76	0,68	0,61
180	21,90	161,0	68,4	2,16700	4,19	2,79	2,09	1,67	1,39	1,20	1,05	0,93	0,84
200	26,30	214,0	74,8	1,95100	5,56	3,71	2,78	2,23	1,85	1,59	1,39	1,24	1,11
220	31,10	278,0	80,8	1,77300	7,23	4,82	3,61	2,89	2,41	2,06	1,81	1,61	1,45
240	36,20	354,0	88,0	1,62500	9,20	6,14	4,60	3,68	3,07	2,63	2,30	2,04	1,84
260	41,90	442,0	92,8	1,50300	11,49	7,66	5,75	4,60	3,83	3,28	2,87	2,55	2,30
280	48,00	542,0	98,0	1,39300	13,91	9,39	7,05	5,64	4,70	4,03	3,52	3,13	2,82
300	54,20	653,0	102,4	1,30000	16,47	11,32	8,49	6,79	5,66	4,85	4,24	3,77	3,40
320	61,10	782,0	106,8	1,22000	19,30	13,55	10,17	8,13	6,78	5,81	5,08	4,52	4,07
340	68,10	923,0	112,0	1,14700	22,35	16,00	12,00	9,60	8,00	6,86	6,00	5,33	4,80
360	76,20	1 090,0	116,0	1,08500	25,84	18,89	14,17	11,34	9,45	8,10	7,08	6,30	5,67
380	84,00	1 260,0	120,8	1,02400	29,44	21,84	16,38	13,10	10,92	9,36	8,19	7,28	6,55
400	92,60	1 460,0	125,2	0,97500	33,30	25,31	18,98	15,18	12,65	10,85	9,49	8,44	7,59
450	115,00	2 040,0	137,2	0,86800	44,19	35,32	26,52	21,22	17,68	15,15	13,26	11,79	10,61
500	141,00	2 750,0	148,8	0,78100	56,82	46,16	35,75	28,60	23,83	20,43	17,88	15,89	14,30
550	167,00	3 610,0	160,8	0,71000	66,71	57,43	46,93	37,54	31,29	26,82	23,46	20,86	18,77
600	199,00	4 630,0	172,0	0,65000	82,54	72,99	60,19	48,15	40,13	34,39	30,09	26,75	24,08

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	4,87800	0,69	0,46	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14
100	10,60	41,2	58,8	3,90300	1,07	0,71	0,54	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21
120	13,40	60,7	63,6	3,25400	1,58	1,05	0,79	0,63	0,53	0,45	0,39	0,35	0,32
140	16,00	86,4	70,0	2,78700	2,25	1,50	1,12	0,90	0,75	0,64	0,56	0,50	0,45
160	18,80	116,0	75,6	2,44700	3,02	2,01	1,51	1,21	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60
180	22,00	150,0	80,8	2,16800	3,90	2,60	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,87	0,78
200	25,30	191,0	85,6	1,95100	4,97	3,31	2,48	1,99	1,65	1,42	1,24	1,10	0,99
220	29,40	245,0	92,0	1,77700	6,37	4,25	3,18	2,55	2,12	1,82	1,59	1,42	1,27
240	33,20	300,0	96,8	1,62600	7,80	5,20	3,90	3,12	2,60	2,23	1,95	1,73	1,56
260	37,90	371,0	102,4	1,50200	9,65	6,43	4,82	3,86	3,21	2,76	2,41	2,14	1,93
280	41,80	448,0	109,6	1,39200	11,65	7,76	5,82	4,66	3,88	3,33	2,91	2,59	2,33
300	46,20	535,0	116,0	1,30000	13,91	9,27	6,95	5,56	4,64	3,97	3,48	3,09	2,78

5.6 1-D 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,09	0.08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	80
0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	100
0,26	0.24	0,22	0,20	0.19	0,18	0.17	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	120
0.39	0.35	0,33	0.30	0,28	0,27	0,25	0.24	0,22	0.21	0,19	0,18	140
0,55	0,51	0.47	0,43	0,41	0,38	0,36	0.34	0,32	0,30	0,28	0,25	160
0,76	0,70	0.64	0,60	0.56	0,52	0.49	0,46	0,44	0.42	0,38	0,35	180
1,01	0,93	0.86	0.79	0.74	0,69	0,65	0.62	0,59	0,56	0,51	0.46	200
1,31	1.20	1,11	1,03	0.96	0,90	0.85	0,80	0,76	0,72	0,66	0,60	220
1.67	1,53	1,42	1.31	1,23	1.15	1,08	1,02	0.97	0,92	0,84	0.77	240
2,09	1,91	1.77	1,64	1,53	1,44	1,35	1,28	1,21	1,15	1,04	0,96	260
2,56	2,35	2.17	2,01	1,88	1,76	1.66	1.57	1.48	1.41	1.28	1,17	280
3.09	2,83	2.61	2.42	2.26	2,12	2,00	1,89	1,79	1,70	1,54	1,41	300
3.70	3,39	3,13	2,90	2.71	2.54	2.39	2,26	2.14	2,03	1,85	1,69	320
4.36	4.00	3,69	3.43	3,20	3,00	2,82	2.67	2,53	2,40	2,18	2,00	340
5.15	4,72	4.36	4,05	3,78	3,54	3,33	3,15	2.98	2.83	2.58	2,36	360
5,96	5,46	5,04	4,68	4,37	4.09	3,85	3.64	3.45	3,28	2,98	2.73	380
6,90	6,33	5.84	5,42	5,06	4,74	4.47	4,22	4.00	3,80	3.45	3.16	400
9,64	8,84	8.16	7.58	7.07	6,63	6,24	5.89	5,58	5,30	4,82	4,42	450
13,00	11,92	11.00	10,21	9.53	8.94	8,41	7.94	7.53	7.15	6.50	5,96	500
17.06	15.64	14,44	13.41	12.51	11,73	11,04	10,43	9,88	9,39	8,53	7.82	550
21.89	20.06	18.52	17,20	16,05	15,05	14.16	13.38	12,67	12,04	10,94	10,03	600

Luz en metros												UPN
5.5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9.5	10,0	11,0	12,0	
0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0.09	0,08	0.08	0.07	0,07	0.06	0,06	80
0,19	0,18	0.16	0.15	0,14	0,13	0,13	0.12	0,11	0,11	0,10	0,09	100
0,29	0,26	0,24	0,22	0,21	0.20	0.19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13	120
0,41	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0.22	0,20	0,19	140
0,55	0,50	0,46	0.43	0.40	0,38	0.35	0,33	0,32	0,30	0,27	0,25	160
0.71	0,65	0,60	0.56	0,52	0.49	0,46	0.43	0,41	0,39	0,35	0.32	180
0,90	0,83	0,76	0,71	0.66	0.62	0,58	0.55	0,52	0.50	0,45	0,41	200
1,16	1,06	0,98	0,91	0,85	0,80	0.75	0,71	0.67	0,64	0.58	0,53	220
1,42	1,30	1.20	1,11	1,04	0,97	0,92	0,87	0.82	0,78	0,71	0,65	240
1,75	1,61	1,48	1.38	1.29	1,21	1,13	1.07	1.01	0,96	0,88	0,80	260
2.12	1,94	1,79	1,66	1,55	1,46	1.37	1,29	1,23	1,16	1,06	0,97	280
2,53	2,32	2,14	1,99	1,85	1,74	1.64	1.55	1.46	1,39	1,26	1,16	300

5.6 1-D3



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

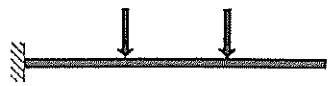
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	4,87200	0,52	0,35	0,26	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10
100	8,10	34,2	49,6	3,90300	0,89	0,59	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,20	0,18
120	10,40	53,0	58,0	3,25200	1,38	0,92	0,69	0,55	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28
140	12,90	77,3	66,0	2,78800	2,01	1,34	1,00	0,80	0,67	0,57	0,50	0,45	0,40
160	15,80	109,0	73,6	2,44800	2,83	1,89	1,42	1,13	0,94	0,81	0,71	0,63	0,57
180	18,80	146,0	82,0	2,15800	3,80	2,53	1,90	1,52	1,26	1,08	0,95	0,84	0,76
200	22,40	194,0	89,6	1,95100	5,04	3,36	2,52	2,02	1,68	1,44	1,26	1,12	1,01
220	26,20	252,0	99,2	1,77500	6,37	4,37	3,28	2,62	2,18	1,87	1,64	1,46	1,31
240	30,70	324,0	107,6	1,62500	7,87	5,62	4,21	3,37	2,81	2,41	2,11	1,87	1,68
270	36,10	429,0	120,8	1,44600	9,87	7,44	5,58	4,46	3,72	3,19	2,79	2,48	2,23
300	42,20	557,0	134,0	1,30000	12,27	9,65	7,24	5,79	4,83	4,14	2,62	3,22	2,90
330	49,10	713,0	142,0	1,18200	14,93	12,00	9,27	7,41	6,18	5,30	4,63	4,12	3,71
360	57,10	904,0	151,6	1,08400	17,96	14,66	11,75	9,40	7,83	6,71	5,88	5,22	4,70
400	66,30	1 160,0	158,0	0,97900	22,10	18,28	15,08	12,06	10,05	8,62	7,54	6,70	6,03
450	77,60	1 500,0	164,8	0,86700	27,87	23,14	19,32	15,60	13,00	11,14	9,75	8,67	7,80
500	90,70	1 930,0	172,4	0,78100	33,55	28,82	24,18	20,07	16,73	14,34	12,54	11,15	10,04
550	106,00	2 440,0	178,0	0,70900	40,23	35,78	30,23	25,38	21,15	18,13	15,86	14,10	12,69
600	122,00	3 070,0	186,4	0,65100	47,12	43,45	36,98	31,77	26,61	22,81	19,95	17,74	15,96

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	3,90300	2,34	1,56	1,17	0,94	0,78	0,67	0,58	0,52	0,47
120	26,70	144,0	122,4	3,25200	3,74	2,50	1,87	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83	0,75
140	33,70	216,0	143,2	2,79100	5,35	3,74	2,81	2,25	1,87	1,60	1,40	1,25	1,12
160	42,60	311,0	162,0	2,43700	7,29	5,39	4,04	3,23	2,69	2,31	2,02	1,80	1,62
180	51,20	426,0	182,8	2,17000	9,12	7,38	5,54	4,43	3,69	3,16	2,77	2,46	2,21
200	61,30	570,0	202,8	1,95100	11,08	9,67	7,41	5,93	4,94	4,23	3,70	3,29	2,96
220	71,50	736,0	223,6	1,77500	13,13	11,60	9,57	7,65	6,38	5,47	4,78	4,25	3,83
240	83,20	938,0	243,2	1,62500	15,44	13,90	12,19	9,75	8,13	6,97	6,10	5,42	4,88
260	93,00	1 150,0	263,2	1,50400	17,13	15,69	14,18	11,96	9,97	8,54	7,47	6,64	5,98
280	103,00	1 380,0	283,6	1,39700	19,58	18,00	16,31	14,35	11,96	10,25	8,97	7,97	7,18
300	117,00	1 680,0	303,2	1,30200	22,23	20,68	18,96	17,28	14,56	12,48	10,92	9,71	8,74
320	127,00	1 930,0	302,8	1,22200	24,86	23,26	21,35	19,47	16,73	14,34	12,54	11,15	10,04
340	134,00	2 160,0	301,2	1,15000	27,51	25,83	23,68	21,57	18,72	16,05	14,04	12,48	11,23
360	142,00	2 400,0	299,6	1,08400	30,24	28,51	26,11	23,76	20,80	17,83	15,60	13,87	12,48
400	155,00	2 880,0	296,0	0,97400	36,08	34,20	31,19	28,29	24,96	21,39	18,72	16,64	14,98
450	171,00	3 550,0	293,2	0,86700	42,18	40,64	37,13	33,72	30,60	26,37	23,07	20,51	18,46
500	187,00	4 290,0	290,8	0,78100	48,40	47,40	43,41	39,50	35,91	31,87	27,88	24,79	22,31
550	199,00	4 970,0	286,8	0,70900	54,96	54,48	49,79	45,23	41,06	36,92	32,30	28,72	25,84
600	212,00	5 700,0	283,2	0,65000	61,99	61,99	56,73	51,44	46,62	42,34	37,05	32,93	29,64

5.6 1-D 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,10	0,09	0.09	0,08	0.07	0.07	0.06	0,06	0.06	0.05	0.05	0.05	0,04	80
0,18	0.16	0.15	0.14	0,13	0,12	0.11	0,10	0.10	0,09	0.09	0.08	0,07	100
0,28	0,25	0,23	0,21	0.20	0,18	0.17	0.16	0.15	0.14	0,14	0,13	0,11	120
0,40	0.36	0.33	0,31	0,29	0,27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	140
0,57	0.51	0.47	0.44	0.40	0,38	0.35	0.33	0.31	0.30	0,28	0,26	0.24	160
0,76	0,69	0.63	0.58	0,54	0.51	0.47	0.45	0.42	0,40	0,38	0.34	0,32	180
1,01	0.92	0,84	0,78	0.72	0,67	0.63	0,59	0.56	0.53	0,50	0.46	0,42	200
1,31	1,19	1.09	1.01	0.94	0,87	0,82	0,77	0.73	0.69	0,65	0,60	0,55	220
1,68	1,53	1.40	1.30	1,20	1.12	1.05	0.99	0.94	0.89	0.84	0.77	0.70	240
2,23	2,03	1,86	1.72	1.59	1,49	1,39	1.31	1,24	1,17	1.11	1,01	0,93	270
2,90	2,63	2.41	2.23	2.07	1.93	1,81	1,70	1.61	1.52	1,45	1,32	1,21	300
3,71	3.37	3.09	2.85	2.65	2.47	2.32	2,18	2.06	1,95	1.85	1.68	1,54	330
4,70	4,27	3,92	3.62	3,36	3.13	2,94	2.76	2,61	2.47	2.35	2.14	1,96	360
6,03	5,48	5.03	4,64	4,31	4,02	3,77	3,55	3.35	3.17	3,02	2,74	2,51	400
7,80	7,09	6,50	6,00	5.57	5,20	4,88	4,59	4.33	4.10	3,90	3.54	3.25	450
10,04	9,12	8.36	7.72	7.17	6,69	6.27	5,90	5.58	5.28	5.02	4.56	4.18	500
12,69	11,53	10,57	9.76	9,06	8,46	7.93	7,46	7,05	6,68	6.34	5,77	5,29	550
15,96	14.51	13.30	12.28	11.40	10.64	9,98	9,39	8.87	8,40	7,98	7.26	6.65	600

Luz en metros												HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,47	0.42	0,39	0,36	0.33	0.31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,23	0.21	0,19	100
0,75	0,68	0,62	0,58	0.53	0.50	0.47	0,44	0.42	0,39	0.37	0,34	0,31	120
1,12	1,02	0,94	0.86	0,80	0,75	0.70	0.66	0.62	0,59	0.56	0,51	0.47	140
1,62	1.47	1.35	1.24	1,15	1,08	1,01	0,95	0,90	0,85	0,81	0.73	0,67	160
2,21	2.01	1.85	1,70	1.58	1.48	1,38	1,30	1,23	1.17	1,11	1,01	0.92	180
2,96	2.69	2.47	2,28	2,12	1,98	1.85	1.74	1.65	1.56	1.48	1,35	1,23	200
3,83	3.48	3.19	2.94	2.73	2.55	2,39	2,25	2.13	2.01	1,91	1,74	1,59	220
4,88	4,43	4,06	3,75	3,48	3,25	3.05	2.87	2,71	2.57	2.44	2.22	2.03	240
5,98	5.44	4,98	4.60	4,27	3,99	3,74	3.52	3.32	3,15	2,99	2,72	2,49	260
7,18	6.52	5.98	5,52	5.13	4,78	4.48	4,22	3,99	3.78	3.59	3,26	2,99	280
8,74	7,94	7.28	6,72	6,24	5.82	5,46	5.14	4.85	4.60	4,37	3.97	3,64	300
10,04	9.12	8,36	7,72	7,17	6,69	6,27	5.90	5,58	5,28	5.02	4,56	4,18	320
11,23	10,21	9.36	8,64	8.02	7,49	7,02	6,61	6,24	5.91	5,62	5,10	4,68	340
12,48	11,34	10,40	9,60	8.91	8.32	7.80	7.34	6.93	6.57	6,24	5.67	5,20	360
14,98	13.61	12.48	11.52	10,70	9,98	9,36	8,81	8,32	7.88	7,49	6.81	6,24	400
18,46	16,78	15,38	14.20	13,19	12.31	11.54	10.86	10.26	9,72	9.23	8.39	7,69	450
22,31	20,28	18.59	17.16	15,93	14.87	13,94	13.12	12,39	11,74	11,15	10,14	9,29	500
26,84	23,49	21,54	19.88	18,46	17.23	16,15	15.20	14.36	13,60	12,92	11,75	10,77	550
31,64	26.94	24 70	22.80	21,17	19.76	18,52	17 43	16.47	15.60	14,82	13,47	12.35	600

5.6 1-D 3



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

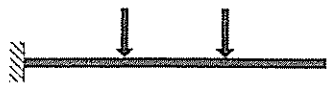
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	16,70	72,8	100,4	4,07000	1,89	1,26	0,95	0,76	0,63	0,54	0,47	0,42	0,3
120	19,90	106,0	120,8	3,41300	2,76	1,84	1,38	1,10	0,92	0,79	0,69	0,61	0,5
140	24,70	155,0	140,8	2,93600	3,90	2,69	2,01	1,61	1,34	1,15	1,01	0,90	0,8
160	30,40	220,0	159,2	2,57100	5,15	3,81	2,86	2,29	1,91	1,63	1,43	1,27	1,1
180	35,50	294,0	180,8	2,28600	6,14	5,10	3,82	3,06	2,55	2,18	1,91	1,70	1,5
200	42,30	389,0	199,2	2,05700	7,61	6,54	5,06	4,05	3,37	2,89	2,53	2,25	2,0
220	50,50	515,0	220,4	1,85800	9,31	8,12	6,69	5,36	4,46	3,83	3,35	2,98	2,6
240	60,30	675,0	240,0	1,69700	11,21	9,99	8,77	7,02	5,85	5,01	4,39	3,90	3,5
260	68,20	836,0	260,0	1,56100	12,48	11,36	10,20	8,69	7,24	6,21	5,43	4,83	4,3
280	76,40	1 010,0	280,0	1,44200	14,53	13,26	11,94	10,50	8,75	7,50	6,56	5,84	5,2
300	88,30	1 260,0	299,6	1,34600	16,77	15,51	14,15	12,83	10,92	9,36	8,19	7,28	6,5
320	97,60	1 480,0	299,6	1,25900	19,03	17,70	16,19	14,72	12,83	10,99	9,62	8,55	7,7
340	105,00	1 680,0	298,4	1,18400	21,34	19,94	18,21	16,54	14,56	12,48	10,92	9,71	8,7
360	112,00	1 890,0	297,2	1,11500	23,88	22,38	20,42	18,52	16,38	14,04	12,28	10,92	9,8
400	125,00	2 310,0	293,6	1,00000	29,07	27,40	24,88	22,48	20,02	17,16	15,01	13,35	12,01
450	140,00	2 900,0	291,6	0,88800	34,16	32,83	29,93	27,13	24,58	21,54	18,85	16,76	15,08
500	155,00	3 550,0	289,6	0,79600	39,76	38,87	35,53	32,29	29,31	26,37	23,07	20,51	18,46
550	166,00	4 150,0	286,0	0,72400	45,45	44,99	41,05	37,25	33,77	30,70	26,97	23,98	21,58
600	178,00	4 790,0	282,0	0,66200	51,41	51,41	46,98	42,58	38,57	35,04	31,13	27,68	24,91

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	3,25200	4,94	3,29	2,47	1,98	1,65	1,41	1,23	1,10	0,99
120	52,10	288,0	130,0	2,78200	7,49	4,99	3,74	2,99	2,50	2,14	1,87	1,66	1,50
140	63,20	411,0	150,8	2,43800	10,69	7,12	5,34	4,27	3,56	3,05	2,67	2,38	2,14
160	76,20	566,0	170,4	2,16600	14,06	9,81	7,36	5,89	4,90	4,20	3,68	3,27	2,94
180	88,90	748,0	190,8	1,95100	16,71	12,96	9,72	7,78	6,48	5,56	4,86	4,32	3,89
200	103,00	967,0	210,8	1,77300	19,70	16,76	12,57	10,06	8,38	7,18	6,28	5,59	5,03
220	117,00	1 220,0	231,6	1,63100	22,73	20,26	15,86	12,69	10,57	9,06	7,93	7,05	6,34
240	157,00	1 800,0	255,6	1,44600	30,20	27,66	23,40	18,72	15,60	13,37	11,70	10,40	9,36
260	172,00	2 160,0	276,0	1,34600	33,17	30,76	28,08	22,46	18,72	16,05	14,04	12,48	11,23
280	189,00	2 550,0	296,0	1,25800	36,95	34,38	31,54	26,52	22,10	18,94	16,57	14,73	13,26
300	238,00	3 480,0	320,0	1,14700	45,74	43,48	40,53	36,19	30,16	25,85	22,62	20,11	18,10
320	245,00	3 800,0	318,0	1,08800	48,37	46,20	43,07	39,52	32,93	28,23	24,70	21,96	19,76
340	248,00	4 050,0	316,0	1,03500	51,00	48,80	45,39	41,90	35,10	30,09	26,32	23,40	21,06
360	250,00	4 300,0	313,2	0,98900	53,72	51,49	47,76	43,97	37,27	31,94	27,95	24,84	22,36
400	256,00	4 820,0	308,0	0,90300	58,81	56,70	52,41	48,10	41,77	35,81	31,33	27,85	25,06
450	263,00	5 500,0	303,6	0,81600	65,38	63,59	58,56	53,57	47,67	40,86	35,75	31,78	28,60
500	270,00	6 180,0	298,4	0,74500	71,88	70,58	64,78	59,07	53,56	45,91	40,17	35,71	32,14
550	278,00	6 920,0	294,0	0,68200	78,61	78,06	71,47	65,03	59,10	51,41	44,98	39,98	35,98
600	285,00	7 660,0	288,8	0,63000	85,23	85,23	78,20	71,00	64,41	56,90	49,79	44,26	39,83

5.6 1-D 3

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,38	0,34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0,17	0,16	100
0,55	0,50	0.46	0,42	0,39	0,37	0.34	0,32	0.31	0.29	0.28	0,25	0,23	120
0,81	0,73	0,67	0.62	0,58	0.54	0,50	0.47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,34	140
1,14	1,04	0.95	0.88	0,82	0,76	0,71	0,67	0.64	0.60	0.57	0,52	0.48	160
1,53	1,39	1.27	1.18	1.09	1.02	0,95	0.90	0.85	0.80	0.76	0,69	0,64	180
2,02	1,84	1,69	1.56	1,44	1,35	1.26	1,19	1,12	1,06	1,01	0.92	0,84	200
2,68	2,43	2,23	2.06	1,91	1,78	1,67	1.57	1,49	1.41	1,34	1,22	1.12	220
3,51	3,19	2.92	2.70	2.51	2,34	2,19	2.06	1.95	1.85	1.75	1,59	1,46	240
4,35	3.95	3,62	3,34	3.10	2.90	2.72	2.56	2,41	2,29	2.17	1.98	1,81	260
5,25	4,77	4,38	4.04	3,75	3,50	3,28	3,09	2,92	2.76	2.63	2.39	2,19	280
6,55	5,96	5,46	5.04	4.68	4.37	4,09	3.85	3.64	3,45	3.28	2,98	2.73	300
7,70	7,00	6,41	5,92	5.50	5,13	4.81	4,53	4.28	4,05	3.85	3,50	3,21	320
8,74	7,94	7.28	6.72	6.24	5,82	5,46	5,14	4,85	4,60	4,37	3,97	3,64	340
9,83	8.93	8.19	7.56	7.02	6,55	6,14	5,78	5.46	5.17	4,91	4.47	4.09	360
12,01	10.92	10,01	9.24	8,58	8,01	7,51	7.07	6.67	6,32	6.01	5.46	5,00	400
15,08	13,71	12.57	11,60	10,77	10,05	9,42	8,87	8.38	7.94	7,54	6.85	6,28	450
18,46	16,78	15.38	14.20	13.19	12.31	11.54	10.86	10,26	9,72	9.23	8.39	7,69	500
21,58	19,62	17,98	16.60	15,41	14,39	13.49	12.69	11.99	11.36	10,79	9.81	8,99	550
24,91	22.64	20,76	19.16	17.79	16.60	15.57	14.65	13.84	13,11	12,45	11,32	10.38	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,99	0.90	0.82	0.76	0.71	0,66	0.62	0,58	0.55	0.52	0.49	0.45	0.41	100
1,50	1,36	1.25	1.15	1,07	1,00	0.94	0.88	0 83	0,79	0,75	0,68	0.62	120
2,14	1.94	1,78	1,64	1,53	1.42	1.34	1,26	1.19	1,13	1.07	0.97	0,89	140
2,94	2,68	2.45	2.26	2.10	1.96	1.84	1,73	1.63	1.55	1.47	1.34	1.23	160
3,89	3,54	3,24	2,99	2,78	2,59	2,43	2,29	2.16	2,05	1,94	1,77	1,62	180
5,03	4,57	4,19	3.87	3.59	3,35	3,14	2.96	2,79	2.65	2,51	2,29	2.09	200
6,34	5.77	5.29	4,88	4,53	4,23	3.96	3,73	3,52	3,34	3,17	2,88	2,64	220
9,36	8,51	7.80	7.20	6.69	6.24	5,85	5.51	5,20	4.93	4.68	4.25	3,90	240
11,23	10,21	9,36	8.64	8.02	7,49	7.02	6.61	6.24	5,91	5,62	5,10	4,68	260
13,26	12,05	11,05	10,20	9.47	8.84	8.29	7,80	7,37	6,98	6,63	6,03	5.52	280
18,10	16,45	15,08	13,92	12.93	12,06	11.31	10,64	10.05	9,52	9.05	8.22	7,54	300
19,76	17,96	16,47	15,20	14,11	13,17	12,35	11,62	10,98	10,40	9,88	8.98	8.23	320
21,06	19.14	17.55	16.20	15.04	14.04	13.16	12,39	11,70	11,08	10.53	9,57	8.77	340
22,36	20,33	18.63	17,20	15,97	14,91	13,97	13.15	12.42	11,77	11,18	10,16	9,32	360
25,06	22.78	20,89	19,28	17,90	16,71	15,66	14.74	13,92	13,19	12,53	11,39	10,44	400
28,60	26,00	23,83	22,00	20,43	19,07	17,88	16,82	15,89	15,05	14,30	13,00	11,92	450
32,14	29,21	26.78	24,72	22,95	21,42	20,08	18,90	17,85	16.91	16,07	14,61	13.39	500
35,98	32.71	29.99	27,68	25,70	23,99	22,49	21,17	19,99	18.94	17,99	16,36	14.99	550
39,83	36,21	33.19	30.64	28,45	26,55	24.89	23.43	22,13	20.96	19,92	18,10	16,60	600

5.6 1-D 3



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

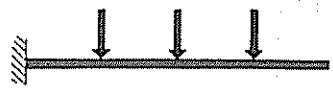
IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	5,03100	0,34	0,22	0,17	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07
100	8,32	34,2	42,0	4,02500	0,59	0,39	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,11	0,12
120	11,10	54,7	49,2	3,35600	0,95	0,63	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
140	14,40	81,9	56,0	2,87600	1,42	0,95	0,71	0,57	0,47	0,41	0,35	0,31	0,28
160	17,90	117,0	62,0	2,51800	2,03	1,35	1,01	0,81	0,68	0,58	0,51	0,45	0,41
180	21,90	161,0	68,4	2,23400	2,79	1,86	1,39	1,12	0,93	0,80	0,70	0,62	0,56
200	26,30	214,0	74,8	2,01200	3,71	2,47	1,85	1,48	1,24	1,06	0,93	0,82	0,74
220	31,10	278,0	80,8	1,82800	4,82	3,21	2,41	1,93	1,61	1,38	1,20	1,07	0,96
240	36,20	354,0	88,0	1,67600	6,14	4,09	3,07	2,45	2,04	1,75	1,53	1,36	1,23
260	41,90	442,0	92,3	1,55000	7,66	5,11	3,83	3,06	2,55	2,19	1,91	1,70	1,53
280	48,00	542,0	98,0	1,43700	9,27	6,26	4,70	3,76	3,13	2,68	2,35	2,09	1,88
300	54,20	653,0	102,4	1,34100	10,98	7,55	5,66	4,53	3,77	3,23	2,83	2,51	2,26
320	61,10	782,0	106,3	1,25800	12,87	9,04	6,78	5,42	4,52	3,87	3,39	3,01	2,71
340	68,10	923,0	112,0	1,18300	14,90	10,67	8,00	6,40	5,33	4,57	4,00	3,55	3,20
360	76,20	1 090,0	116,0	1,11800	17,22	12,60	9,45	7,56	6,30	5,40	4,72	4,20	3,78
380	84,00	1 260,0	120,8	1,05600	19,63	14,56	10,92	8,74	7,28	6,24	5,46	4,85	4,37
400	92,60	1 460,0	125,2	1,00600	22,20	16,87	12,65	10,12	8,44	7,23	6,33	5,62	5,06
450	115,00	2 040,0	137,2	0,89500	29,46	23,54	17,68	14,14	11,79	10,10	8,84	7,86	7,07
500	141,00	2 750,0	148,3	0,80500	37,88	30,77	23,83	19,07	15,89	13,72	11,92	10,59	9,53
550	167,00	3 610,0	160,8	0,73200	44,48	38,29	31,29	25,03	20,86	17,88	15,64	13,90	12,51
600	199,00	4 630,0	172,0	0,67000	55,03	48,66	40 13	32,10	26,75	22,93	20,06	17,83	16,05

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	5,03100	0,46	0,31	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09
100	10,60	41,2	58,8	4,02500	0,71	0,48	0,36	0,29	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14
120	13,40	60,7	63,6	3,35600	1,05	0,70	0,53	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21
140	16,00	86,4	70,0	2,87400	1,50	1,00	0,75	0,60	0,50	0,43	0,37	0,33	0,30
160	18,80	116,0	75,6	2,52300	2,01	1,34	1,00	0,80	0,67	0,57	0,50	045	0,40
180	22,00	150,0	80,8	2,23600	2,60	1,73	1,30	1,04	0,87	0,74	0,65	0,58	0,52
200	25,30	191,0	85,6	2,01200	3,31	2,21	1,65	1,32	1,10	0,95	0,83	0,74	0,66
220	29,40	245,0	92,0	1,83300	4,25	2,83	2,12	1,70	1,42	1,21	1,06	0,94	0,85
240	33,20	300,0	96,8	1,67700	5,20	3,47	2,60	2,08	1,73	1,49	1,30	1,16	1,04
260	37,90	371,0	102,4	1,54900	6,43	4,29	3,21	2,57	2,14	1,84	1,61	1,43	1,29
280	41,80	448,0	109,6	1,43600	7,76	5,18	3,88	3,11	2,59	2,22	1,94	1,73	1,55
300	46,20	535,0	116,0	1,34100	9,27	6,18	4,64	3,71	3,09	2,65	2,32	2,06	1,85

5.6.1-D.4

piezas sometidas a flexión



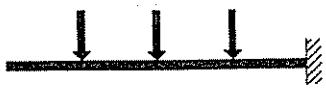
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.06	0.06	0.05	0,05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0,03	80
0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	100
0.17	0.16	0.15	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	120
0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	140
0.37	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0,20	0,18	0.17	160
0.51	0.46	0.43	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.25	0.23	180
0.67	0.62	0.57	0.53	0.49	0.46	0.44	0.41	0.39	0.37	0.34	0,31	200
0.88	0.80	0.74	0.69	0,64	0.60	0.57	0.53	0.51	0.48	0.44	0.40	220
1.12	1.02	0.94	0.88	0.82	0,77	0.72	0.68	0.65	0.61	0.56	0.51	240
1.39	1.28	1.18	1.09	1.02	0.96	0.90	0.85	0.81	0.77	0.70	0.64	260
1.71	1.57	1.44	1.34	1.25	1.17	1.10	1.04	0.99	0.94	0.85	0.78	280
2.06	1 89	1.74	1.62	1.51	1.41	1.33	1.26	1.19	1.13	1.03	0.94	300
2.46	2.26	2.08	1.94	1.81	1.69	1.59	1.51	1.43	1.35	1.23	1.13	320
2.91	2.67	2.46	2.29	2.13	2.00	1.88	1.78	1.68	1.60	1.45	1.33	340
3.43	3.15	2.91	2.70	2.52	2.36	2.22	2.10	1.99	1.89	1.72	1.57	360
3.97	3.64	3.36	3.12	2,91	2.73	2.57	2.43	2.30	2.18	1.98	1.82	380
4.60	4.22	3.89	3.61	3.37	3,16	2.98	2.81	2.66	2.53	2.30	2.11	400
6.43	5.89	5.44	5.05	4.71	4.42	4.16	3.93	3.72	3.54	3.21	2.95	450
8.67	7.94	7.33	6.81	6.36	5.96	5.61	5.30	5.02	4.77	4.33	3.97	500
11.38	10.43	9.63	8.94	8.34	7.82	7.36	6.95	6.59	6.26	5.69	5.21	550
14.59	13.38	12.35	11.46	10.70	10.03	9.44	8.92	8.45	8.02	7.30	6.69	600

Luz en metros												UPN
5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.08	0.08	0.07	0.07	0,06	0.06	0.05	0,05	0.05	0.05	0.04	0.04	80
0.13	0.12	0.11	0.10	0,09	0.09	0.08	0.08	0.07	0,07	0.06	0.06	100
0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0,10	0.09	120
0.27	0.25	0,73	0.21	0.20	0.19	0.18	0,17	0,16	0.15	0.14	0.13	140
0.37	0.33	0,31	0,29	0.27	0.25	0,24	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	160
0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	180
0,60	0.55	0.51	0.47	0.44	0.41	0.39	0,37	0.35	0.33	0.30	0,28	200
0.77	0.71	0.65	0,61	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45	0.42	0,39	0,35	220
0.94	0.87	0.80	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52	0.47	0,43	240
1.17	1.07	0,99	0.92	0.86	0.80	0.76	0.71	0,68	0.64	0.58	0.54	260
1.41	1.29	1.19	1.11	1,03	0,97	0.91	0.86	0.82	0.78	0,71	0,65	280
1.69	1.55	1.43	1.32	1.24	1.16	1.09	1.03	0,98	0.93	0,84	0,77	300

5.6 1-D 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	5,02400	0,35	0,23	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
100	8,10	34,2	49,6	4,02500	0,59	0,39	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,13
120	10,40	53,0	58,0	3,35400	0,92	0,61	0,46	0,37	0,31	0,26	0,23	0,20
140	12,90	77,3	66,0	2,87500	1,34	0,89	0,67	0,54	0,45	0,38	0,33	0,30
160	15,80	109,0	73,6	2,52400	1,89	1,26	0,94	0,76	0,63	0,54	0,47	0,42
180	18,80	146,0	82,0	2,22600	2,53	1,69	1,26	1,01	0,84	0,72	0,63	0,56
200	22,40	194,0	89,6	2,01200	3,36	2,24	1,68	1,34	1,12	0,96	0,84	0,75
220	26,20	252,0	99,2	1,83100	4,25	2,91	2,18	1,75	1,46	1,25	1,09	0,97
240	30,70	324,0	107,6	1,67600	5,24	3,74	2,81	2,25	1,87	1,60	1,40	1,25
270	36,10	429,0	120,8	1,49100	6,58	4,96	3,72	2,97	2,48	2,13	1,86	1,65
300	42,20	557,0	134,0	1,34100	8,18	6,44	4,83	3,86	3,22	2,76	2,41	2,14
330	49,10	713,0	142,0	1,21900	9,95	8,00	6,18	4,94	4,12	3,53	3,09	2,75
360	57,10	904,0	151,6	1,11800	11,97	9,78	7,83	6,27	5,22	4,48	3,92	3,48
400	66,30	1 160,0	158,0	1,00900	14,73	12,18	10,05	8,04	6,70	5,74	5,03	4,47
450	77,60	1 500,0	164,8	0,89500	18,58	15,42	12,88	10,40	8,67	7,43	6,50	5,78
500	90,70	1 930,0	172,4	0,80600	22,36	19,21	16,12	13,38	11,15	9,56	8,36	7,43
550	106,00	2 440,0	178,0	0,73200	26,82	23,86	20,15	16,92	14,10	12,08	10,57	9,40
600	122,00	3 070,0	186,4	0,67100	31,41	28,97	24,65	21,18	17,74	15,20	13,30	11,82

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	4,02500	1,56	1,04	0,78	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35
120	26,70	144,0	122,4	3,35400	2,50	1,66	1,25	1,00	0,83	0,71	0,62	0,55
140	33,70	216,0	143,2	2,87800	3,57	2,50	1,87	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83
160	42,60	311,0	162,0	2,51300	4,86	3,59	2,69	2,16	1,80	1,54	1,35	1,20
180	51,20	426,0	182,8	2,23800	6,08	4,92	3,69	2,95	2,46	2,11	1,85	1,64
200	61,30	570,0	202,8	2,01200	7,39	6,44	4,94	3,95	3,29	2,82	2,47	2,20
220	71,50	736,0	223,6	1,83100	8,76	7,73	6,38	5,10	4,25	3,64	3,19	2,83
240	83,20	938,0	243,2	1,67600	10,30	9,27	8,13	6,50	5,42	4,64	4,06	3,61
260	93,00	1 150,0	263,2	1,55100	11,42	10,46	9,46	7,97	6,64	5,69	4,98	4,43
280	103,00	1 380,0	283,6	1,44100	13,05	12,00	10,88	9,57	7,97	6,83	5,98	5,32
300	117,00	1 680,0	303,2	1,34300	14,82	13,78	12,64	11,52	9,71	8,32	7,28	6,47
320	127,00	1 930,0	302,8	1,26000	16,57	15,50	14,23	12,98	11,15	9,56	8,36	7,43
340	134,00	2 160,0	301,2	1,18600	18,34	17,22	15,79	14,38	12,48	10,70	9,36	8,32
360	142,00	2 400,0	299,6	1,11800	20,16	19,00	17,41	15,84	13,87	11,89	10,40	9,24
400	155,00	2 880,0	296,0	1,00500	24,05	22,80	20,80	18,86	16,64	14,26	12,48	11,09
450	171,00	3 550,0	293,2	0,89400	28,12	27,09	24,75	22,48	20,40	17,58	15,38	13,67
500	187,00	4 290,0	290,8	0,80500	32,27	31,60	28,94	26,33	23,94	21,25	18,59	16,52
550	199,00	4 970,0	286,8	0,73200	36,64	36,32	33,19	30,15	27,37	24,61	21,54	19,14
600	212,00	5 700,0	283,2	0,67100	41,33	41,33	37,82	34,29	31,08	28,23	24,70	21,96

5.6 1-D 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0.05	0.04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0.03	80
0,12	0.11	0,10	0,09	0.08	0.08	0.07	0,07	0,07	0,06	0.06	0,05	0,05	100
0,18	0.17	0.15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0.10	0,09	0.08	0,08	120
0,27	0.24	0.22	0.21	0,19	0,18	0,17	0.16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	140
0,38	0,34	0.31	0.29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,17	0.16	160
0,51	0,46	0,42	0,39	0.36	0,34	0,32	0,30	0,28	0.27	0,25	0,23	0.21	180
0.67	0,61	0,56	0,52	0,48	0.45	0,42	0,40	0.37	0,35	0,34	0,31	0,28	200
0,87	0,79	0.73	0.67	0,62	0,58	0,55	0,51	0,48	0,46	0,44	0,40	0,36	220
1,12	1.02	0.94	0.86	0.80	0,75	0,70	0.66	0,62	0,59	0,56	0,51	0,47	240
1,49	1.35	1,24	1,14	1.06	0.99	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0.68	0,62	270
1.93	1,75	1.61	1,48	1,38	1,29	1.21	1,14	1,07	1.02	0,96	0,88	0,80	300
2,47	2.25	2.06	1.90	1,77	1,65	1,54	1,45	1,37	1.30	1.24	1,12	1,03	330
3,13	2.85	2,61	2,41	2,24	2.09	1,96	1,84	1,74	1,65	1,57	1,42	1,31	360
4,02	3.66	3,35	3,09	2.87	2.68	2,51	2,36	2,23	2,12	2,01	1,83	1,68	400
5,20	4,73	4,33	4,00	3.71	3.47	3,25	3,06	2.89	2,74	2,60	2,36	2,17	450
6,69	6,08	5.58	5.15	4,78	4,46	4,18	3,94	3.72	3,52	3,34	3.04	2,79	500
8,46	7,69	7,05	6,51	6,04	5,64	5,29	4,98	4,70	4.45	4.23	3,84	3,52	550
10,64	9.67	8.87	8.19	7,60	7,09	6,65	6,26	5,91	5,60	5,32	4,84	4,43	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	100
0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0.23	0,21	120
0,75	0.68	0.62	0.58	0.53	0,50	0.47	0.44	0.42	0,39	0,37	0,34	0,31	140
1,08	0.98	0.90	0,83	0.77	0.72	0.67	0,63	0,60	0,57	0,54	0,49	0,45	160
1,48	1.34	1.23	1,14	1.05	0,98	0,92	0,87	0,82	0,78	0,74	0,67	0,61	180
1.98	1.80	1.65	1.52	1,41	1.32	1.23	1,16	1.10	1,04	0,99	0,90	0,82	200
2,55	2.32	2.13	1.96	1.82	1,70	1,59	1,50	1,42	1,34	1,28	1,16	1,06	220
3,25	2,96	2,71	2,50	2,32	2,17	2,03	1,91	1,81	1.71	1.63	1,48	1,35	240
3,99	3.62	3.32	3.07	2,85	2.66	2,49	2.34	2,21	2,10	1,99	1,81	1,66	260
4,78	4.35	3.99	3.68	3,42	3,19	2,99	2,81	2.66	2,52	2,39	2,17	1,99	280
5,82	5.29	4,85	4,48	4,16	3,88	3,64	3,43	3,24	3,06	2,91	2,65	2,43	300
6,69	6.08	5.58	5.15	4,78	4,46	4,18	3.94	3,72	3,52	3,34	3,04	2,79	320
7.49	6,81	6,24	5,76	5,35	4,99	4,68	4,40	4,16	3,94	3,74	3,40	3,12	340
8,32	7,56	6,93	6,40	5,94	5,55	5,20	4,89	4,62	4,38	4,16	3,78	3,47	360
9,98	9.08	8.32	7.68	7,13	6,66	6,24	5.87	5,55	5.25	4,99	4,54	4,16	400
12,31	11,19	10.26	9.47	8.79	8.20	7.69	7.24	6,84	6,48	6,15	5,59	5,13	450
14,87	13,52	12,39	11,44	10,62	9,91	9,29	8,75	8,26	7,83	7,44	6,76	6,20	500
17.23	15.66	14,36	13.25	12,31	11,49	10,77	10,13	9,57	9,07	8,61	7,83	7,18	550
19.76	17,96	16,47	15,20	14,11	13,17	12,35	11,62	10,98	10,40	9,88	8,98	8,23	600

5.6 1-D 4



Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

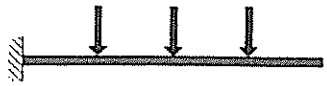
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
100	16,70	72,8	100,4	4,19800	1,26	0,84	0,63	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,2
120	19,90	106,0	120,8	3,52000	1,84	1,22	0,92	0,73	0,61	0,52	0,46	0,41	0,3
140	24,70	155,0	140,8	3,02800	2,60	1,79	1,34	1,07	0,90	0,77	0,67	0,60	0,5
160	30,40	220,0	159,2	2,65100	3,43	2,54	1,91	1,52	1,27	1,09	0,95	0,85	0,7
180	35,50	294,0	180,8	2,35700	4,09	3,40	2,55	2,04	1,70	1,46	1,27	1,13	1,0
200	42,30	389,0	199,2	2,12100	5,07	4,36	3,37	2,70	2,25	1,93	1,69	1,50	1,3
220	50,50	515,0	220,4	1,91600	6,21	5,41	4,46	3,57	2,98	2,55	2,23	1,98	1,7
240	60,30	675,0	240,0	1,75000	7,47	6,66	5,85	4,68	3,90	3,34	2,92	2,60	2,3
260	68,20	836,0	260,0	1,61000	8,32	7,57	6,80	5,80	4,83	4,14	3,62	3,22	2,9
280	76,40	1 010,0	280,0	1,48700	9,69	8,84	7,96	7,00	5,84	5,00	4,38	3,89	3,5
300	88,30	1 260,0	299,6	1,38900	11,18	10,34	9,43	8,55	7,28	6,24	5,46	4,85	4,3
320	97,60	1 480,0	299,6	1,29900	12,69	11,80	10,80	9,81	8,55	7,33	6,41	5,70	5,1
340	105,00	1 680,0	298,4	1,22100	14,23	13,29	12,14	11,03	9,71	8,32	7,28	6,47	5,8
360	112,00	1 890,0	297,2	1,14900	15,92	14,92	13,61	12,34	10,92	9,36	8,19	7,28	6,5
400	125,00	2 310,0	293,6	1,03100	19,38	18,27	16,59	14,99	13,35	11,44	10,01	8,90	8,0
450	140,00	2 900,0	291,6	0,91600	22,77	21,88	19,95	18,08	16,38	14,36	12,57	11,17	10,0
500	155,00	3 550,0	289,6	0,82100	26,51	25,91	23,69	21,52	19,54	17,58	15,38	13,67	12,3
550	166,00	4 150,0	286,0	0,74600	30,30	29,99	27,37	24,83	22,52	20,47	17,98	15,98	14,3
600	178,00	4 790,0	282,0	0,68300	34,27	34,27	31,32	28,38	25,72	23,36	20,76	18,45	16,6

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	3,35400	3,29	2,20	1,65	1,32	1,10	0,94	0,82	0,73	0,6
120	52,10	288,0	130,0	2,86900	4,99	3,33	2,50	2,00	1,66	1,43	1,25	1,11	1,0
140	63,20	411,0	150,8	2,51400	7,12	4,75	3,56	2,85	2,38	2,03	1,78	1,58	1,4
160	76,20	566,0	170,4	2,23300	9,37	6,54	4,90	3,92	3,27	2,80	2,45	2,18	1,9
180	88,90	748,0	190,8	2,01200	11,14	8,64	6,48	5,19	4,32	3,70	3,24	2,88	2,5
200	103,00	967,0	210,8	1,82900	13,13	11,17	8,38	6,70	5,59	4,79	4,19	3,72	3,3
220	117,00	1 220,0	231,6	1,68100	15,16	13,51	10,57	8,46	7,05	6,04	5,29	4,70	4,2
240	157,00	1 800,0	255,6	1,49100	20,13	18,44	15,60	12,48	10,40	8,91	7,80	6,93	6,2
260	172,00	2 160,0	276,0	1,38800	22,11	20,51	18,72	14,98	12,48	10,70	9,36	8,32	7,4
280	189,00	2 550,0	296,0	1,29700	24,63	22,92	21,03	17,68	14,73	12,63	11,05	9,82	8,8
300	238,00	3 480,0	320,0	1,18300	30,49	28,99	27,02	24,13	20,11	17,23	15,08	13,40	12,0
320	245,00	3 800,0	318,0	1,12200	32,25	30,80	28,71	26,35	21,96	18,82	16,47	14,64	13,1
340	248,00	4 050,0	316,0	1,06700	34,00	32,53	30,26	27,93	23,40	20,06	17,55	15,60	14,0
360	250,00	4 300,0	313,2	1,02000	35,81	34,33	31,84	29,32	24,84	21,29	18,63	16,56	14,9
400	256,00	4 820,0	308,0	0,93200	39,21	37,80	34,94	32,07	27,85	23,87	20,89	18,57	16,7
450	263,00	5 500,0	303,6	0,84200	43,59	42,40	39,04	35,71	31,78	27,24	23,83	21,18	19,0
500	270,00	6 180,0	298,4	0,76800	47,92	47,05	43,19	39,38	35,71	30,61	26,78	23,80	21,4
550	278,00	6 920,0	294,0	0,70300	52,41	52,04	47,65	43,35	39,40	34,27	29,99	26,65	23,9
600	285,00	7 660,0	288,8	0,64900	56,82	56,82	52,14	47,33	42,94	37,93	33,19	29,50	26,5

5.6 1-D 4

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7.5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,25	0.23	0,21	0.19	0,18	0,17	0,16	0.15	0,14	0.13	0,13	0,11	0,10	100
0,37	0.33	0.31	0,28	0,26	0,24	0,23	0.22	0,20	0,19	0,18	0.17	0,15	120
0,54	0,49	0.45	0,41	0.38	0.36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0.24	0,22	140
0,76	0.69	0,64	0,59	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	160
1,02	0,93	0,85	0.78	0,73	0.68	0,64	0,60	0,57	0.54	0,51	0.46	0,42	180
1,35	1,23	1.12	1,04	0,96	0,90	0,84	0.79	0,75	0,71	0,67	0,61	0.56	200
1,78	1,62	1.49	1,37	1.27	1,19	1,12	1,05	0,99	0.94	0,89	0.81	0,74	220
2,34	2,13	1,95	1,80	1,67	1.56	1,46	1,38	1,30	1.23	1,17	1,06	0,97	240
2,90	2,63	2.41	2,23	2.07	1,93	1,81	1,70	1,61	1,52	1,45	1.32	1.21	260
3,50	3,18	2,92	2,69	2.50	2,33	2,19	2,06	1,94	1.84	1,75	1,59	1.46	280
4,37	3,97	3.64	3,36	3,12	2,91	2,73	2,57	2.43	2,30	2,18	1,98	1.82	300
5,13	4,66	4,28	3,95	3,66	3,42	3.21	3,02	2,85	2.70	2,56	2.33	2,14	320
5,82	5.29	4,85	4.48	4,16	3,88	3,64	3.43	3,24	3.06	2.91	2.65	2,43	340
6,55	5,96	5,46	5.04	4,68	4.37	4,09	3,85	3.64	3,45	3,28	2,98	2,73	360
8,01	7,28	6,67	6.16	5,72	5,34	5,00	4.71	4,45	4,21	4,00	3.64	3.34	400
10,05	9,14	8,38	7,73	7,18	6,70	6,28	5.91	5,58	5,29	5,03	4.57	4,19	450
12,31	11,19	10,26	9.47	8.79	8,20	7.69	7,24	6,84	6.48	6,15	5,59	5,13	500
14,39	13.08	11,99	11,07	10,28	9,59	8,99	8.46	7,99	7.57	7,19	6,54	5.99	550
16,60	15.10	13,84	12.77	11.86	11.07	10,38	9,77	9,22	8,74	8,30	7.55	6,92	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7.0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,66	0,60	0.55	0,51	0,47	0,44	0.41	0,39	0,37	0.35	0,33	0,30	0,27	100
1,00	0,91	0,83	0,77	0.71	0,67	0,62	0,59	0.55	0,52	0,50	0,45	0,42	120
1,42	1.29	1,19	1,10	1,02	0.95	0,89	0,84	0.79	0,75	0,71	0.65	0,59	140
1,96	1.78	1,63	1.51	1,40	1.31	1,23	1,15	1,09	1,03	0,98	0,89	0.82	160
2,59	2,36	2.16	1.99	1,85	1,73	1,62	1.52	1,44	1.36	1,30	1,18	1,08	180
3,35	3,05	2,79	2,58	2,39	2.23	2.09	1,97	1.86	1,76	1,68	1,52	1,40	200
4,23	3.84	3.52	3.25	3,02	2.82	2,64	2.49	2,35	2,23	2.11	1,92	1,76	220
6,24	5,67	5.20	4.80	4,46	4.16	3,90	3,67	3,47	3.28	3,12	2,84	2.60	240
7,49	6,81	6,24	5,76	5,35	4,99	4,68	4,40	4,16	3,94	3,74	3,40	3,12	260
8,84	8.04	7,37	6,80	6,31	5,89	5,52	5.20	4,91	4,65	4.42	4.02	3,68	280
12,06	10,97	10,05	9,28	8,62	8.04	7,54	7,10	6.70	6.35	6,03	5,48	5.03	300
13,17	11.98	10,98	10.13	9,41	8,78	8,23	7.75	7.32	6,93	6,59	5,99	5,49	320
14,04	12.76	11.70	10,80	10,03	9,36	8,77	8,26	7,80	7,39	7.02	6.38	5,85	340
14,91	13,55	12,42	11,47	10,65	9,94	9,32	8,77	8,28	7,85	7,45	6,78	6,21	360
16,71	15.19	13,92	12,85	11.93	11.14	10,44	9,83	9.28	8,79	8,35	7.59	6,96	400
19,07	17,33	15.89	14,67	13,62	12,71	11.92	11.22	10.59	10,03	9,53	8.67	7,94	450
21.42	19,48	17,85	16.48	15,30	14.28	13,39	12,60	11,90	11.28	10,71	9,74	8,93	500
23,99	21,81	19.99	18.45	17.13	15,99	14,99	14,11	13.33	12,63	11,99	10.90	10,00	550
26,55	24.14	22.13	20,43	18,97	17.70	16,60	15.62	14,75	13,98	13.28	12,07	11,06	600

5.6 1-D 4



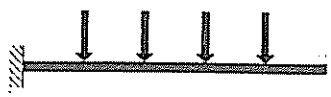
Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	5,12200	0,25	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,0
100	8,32	34,2	42,8	4,09800	0,44	0,30	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,0
120	11,10	54,7	49,2	3,41700	0,71	0,47	0,36	0,28	0,24	0,20	0,18	0,16	0,1
140	14,40	81,9	56,0	2,92800	1,06	0,71	0,53	0,43	0,35	0,30	0,27	0,24	0,2
160	17,90	117,0	62,0	2,56400	1,52	1,01	0,76	0,61	0,51	0,43	0,38	0,34	0,3
180	21,90	161,0	68,4	2,27500	2,09	1,39	1,05	0,84	0,70	0,60	0,52	0,46	0,4
200	26,30	214,0	74,8	2,04900	2,78	1,85	1,39	1,11	0,93	0,79	0,69	0,62	0,5
220	31,10	278,0	80,8	1,86100	3,61	2,41	1,81	1,45	1,20	1,03	0,90	0,80	0,7
240	36,20	354,0	88,0	1,70700	4,60	3,07	2,30	1,84	1,53	1,31	1,15	1,02	0,9
260	41,90	442,0	92,8	1,57800	5,75	3,83	2,87	2,30	1,91	1,64	1,44	1,28	1,1
280	48,00	542,0	98,0	1,46300	6,95	4,70	3,52	2,82	2,35	2,01	1,76	1,57	1,4
300	54,20	653,0	102,4	1,36500	8,23	5,66	4,24	3,40	2,83	2,42	2,12	1,89	1,7
320	61,10	782,0	106,8	1,28100	9,65	6,78	5,08	4,07	3,39	2,90	2,54	2,26	2,0
340	68,10	923,0	112,0	1,20500	11,17	8,00	6,00	4,80	4,00	3,43	3,00	2,67	2,4
360	76,20	1 090,0	116,0	1,13900	12,92	9,45	7,08	5,67	4,72	4,05	3,54	3,15	2,8
380	84,00	1 260,0	120,8	1,07500	14,72	10,92	8,19	6,55	5,46	4,68	4,09	3,64	3,2
400	92,60	1 460,0	125,2	1,02400	16,65	12,65	9,49	7,59	6,33	5,42	4,74	4,22	3,8
450	115,00	2 040,0	137,2	0,91200	22,10	17,66	13,26	10,61	8,84	7,58	6,63	5,89	5,3
500	141,00	2 750,0	148,8	0,82000	28,41	23,08	17,88	14,30	11,92	10,21	8,94	7,94	7,1
550	167,00	3 610,0	160,8	0,74600	33,36	28,72	23,46	18,77	15,64	13,41	11,73	10,43	9,3
600	199,00	4 630,0	172,0	0,68200	41,27	36,49	30,09	24,08	20,06	17,20	15,05	13,38	12,0

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	5,12200	0,34	0,23	0,17	0,14	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
100	10,60	41,2	58,8	4,09800	0,54	0,36	0,27	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11
120	13,40	60,7	63,6	3,41700	0,79	0,53	0,39	0,32	0,26	0,22	0,20	0,17	0,16
140	16,00	86,4	70,0	2,92600	1,12	0,75	0,56	0,45	0,37	0,32	0,28	0,25	0,22
160	18,80	116,0	75,6	2,56900	1,51	1,00	0,75	0,60	0,50	0,43	0,38	0,33	0,30
180	22,00	150,0	80,8	2,27700	1,95	1,30	0,97	0,78	0,65	0,56	0,49	0,43	0,39
200	25,30	191,0	85,6	2,04900	2,48	1,65	1,24	0,99	0,83	0,71	0,62	0,55	0,50
220	29,40	245,0	92,0	1,86600	3,18	2,12	1,59	1,27	1,06	0,91	0,80	0,71	0,64
240	33,20	300,0	96,8	1,70700	3,90	2,60	1,95	1,56	1,30	1,11	0,97	0,87	0,78
260	37,90	371,0	102,4	1,57700	4,82	3,21	2,41	1,93	1,61	1,38	1,21	1,07	0,96
280	41,80	448,0	109,6	1,46200	5,82	3,88	2,91	2,33	1,94	1,66	1,46	1,29	1,16
300	46,20	535,0	116,0	1,36500	6,95	4,64	3,48	2,78	2,32	1,99	1,74	1,55	1,39

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	80
0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	100
0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	120
0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	140
0,30	0,28	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	160
0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	180
0,56	0,51	0,46	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,25	0,23	200
0,72	0,66	0,60	0,56	0,52	0,48	0,45	0,42	0,40	0,38	0,36	0,33	0,30	220
0,92	0,84	0,77	0,71	0,66	0,61	0,57	0,54	0,51	0,48	0,46	0,42	0,38	240
1,15	1,04	0,96	0,88	0,82	0,77	0,72	0,68	0,64	0,60	0,57	0,52	0,48	260
1,41	1,28	1,17	1,08	1,01	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,70	0,64	0,59	280
1,70	1,54	1,41	1,31	1,21	1,13	1,06	1,00	0,94	0,89	0,85	0,77	0,71	300
2,03	1,85	1,69	1,56	1,45	1,35	1,27	1,20	1,13	1,07	1,02	0,92	0,85	320
2,40	2,18	2,00	1,85	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,20	1,09	1,00	340
2,83	2,58	2,36	2,18	2,02	1,89	1,77	1,67	1,57	1,49	1,42	1,29	1,18	360
3,28	2,98	2,73	2,52	2,34	2,18	2,05	1,93	1,82	1,72	1,64	1,49	1,36	380
3,80	3,45	3,16	2,92	2,71	2,53	2,37	2,23	2,11	2,00	1,90	1,72	1,58	400
5,30	4,82	4,42	4,08	3,79	3,54	3,31	3,12	2,95	2,79	2,65	2,41	2,21	450
7,15	6,50	5,96	5,50	5,11	4,77	4,47	4,21	3,97	3,76	3,57	3,25	2,98	500
9,39	8,53	7,82	7,22	6,70	6,26	5,87	5,52	5,21	4,94	4,69	4,27	3,91	550
12,04	10,94	10,03	9,26	8,60	8,02	7,52	7,08	6,69	6,34	6,02	5,47	5,02	600

Luz en metros													UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	80
0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	100
0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	120
0,22	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	140
0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	160
0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16	180
0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,21	200
0,64	0,58	0,53	0,49	0,45	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,32	0,29	0,26	220
0,78	0,71	0,65	0,60	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32	240
0,96	0,88	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,40	260
1,16	1,06	0,97	0,90	0,83	0,78	0,73	0,68	0,65	0,61	0,58	0,53	0,48	280
1,39	1,26	1,16	1,07	0,99	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69	0,63	0,58	300

5.6 1-D 5



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros

IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_a cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
80	6,00	20,0	42,0	5,11600	0,26	0,17	0,13	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06
100	8,10	34,2	49,6	4,09800	0,44	0,30	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10
120	10,40	53,0	58,0	3,41500	0,69	0,46	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15
140	12,90	77,3	66,0	2,92700	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22
160	15,80	109,0	73,6	2,57000	1,42	0,94	0,71	0,57	0,47	0,40	0,35	0,31
180	18,80	146,0	82,0	2,26600	1,90	1,26	0,95	0,76	0,63	0,54	0,47	0,42
200	22,40	194,0	89,6	2,04900	2,52	1,68	1,26	1,01	0,84	0,72	0,63	0,56
220	26,20	252,0	99,2	1,86400	3,18	2,18	1,64	1,31	1,09	0,94	0,82	0,73
240	30,70	324,0	107,6	1,70700	3,93	2,81	2,11	1,68	1,40	1,20	1,05	0,94
270	36,10	429,0	120,8	1,51800	4,93	3,72	2,79	2,23	1,86	1,59	1,39	1,24
300	42,20	557,0	134,0	1,36500	6,13	4,83	3,62	2,90	2,41	2,07	1,81	1,61
330	49,10	713,0	142,0	1,24100	7,46	6,00	4,63	3,71	3,09	2,65	2,32	2,06
360	57,10	904,0	151,6	1,13800	8,98	7,33	5,88	4,70	3,92	3,36	2,94	2,61
400	66,30	1 160,0	158,0	1,02800	11,05	9,14	7,54	6,03	5,03	4,31	3,77	3,35
450	77,60	1 500,0	164,8	0,91100	13,93	11,57	9,66	7,80	6,50	5,57	4,88	4,33
500	90,70	1 930,0	172,4	0,82000	16,77	14,41	12,09	10,04	8,36	7,17	6,27	5,58
550	106,00	2 440,0	178,0	0,74500	20,11	17,89	15,11	12,69	10,57	9,06	7,93	7,05
600	122,00	3 070,0	186,4	0,68300	23,56	21,72	18,49	15,89	13,30	11,40	9,98	8,87

Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_a cm	k_f	Luz en metros							
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
100	20,40	90,0	101,2	4,09800	1,17	0,78	0,58	0,47	0,39	0,33	0,29	0,26
120	26,70	144,0	122,4	3,41500	1,87	1,25	0,94	0,75	0,62	0,53	0,47	0,42
140	33,70	216,0	143,2	2,93100	2,67	1,87	1,40	1,12	0,94	0,80	0,70	0,62
160	42,60	311,0	162,0	2,55900	3,65	2,69	2,02	1,62	1,35	1,15	1,01	0,90
180	51,20	426,0	182,8	2,27900	4,56	3,69	2,77	2,21	1,85	1,58	1,38	1,23
200	61,30	570,0	202,8	2,04900	5,54	4,83	3,70	2,96	2,47	2,12	1,85	1,65
220	71,50	736,0	223,6	1,86400	6,57	5,80	4,78	3,83	3,19	2,73	2,39	2,13
240	83,20	938,0	243,2	1,70700	7,72	6,95	6,10	4,88	4,06	3,48	3,05	2,71
260	93,00	1 150,0	263,2	1,57900	8,56	7,85	7,09	5,98	4,98	4,27	3,74	3,32
280	103,00	1 380,0	283,6	1,46700	9,79	9,00	8,16	7,18	5,98	5,13	4,48	3,99
300	117,00	1 680,0	303,2	1,36800	11,11	10,34	9,48	8,64	7,28	6,24	5,46	4,85
320	127,00	1 930,0	302,8	1,28300	12,43	11,63	10,67	9,74	8,36	7,17	6,27	5,58
340	134,00	2 160,0	301,2	1,20700	13,76	12,92	11,84	10,79	9,36	8,02	7,02	6,24
360	142,00	2 400,0	299,6	1,13900	15,12	14,25	13,05	11,88	10,40	8,91	7,80	6,93
400	155,00	2 880,0	296,0	1,02300	18,04	17,10	15,60	14,14	12,48	10,70	9,36	8,32
450	171,00	3 550,0	293,2	0,91000	21,09	20,32	18,56	16,86	15,30	13,19	11,54	10,26
500	187,00	4 290,0	290,8	0,82000	24,20	23,70	21,70	19,75	17,95	15,93	13,94	12,39
550	199,00	4 970,0	286,8	0,74500	27,48	27,24	24,90	22,62	20,53	18,46	16,15	14,36
600	212,00	5 700,0	283,2	0,68300	30,99	30,99	28,36	25,72	23,31	21,17	18,52	16,47

5.6 1-D 5

piezas sometidas a flexiòn



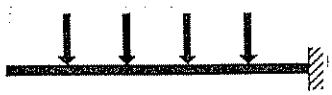
Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros												IPE
5,0	5.5	6,0	6.5	7,0	7.5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12.0	
0,05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0,03	0.03	0.03	0.03	0.03	0,02	0,02	80
0,09	0.08	0.07	0,07	0.06	0.06	0,06	0.05	0.05	0,05	0.04	0.04	0,04	100
0,14	0.13	0,11	0.11	0,10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0,07	0.06	0,06	120
0,20	0,18	0.17	0.15	0.14	0.13	0,13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0,08	140
0,28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0,18	0,17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	160
0,38	0.34	0.32	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	180
0,50	0,46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.30	0.28	0.26	0,25	0,23	0.21	200
0,65	0.60	0.55	0.50	0.47	0,44	0.41	0.38	0.36	0.34	0,33	0.30	0.27	220
0,84	0.77	0.70	0.65	0.60	0.56	0.53	0.50	0.47	0.44	0.42	0.38	0.35	240
1,11	1.01	0.93	0,86	0.80	0.74	0,70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.51	0.46	270
1,45	1.32	1.21	1.11	1.03	0,96	0.90	0,85	0.80	0.76	0.72	0.66	0.60	300
1,85	1,68	1.54	1,43	1,32	1,24	1,16	1,09	1.03	0,98	0,93	0.84	0,77	330
2,35	2.14	1.96	1,81	1.68	1.57	1.47	1.38	1,31	1.24	1.17	1.07	0,98	360
3,02	2.74	2.51	2.32	2.15	2,01	1,88	1.77	1.68	1.59	1,51	1.37	1.26	400
3,90	3.54	3.25	3.00	2.79	2.60	2.44	2.29	2.17	2,05	1,95	1.77	1.63	450
5,02	4.56	4.18	3.86	3,58	3.34	3.14	2.95	2.79	2.64	2.51	2.28	2.09	500
6,34	5.77	5.29	4.88	4.53	4.23	3,96	3.73	3.52	3.34	3.17	2.88	2.64	550
7,98	7.26	6.65	6.14	5.70	5.32	4.99	4.69	4.43	4.20	3.99	3.63	3.33	600

Luz en metros												HEB
5,0	5.5	6,0	6.5	7,0	7.5	8.0	8,5	9,0	9,5	10,0	11.0	12,0	
0,23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0,15	0.14	0,13	0,12	0.12	0.11	0,10	100
0.37	0.34	0.31	0,29	0.27	0.25	0.23	0,22	0,21	0.20	0,19	0.17	0,16	120
0.56	0.51	0.47	0,43	0.40	0,37	0.35	0.33	0.31	0,30	0,28	0.25	0.23	140
0,81	0.73	0,67	0.62	0.58	0.54	0,50	0.48	0.45	0.43	0,40	0,37	0,34	160
1.11	1.01	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.50	0.46	180
1.48	1.35	1.23	1.14	1.06	0.99	0.93	0.87	0.82	0.78	0,74	0.67	0,62	200
1.91	1.74	1.59	1.47	1.37	1.28	1.20	1.13	1.06	1.01	0.96	0.87	0.80	220
2.44	2.22	2.03	1.88	1.74	1.63	1.52	1.43	1,35	1.28	1.22	1.11	1,02	240
2.99	2,72	2.49	2,30	2.14	1.99	1.87	1.76	1.66	1.57	1.49	1,36	1,25	260
3.59	3.26	2.99	2.76	2.56	2.39	2.24	2.11	1.99	1.89	1.79	1.63	1.49	280
4,37	3.97	3.64	3.36	3.12	2.91	2.73	2.57	2.43	2.30	2,18	1.98	1,82	300
5,02	4.56	4,18	3.86	3.58	3.34	3.14	2.95	2.79	2.64	2.51	2,28	2.09	320
5.62	5.10	4.68	4.32	4.01	3.74	3,51	3.30	3.12	2.96	2.81	2.55	2.34	340
6.24	5.67	5.20	4.80	4.46	4,16	3,90	3,67	3.47	3.28	3.12	2.84	2.60	360
7.49	6,81	6.24	5.76	5.35	4.99	4.68	4,40	4.16	3,94	3.74	3,40	3,12	400
9.23	8,39	7.69	7.10	6.59	6.15	5,77	5,43	5.13	4.86	4.61	4.19	3.85	450
11.15	10.14	9.29	8.58	7,97	7,44	6.97	6.56	6.20	5.87	5.58	5.07	4.65	500
12.92	11.75	10.77	9.94	9.23	8.61	8.08	7.60	7.18	6.80	6.46	5,87	5.38	550
14.82	13.47	12.35	11.40	10.59	9.88	9.26	8.72	8.23	7.80	7.41	6,74	6,17	600

5.6 1-D 5



Máximo valor de P en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

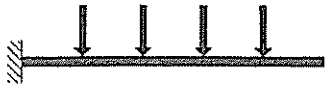
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	16,70	72,8	100,4	4,27400	0,95	0,63	0,47	0,38	0,31	0,27	0,24	0,21	0,
120	19,90	106,0	120,8	3,58400	1,38	0,92	0,69	0,55	0,46	0,39	0,34	0,31	0,
140	24,70	155,0	140,8	3,08300	1,95	1,34	1,01	0,81	0,67	0,58	0,50	0,45	0,
160	30,40	220,0	159,2	2,69900	2,58	1,99	1,43	1,14	0,95	0,82	0,71	0,64	0,
180	35,50	294,0	180,8	2,40000	3,07	2,55	1,91	1,53	1,27	1,09	0,95	0,85	0,
200	42,30	389,0	199,2	2,16000	3,80	3,27	2,53	2,02	1,69	1,44	1,26	1,12	1,
220	50,50	515,0	220,4	1,95000	4,66	4,06	3,35	2,68	2,23	1,91	1,67	1,49	1,
240	60,30	675,0	240,0	1,78200	5,61	4,99	4,39	3,51	2,92	2,51	2,19	1,95	1,
260	68,20	836,0	260,0	1,63900	6,24	5,68	5,10	4,35	3,62	3,10	2,72	2,41	2,
280	76,40	1 010,0	280,0	1,51400	7,26	6,63	5,97	5,25	4,38	3,75	3,28	2,92	2,
300	88,30	1 260,0	299,6	1,41400	8,39	7,76	7,07	6,41	5,46	4,68	4,09	3,64	3,
320	97,60	1 480,0	299,6	1,32200	9,51	8,85	8,10	7,36	6,41	5,50	4,81	4,28	3,
340	105,00	1 680,0	298,4	1,24300	10,67	9,97	9,11	8,27	7,28	6,24	5,46	4,85	4,
360	112,00	1 890,0	297,2	1,17000	11,94	11,19	10,21	9,26	8,19	7,02	6,14	5,46	4,
400	125,00	2 310,0	293,6	1,05000	14,53	13,70	12,44	11,24	10,01	8,58	7,51	6,67	6,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,93200	17,08	16,41	14,96	13,56	12,29	10,77	9,42	8,38	7,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,83600	19,88	19,44	17,77	16,14	14,66	13,19	11,54	10,26	9,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,76000	22,72	22,49	20,53	18,62	16,89	15,35	13,49	11,99	10,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,69500	25,70	25,70	23,49	21,29	19,29	17,52	15,57	13,84	12,

Máximo valor de P, en t, que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
100	41,80	190,0	109,6	3,41500	2,47	1,65	1,23	0,99	0,82	0,71	0,62	0,55	0,
120	52,10	288,0	130,0	2,92100	3,74	2,50	1,87	1,50	1,25	1,07	0,94	0,83	0,
140	63,20	411,0	150,8	2,56000	5,34	3,56	2,67	2,14	1,78	1,53	1,34	1,19	1,
160	76,20	566,0	170,4	2,27400	7,03	4,90	3,68	2,94	2,45	2,10	1,84	1,63	1,
180	88,90	748,0	190,8	2,04900	8,35	6,48	4,86	3,89	3,24	2,78	2,43	2,16	1,
200	103,00	967,0	210,8	1,86200	9,85	8,38	6,28	5,03	4,19	3,59	3,14	2,79	2,
220	117,00	1 220,0	231,6	1,71200	11,37	10,13	7,93	6,34	5,29	4,53	3,96	3,52	3,
240	157,00	1 800,0	255,6	1,51800	15,10	13,83	11,70	9,36	7,80	6,69	5,85	5,20	4,
260	172,00	2 160,0	276,0	1,41300	16,58	15,38	14,04	11,23	9,36	8,02	7,02	6,24	5,
280	189,00	2 550,0	296,0	1,32100	18,47	17,19	15,77	13,26	11,05	9,47	8,29	7,37	6,
300	238,00	3 480,0	320,0	1,20400	22,87	21,74	20,26	18,10	15,08	12,93	11,31	10,05	9,
320	245,00	3 800,0	318,0	1,14300	24,19	23,10	21,53	19,76	16,47	14,11	12,35	10,98	9,
340	248,00	4 050,0	316,0	1,08700	25,50	24,40	22,69	20,95	17,55	15,04	13,16	11,70	10,
360	250,00	4 300,0	313,2	1,03800	26,86	25,74	23,88	21,99	18,63	15,97	13,97	12,42	11,
400	256,00	4 820,0	308,0	0,94900	29,40	28,35	26,20	24,05	20,89	17,90	15,66	13,92	12,
450	263,00	5 500,0	303,6	0,85700	32,69	31,80	29,28	26,78	23,83	20,43	17,88	15,89	14,
500	270,00	6 180,0	298,4	0,78200	35,94	35,29	32,39	29,54	26,78	22,95	20,08	17,85	16,
550	278,00	6 920,0	294,0	0,71600	39,30	39,03	35,74	32,51	29,55	25,70	22,49	19,99	17,
600	285,00	7 660,0	288,8	0,66100	42,62	42,62	39,10	35,50	32,21	28,45	24,89	22,13	19,

5.6 1-D 5

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	100
0,28	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	120
0,40	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	140
0,57	0,52	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26	0,24	160
0,76	0,69	0,64	0,59	0,55	0,51	0,48	0,45	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	180
1,01	0,92	0,84	0,78	0,72	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,51	0,46	0,42	200
1,34	1,22	1,12	1,03	0,96	0,89	0,84	0,79	0,74	0,70	0,67	0,61	0,56	220
1,75	1,59	1,46	1,35	1,25	1,17	1,10	1,03	0,97	0,92	0,88	0,80	0,73	240
2,17	1,98	1,81	1,67	1,55	1,45	1,36	1,28	1,21	1,14	1,09	0,99	0,91	260
2,63	2,39	2,19	2,02	1,88	1,75	1,64	1,54	1,46	1,38	1,31	1,19	1,09	280
3,28	2,98	2,73	2,52	2,34	2,18	2,05	1,93	1,82	1,72	1,64	1,49	1,36	300
3,85	3,50	3,21	2,96	2,75	2,56	2,40	2,26	2,14	2,02	1,92	1,75	1,60	320
4,37	3,97	3,64	3,36	3,12	2,91	2,73	2,57	2,43	2,30	2,18	1,98	1,82	340
4,91	4,47	4,09	3,78	3,51	3,28	3,07	2,89	2,73	2,59	2,46	2,23	2,05	360
6,01	5,46	5,00	4,62	4,29	4,00	3,75	3,53	3,34	3,16	3,00	2,73	2,50	400
7,54	6,85	6,28	5,80	5,39	5,03	4,71	4,43	4,19	3,97	3,77	3,43	3,14	450
9,23	8,39	7,69	7,10	6,59	6,15	5,77	5,43	5,13	4,86	4,61	4,19	3,85	500
10,79	9,81	8,99	8,30	7,71	7,19	6,74	6,35	5,99	5,68	5,39	4,90	4,50	550
12,45	11,32	10,38	9,58	8,90	8,30	7,78	7,33	6,92	6,55	6,23	5,66	5,19	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,49	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,22	0,21	100
0,75	0,68	0,62	0,58	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,31	120
1,07	0,97	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,49	0,44	140
1,47	1,34	1,23	1,13	1,05	0,98	0,92	0,87	0,82	0,77	0,74	0,67	0,61	160
1,94	1,77	1,62	1,50	1,39	1,30	1,21	1,14	1,08	1,02	0,97	0,88	0,81	180
2,51	2,29	2,09	1,93	1,80	1,68	1,57	1,48	1,40	1,32	1,26	1,14	1,05	200
3,17	2,88	2,64	2,44	2,27	2,11	1,98	1,87	1,76	1,67	1,59	1,44	1,32	220
4,68	4,25	3,90	3,60	3,34	3,12	2,92	2,75	2,60	2,46	2,34	2,13	1,95	240
5,62	5,10	4,68	4,32	4,01	3,74	3,51	3,30	3,12	2,96	2,81	2,55	2,34	260
6,63	6,03	5,52	5,10	4,74	4,42	4,14	3,90	3,68	3,49	3,31	3,01	2,76	280
9,05	8,22	7,54	6,96	6,46	6,03	5,65	5,32	5,03	4,76	4,52	4,11	3,77	300
9,88	8,98	8,23	7,60	7,06	6,59	6,17	5,81	5,49	5,20	4,94	4,49	4,12	320
10,53	9,57	8,77	8,10	7,52	7,02	6,58	6,19	5,85	5,54	5,26	4,79	4,39	340
11,18	10,16	9,32	8,60	7,99	7,45	6,99	6,58	6,21	5,88	5,59	5,08	4,66	360
12,53	11,39	10,44	9,64	8,95	8,35	7,83	7,37	6,96	6,60	6,27	5,70	5,22	400
14,30	13,00	11,92	11,00	10,21	9,53	8,94	8,41	7,94	7,53	7,15	6,50	5,96	450
16,07	14,61	13,39	12,36	11,48	10,71	10,04	9,45	8,93	8,46	8,03	7,30	6,69	500
17,99	16,36	14,99	13,84	12,85	11,99	11,24	10,58	10,00	9,47	9,00	8,18	7,50	550
19,92	18,10	16,60	15,32	14,23	13,28	12,45	11,71	11,06	10,48	9,96	9,05	8,30	600

5.6 1-D 5



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	4,39000	3,04	1,35	0,76	0,49	0,34	0,25	0,19	0,15	0,12
100	8,32	34,2	42,8	3,51200	5,33	2,37	1,33	0,85	0,59	0,44	0,33	0,26	0,21
120	11,10	54,7	49,2	2,92900	8,53	3,79	2,13	1,36	0,95	0,70	0,53	0,42	0,34
140	14,40	81,9	56,0	2,51000	12,78	5,68	3,19	2,04	1,42	1,04	0,80	0,63	0,51
160	17,90	117,0	62,0	2,19800	18,25	8,11	4,56	2,92	2,03	1,49	1,14	0,90	0,73
180	21,90	161,0	68,4	1,95000	24,80	11,16	6,28	4,02	2,79	2,05	1,57	1,24	1,00
200	26,30	214,0	74,8	1,75600	31,48	14,84	8,35	5,34	3,71	2,72	2,09	1,65	1,33
220	31,10	278,0	80,8	1,59500	39,35	19,27	10,84	6,94	4,82	3,54	2,71	2,14	1,73
240	36,20	354,0	88,0	1,46300	48,05	24,54	13,81	8,84	6,14	4,51	3,45	2,73	2,21
260	41,90	442,0	92,8	1,35200	58,04	30,64	17,24	11,03	7,66	5,63	4,31	3,40	2,76
280	48,00	542,0	98,0	1,25400	68,97	37,09	21,14	13,53	9,39	6,90	5,28	4,17	3,38
300	54,20	653,0	102,4	1,17000	80,90	43,91	25,47	16,30	11,32	8,32	6,37	5,03	4,08
320	61,10	782,0	106,8	1,09800	93,81	51,46	30,50	19,52	13,55	9,96	7,62	6,02	4,88
340	68,10	923,0	112,0	1,03200	106,49	59,59	36,00	23,04	16,00	11,75	9,00	7,11	5,77
360	76,20	1 090,0	116,0	0,97600	119,77	68,90	42,51	27,21	18,89	13,88	10,63	8,40	6,81
380	84,00	1 260,0	120,8	0,92200	133,27	78,50	49,14	31,45	21,84	16,05	12,28	9,71	7,87
400	92,60	1 460,0	125,2	0,87800	147,35	88,81	56,49	36,44	25,31	18,59	14,23	11,25	9,12
450	115,00	2 040,0	137,2	0,78100	185,83	117,85	76,01	50,92	35,36	25,98	19,89	15,72	12,74
500	141,00	2 750,0	148,8	0,70300	229,30	151,53	98,88	68,64	47,67	35,02	26,81	21,18	17,17
550	167,00	3 610,0	160,8	0,63900	266,86	177,91	122,13	86,48	62,57	45,97	35,20	27,81	22,54
600	199,00	4 630,0	172,0	0,58500	330,18	220,12	155,01	110,02	80,25	58,96	45,14	35,67	28,89

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	4,39000	4,13	1,84	1,03	0,66	0,46	0,34	0,26	0,20	0,16
100	10,60	41,2	58,8	3,51200	6,43	2,86	1,61	1,03	0,71	0,52	0,40	0,32	0,26
120	13,40	60,7	63,6	2,92900	9,47	4,21	2,37	1,51	1,05	0,77	0,59	0,47	0,38
140	16,00	86,4	70,0	2,50800	13,48	5,99	3,37	2,16	1,50	1,10	0,84	0,67	0,54
160	18,80	116,0	75,6	2,20200	18,10	8,04	4,52	2,89	2,01	1,48	1,13	0,89	0,72
180	22,00	150,0	80,8	1,95100	23,40	10,40	5,85	3,74	2,60	1,91	1,46	1,16	0,94
200	25,30	191,0	85,6	1,75600	29,80	13,24	7,45	4,77	3,31	2,43	1,86	1,47	1,19
220	29,40	245,0	92,0	1,59900	38,22	16,99	9,55	6,11	4,25	3,12	2,39	1,89	1,53
240	33,20	300,0	96,8	1,46300	46,80	20,80	11,70	7,49	5,20	3,82	2,92	2,31	1,87
260	37,90	371,0	102,4	1,35200	56,21	25,72	14,47	9,26	6,43	4,72	3,62	2,86	2,31
280	41,80	448,0	109,6	1,25300	64,17	31,06	17,47	11,18	7,76	5,70	4,37	3,45	2,80
300	46,20	535,0	116,0	1,17000	72,13	37,09	20,86	13,35	9,27	6,81	5,22	4,12	3,34

5.6 1-D 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	80
0.21	0.18	0 15	0.13	0,11	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0,04	100
0,34	0.28	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	120
0,51	0.42	0.35	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	140
0,73	0.60	0.51	0.43	0.37	0.32	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.15	0.13	160
1,00	0.83	0.70	0.59	0.51	0.45	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.21	0.17	180
1,33	1.10	0.93	0.79	0.68	0.59	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	0.28	0,23	200
1,73	1.43	1.20	1.03	0.88	0.77	0.68	0.60	0.53	0.48	0.43	0.36	0.30	220
2.21	1.83	1.53	1.31	1.13	0.98	0.86	0.76	0.68	0.61	0.55	0.46	0.38	240
2,76	2.28	1.91	1.63	1.41	1.23	1.08	0.95	0.85	0.76	0.69	0.57	0.48	260
3,38	2 79	2 35	2.00	1.73	1.50	1.32	1 17	1.04	0.94	0.85	0.70	0.59	280
4,07	3.37	2.83	2.41	2.08	1.81	1,59	1.41	1.26	1.13	1.02	0.84	0.71	300
4,88	4 03	3.39	2 89	2.49	2.17	1,91	1.69	1.51	1.35	1.22	1.01	0.85	320
5.76	4.76	4.00	3 41	2.94	2.56	2.25	1.99	1.78	1.59	1.44	1.19	1.00	340
6,80	5 62	4.72	4 02	3.47	3.02	2.66	2 35	2.10	1.88	1 70	1.40	1.18	360
7,86	6 50	5.46	4.65	4.01	3 49	3.07	2.72	2 43	2 18	1.97	1.62	1.36	380
9,11	7 53	6.33	5.39	4.65	4.05	3 56	3.15	2.81	2.52	2 28	1.88	1.58	400
12,73	10.52	8.84	7.53	6 49	5 66	4 97	4.40	3.93	3.53	3.18	2.63	2.21	450
17.16	14 18	11.92	10 15	8.75	7.63	6 70	5 94	5.30	4.75	4.29	3.54	2.98	500
22.53	18.62	15.64	13.33	11 49	10 01	8.80	7.79	6.95	6.24	5.63	4.65	3.91	550
28.89	23.88	20.06	17.09	14.74	12.84	11.29	10.00	8.92	8.00	7.22	5.97	5.02	600

Luz en metros												UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,16	0.14	0.11	0.10	0.08	0 07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	80
0,26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0 07	0.06	0.05	0.04	100
0,38	0.31	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0 12	0.10	0.09	0.08	0 07	120
0,54	0.45	0.37	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	140
0,72	0.60	0.50	0.43	0.37	0.32	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.15	0.13	160
0,94	0.77	0.65	0.55	0.48	0.42	0.37	0.32	0.29	0.26	0.23	0.19	0.16	180
1,19	0.98	0.83	0.70	0.61	0.53	0 47	0.41	0.37	0.33	0.30	0.25	0.21	200
1,53	1.26	1.06	0.90	0.78	0.68	0.60	0.53	0 47	0.42	0.38	0.32	0.26	220
1,87	1.55	1.30	1.11	0.95	0 83	0.73	0 65	0 58	0.52	0.47	0.39	0.32	240
2,31	1.91	1.61	1 37	1 18	1.03	0.90	0 80	0.71	0.64	0.58	0.48	0.40	260
2,80	2.31	1.94	1.65	1.43	1.24	1 09	0 97	0.86	0 77	0.70	0.58	0.48	280
3,34	2.76	2 32	1.97	1 70	1.48	1.30	1,15	1.03	0.92	0.83	0.69	0.58	300

5.6 1-D 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

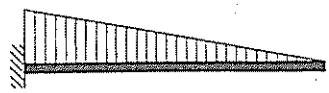
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,(
80	6,00	20,0	42,0	4,38500	3,12	1,39	0,78	0,50	0,35	0,25	0,19	0,15	0,1
100	8,10	34,2	49,6	3,51200	5,33	2,37	1,33	0,85	0,59	0,44	0,33	0,26	0,2
120	10,40	53,0	58,0	2,92700	8,27	3,67	2,07	1,32	0,92	0,67	0,52	0,41	0,3
140	12,90	77,3	66,0	2,50900	12,06	5,36	3,01	1,93	1,34	0,98	0,75	0,59	0,4
160	15,80	109,0	73,6	2,20300	16,28	7,56	4,25	2,72	1,89	1,39	1,06	0,84	0,6
180	18,80	146,0	82,0	1,94200	20,68	10,12	5,69	3,64	2,53	1,86	1,42	1,13	0,9
200	22,40	194,0	89,6	1,75600	25,75	13,45	7,57	4,84	3,36	2,47	1,89	1,49	1,2
220	26,20	252,0	99,2	1,59800	31,36	16,98	9,83	6,29	4,37	3,21	2,46	1,94	1,5
240	30,70	324,0	107,6	1,46300	37,70	20,98	12,64	8,09	5,62	4,13	3,16	2,50	2,0
270	36,10	429,0	120,8	1,30100	46,71	26,31	16,67	10,71	7,44	5,46	4,18	3,30	2,6
300	42,20	557,0	134,0	1,17000	56,75	32,71	20,88	13,90	9,65	7,09	5,43	4,29	3,4
330	49,10	713,0	142,0	1,06400	65,93	39,80	27,59	17,80	12,36	9,08	6,95	5,49	4,4
360	57,10	904,0	151,6	0,97600	76,62	47,90	31,37	21,97	15,67	11,51	8,81	6,96	5,6
400	66,30	1 160,0	158,0	0,88100	91,31	58,94	38,95	27,46	20,11	14,77	11,31	8,94	7,2
450	77,60	1 500,0	164,8	0,78100	111,89	74,31	49,26	34,81	25,75	19,10	14,63	11,56	9,3
500	90,70	1 930,0	172,4	0,70300	134,18	89,45	61,21	43,44	32,25	24,58	18,82	14,87	12,0
550	106,00	2 440,0	178,0	0,63800	160,92	107,28	75,79	54,08	40,31	31,07	23,79	18,80	15,2
600	122,00	3 070,0	186,4	0,58600	188,48	125,66	91,74	65,84	49,30	38,14	29,93	23,65	19,1

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	3,51200	13,66	6,24	3,51	2,25	1,56	1,15	0,88	0,69	0,5
120	26,70	144,0	122,4	2,92700	18,56	9,98	5,62	3,59	2,50	1,83	1,40	1,11	0,9
140	33,70	216,0	143,2	2,51200	24,19	14,26	8,42	5,39	3,74	2,75	2,11	1,66	1,3
160	42,60	311,0	162,0	2,19300	32,42	19,44	12,13	7,76	5,39	3,96	3,03	2,40	1,9
180	51,20	426,0	182,8	1,95300	40,13	24,32	16,36	10,63	7,38	5,42	4,15	3,28	2,6
200	61,30	570,0	202,8	1,75600	47,77	29,54	20,27	14,23	9,88	7,26	5,56	4,39	3,5
220	71,50	736,0	223,6	1,59800	55,73	35,03	24,23	17,76	12,76	9,37	7,18	5,67	4,5
240	83,20	938,0	243,2	1,46300	64,15	41,18	28,86	21,40	16,26	11,94	9,14	7,23	5,8
260	93,00	1 150,0	263,2	1,35400	69,88	45,67	32,39	24,30	18,91	14,64	11,21	8,86	7,1
280	103,00	1 380,0	283,6	1,25800	79,20	52,51	37,10	27,90	21,75	17,41	13,45	10,63	8,6
300	117,00	1 680,0	303,2	1,17200	89,00	59,28	42,45	32,18	25,28	20,38	16,38	12,94	10,4
320	127,00	1 930,0	302,8	1,10000	99,45	66,30	47,73	36,21	28,47	22,96	18,82	14,87	12,0
340	134,00	2 160,0	301,2	1,03500	110,06	73,37	53,04	40,20	31,58	25,44	20,90	16,64	13,4
360	142,00	2 400,0	299,6	0,97600	120,96	80,64	58,55	44,34	34,81	28,03	23,02	18,49	14,9
400	155,00	2 880,0	296,0	0,87700	144,31	96,20	70,35	53,13	41,59	33,41	27,37	22,19	17,9
450	171,00	3 550,0	293,2	0,78000	168,73	112,49	83,55	63,17	49,50	39,80	32,64	27,20	22,1
500	187,00	4 290,0	290,8	0,70300	193,59	129,06	96,80	73,74	57,88	46,60	38,26	31,92	26,7
550	199,00	4 970,0	286,8	0,63900	219,84	146,56	109,92	84,69	66,39	53,39	43,79	36,50	30,8
600	212,00	5 700,0	283,2	0,58500	247,95	165,30	123,98	96,61	75,63	60,75	49,77	41,44	34,9

5.6 1-D 6

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

σ_u = 2 600 kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,13	0.10	0.09	0,07	0.06	0,05	0.05	0.04	0.04	0,03	0.03	0.03	0,02	80
0,21	0.18	0.15	0,13	0.11	0,09	0,08	0.07	0,07	0.06	0.05	0,04	0,04	100
0,33	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0,13	0,11	0.10	0.09	0,08	0,07	0.06	120
0,48	0.40	0.33	0,28	0.25	0.21	0.19	0,17	0.15	0.13	0,12	0.10	0.08	140
0,68	0,56	0,47	0.40	0.35	0,30	0.27	0.23	0.21	0,19	0.17	0.14	0,12	160
0,91	0,75	0,63	0,54	0,46	0,40	0,36	0.31	0.28	0,25	0.23	0,19	0,16	180
1,21	1.00	0.84	0.72	0,62	0.54	0.47	0,42	0,37	0.33	0.30	0,25	0.21	200
1,57	1.30	1.09	0.93	0,80	0.70	0.61	0.54	0.48	0,44	0.39	0.32	0,27	220
2,02	1.67	1,40	1.20	1.03	0,90	0.79	0.70	0.62	0.56	0.50	0,42	0.35	240
2,68	2.21	1.86	1,58	1.37	1,19	1,05	0,93	0.83	0.74	0,67	0,55	0.46	270
3,48	2,87	2,41	2.06	1,77	1.54	1.36	1.20	1.07	0,96	0.87	0,72	0.60	300
4,45	3.68	3,09	3,63	2.27	1,98	1,74	1,54	1.37	1.23	1.11	0,92	0,77	330
5,64	4,66	3.92	3.34	2,88	2.51	2.20	1,95	1,74	1.56	1,41	1,16	0,98	360
7,24	5,98	5,03	4.28	3,69	3.22	2.83	2.50	2.23	2,00	1.81	1.50	1.26	400
9,36	7,74	6,50	5.54	4,78	4,16	3,66	3,24	2.89	2,59	2.34	1,93	1,63	450
12.04	9.95	8,36	7.13	6.14	5,35	4,70	4,17	3,72	3.34	3,01	2,49	2.09	500
15.23	12,58	10.57	9,01	7.77	6,77	5,95	5,27	4.70	4.22	3,81	3.15	2,64	550
19,16	15,83	13,30	11.33	9,77	8.51	7.48	6,63	5,91	5.31	4,79	3.96	3.33	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0.56	0.46	0.39	0,33	0,29	0.25	0.22	0,19	0.17	0,16	0,14	0,12	0.10	100
0,90	0,74	0,62	0.53	0.46	0,40	0,35	0.31	0.28	0,25	0,22	0,19	0,16	120
1,35	1,11	0,94	0.80	0.69	0.60	0.53	0,47	0,42	0.37	0.34	0,28	0.23	140
1,94	1.60	1,35	1,15	0.99	0.86	0.76	0,67	0,60	0,54	0.48	0,40	0.34	160
2.66	2.20	1.85	1.57	1.36	1,18	1,04	0.92	0,82	0,74	0,66	0.55	0,46	180
3,56	2.94	2,47	2.10	1.81	1.58	1,39	1,23	1,10	0.98	0.89	0,73	0.62	200
4,59	3.80	3.19	2.72	2.34	2.04	1.79	1.59	1,42	1,27	1.15	0.95	0.80	220
5,85	4,84	4,06	3,46	2.99	2,60	2.29	2.02	1,81	1,62	1,46	1.21	1,02	240
7.18	5.93	4.98	4.25	3.66	3,19	2.80	2.48	2.21	1.99	1.79	1,48	1,25	260
8,61	7,12	5,98	5,09	4.39	3,83	3,36	2.98	2.66	2,38	2.15	1.78	1.49	280
10,48	8,66	7.28	6,20	5.35	4.66	4.09	3,63	3,24	2,90	2.62	2.17	1,82	300
12,04	9,95	8.36	7,13	6,14	5,35	4,70	4,17	3.72	3.34	3,01	2,49	2,09	320
13.48	11.14	9.36	7.97	6.88	5,99	5.26	4.66	4,16	3,73	3.37	2,78	2.34	340
14.98	12.38	10.40	8,86	7.64	6.66	5,85	5,18	4.62	4,15	3,74	3.09	2,60	360
17,97	14,85	12,48	10,63	9,17	7,99	7,02	6.22	5.55	4,98	4.49	3.71	3.12	400
22.15	18,31	15,38	13,11	11,30	9,84	8.65	7.66	6.84	6,14	5,54	4,58	3,85	450
26.77	22.12	18,59	15,84	13,66	11.90	10,46	9.26	8.26	7,41	6.69	5,53	4,65	500
30.83	25,63	21,54	18,35	15.82	13.78	12,11	10.73	9,57	8,59	7.75	6.41	5,38	550
34,98	29,39	24.70	21.05	18,15	15.81	13.89	12,31	10,98	9,85	8,89	7.35	6,17	600

5.6 1-D 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

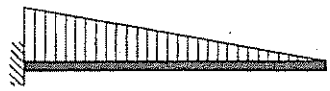
HEA	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,
100	16,70	72,8	100,4	3,66300	10,95	5,05	2,84	1,82	1,26	0,93	0,71	0,56	0,
120	19,90	106,0	120,8	3,07200	13,66	7,35	4,13	2,65	1,84	1,35	1,03	0,82	0,
140	24,70	155,0	140,8	2,64300	18,01	10,40	6,04	3,87	2,69	1,97	1,51	1,19	0,
160	30,40	220,0	159,2	2,31400	23,21	13,74	8,58	5,49	3,81	2,80	2,14	1,69	1,
180	35,50	294,0	180,8	2,05700	27,16	16,37	10,95	7,34	5,10	3,74	2,87	2,26	1,1
200	42,30	389,0	199,2	1,85100	33,15	20,29	13,78	9,71	6,74	4,95	3,79	3,00	2,
220	50,50	515,0	220,4	1,67200	40,03	24,83	17,02	12,37	8,93	6,56	5,02	3,97	3,
240	60,30	675,0	240,0	1,52800	46,97	29,90	20,81	15,33	11,70	8,60	6,58	5,20	4,
260	68,20	836,0	260,0	1,40500	51,15	33,28	23,50	17,56	13,61	10,65	8,15	6,44	5,
280	76,40	1 010,0	280,0	1,29800	59,05	38,75	27,40	20,51	15,92	12,69	9,85	7,78	6,
300	88,30	1 260,0	299,6	1,21200	67,34	44,72	31,91	24,10	18,87	15,15	12,28	9,71	7,
320	97,60	1 480,0	299,6	1,13400	76,11	50,74	36,38	27,53	21,59	17,37	14,25	11,40	9,
340	105,00	1 680,0	298,4	1,06500	85,38	56,92	40,99	30,99	24,29	19,53	16,01	12,94	10,
360	112,00	1 890,0	297,2	1,00300	95,52	63,68	46,04	34,77	27,22	21,87	17,92	14,56	11,
400	125,00	2 310,0	293,6	0,90000	116,28	77,52	56,44	42,50	33,18	26,58	21,73	17,80	14,
450	140,00	2 900,0	291,6	0,79900	136,64	91,10	67,53	50,98	39,90	32,04	26,24	21,85	18,
500	155,00	3 550,0	289,6	0,71700	159,05	106,03	79,52	60,43	47,38	38,11	31,26	26,06	22,
550	166,00	4 150,0	286,0	0,65100	181,79	121,19	90,89	69,89	54,74	43,98	36,05	30,02	25,
600	178,00	4 790,0	282,0	0,59600	205,63	137,09	102,81	80,05	62,64	50,30	41,19	34,29	28,

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	2,92700	29,64	13,17	7,41	4,74	3,29	2,42	1,85	1,46	1,1
120	52,10	288,0	130,0	2,50400	40,16	19,97	11,23	7,19	4,99	3,67	2,81	2,22	1,8
140	63,20	411,0	150,8	2,19400	49,37	28,50	16,03	10,26	7,12	5,23	4,01	3,17	2,5
160	76,20	566,0	170,4	1,94900	61,67	37,49	22,07	14,13	9,81	7,21	5,52	4,36	3,5
180	88,90	748,0	190,8	1,75600	72,59	44,55	29,17	18,67	12,96	9,53	7,29	5,76	4,6
200	103,00	967,0	210,8	1,59600	84,32	52,54	36,32	24,14	16,76	12,31	9,43	7,45	6,0
220	117,00	1 220,0	231,6	1,46700	95,69	60,63	42,20	30,45	21,15	15,54	11,89	9,40	7,61
240	157,00	1 800,0	255,6	1,30100	123,83	80,54	57,09	42,82	31,20	22,92	17,55	13,87	11,2
260	172,00	2 160,0	276,0	1,21200	134,28	88,45	63,22	47,83	37,44	27,51	21,06	16,64	13,4
280	189,00	2 550,0	296,0	1,13200	148,42	98,52	70,57	53,51	42,06	32,47	24,86	19,64	15,91
300	238,00	3 480,0	320,0	1,03200	182,96	121,97	88,79	68,03	54,04	43,99	33,93	26,81	21,71
320	245,00	3 800,0	318,0	0,98000	193,48	128,99	94,34	72,30	57,43	46,76	37,05	29,27	23,71
340	248,00	4 050,0	316,0	0,93100	203,99	135,99	99,72	76,30	60,51	49,20	39,49	31,20	25,27
360	250,00	4 300,0	313,2	0,89000	214,89	143,26	105,31	80,44	63,68	51,68	41,92	33,13	26,83
400	256,00	4 820,0	308,0	0,81300	235,24	156,83	116,11	88,48	69,88	56,59	46,71	37,13	30,08
450	263,00	5 500,0	303,6	0,73500	261,53	174,36	130,38	99,11	78,09	63,09	51,97	42,37	34,32
500	270,00	6 180,0	298,4	0,67000	287,53	191,68	143,76	109,87	86,38	69,64	57,25	47,61	38,56
550	278,00	6 920,0	294,0	0,61400	314,44	209,63	157,22	121,42	95,30	76,72	62,99	52,54	43,18
600	285,00	7 660,0	288,8	0,56700	340 94	227,29	170,47	133,07	104,27	83,82	68,72	57,26	47,80

5.6 1-D 6

piezas sometidas a flexión



Acero A - 42

$\sigma_u = 2.600$ kg/cm²

Luz en metros													HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,45	0.38	0,31	0.27	0,23	0.20	0,18	0.16	0,14	0.13	0,11	0.09	0.08	100
0,66	0.55	0,46	0,39	0,34	0,29	0,26	0.23	0.20	0.18	0,16	0,14	0,11	120
0,97	0.80	0.67	0,57	0,49	0.43	0.38	0.33	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17	140
1,37	1,13	0.95	0.81	0.70	0.61	0.54	0,47	0,42	0,38	0,34	0,28	0,24	160
1,83	1.52	1,27	1,09	0.94	0.81	0,72	0,63	0,57	0.51	0.46	0,38	0,32	180
2,43	2.01	1,69	1,44	1,24	1,08	0.95	0.84	0,75	0,67	0,61	0.50	0.42	200
3,21	2.66	2.23	1.90	1.64	1.43	1,25	1,11	0,99	0,89	0,80	0,66	0,56	220
4,21	3,48	2.92	2.49	2.15	1.87	1.64	1,46	1,30	1,17	1.05	0,87	0,73	240
5,22	4,31	3,62	3.09	2.66	2,32	2.04	1,80	1.61	1,44	1.30	1.08	0,91	260
6,30	5,21	4.38	3.73	3.22	2,80	2,46	2.18	1.94	1,75	1,58	1.30	1.09	280
7,86	6,50	5,46	4,65	4,01	3,49	3.07	2.72	2,43	2.18	1.97	1,62	1,36	300
9,23	7.63	6,41	5,46	4.71	4.10	3,61	3,20	2,85	2,56	2.31	1,91	1.60	320
10,48	8,66	7.28	6,20	5.35	4.66	4,09	3.63	3.24	2,90	2.62	2.17	1.82	340
11,79	9,75	8,19	6.98	6,02	5,24	4,61	4,08	3.64	3.27	2,95	2.44	2.05	360
14,41	11.91	10,01	8,53	7,35	6,41	5,63	4.99	4.45	3.99	3,60	2,98	2,50	400
18,10	14.95	12,57	10,71	9,23	8,04	7,07	6,26	5,58	5.01	4,52	3.74	3,14	450
22,01	18,31	15.38	13.11	11,30	9.84	8,65	7,66	6,84	6,14	5,54	4,58	3,85	500
25,35	21,40	17,98	15,32	13.21	11,51	10,12	8,96	7,99	7,17	6.47	5.35	4,50	550
28,93	24,70	20.76	17,69	15.25	13,28	11,68	10,34	9.22	8.28	7,47	6,18	5.19	600

Luz en metros													HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9.5	10,0	11,0	12,0	
1,19	0,98	0,82	0.70	0.60	0.53	0,46	0.41	0.37	0,33	0,30	0,24	0.21	100
1,80	1.48	1,25	1.06	0.92	0.80	0.70	0.62	0,55	0,50	0,45	0,37	0.31	120
2.56	2.12	1.78	1.52	1.31	1,14	1.00	0,89	0,79	0.71	0,64	0.53	0.44	140
3,53	2,92	2,45	2,09	1.80	1.57	1.38	1,22	1.09	0.98	0.88	0.73	0,61	160
4,67	3.86	3.24	2,76	2.38	2,07	1,82	1.61	1,44	1.29	1,17	0,96	0,81	180
6,03	4,99	4.19	3.57	3.08	2,68	2.36	2.09	1,86	1.67	1,51	1.25	1,05	200
7,61	6,29	5.29	4.50	3.88	3.38	2,97	2.63	2.35	2.11	1,90	1,57	1.32	220
11,23	9.28	7,80	6,65	5.73	4.99	4.39	3.89	3,47	3,11	2,81	2,32	1.95	240
13,48	11.14	9,36	7,97	6,88	5,99	5.26	4.66	4,16	3.73	3.37	2.78	2.34	260
15,91	13,15	11,05	9,41	8,12	7.07	6.22	5,51	4.91	4.41	3,98	3.29	2,76	280
18,71	17.95	15,08	12,85	11,08	9,65	8,48	7,51	6,70	6,01	5.43	4,49	3,77	300
23,71	19,60	16.47	14.03	12.10	10.54	9.26	8.20	7,32	6.57	5.93	4.90	4,12	320
25,27	20,89	17.55	14.95	12,89	11.23	9.87	8.74	7.80	7,00	6.32	5.22	4,39	340
26,83	22.17	18.63	15.88	13,69	11,92	10,48	9,28	8,28	7,43	6,71	5,54	4,66	360
30.08	24.86	20,89	17.80	15,34	13.37	11.75	10.41	9.28	8,33	7.52	6.21	5.22	400
34,32	28,36	23,83	20.31	17.51	15.25	13.41	11.88	10.59	9.51	8,58	7,09	5,96	450
38,56	31,87	26.78	22.82	19.67	17.14	15,06	13.34	11.90	10,68	9,64	7,97	6,69	500
43,18	35.69	29.99	25,55	22.03	19.19	16,87	14.94	13,33	11,96	10,79	8.92	7.50	550
47.80	39,50	33,19	28.28	24,39	21.24	18.67	16.54	14,75	13.24	11,95	9,88	8.30	600

5.6 1-D 6



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

IPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	5,95	19,5	36,4	5,03100	2,03	0,90	0,51	0,32	0,22	0,17	0,13	0,10	0,0
100	8,32	34,2	42,8	4,02500	3,56	1,58	0,89	0,57	0,39	0,29	0,22	0,18	0,1
120	11,10	54,7	49,2	3,35600	5,69	2,53	1,42	0,91	0,63	0,46	0,36	0,28	0,2
140	14,40	81,9	56,0	2,87600	8,52	3,79	2,13	1,36	0,95	0,69	0,53	0,42	0,3
160	17,90	117,0	62,0	2,51800	12,17	5,41	3,04	1,95	1,35	0,99	0,76	0,60	0,4
180	21,90	161,0	68,4	2,23400	16,74	7,44	4,19	2,68	1,86	1,37	1,05	0,83	0,6
200	26,30	214,0	74,8	2,01200	22,26	9,89	5,56	3,56	2,47	1,82	1,39	1,10	0,8
220	31,10	278,0	80,8	1,82800	28,91	12,85	7,23	4,63	3,21	2,36	1,81	1,43	1,1
240	36,20	354,0	88,0	1,67600	36,82	16,36	9,20	5,89	4,09	3,00	2,30	1,82	1,4
260	41,90	442,0	92,8	1,55000	45,97	20,43	11,49	7,35	5,11	3,75	2,87	2,27	1,8
280	48,00	542,0	98,0	1,43700	55,63	25,05	14,09	9,02	6,26	4,60	3,52	2,78	2,2
300	54,20	653,0	102,4	1,34100	65,87	30,18	16,98	10,87	7,55	5,54	4,24	3,35	2,7
320	61,10	782,0	106,8	1,25800	77,19	36,15	20,33	13,01	9,04	6,64	5,08	4,02	3,2
340	68,10	923,0	112,0	1,18300	89,39	42,66	24,00	15,36	10,67	7,84	6,00	4,74	3,8
360	76,20	1 090,0	116,0	1,11800	103,35	50,38	28,34	18,14	12,60	9,25	7,08	5,60	4,5
380	84,00	1 260,0	120,8	1,05600	117,76	58,24	32,76	20,97	14,56	10,70	8,19	6,47	5,2
400	92,60	1 460,0	125,2	1,00600	133,22	67,48	37,96	24,29	16,87	12,39	9,49	7,50	6,0
450	115,00	2 040,0	137,2	0,89500	176,78	94,18	53,04	33,95	23,57	17,23	13,26	10,48	8,4
500	141,00	2 750,0	148,8	0,80500	227,29	123,08	71,50	45,76	31,78	23,35	17,88	14,12	11,4
550	167,00	3 610,0	160,8	0,73200	266,86	153,16	93,86	60,07	41,72	30,65	23,46	18,54	15,0
600	199,00	4 630,0	172,0	0,67000	330,18	194,63	120,38	77,04	53,50	39,31	30,09	23,78	19,2

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

UPN	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	8,65	26,5	53,2	5,03100	2,76	1,22	0,69	0,44	0,31	0,22	0,17	0,14	0,11
100	10,60	41,2	58,8	4,02500	4,28	1,90	1,07	0,69	0,48	0,35	0,27	0,21	0,17
120	13,40	60,7	63,6	3,35600	6,31	2,81	1,58	1,01	0,70	0,51	0,39	0,31	0,25
140	16,00	86,4	70,0	2,87400	8,99	3,99	2,25	1,44	1,00	0,73	0,56	0,44	0,36
160	18,80	116,0	75,6	2,52300	12,06	5,36	3,02	1,93	1,34	0,98	0,75	0,60	0,48
180	22,00	150,0	80,8	2,23600	15,60	6,93	3,90	2,50	1,73	1,27	0,97	0,77	0,62
200	25,30	191,0	85,6	2,01200	19,86	8,83	4,97	3,18	2,21	1,62	1,24	0,98	0,79
220	29,40	245,0	92,0	1,83300	25,48	11,32	6,37	4,08	2,83	2,08	1,59	1,26	1,02
240	33,20	300,0	96,8	1,67700	31,20	13,87	7,80	4,99	3,47	2,55	1,95	1,54	1,25
260	37,90	371,0	102,4	1,54900	38,58	17,15	9,65	6,17	4,29	3,15	2,41	1,90	1,54
280	41,80	448,0	109,6	1,43600	46,59	20,71	11,65	7,45	5,18	3,80	2,91	2,30	1,86
300	46,20	535,0	116,0	1,34100	55,64	24,73	13,91	8,90	6,18	4,54	3,48	2,75	2,23

5.6 1-D 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												IPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0.02	0,01	80
0,14	0,12	0,10	0,08	0.07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0.04	0,03	0.02	100
0,23	0,19	0.16	0,13	0,12	0,10	0,09	0.08	0,07	0.06	0,06	0.05	0,04	120
0,34	0,28	0,24	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0.09	0,08	0,07	0,06	140
0,49	0,40	0.34	0,29	0.25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0.10	0,08	160
0,67	0.55	0.46	0,40	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0.14	0,12	180
0,89	0,74	0.62	0.53	0.45	0.40	0.35	0,31	0,27	0,25	0,22	0,18	0,15	200
1,16	0.96	0,80	0,68	0,59	0,51	0,45	0.40	0,36	0.32	0.29	0,24	0,20	220
1,47	1.22	1,02	0.87	0,75	0.65	0.57	0,51	0.45	0,41	0.37	0.30	0,26	240
1,84	1,52	1.28	1.09	0.94	0,82	0.72	0,64	0,57	0,51	0,46	0,38	0,32	260
2,25	1.86	1,57	1,33	1,15	1,00	0,88	0,78	0.70	0.63	0,56	0.47	0,39	280
2,72	2,24	1,89	1,61	1,39	1,21	1,06	0,94	0,84	0.75	0.68	0,56	0.47	300
3,25	2.69	2,26	1,92	1,66	1,45	1.27	1.13	1,00	0,90	0.81	0.67	0,56	320
3,84	3.17	2.67	2.27	1,96	1.71	1.50	1,33	1,18	1,06	0,96	0,79	0,67	340
4,53	3.75	3.15	2,68	2,31	2,01	1,77	1,57	1.40	1.26	1,13	0.94	0,79	360
5,24	4.33	3,64	3,10	2,67	2,33	2.05	1,81	1.62	1,45	1,31	1,08	0,91	380
6,07	5.02	4.22	3,59	3,10	2,70	2.37	2.10	1,88	1.68	1.52	1,25	1.05	400
8,49	7.01	5,89	5,02	4.33	3,77	3.31	2,94	2,62	2,35	2,12	1,75	1,47	450
11,44	9.45	7.94	6,77	5.84	5,08	4.47	3,96	3.53	3,17	2,86	2,36	1.99	500
15,02	12,41	10,43	8.89	7.66	6,67	5,87	5,20	4,63	4,16	3.75	3,10	2,61	550
19,26	15.92	13,38	11.40	9.83	8,56	7,52	6,66	5,94	5,33	4.81	3,98	3,34	600

Luz en metros												UPN
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8.5	9,0	9.5	10,0	11,0	12,0	
0,11	0,09	0.08	0.06	0.06	0,05	0.04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	80
0,17	0,14	0.12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0.04	0,03	0,03	100
0,25	0.21	0,17	0,15	0,13	0.11	0,10	0,09	0,08	0.07	0,06	0.05	0,04	120
0,36	0,30	0.25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,06	140
0,48	0,40	0.33	0.29	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0.12	0.10	0.08	160
0,62	0,52	0,43	0,37	0,32	0,28	0.24	0.22	0.19	0,17	0,16	0,13	0.11	180
0,79	0,66	0.55	0.47	0.40	0,35	0,31	0.27	0,24	0,22	0.20	0,16	0,14	200
1,02	0,84	0,71	0,60	0,52	0,45	0,40	0,35	0,31	0,28	0,25	0.21	0,18	220
1,25	1,03	0.87	0,74	0.64	0,55	0,49	0.43	0,38	0.35	0,31	0,26	0.22	240
1,54	1.28	1,07	0,91	0,79	0,69	0.60	0,53	0.48	0,43	0,39	0,32	0,27	260
1,86	1,54	1.29	1,10	0,95	0.83	0,73	0,64	0,57	0,52	0.47	0,38	0,32	280
2,23	1,84	1,55	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,46	0,39	300

5.6 1-D 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

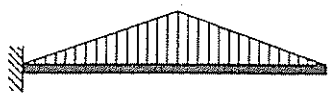
IPE	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
80	6,00	20,0	42,0	5,02400	2,08	0,92	0,52	0,33	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08
100	8,10	34,2	49,6	4,02500	3,56	1,58	0,89	0,57	0,39	0,29	0,22	0,18	0,14
120	10,40	53,0	58,0	3,35400	5,51	2,45	1,38	0,88	0,61	0,45	0,34	0,27	0,22
140	12,90	77,3	66,0	2,87500	8,04	3,57	2,01	1,29	0,89	0,66	0,50	0,40	0,32
160	15,80	109,0	73,6	2,52400	11,34	5,04	2,83	1,81	1,26	0,92	0,71	0,56	0,45
180	18,80	146,0	82,0	2,22600	15,18	6,75	3,80	2,43	1,69	1,24	0,95	0,75	0,61
200	22,40	194,0	89,6	2,01200	20,18	8,97	5,04	3,23	2,24	1,65	1,26	1,00	0,81
220	26,20	252,0	99,2	1,83100	25,47	11,65	6,55	4,19	2,91	2,14	1,64	1,29	1,05
240	30,70	324,0	107,6	1,67600	31,47	14,98	8,42	5,39	3,74	2,75	2,11	1,66	1,35
270	36,10	429,0	120,8	1,49100	39,47	19,83	11,15	7,14	4,96	3,64	2,79	2,20	1,78
300	42,20	557,0	134,0	1,34100	49,07	25,75	14,48	9,27	6,44	4,73	3,62	2,86	2,32
330	49,10	713,0	142,0	1,21900	59,70	32,01	18,54	11,86	8,24	6,05	4,63	3,66	2,97
360	57,10	904,0	151,6	1,11800	71,85	39,10	23,50	15,04	10,45	7,67	5,88	4,64	3,76
400	66,30	1 160,0	158,0	1,00900	88,40	48,73	30,16	19,30	13,40	9,85	7,54	5,96	4,83
450	77,60	1 500,0	164,8	0,89500	111,47	61,70	38,63	24,96	17,33	12,73	9,75	7,70	6,24
500	90,70	1 930,0	172,4	0,80600	134,18	76,85	48,37	32,11	22,30	16,38	12,54	9,91	8,03
550	106,00	2 440,0	178,0	0,73200	160,92	95,42	60,46	40,60	28,20	20,71	15,86	12,53	10,15
600	122,00	3 070,0	186,4	0,67100	188,48	115,87	73,96	50,84	35,48	26,06	19,95	15,77	12,77

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEB	Peso kg/m	W_x cm³	I_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	20,40	90,0	101,2	4,02500	9,36	4,16	2,34	1,50	1,04	0,76	0,58	0,46	0,37
120	26,70	144,0	122,4	3,35400	14,98	6,66	3,74	2,40	1,66	1,22	0,94	0,74	0,60
140	33,70	216,0	143,2	2,87800	21,39	9,98	5,62	3,59	2,50	1,83	1,40	1,11	0,90
160	42,60	311,0	162,0	2,51300	29,17	14,38	8,09	5,17	3,59	2,64	2,02	1,60	1,29
180	51,20	426,0	182,8	2,23800	36,48	19,69	11,08	7,09	4,92	3,62	2,77	2,19	1,77
200	61,30	570,0	202,8	2,01200	44,32	25,78	14,82	9,48	6,59	4,84	3,70	2,93	2,37
220	71,50	736,0	223,6	1,83100	52,54	30,94	19,14	12,25	8,50	6,25	4,78	3,78	3,06
240	83,20	938,0	243,2	1,67600	61,77	37,07	24,39	15,61	10,84	7,96	6,10	4,82	3,90
260	93,00	1 150,0	263,2	1,55100	68,51	41,85	28,37	19,14	13,29	9,76	7,47	5,91	4,78
280	103,00	1 380,0	283,6	1,44100	78,31	47,99	32,63	22,96	15,95	11,72	8,97	7,09	5,74
300	117,00	1 680,0	303,2	1,34300	88,92	55,14	37,92	27,65	19,41	14,26	10,92	8,63	6,99
320	127,00	1 930,0	302,8	1,26000	99,45	62,02	42,70	31,16	22,30	16,38	12,54	9,91	8,03
340	134,00	2 160,0	301,2	1,18600	110,06	68,88	47,36	34,52	24,96	18,34	14,04	11,09	8,99
360	142,00	2 400,0	299,6	1,11800	120,96	76,02	52,22	38,02	27,73	20,38	15,60	12,33	9,98
400	155,00	2 880,0	296,0	1,00500	144,31	91,21	62,39	45,26	33,28	24,45	18,72	14,79	11,98
450	171,00	3 550,0	293,2	0,89400	168,73	108,38	74,26	53,94	40,79	30,14	23,07	18,23	14,77
500	187,00	4 290,0	290,8	0,80500	193,59	126,41	86,82	63,20	47,88	36,42	27,88	22,03	17,85
550	199,00	4 970,0	286,8	0,73200	219,84	145,29	99,58	72,37	54,74	42,19	32,30	25,52	20,67
600	212,00	5 700,0	283,2	0,67100	247,95	165,30	113,45	82,30	62,16	48,39	37,05	29,27	23,71

5.6 1-D 7

piezas sometidas a flexión



Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros													IPE
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,08	0.07	0,06	0,05	0.04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0.01	80
0,14	0,12	0.10	0.08	0,07	0,06	0,06	0.05	0.04	0.04	0.04	0,03	0,02	100
0,22	0.18	0.15	0.13	0.11	0,10	0.09	0.08	0,07	0.06	0,05	0.05	0,04	120
0,32	0.27	0.22	0.19	0,16	0.14	0.13	0,11	0,10	0.09	0.08	0,07	0,06	140
0,45	0.38	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0,14	0,13	0.11	0,09	0,08	160
0,61	0.50	0,42	0,36	0,31	0.27	0,24	0,21	0,19	0.17	0,15	0,13	0,10	180
0,81	0.67	0.56	0.48	0.41	0,36	0.31	0.28	0,25	0.22	0.20	0,17	0,14	200
1,05	0.87	0.73	0.62	0,53	0,47	0.41	0,36	0,32	0,29	0,26	0,22	0,18	220
1,35	1.11	0.94	0.80	0.69	0.60	0,53	0.47	0.42	0.37	0,34	0,28	0,23	240
1,78	1.47	1.24	1.06	0.91	0,79	0,70	0,62	0.55	0,49	0.45	0,37	0,31	270
2,32	1.91	1.61	1,37	1.18	1,03	0,90	0.80	0,71	0.64	0.58	0,48	0,40	300
2,97	2,45	2,06	1,75	1,51	1,32	1.16	1.03	0,91	0.82	0,74	0,61	0,51	330
3,76	3.11	2.61	2,22	1,92	1.67	1.47	1.30	1,16	1,04	0,94	0,78	0,65	360
4,83	3.99	3.35	2.85	2,46	2,14	1.88	1,67	1.49	1,34	1,21	1,00	0,84	400
6,24	5.16	4,33	3,69	3,18	2.77	2.44	2,16	1,93	1,73	1,56	1,29	1,08	450
8,03	6.63	5.58	4,75	4,10	3,57	3.14	2.78	2,48	2,22	2,01	1,66	1,39	500
10,15	8.39	7.05	6,01	5.18	4,51	3,96	3.51	3,13	2,81	2,54	2,10	1,76	550
12,77	10.55	8,87	7,56	6.52	5,68	4,99	4.42	3.94	3,54	3,19	2,64	2,22	600

Luz en metros													HEB
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,37	0,31	0,26	0.22	0.19	0,17	0.15	0.13	0,12	0.10	0,09	0,08	0,06	100
0,60	0.49	0.42	0.35	0,31	0.27	0,23	0.21	0,18	0,17	0,15	0.12	0,10	120
0,90	0,74	0.62	0,53	0.46	0,40	0.35	0,31	0.28	0.25	0.22	0,19	0,16	140
1,29	1,07	0.90	0.77	0,66	0,57	0.50	0.45	0,40	0,36	0,32	0,27	0.22	160
1,77	1.46	1,23	1.05	0,90	0.79	0,69	0.61	0,55	0.49	0.44	0,37	0,31	180
2,37	1,96	1.65	1.40	1,21	1.05	0,93	0,82	0,73	0,66	0,59	0,49	0,41	200
3,06	2.53	2.13	1.81	1,56	1.36	1,20	1.06	0,94	0.85	0,76	0,63	0.53	220
3,90	3.22	2.71	2.31	1.99	1,73	1,52	1,35	1.20	1,08	0,98	0,81	0,68	240
4,78	3.95	3.32	2,83	2.44	2,13	1,87	1,65	1,48	1.32	1,20	0.99	0,83	260
5,74	4,74	3.99	3.40	2.93	2,55	2.24	1,99	1,77	1.59	1,43	1.19	1,00	280
6,99	5,78	4.85	4.13	3,57	3.11	2,73	2,42	2.16	1.94	1.75	1,44	1,21	300
8,03	6.63	5.58	4.75	4.10	3.57	3.14	2.78	2,48	2.22	2.01	1,66	1,39	320
8,99	7.43	6,24	5.32	4,58	3.99	3.51	3.11	2,77	2.49	2,25	1,86	1.56	340
9,98	8,25	6,93	5.91	5,09	4.44	3,90	3,45	3,08	2,77	2,50	2,06	1,73	360
11.98	9.90	8.32	7.09	6,11	5.32	4.68	4.15	3,70	3,32	2.99	2,47	2,08	400
14.77	12,20	10.26	8.74	7,53	6.56	5,77	5.11	4,56	4,09	3,69	3,05	2,56	450
17,85	14.75	12.39	10,56	9,10	7,93	6,97	6.17	5,51	4.94	4.46	3.69	3,10	500
20,67	17,09	14.36	12.23	10.55	9,19	8,08	7,15	6.38	5,73	5,17	4,27	3.59	550
23,71	19.60	16.47	14,03	12,10	10.54	9.26	8.20	7 32	6,57	5.93	4.90	4,12	600

5.6 1-D 7



Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEA	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	16,70	72,8	100,4	4,19800	7,57	3,36	1,89	1,21	0,84	0,62	0,47	0,37	0,30
120	19,90	106,0	120,8	3,52000	11,02	4,90	2,76	1,76	1,22	0,90	0,69	0,54	0,44
140	24,70	155,0	140,8	3,02800	15,61	7,16	4,03	2,58	1,79	1,32	1,01	0,80	0,64
160	30,40	220,0	159,2	2,65100	20,61	10,17	5,72	3,66	2,54	1,87	1,43	1,13	0,91
180	35,50	294,0	180,8	2,35700	24,55	13,59	7,64	4,89	3,40	2,50	1,91	1,51	1,22
200	42,30	389,0	199,2	2,12100	30,44	17,44	10,11	6,47	4,49	3,30	2,53	2,00	1,62
220	50,50	515,0	220,4	1,91600	37,25	21,64	13,39	8,57	5,95	4,37	3,35	2,64	2,14
240	60,30	675,0	240,0	1,75000	44,85	26,64	17,55	11,23	7,80	5,73	4,39	3,47	2,81
260	68,20	836,0	260,0	1,61000	49,92	30,30	20,41	13,91	9,66	7,10	5,43	4,29	3,48
280	76,40	1 010,0	280,0	1,48700	58,12	35,36	23,88	16,81	11,67	8,57	6,56	5,19	4,20
300	88,30	1 260,0	299,6	1,38900	67,08	41,37	28,30	20,53	14,56	10,70	8,19	6,47	5,24
320	97,60	1 480,0	299,6	1,29900	76,11	47,21	32,39	23,55	17,10	12,56	9,62	7,60	6,16
340	105,00	1 680,0	298,4	1,22100	85,38	53,17	36,43	26,47	19,41	14,26	10,92	8,63	6,99
360	112,00	1 890,0	297,2	1,14900	95,52	59,69	40,84	29,63	21,84	16,05	12,28	9,71	7,86
400	125,00	2 310,0	293,6	1,03100	116,28	73,06	49,77	35,97	26,69	19,61	15,01	11,86	9,61
450	140,00	2 900,0	291,6	0,91600	136,64	87,54	59,85	43,40	32,77	24,62	18,85	14,89	12,06
500	155,00	3 550,0	289,6	0,82100	159,05	103,66	71,07	51,66	39,08	30,14	23,07	18,23	14,77
550	166,00	4 150,0	286,0	0,74600	181,79	119,96	82,11	59,60	45,03	35,09	26,97	21,31	17,26
600	178,00	4 790,0	282,0	0,68300	205,63	137,09	93,97	68,13	51,43	40,04	31,13	24,60	19,93

Máximo valor de q (t/m) que agota el perfil para una determinada luz en metros.

HEM	Peso kg/m	W_x cm³	i_o cm	k_f	Luz en metros								
					1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
100	41,80	190,0	109,6	3,35400	19,76	8,78	4,94	3,16	2,20	1,61	1,23	0,98	0,79
120	52,10	288,0	130,0	2,86900	29,95	13,31	7,49	4,79	3,33	2,44	1,87	1,48	1,20
140	63,20	411,0	150,8	2,51400	42,74	19,00	10,69	6,84	4,75	3,49	2,67	2,11	1,71
160	76,20	566,0	170,4	2,23300	56,23	26,16	14,72	9,42	6,54	4,80	3,68	2,91	2,35
180	88,90	748,0	190,8	2,01200	66,82	34,57	19,45	12,45	8,64	6,35	4,86	3,84	3,11
200	103,00	967,0	210,8	1,82900	78,81	44,70	25,14	16,09	11,17	8,21	6,28	4,97	4,02
220	117,00	1 220,0	231,6	1,68100	90,94	54,03	31,72	20,30	14,10	10,36	7,93	6,27	5,07
240	157,00	1 800,0	255,6	1,49100	120,81	73,76	46,80	29,95	20,80	15,28	11,70	9,24	7,49
260	172,00	2 160,0	276,0	1,38800	132,67	82,03	56,16	35,94	24,96	18,34	14,04	11,09	8,99
280	189,00	2 550,0	296,0	1,29700	147,79	91,68	63,09	42,43	29,47	21,65	16,57	13,10	10,61
300	238,00	3 480,0	320,0	1,18300	182,96	115,95	81,05	57,91	40,21	29,54	22,62	17,87	14,48
320	245,00	3 800,0	318,0	1,12200	193,48	123,20	86,14	63,23	43,91	32,26	24,70	19,52	15,81
340	248,00	4 050,0	316,0	1,06700	203,99	130,13	90,77	67,03	46,80	34,38	26,32	20,80	16,85
360	250,00	4 300,0	313,2	1,02000	214,89	137,30	95,52	70,36	49,69	36,51	27,95	22,08	17,89
400	256,00	4 820,0	308,0	0,93200	235,24	151,21	104,82	76,96	55,70	40,92	31,33	24,75	20,05
450	263,00	5 500,0	303,6	0,84200	261,53	169,59	117,13	85,71	63,56	46,69	35,75	28,25	22,88
500	270,00	6 180,0	298,4	0,76800	287,53	188,22	129,56	94,51	71,41	52,47	40,17	31,74	25,71
550	278,00	6 920,0	294,0	0,70300	314,44	208,17	142,94	104,04	78,81	58,75	44,98	35,54	28,79
600	285,00	7 660,0	288,8	0,64900	340,94	227,29	156,41	113,60	85,89	65,03	49,79	39,34	31,87

5.6 t-D 7

piezas sometidas a flexión



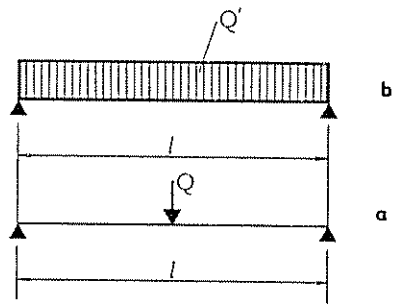
Acero A 42

$\sigma_u = 2\,600$ kg/cm²

Luz en metros												HEA
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,30	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,05	100
0,44	0,36	0,31	0,26	0,22	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	120
0,64	0,53	0,45	0,38	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	140
0,91	0,76	0,64	0,54	0,47	0,41	0,36	0,32	0,28	0,25	0,23	0,19	0,16	160
1,22	1,01	0,85	0,72	0,62	0,54	0,48	0,42	0,38	0,34	0,31	0,25	0,21	180
1,62	1,34	1,12	0,96	0,83	0,72	0,63	0,56	0,50	0,45	0,40	0,33	0,28	200
2,14	1,77	1,49	1,27	1,09	0,95	0,84	0,74	0,66	0,59	0,54	0,44	0,37	220
2,81	2,32	1,95	1,66	1,43	1,25	1,10	0,97	0,87	0,78	0,70	0,58	0,49	240
3,48	2,87	2,41	2,06	1,77	1,55	1,36	1,20	1,07	0,96	0,87	0,72	0,60	260
4,20	3,47	2,92	2,49	2,14	1,87	1,64	1,45	1,30	1,16	1,05	0,87	0,73	280
5,24	4,33	3,64	3,10	2,67	2,33	2,05	1,81	1,62	1,45	1,31	1,08	0,91	300
6,16	5,09	4,28	3,64	3,14	2,74	2,40	2,13	1,90	1,70	1,54	1,27	1,07	320
6,99	5,78	4,85	4,13	3,57	3,11	2,73	2,42	2,16	1,94	1,75	1,44	1,21	340
7,86	6,50	5,46	4,65	4,01	3,49	3,07	2,72	2,43	2,18	1,97	1,62	1,36	360
9,61	7,94	6,67	5,69	4,90	4,27	3,75	3,32	2,97	2,66	2,40	1,98	1,67	400
12,06	9,97	8,38	7,14	6,15	5,36	4,71	4,17	3,72	3,34	3,02	2,49	2,09	450
14,77	12,20	10,26	8,74	7,53	6,56	5,77	5,11	4,56	4,09	3,69	3,05	2,56	500
17,26	14,27	11,99	10,21	8,81	7,67	6,74	5,97	5,33	4,78	4,32	3,57	3,00	550
19,93	16,47	13,84	11,79	10,17	8,86	7,78	6,89	6,15	5,52	4,98	4,12	3,46	600

Luz en metros												HEM
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9.0	9,5	10,0	11,0	12,0	
0,79	0,65	0,55	0,47	0,40	0,35	0,31	0,27	0,24	0,22	0,20	0,16	0,14	100
1,20	0,99	0,83	0,71	0,61	0,53	0,47	0,41	0,37	0,33	0,30	0,25	0,21	120
1,71	1,41	1,19	1,01	0,87	0,76	0,67	0,59	0,53	0,47	0,43	0,35	0,30	140
2,35	1,95	1,63	1,39	1,20	1,05	0,92	0,81	0,73	0,65	0,59	0,49	0,41	160
3,11	2,57	2,16	1,84	1,59	1,38	1,21	1,08	0,96	0,86	0,78	0,64	0,54	180
4,02	3,32	2,79	2,38	2,05	1,79	1,57	1,39	1,24	1,11	1,01	0,83	0,70	200
5,07	4,19	3,52	3,00	2,59	2,26	1,98	1,76	1,57	1,41	1,27	1,05	0,88	220
7,49	6,19	5,20	4,43	3,82	3,33	2,92	2,59	2,31	2,07	1,87	1,55	1,30	240
8,99	7,43	6,24	5,32	4,58	3,99	3,51	3,11	2,77	2,49	2,25	1,86	1,56	260
10,61	8,77	7,37	6,28	5,41	4,71	4,14	3,67	3,27	2,94	2,65	2,19	1,84	280
14,48	11,96	10,05	8,57	7,39	6,43	5,65	5,01	4,47	4,01	3,62	2,99	2,51	300
15,81	13,06	10,98	9,35	8,06	7,03	6,17	5,47	4,88	4,38	3,95	3,27	2,74	320
16,85	13,92	11,70	9,97	8,60	7,49	6,58	5,83	5,20	4,67	4,21	3,48	2,92	340
17,89	14,78	12,42	10,58	9,13	7,95	6,99	6,19	5,52	4,95	4,47	3,70	3,11	360
20,05	16,57	13,92	11,86	10,23	8,91	7,83	6,94	6,19	5,55	5,01	4,14	3,48	400
22,88	18,91	15,89	13,54	11,67	10,17	8,94	7,92	7,06	6,34	5,72	4,73	3,97	450
25,71	21,25	17,85	15,21	13,12	11,43	10,04	8,90	7,93	7,12	6,43	5,31	4,46	500
28,79	23,79	19,99	17,03	14,69	12,79	11,24	9,96	8,88	7,97	7,20	5,95	5,00	550
31,87	26,33	22,13	18,85	16,26	14,16	12,45	11,03	9,83	8,83	7,97	6,58	5,53	600

5.6 1-D 7



[5.73]

5.6 2. EJEMPLO DE APLICACION

Calcular las flechas de los perfiles del ejemplo 5.2 5-A) por el procedimiento de la carga equivalente.

Se descompone el sistema de cargas total en dos parciales: el correspondiente a la carga uniforme y el formado por las tres cargas puntuales. En este caso el procedimiento es exacto, por producirse las flechas máximas de los dos sistemas parciales en el mismo punto. Se utiliza **5.6 2.**

Carga uniforme $Q^* = 1 \times 6 = 6$ t $\quad \gamma_F = 1 \quad Q'^* = 6$ t

Para las tres fuerzas $Q^* = 3 \times 9{,}5 = 28{,}5 \quad \gamma_F = 1{,}26 \quad Q'^* = 1{,}26 \times 28{,}5 = 35{,}91$ t

$$\Sigma Q'^* = 41{,}91 \text{ t} \qquad q'^* = \frac{41{,}91}{6} = 6{,}985 \text{ t/m}$$

Con auxilio de **5.6 1-A1** obtenemos

Para IPN 400 $\quad l = 6$ m $\quad q^* = 8{,}44$ t/m $\quad K_f = 0{,}457$

$$\frac{f}{l} = K_f \frac{q'^*}{q^*} \times \frac{l}{1\,000} \qquad l \text{ en m}$$

$$\frac{f}{l} = 0{,}457 \times \frac{6{,}985}{8{,}44} \times \frac{6}{1\,000} = 0{,}00226 \simeq \frac{1}{442}$$

Análogamente

IPE 450 $\quad l = 6{,}00$ m $\quad q^* = 8{,}67$ t/m $\quad K_f = 0{,}407$

$$\frac{f}{l} = 0{,}00196 \simeq \frac{1}{510}$$

HEB 280 $\quad l = 6{,}00$ m $\quad q^* = 7{,}97$ t/m $\quad K_f = 0{,}655$

$$\frac{f}{l} = 0{,}00344 \simeq \frac{1}{290}$$

Al utilizar las tablas **5.6 1**, se adopta implícitamente un coeficiente de ponderación de 1,41; si se quiere adoptar el coeficiente 1,5, las flechas y la relación $\frac{f}{l}$ habría que multiplicarla por $\frac{1{,}41}{1{,}5}$, con lo que se obtienen los valores del Ejemplo 5 2 5.

5.6 2. Solicitaciones compuestas en perfiles laminados. Dimensionamiento por asimilación al caso de sobrecarga uniforme.

5.6 2 1. *Equivalencia de sistemas de cargas.*

El método consiste, para una viga con cualquier tipo de apoyos, en relacionar su estado de carga con la carga uniformemente repartida, de la viga simple apoyada, para que los efectos de una u otra carga sea el mismo, de modo que se resuelva su cálculo mediante la utilización de la tabla correspondiente a viga simple apoyada y carga uniforme.

La relación más sencilla consiste en la elaboración de unos coeficientes de equivalencia de cargas correspondientes a aquellos estados más frecuentes en la práctica. Hay dos coeficientes, γ_M y γ_F, según se igualen los momentos o las flechas. Así, refiriéndonos a [5.73]:

en el caso (a)

$$M_{máx} = \frac{Q\ l}{4}$$

la carga uniforme equivalente que produce el mismo momento máximo, se representa en (b) y su momento máximo es

$$M_{máx} = \frac{Q'\ l}{8}$$

igualando momentos

$$Q' = 2\,Q \qquad \text{es decir} \qquad Q' = \gamma_M\,Q$$

γ_M Coeficiente de equivalencia de las cargas a efectos de momento máximo, en este caso igual a 2.

Análogamente, igualando las flechas máximas:

para el caso (a) $f_{máx} = \frac{1}{48}\,\frac{Q\,l^3}{E\,I}$ para el caso (b) $f_{máx} = \frac{5}{384}\,\frac{Q'\,l^3}{E\,I}$

$$Q' = 1{,}6\,Q$$

$$Q' = \gamma_F\,Q$$

γ_F Coeficiente de equivalencia de las cargas a efectos de flecha máxima, en este caso igual a 1,6.

NOTAS

En **5.6 2** están recogidos 34 diferentes estados de carga con indicación de las reacciones de apoyos y los valores de los coeficientes γ_M y γ_F.

5.6 2 2. *Uso del método en el caso de solicitaciones combinadas.*

Este método puede usarse para casos en que la solicitación de la viga pueda descomponerse en los elementales recogidos en **5.6 2,** sin más que utilizar como valor Q′ de la solicitación uniforme equivalente, un valor:

$$Q'_M = \Sigma\, Q'_{M,i} \qquad \text{o} \qquad Q'_F = \Sigma\, Q'_{F,i}$$

Para que este procedimiento sea exacto se requerirá que el máximo del momento o de la flecha para cada caso de solicitación parcial se produzca en la misma sección. En el caso en que esto no ocurra, el procedimiento es pesimista al considerar la suma de los valores máximos.

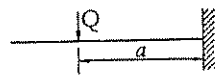
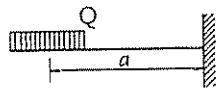
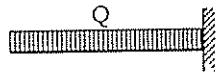
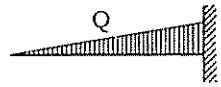
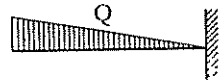
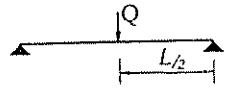
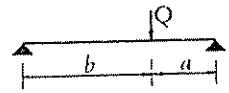
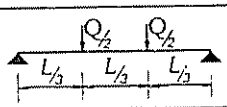
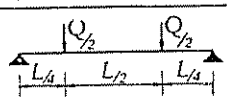
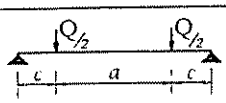
Para solicitaciones simétricas el procedimiento es exacto, y es tanto más conservador cuanto menos coincidentes son las secciones correspondientes a los máximos de cada solicitación elemental, posición que viene expresada por su abcisa X en **5.6 2,** tanto para el momento flector como para la flecha correspondiente.

Existe también una segunda inexactitud en los casos de empotramiento simple o doble cuando el máximo se produce en éste por despreciar el efecto de la tensión cortante en la tensión de comparación.

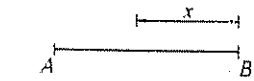
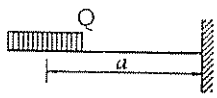
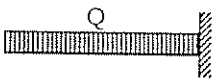
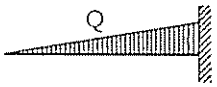
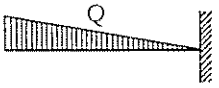
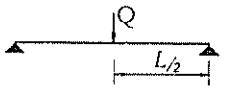
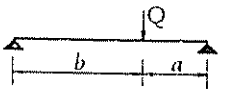
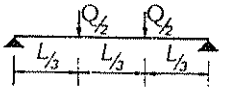
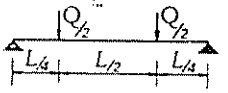
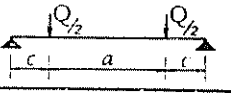
Una vez obtenido el valor de la sobrecarga uniforme equivalente Q′ pueden utilizarse las tablas **5.6 1,** entrando con el valor $\frac{Q'}{l} = q$, que es el tabulado en las mismas.

Ver ejemplo de aplicación en la página 936.

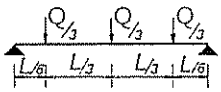
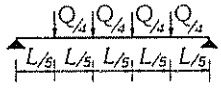
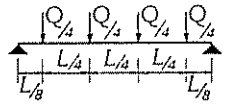
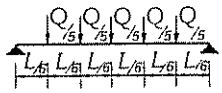
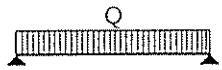
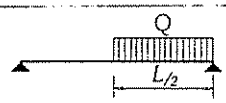
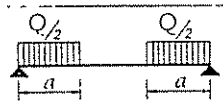
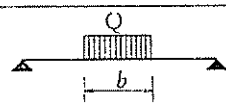
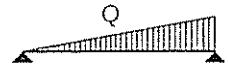
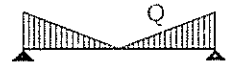
Coeficientes de equivalencia γ

		Reacciones		Momento		
		R_A	R_B	$M_{máx}$	en x	γ_M
1		—	Q	Q L	0	8
2		—	Q	Q × a	0	$\frac{8 \times a}{L}$
3		—	Q	Q × a	0	$\frac{8 \times a}{L}$
4		—	Q	0,5000 Q × L	0	4
5		—	Q	0,3333 Q × L	0	2,66
6		—	Q	0,6666 Q × L	0	5,33
7		0,50 Q	0,50 Q	0,2500 Q × L	0,50 L	2,00
8		$\frac{a\,Q}{L}$	$\frac{b\,Q}{L}$	$\frac{a}{L}(L - a)\,Q$	a	$\frac{8\,a\,(L-a)}{L^2}$
9		0,50 Q	0,50 Q	0,1666 Q × L	$\frac{L}{3} \leqslant x \leqslant \frac{2\,L}{3}$	1,33
10		0,50 Q	0,50 Q	0,1250 Q × L	$\frac{L}{4} \leqslant x \leqslant \frac{3\,L}{4}$	1,00
11		0,50 Q	0,50 Q	0,5000 Q × c	$c \leqslant x \leqslant a + c$	$\frac{4\,c}{L}$

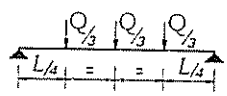
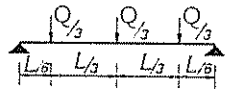
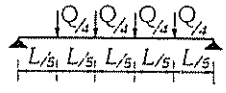
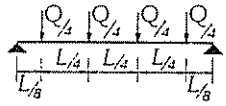
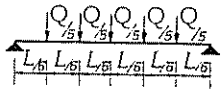
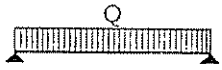
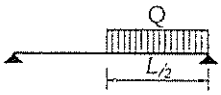
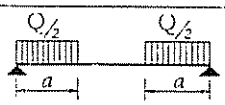
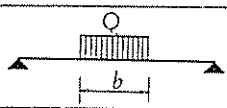
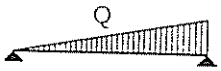
5.6 2

Flecha			
$f_{máx}$	en x	γ_F	
$0{,}33333 \frac{Q \times L^3}{E \times J}$	L	25,6	 1
$0{,}50000 \frac{a^2 (L - a)}{E \times J}$	L	$38{,}4 \frac{a^2}{L^2} \left(\lambda - \frac{a}{3L}\right)$	 2
$\frac{0{,}16666 \times (L^3 - 3aL^2 - 6a^2L - 2a^3)}{E \times J}$	L	$12{,}8 \left(1 - \frac{3a}{L} + \frac{6a^2}{L^2} - \frac{2a}{L^3}\right)$	 3
$0{,}12500 \frac{Q \times L^3}{E \times J}$	L	9,60	 4
$0{,}06666 \frac{Q \times L^3}{E \times J}$	L	5,12	 5
$0{,}18333 \frac{Q \times L^3}{E \times J}$	L	14,1	 6
$0{,}02083 \frac{Q \times L^3}{E \times J}$	0,50 L	1,60	 7
$0{,}06396 \frac{Q\,a}{E \times J \times L} (L^2 - a^2)^{3/2}$	$\sqrt{\frac{L^2 - a^2}{3}}$	$4{,}91 \frac{a}{L} \left(1 - \frac{a^2}{L^2}\right)^{3/2}$	 8
$0{,}01774 \frac{Q L^3}{E \times J}$	0,50 L	1,36	 9
$0{,}01432 \frac{Q L^3}{E \times J}$	0,50 L	1,10	 10
$0{,}06250 \frac{Q\,c}{E \times J} \left(L^2 - \frac{4c^2}{3}\right)$	0,50 L	$\frac{4{,}80\,c}{L} \left(1 - \frac{4c^2}{3L^2}\right)$	 11

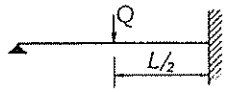
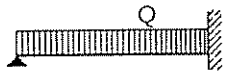
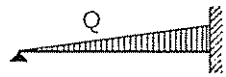
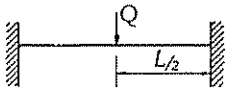
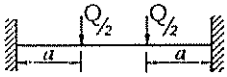
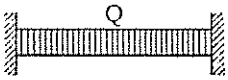
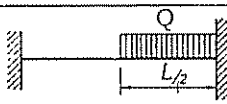
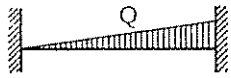
Coeficientes de equivalencia γ (continuación).

	x — A — B	Reacciones		Momento		
		R_A	R_B	$M_{máx}$	en x	γ_M
12		0,50 Q	0,50 Q	0,1666 Q × L	0,50 L	1,33
13		0,50 Q	0,50 Q	0,1388 Q L	0,50 L	1,11
14		0,50 Q	0,50 Q	0,1500 Q L	$\frac{2\,L}{5} \leqslant x \leqslant \frac{3\,L}{5}$	1,20
15		0,50 Q	0,50 Q	0,1250 Q L	$\frac{3\,L}{8} \leqslant x \leqslant \frac{5\,L}{8}$	1,00
16		0,50 Q	0,50 Q	0,1500 Q L	0,50 L	1,20
17		0,50 Q	0,50 Q	0,1250 Q L	0,50 L	1,00
18		0,25 Q	0,75 Q	0,1406 Q L	0,38 L	1,12
19		0,50 Q	0,50 Q	0,2500 Q a	$a \leqslant x \leqslant L - a$	$\frac{2\,a}{L}$
20		0,50 Q	0,50 Q	$\frac{Q\,(2\,L - b)}{8}$	0,50 L	$2 - \frac{b}{L}$
21		0,33 Q	0,66 Q	0,1280 Q L	0,42 L	1,03
22		0,50 Q	0,50 Q	0,0833 Q L	0,50 L	0,66

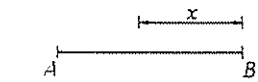
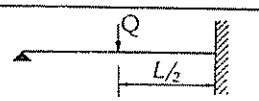
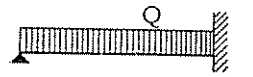
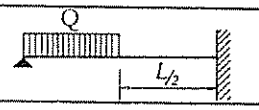
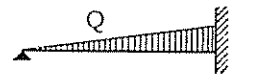
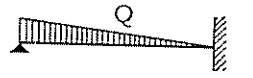
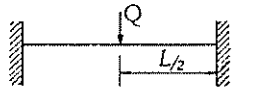
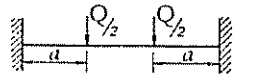
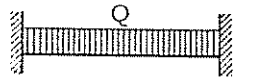
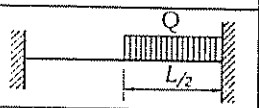
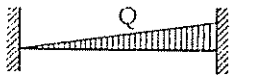
5.6 2

Flecha				
f_{mdz}	en x	γ_F	x / A B	
$0{,}01649 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,26		12
$0{,}01363 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,04		13
$0{,}01575 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,21		14
$0{,}01334 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,02		15
$0{,}01527 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,17		16
$0{,}01302 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	1,00		17
$0{,}01313 \frac{Q L^3}{E J}$	0,46 L	1,01		18
$03125 \frac{Q a}{E J}\left(L^2 - \frac{2 a^2}{3}\right)$	0,50 L	$2{,}40 \frac{a}{L}\left(1 - \frac{2 a^2}{3 L^2}\right)$		19
$3 \frac{Q}{E J}\left(L^3 - \frac{L b^2}{2} + \frac{b^3}{8}\right)$	0,50 L	$1{,}60\left(1 - \frac{b^2}{2 L^2} + \frac{b^3}{8 L^3}\right)$		20
$0{,}01304 \frac{Q L^3}{E J}$	0,48 L	1.00		21
$0{,}00937 \frac{Q L^3}{E J}$	0,50 L	0,72		22

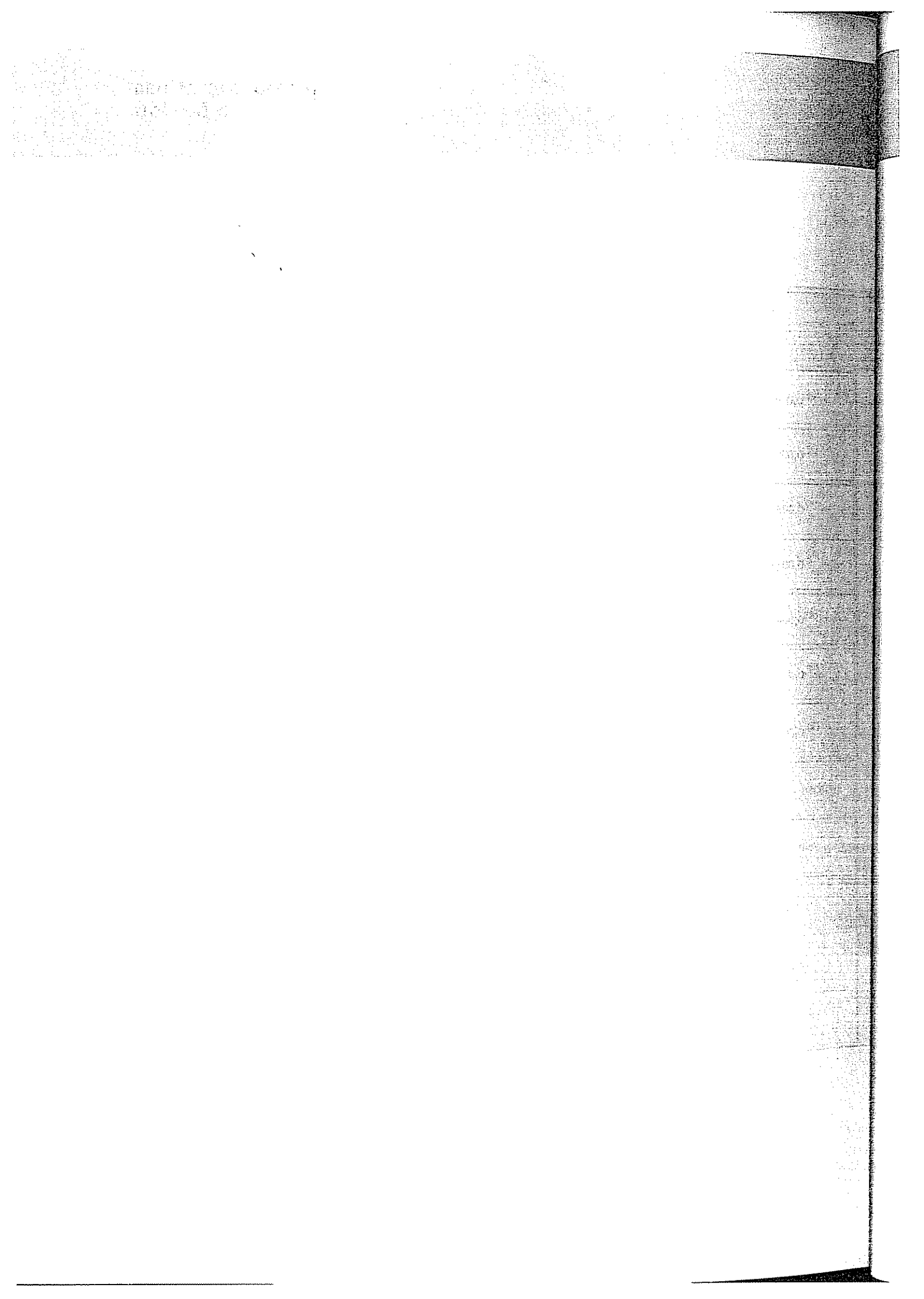
Coeficientes de equivalencia γ (continuación)

		Reacciones		Momento		
		R_A	R_B	$M_{máx}$	en x	γ_M
23		0,50 Q	0,50 Q	0,1666 Q L	0,50 L	1,33
24		0,31 Q	0,69 Q	0,1875 Q L	0	1,50
25		0,37 Q	0,62 Q	0,1250 Q L	0	1,00
26		0,64 Q	0,36 Q	0,1093 Q L	0	0,87
27		0,20 Q	0,80 Q	0,1333 Q L	0	1,06
28		0,55 Q	0,45 Q	0,1166 Q L	0	0,93
29		0,50 Q	0,50 Q	0,1250 Q L	0, L/2, L	1,00
30		0,50 Q	0,50 Q	$\frac{Q\,a\,(L-a)}{2\,L}$	0, L	$\frac{4\,a\,(L-a)}{L^2}$ 0,062
31		0,50 Q	0,50 Q	0,0833 Q L	0, L	0,66
32		0,19 Q	0,81 Q	0,1145 Q L	0	0,91
33		0,30 Q	0,70 Q	0,1000 Q L	0	0,80
34		0,50 Q	0,50 Q	0,1041 Q L	0, L	0,83

5.6 2

Flecha				
$f_{máx}$	en x	γ_F		
$0{,}01616 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,50 L	1,28		23
$0{,}00931 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,55 L	0,71		24
$0{,}00542 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,58 L	0,41		25
$0{,}00676 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,61 L	0,52		26
$0{,}00477 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,55 L	0,37		27
$0{,}00609 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,60 L	0,47		28
$0{,}00521 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,50 L	0,40		29
$0{,}06250 \frac{Q}{E\,J} a^2 \left(L - \frac{4\,a}{3}\right)$	0,50 L	$4{,}80 \frac{a^2}{L^2} \left(1 - \frac{4\,a}{3\,L}\right)$		30
$0{,}00260 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,50 L	0,20		31
$0{,}00268 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,44 L	0,21		32
$0{,}00262 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0,48 L	0,20		33
$0{,}00364 \frac{Q\,L^3}{E\,J}$	0.50 L	0.28		34

5.6 2



Apéndice I. Torsión de piezas prismáticas

TORSION DE PIEZAS PRISMATICAS

Una pieza o elemento estructural puede estar sometido a torsión cuando el esfuerzo cortante solicitante no pasa por el centro de esfuerzos cortantes o cuando está solicitado por pares de torsión. Reproducimos a continuación el anejo n.º 3 de la Norma Básica MV-103, dedicado a la torsión de las piezas prismáticas. Para el caso de torsión de piezas abiertas de débil espesor, sometidas a torsión no uniforme, daremos además del procedimiento aproximado que incluye el mencionado anejo, el cálculo de las deformaciones y tensiones a partir de la ecuación general de la torsión para algunas secciones y casos de solicitación y vinculación más usuales.

Piezas solicitadas a torsión.

En las piezas sometidas a torsión cabe distinguir dos tipos: el de las piezas cuya principal función es la transmisión de un par torsor, solo o combinado con esfuerzos de flexión o axiles, y el de las piezas en las cuales la torsión es un efecto secundario indeseable que puede producir una excesiva deformación o una rotura prematura.

Las piezas del primer tipo se proyectan con secciones macizas o cerradas. Los perfiles abiertos no son apropiados para este tipo de solicitación y debe evitarse que se presente en ellos, por disposiciones constructivas adecuadas. Por ello no es frecuente el caso de cálculo de piezas torsionadas en estructuras de edificación. No obstante, en este anejo se resumen las fórmulas de torsiones y deformaciones en algunos casos más usuales.

Debido a las condiciones de vinculación de la pieza, deben distinguirse dos casos de torsión:

Torsión pura o uniforme.

Se dice que una pieza prismática de directriz recta, cuyos extremos pueden alabear libremente, está sometida a torsión uniforme cuando está solicitada en sus extremos por dos momentos de torsión iguales y opuestos. En este caso, el momento torsor es constante a lo largo de la barra y produce el mismo alabeo en todas las secciones.

El ángulo girado por unidad de longitud es constante y se calculará mediante la expresión:

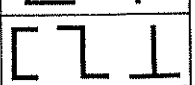
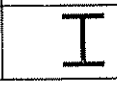
$$\theta_t = \frac{M_T}{G\, I_T}$$

siendo:

θ_t *Angulo girado por unidad de longitud.*
M_T *Momento torsor.*
G *Módulo de elasticidad transversal*
I_T *Módulo de torsión que se calculará de acuerdo con la tabla A 3-1* [1].
$G\, I_T$ *Rigidez torsional que juega el mismo papel que EI en la flexión.*

[1] La figura citada en la Norma se reproduce en [5.74]

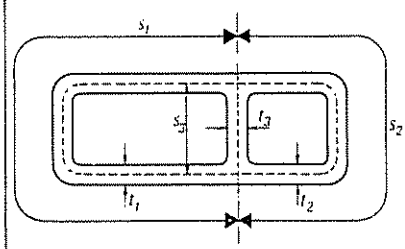
Piezas solicitadas a torsión uniforme.

<table>
<tr><td>Pieza prismática de directriz recta.</td><td colspan="2">$\tau^*_{max} = \dfrac{M^*_T}{W_T} = \dfrac{\theta_t\, G I_T}{W_T}$</td></tr>
<tr><td>Pieza de sección rectangular.</td><td>$I_T = \beta\, b\, e^3$
$W_T = \mu\, b\, e^2$
$\tau^* = \dfrac{M^*_T}{W_T}$
La τ^*_{max} se presenta en el centro del lado mayor. En el centro del lado menor, la τ^*_e tiene el valor:
$\tau^*_e = \tau^*_{max}\, \dfrac{e}{b}$</td><td>$\beta$, μ = coeficientes
b = lado mayor
e = lado menor
<table><tr><th>$m = \dfrac{b}{e}$</th><th>μ</th><th>β</th></tr><tr><td>1</td><td>0,208</td><td>0,141</td></tr><tr><td>1,5</td><td>0,238</td><td>0,196</td></tr><tr><td>2</td><td>0,256</td><td>0,229</td></tr><tr><td>2,5</td><td>0,269</td><td>0,249</td></tr><tr><td>3</td><td>0,278</td><td>0,263</td></tr><tr><td>4</td><td>0,290</td><td>0,281</td></tr><tr><td>5</td><td>0,298</td><td>0,291</td></tr><tr><td>6</td><td>0,303</td><td>0,299</td></tr><tr><td>7</td><td>0,307</td><td>0,303</td></tr><tr><td>8</td><td>0,310</td><td>0,307</td></tr><tr><td>9</td><td>0,312</td><td>0,310</td></tr><tr><td>10</td><td>0,314</td><td>0,313</td></tr><tr><td>> 10</td><td>0,333</td><td>0,333</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Pieza de sección abierta formada por varios rectángulos.</td><td>$I_{Ti} = \beta\, b_i\, e^3_i$
$I_T = \alpha \sum_{i=1}^{n} I_{Ti}$
$W_{Ti} = \dfrac{I_T}{e_i}$
$\tau^*_{max} = \dfrac{M^*_T}{I_T}\, e_i = \dfrac{M^*_T}{W_{Ti}}$</td><td>Se supone descompuesta la sección en n rectángulos.
α = coeficiente función de la forma de la sección.
<table><tr><th>α</th><th>Sección</th></tr><tr><td>1,0</td><td></td></tr><tr><td>1,1</td><td></td></tr><tr><td>1,3</td><td></td></tr></table>τ^*_{max} = en el centro del lado mayor del rectángulo de mayor espesor.</td></tr>
</table>

Piezas solicitadas a torsión uniforme. (Continuación)

Pieza de sección cerrada con pared de débil espesor.	Espesor variable	$I_T = \dfrac{4\,A^2}{\int \dfrac{ds}{e}}$ $W_T = 2\,e\,A$ $\tau^* = \dfrac{M^*_T}{2\,e\,A}$	$\tau^*_{máx}$ = en el punto en que el espesor es menor. A = área encerrada por la línea media de la sección.
	Espesor constante	$I_T = \dfrac{4\,A^2\,e}{S}$ $W_T = 2\,e\,A$ $\tau^* = \dfrac{M^*_T}{2\,e\,A}$	τ^* = constante.
Pieza de sección circular llena, de radio R		$I_T = \dfrac{\pi\,R^4}{2}$ $W_T = \dfrac{\pi\,R^3}{2}$ $\tau^*_{máx} = \dfrac{2\,M^*_T}{\pi\,R^3}$ $\tau^* = \tau^*_{máx}\,\dfrac{r}{R}$	$\tau^*_{máx}$ = en la circunferencia exterior. $0 < r < R$
Pieza de sección corona circular.		$I_T = \dfrac{\pi}{2}(R_2^4 - R_1^4)$ $W_T = \dfrac{\pi}{2\,r}(R_2^4 - R_1^4)$ $\tau^* = \dfrac{2\,M^*_T\,r}{\pi\,(R_2^4 - R_1^4)} = \tau_{máx}\,\dfrac{r}{R_2}$ $\tau^*_{máx} = \dfrac{2\,M^*_T\,R_2}{\pi\,(R_2^4 - R_1^4)}$	R_1 = radio interior. R_2 = radio exterior. $R_1 < r < R_2$ $\tau^*_{máx}$ = en la circunferencia exterior

Piezas solicitadas a torsión uniforme. (Conclusión)

Pieza de sección cerrada con tabique intermedio.	$\tau^*_1 = \frac{M^*_T}{2} \times \times \frac{A_1 t_3 S_2 + A t_2 S_3}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ $\tau^*_2 = \frac{M^*_T}{2} \times \times \frac{A_2 t_3 S_1 + A t_1 S_3}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ $\tau^*_3 = \frac{M^*_T}{2} \times \times \frac{A_1 t_1 S_2 - A_2 t_2 S_1}{A_1^2 t_1 t_3 S_2 + A^2 t_1 t_2 S_3 + A_2^2 t_2 t_3 S_1}$ 	A_1, A_2 áreas encerradas por las líneas medias del primero y segundo cajón, respectivamente. $A = A_1 + A_2$

[5.74]

La torsión uniforme solo produce tensiones tangenciales. Su valor máximo viene dado por la expresión :

$$\tau^*_{máx} = \frac{M^*_t}{W_T}$$

siendo:

$\tau^*_{máx}$ *Máxima tensión tangencial ponderada que se produce en una sección cualquiera de la pieza.*

W_T *Módulo resistente a la torsión, cuyos valores se calcularán de acuerdo con la tabla A 3-1* [1].

Torsión no uniforme.

Tiene lugar cuando no se cumplen las hipótesis del caso anterior. En este caso alguna sección de la pieza no puede alabear libremente. o el momento torsor varía a lo largo de la barra; por tanto, el alabeo de las secciones rectas no es el mismo en todas ellas y se crean tensiones normales además de las tensiones tangenciales.

Piezas sometidas a torsión no uniforme, que pueden calcularse como si estuviesen sometidas a torsión uniforme.

Las piezas sometidas a torsión no uniforme, en las que el módulo de alabeo de su sección I_A sea de nulo o de pequeño valor respecto al módulo de torsión I_T se calcularán como si estuviesen sometidas a torsión uniforme.

Se considerarán secciones de módulos de alabeo nulo o pequeño:

a) *Secciones llenas, tales como redondos, cuadrados, hexágonos, etc.*

b) *Secciones formadas por rectángulos que se cortan en un punto, tales como angulares, simple T y secciones en cruz.*

c) *Secciones en corona circular de débil espesor (tubos)*

d) *Secciones en cajón, tales que el cociente de sus dos dimensiones no exceda de cuatro.*

Se tendrá en cuenta que el ángulo θ_t no es constante por no serlo el momento torsor. El ángulo de giro relativo entre dos secciones cualesquiera A y B se calculará mediante la expresión:

$$\theta_{AB} = \frac{1}{I_T} \int_A^B M_T \, dz$$

Las tensiones se calcularán de acuerdo con las fórmulas dadas en la tabla A 3-1 [1]

Tensión no uniforme de piezas de sección abierta de débil espesor

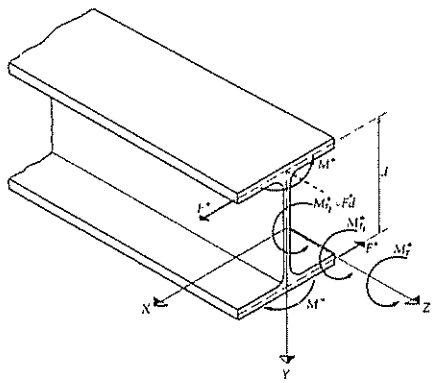
No se recomienda el empleo de secciones abiertas trabajando a torsión, debiendo el proyectista evitarlas en lo posible mediante las oportunas disposiciones constructivas.

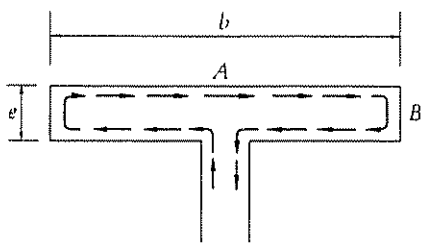
Piezas con sección I simétricas

Para las piezas con sección I simétrica se puede emplear el procedimiento simplificado que se expone a continuación:

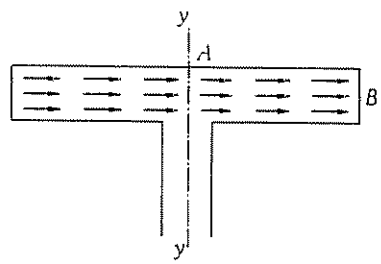
---

[1] Se produce en [5 74]





Torsión uniforme.



Flexión de las alas.

	Debidas a la torsión	Debidas a la flexión
Punto A	$\sigma^*_z = 0$ $\tau^*_{xz} = \frac{M^*_{T_1}}{I_T} e$ $\tau^*_{yz} = 0$	$\sigma^*_z = 0$ $\tau^*_{xz} = \frac{3}{2} \frac{F^*}{b\,e}$ $\tau^*_{yz} = 0$
Punto B	$\sigma^*_z = 0$ $\tau^*_{xz} = 0$ $\tau^*_{yz} = \frac{3}{4} \frac{M^*_{T_1}}{I_T} e$	$\sigma^*_z = \frac{M^*}{\frac{W_y}{2}}$ $\tau^*_{xz} = 0$ $\tau^*_{yz} = 0$

[5.76]

El momento torsor exterior M^*_T *se descompondrá en dos momentos torsores* M^*_{T1} *y* M^*_{T2} *tales que:*

$$M^*_{T1} = \alpha\, M^*$$

$$M^*_{T2} = (1 - \alpha)\, M^*_T$$

Para la obtención del coeficiente α *se determinará:*

a) *El giro máximo* $\varphi_{máx,1}$ *que se produce en la pieza entre dos secciones cualquiera, supuesto que el momento torsor* M_T *actúa como si la torsión fuese uniforme:*

$$\varphi_{máx,1} = \frac{1}{G\, I_T} \int_A^B M^*_T\, dz$$

siendo:

A, B *Las secciones de la pieza entre las que el giro relativo es máximo*

$G\, I_T$ *La rigidez de torsión*

z *La directriz de la pieza (se tomará como triedro de referencia el de la figura A 3-1)* [1].

b) *El giro máximo* $\varphi_{máx,2}$ *que se produce en la pieza cuando se absorbe el momento torsor* M^*_T *por flexión de las alas.*

Para ello se sustituirá el momento torsor M^*_T *por dos fuerzas paralelas al eje* X, *aplicadas en el centro de gravedad de las alas tales que:*

$$M^*_T = F^*\, d$$

siendo:

d *La distancia entre centros de gravedad de las alas.*

Se calculará la flecha máxima $f_{máx}$ *de un ala sometida a estas fuerzas* F^*, *teniendo en cuenta la vinculación de los extremos.*

En este caso:

$$\varphi_{máx,2} = \frac{2\, f_{máx}}{d}$$

c) *Obtenidos los valores de* $\varphi_{máx,1}$ *y* $\varphi_{máx,2}$ *el coeficiente* α *vendrá dado por la expresión:*

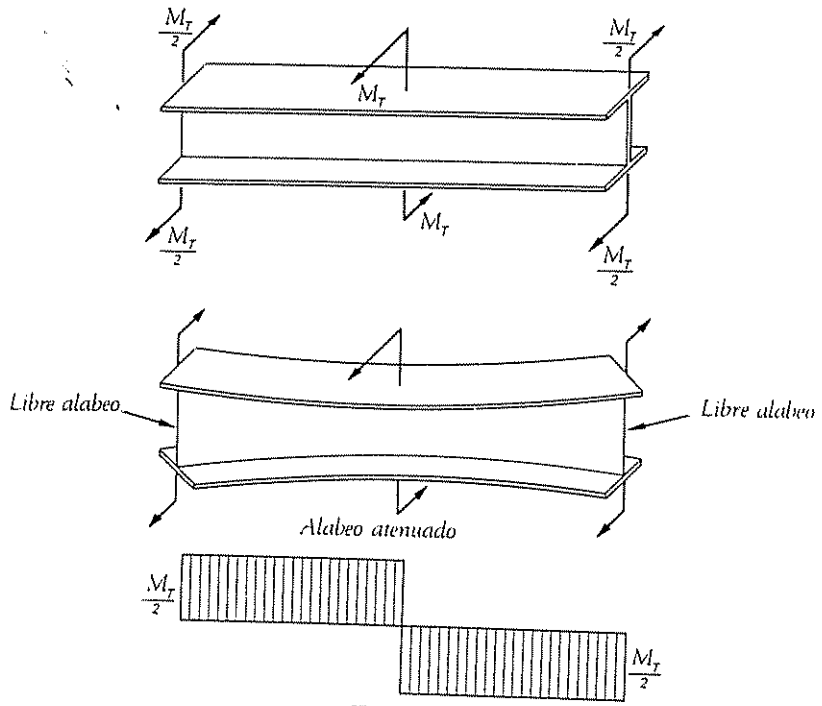
$$\alpha = \frac{\varphi_{máx,2}}{\varphi_{máx,1} + \varphi_{máx,2}}$$

Las tensiones normales y tangenciales se determinarán a partir de las solicitaciones M^*_{T1}, F^* *y* M^* (M^* *momento flector ponderado producido por las fuerzas* F^* *en la flexión horizontal de las alas*), *teniendo en cuenta su significación física.*

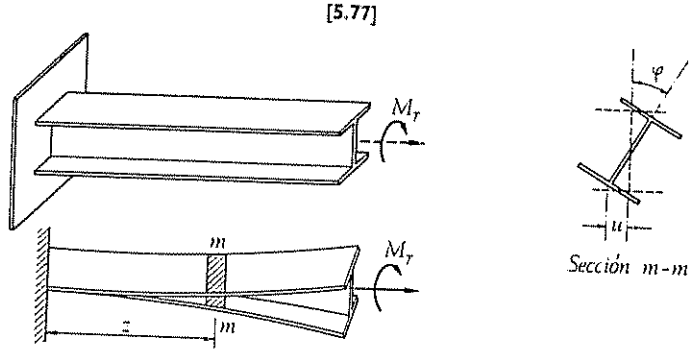
En la figura A 3-2 [2] *se indican las tensiones que se producen en las alas de un perfil* I *sometido a torsión no uniforme.*

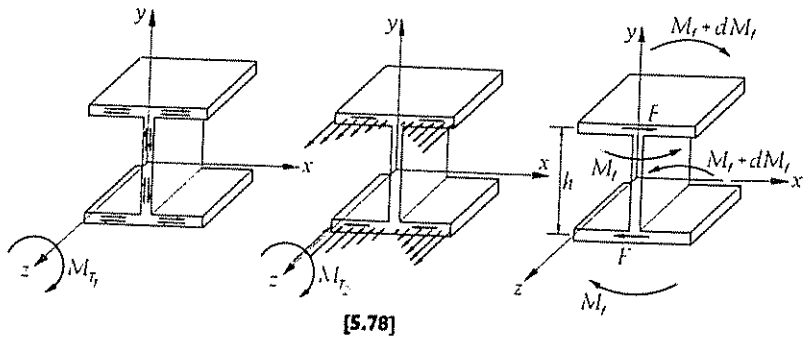
[1] Se reproduce en [5 75]

[2] Se reproduce en [5 76].


$\frac{M_T}{2}$
M_T
$\frac{M_T}{2}$
M_T
$\frac{M_T}{2}$
$\frac{M_T}{2}$
Libre alabeo
Libre alabeo
Alabeo atenuado
$\frac{M_T}{2}$
$\frac{M_T}{2}$

[5.77]


M_T
M_T
m
m
z
φ
u
Sección m-m


y
x
z
M_T
y
x
z
M_T
y
$M_t + dM_t$
F
h
M_t
$M_t + dM_t$
x
F
z
M_t

[5.78]

Torsión no uniforme de secciones abiertas.

La mayoría de las piezas de una estructura, sometidas a torsión, no pueden alabear libremente. Y en casos como el de [5.77], aunque los extremos puedan alabear libremente, existe una coacción interna al alabeo debido a la discontinuidad del momento torsor.

Puede decirse que en la mayoría de los casos la torsión de las vigas o piezas de una estructura es una torsión coaccionada, es decir, el tipo de torsión definida anteriormente como «torsión no uniforme».

Los dos problemas que se presentan son:

a) Determinación de la deformación y de los momentos de reacción para un determinado sistema de cargas.

b) Cálculo de las tensiones en una pieza sometida a esfuerzos de flexión y de torsión.

Sea una pieza de sección I solicitada por un par de torsión [5.78]. La sección $m - m$ gira un ángulo φ y consiguientemente las alas sufren un corrimiento lateral u, verificándose que $u = \frac{h}{2}\varphi$. El momento torsor solicitante M_T puede descomponerse en dos momentos torsores resistentes: M_{T1} originado por la resistencia a torsión uniforme de la sección y M_{T2} que es el par que se origina por la resistencia a flexión de las alas. La expresión de M_{T1} es:

$$M_{T1} = G\, I_T \frac{d\varphi}{dz}$$

y la de M_{T2}, despreciando la resistencia torsional del alma es $M_{T2} = Fh$, siendo F el esfuerzo cortante en las alas. El valor de F puede conocerse si se conoce la ley de variación de M_f (momento flector que solicita las alas)

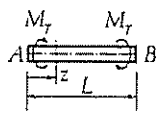
$$M_f = -E\, I_a \frac{d^2 u}{dz^2}$$

siendo I_a el momento de inercia del ala respecto al eje Y

$$F = \frac{dM_f}{dz} = E\, I_a \frac{d^3 u}{dz^3} = E\, I_a \frac{h}{2} \frac{d^3 \varphi}{dz^3}$$

Angulo de giro, debido a la torsión, para distintos casos de carga y vinculación de los extremos.

Caso 1. Momento M_T en los extremos (extremos libres):



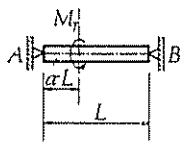
$$A, \varphi = \varphi' = 0$$
$$B, \varphi' = 0$$
$$\varphi = \frac{M_T \, z}{G \, I_T}$$

Caso 2. Momento M_T en los extremos (extremos empotrados):



$$A, \varphi = \varphi' = 0$$
$$B, \varphi' = 0$$
$$\varphi = \frac{M_T \, a}{G \, I_T}\left[-\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \tanh\frac{L}{2a}\cosh\frac{z}{a} + \frac{z}{a} - \tanh\frac{L}{2a}\right]$$

Caso 3. Momento M_T en un punto intermedio (extremos articulados):



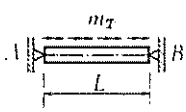
$$A, \varphi = \varphi' = 0$$
$$B \; \varphi = \varphi' = 0$$
$$(1 - \alpha) = \beta$$

$$0 < z < \alpha L \qquad \varphi = \frac{M_T \, L}{G \, I_T}\left[\frac{a}{L}\left(-\frac{\operatorname{senh}\frac{\beta L}{a}}{\operatorname{senh}\frac{L}{a}}\right)\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \frac{\beta z}{L}\right]$$

$$\alpha L < z < L$$

$$\varphi = \frac{M_T \, L}{G \, I_T}\left[\frac{a}{L}\frac{\operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a}}{\tanh\frac{L}{a}}\operatorname{senh}\frac{z}{a} - \frac{a}{L}\operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a}\cosh\frac{z}{a} - \frac{\alpha z}{L} + \alpha\right]$$

Caso 4. Momento m_T uniformemente distribuido (extremos articulados):



$$A, \varphi = \varphi' = 0$$
$$B, \varphi = \varphi' = 0$$
$$\varphi = \frac{m_T \, a^2}{G \, I_T}\left[-\tanh\frac{L}{2a}\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \cosh\frac{z}{a} - \frac{z^2}{a} + \frac{zL}{a} - 1\right]$$

por tanto,

$$M_{T2} = F\,h = -\frac{E\,I_a\,h^2}{2}\,\frac{d^3\varphi}{dz^3}$$

La cantidad

$$\frac{I_a\,h^2}{2} = \frac{I_y\,h^2}{4} = I_A$$

mide en cierto modo la resistencia horizontal de la sección debido a la flexión de las alas y se llama módulo de alabeo I_A, y es un valor característico de cada sección [1]

La ecuación diferencial:

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} = G\,I_T\,\frac{d\varphi}{dz} - E\,I_A\,\frac{d^3\varphi}{dz^3}$$

expresa la condición de equilibrio y es la ecuación general de la deformación, para el caso considerado de momento torsor solicitante uniforme a lo largo de la directriz.

Para el caso de solicitación variable M_T (z), la ecuación es:

$$\frac{dM_T}{dz} = G\,I_T\,\frac{d^2\varphi}{dz^2} - E\,I_A\,\frac{d^4\varphi}{dz^4}$$

La solución general de esta ecuación diferencial es de la forma

$$\varphi = A\,senh\,\frac{z}{a} + B\,cosh\,\frac{z}{a} + C + D\,(z)$$

siendo

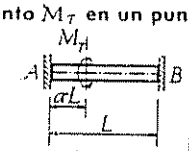
$$a = \sqrt{\frac{E\,I_A}{G\,I_T}}$$

D (z) es un polinomio en z, función, al igual que los coeficientes A, B y C, de las cargas y de las condiciones de vinculación.

---

[1] La expresión del valor de I_A para diferentes tipos de sección vienen indicados en [3.38]

Caso 5. Momento M_T en un punto intermedio (extremos empotrados):



A, $\varphi = \varphi' = 0$
B, $\varphi = \varphi' = 0$
$(1 - \alpha) = \beta$

$$0 \quad z \quad \alpha L \quad \varphi \frac{M_T \cdot a}{(H+1)\,G\,I_T}\left[-\operatorname{senh}\frac{z}{a} - F_1\cosh\frac{z}{a} + \frac{z}{a} + F_1\right]$$

$$\alpha L < z < L$$

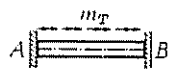
$$\varphi = \frac{M_T \cdot a \cdot H}{(H+1)\,G\,I_T}\left[F_2\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \frac{1 - F_2\cosh\frac{L}{a}}{\operatorname{senh}\frac{L}{a}}\cosh\frac{z}{a} - \frac{z}{a} + \frac{F_2 - \cosh\frac{L}{a}}{\operatorname{senh}\frac{L}{a}} + \frac{L}{a}\right]$$

$$H = \frac{\tanh\frac{L}{2a}\left(1 - \cosh\frac{\alpha L}{a}\right) + \operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a} - \frac{\alpha L}{a}}{\tanh\frac{L}{2a}\left(1 - \cosh\frac{\alpha L}{a}\right) - \operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a} + \frac{\alpha L}{a} - \frac{L}{a}}$$

$$F_1 = \left[(H+1)\frac{\cosh\frac{\beta L}{a} + 1}{\operatorname{senh}\frac{L}{a}} - \tanh\frac{L}{2a}\right]$$

$$F_2 = \frac{(H+1)\cosh\frac{\alpha L}{a} - 1}{H}$$

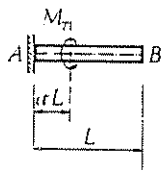
Caso 6. Momento m_T uniformemente distribuido (extremos empotrados):



A, $\varphi = \varphi' = 0$
B, $\varphi = \varphi' = 0$

$$\varphi = \frac{m_T \cdot La}{G\,I_T}\left[-\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \tanh\frac{L}{2a}\cosh\frac{z}{a} + \frac{z}{a} - \frac{z^2}{aL} - \tanh\frac{L}{2a}\right]$$

Caso 7. Momento M_T en un punto intermedio (un extremo empotrado y otro libre):



A, $\varphi = \varphi' = 0$
B, $\varphi' = 0$

$0 < z < \alpha L$

$$\varphi = \frac{M_T \cdot a}{G\,I_T}\left\{-\operatorname{senh}\frac{z}{a} - \left[\tanh\frac{L}{a}\left(\cosh\frac{\alpha L}{a} - 1\right) - \operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a}\right]\cosh\frac{z}{a} + \right.$$
$$\left. + \frac{z}{a} + \left[\tanh\frac{L}{a}\left(\cosh\frac{\alpha L}{a} - 1\right) - \operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a}\right]\right\}$$

$\alpha L < z < L$

$$\varphi = \frac{M_T \cdot a}{G\,I_T}\left[\left(1 - \cosh\frac{\alpha L}{a}\right)\operatorname{senh}\frac{z}{a} + \tanh\frac{L}{a}\left(1 - \cosh\frac{\alpha L}{a}\right)\cosh\frac{z}{a} - \right.$$
$$\left. - \tanh\frac{L}{a}\left(1 - \cosh\frac{\alpha L}{a}\right) - \operatorname{senh}\frac{\alpha L}{a} + \frac{\alpha L}{a}\right]$$

A este respecto se distinguen tres tipos de apoyo: Apoyo libre, libertad para el giro y el alabeo de la sección

$$\varphi \neq 0 \qquad \varphi' \neq 0 \qquad \varphi'' = 0$$

Apoyo de horquilla, giros impedidos pero libertad para el alabeo de la sección:

$$\varphi = 0 \qquad \varphi' \neq 0 \qquad \varphi'' = 0$$

Apoyo fijo o de coacción total, tanto para el giro como para el alabeo de la sección:

$$\varphi = 0 \qquad \varphi' = 0 \qquad \varphi'' \neq 0$$

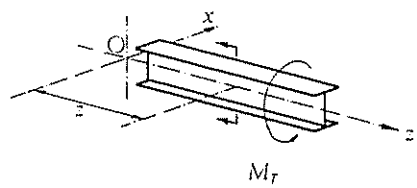
En [5.79] [1] se da la expresión de φ (z) para algunos casos de solicitaciones y vinculación de los apoyos.

Partiendo de la expresión general del giro, se obtienen las fórmulas de las deformaciones y tensiones que resumimos en [5.80].

En [5.81] se indican los valores correspondientes de *a* para la serie de perfiles laminados, y en [5.82] los valores de las funciones hiperbólicas que intervienen en las fórmulas.

---

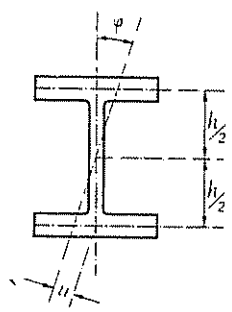
[1] C. P. HEINS y P. A. SEABURG. *Torsión Analysis of Rolled Steel Sections*, publicado por Bethlehem Steel Corporation.



Angulo de giro φ

$$\varphi = \frac{M_T}{G\,I_T}\left(A\,\text{senh}\,\frac{z}{a} + B\cosh\frac{z}{a} + Cz^2 + Dz + E\right)$$

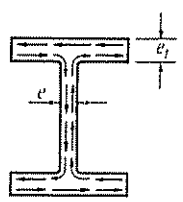
Corrimiento lateral: $u = \varphi\,\frac{h}{2}$



Giro unitario: $\frac{d\varphi}{dz}$

Torsión pura: $M_{T1} = I_T\,G\,\frac{d\varphi}{dz}$

Tensión cortante de torsión: $\tau = G \cdot e_1\,\frac{d\varphi}{dz}$

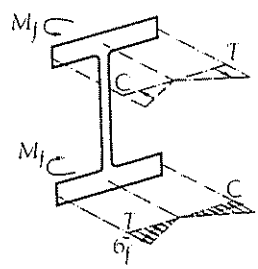


Momento por flexión horizontal de las alas:

$$M_f = E\ I_a\,\frac{du^2}{dz^2} = E\ I_a\,\frac{h}{2}\,\frac{d^2\varphi}{dz^2} = E\,I_y\,\frac{h}{4}\,\frac{d^2\varphi}{dz^2}$$

Tensión debida a M_f:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{I_a}\,x = \frac{Eh}{2}\,x\,\frac{d^2\varphi}{dz^2}$$



[5.80]

Valores del coeficiente *a*

IPN	a cm	IPE	a cm	HEB	a cm	HEA	a cm	HEM	a cm
80	17,87	80	23,39	120	46,05	120	61,06	120	27,92
100	23,03	100	32,10	140	57.70	140	78,22	140	35,46
120	28,22	120	41,03	160	69,53	160	96.51	160	43,66
140	33,48	140	50,17	180	82,16	180	117,00	180	52,56
160	38.81	160	60.32	200	95,04	200	137,07	200	61,93
180	44,11	180	70,10	220	108,20	220	151,95	220	71,79
200	49.34	200	80,70	240	121,49	240	167,08	240	71,63
220	54,85	220	91,04	260	139,77	260	190.20	260	82,57
240	60,12	240	102.19	280	157,55	280	212,22	280	93,89
260	64,45	270	123.99	300	171,36	300	227.30	300	93.26
280	67,81	300	144,63	320	169,80	320	219,56	320	96,08
300	71,40	330	158,66	340	171,60	340	219,31	340	101,32
320	74,78	360	167,71	360	173,58	360	218,68	360	106.18
340	78,42	400	184,28	400	180,11	400	223,25	400	116,34
360	81,28	450	200,31	450	187,42	450	229,01	450	129,36
380	84,75	500	213,23	500	193.86	500	233,18	500	141.75
400	88,14	550	227,08	550	205.61	550	245,57	550	155,06
450	96,54	600	235,51	600	216,38	600	257.12	600	167,59
500	105,13	—	—	—	—	—	—	—	—
550	114,54	—	—	—	—	—	—	—	—
600	121,85	—	—	—	—	—	—	—	—

[5.81]

Funciones hiperbólicas.

ω	senh ω	cosh ω	tanh ω
0,0	0,00000	1,00000	0,00000
0,1	0,10017	1,00500	0,09967
0,2	0,20134	1,02007	0,19738
0,3	0,30452	1,04534	0,29131
0,4	0,41075	1,08107	0,37995
0,5	0,52110	1,12763	0,46212
0,6	0,63665	1,18547	0,53705
0,7	0,75858	1,25517	0,60437
0,8	0,88811	1,33743	0,66404
0,9	1,02652	1,43309	0,71630
1,0	1,17520	1,54308	0,76159
1,1	1,33565	1,66852	0,80050
1,2	1,50946	1,81066	0,83365
1,3	1,69838	1,97091	0,86172
1,4	1,90430	2,15090	0,88535
1,5	2,12928	2,35241	0,90515

ω	senh ω	cosh ω	tanh ω
1,6	2,37557	2,57746	0,92167
1,7	2,64563	2,82832	0,93541
1,8	2,94217	3,10747	0,94681
1,9	3,26816	3,41773	0,95624
2,0	3,62686	3,76220	0,96403
2,1	4,02186	4,14431	0,97045
2,2	4,45711	4,56791	0,97574
2,3	4,93696	5,03722	0,98010
2,4	5,46623	5,55695	0,98367
2,5	6,05020	6,13229	0,98661
2,6	6,69473	6,76901	0,98903
2,7	7,40626	7,47347	0,99101
2,8	8,19192	8,25273	0,99263
2,9	9,05956	9,11458	0,99396
3,0	10,01787	10,06766	0,99505
6,0	201,7132	201,7156	0,99999

En esta tabla se entra con el valor de ω igual a $\frac{L}{a}$, $\frac{L}{2a}$, $\frac{L}{4a}$, etc., que corresponda.

En la mayoría de los casos los valores de ω están comprendidos entre 0,1 y 3,0. En algún caso, no obstante, pueden obtenerse valores de ω entre 3,0 y 6,0. Puede utilizarse la tabla anterior entrando en ella con $\frac{\omega}{2}$ y teniendo en cuenta las siguientes relaciones entre funciones hiperbólicas:

$$\operatorname{senh}\omega = 2\operatorname{senh}\frac{\omega}{2}\cosh\frac{\omega}{2} \qquad \operatorname{senh} 4{,}0 = 2 \times 3{,}62686 \times 3{,}76220 = 27{,}28994$$

$$\cosh\omega = 2\cosh^2\frac{\omega}{2} - 1 \qquad \frac{d\operatorname{senh}\omega}{d\omega} = \cosh\omega$$

$$\tanh\omega = \frac{2\tanh\frac{\omega}{2}}{1 + \tanh^2\frac{\omega}{2}} \qquad \frac{d\cosh\omega}{d\omega} = \operatorname{senh}\omega$$

Apéndice II. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases específicas para su cálculo.

PARTE PRIMERA: CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA SOMETIDOS A LAS ACCIONES ESTATICAS Y DINAMICAS ORIGINADAS POR LOS PUENTES GRUA

1 OBJETO

2. ALCANCE

3. DETERMINACION DE LAS ACCIONES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA

3.1 Datos que debe suministrar el Constructor del puente grúa.
- 3 1 1. Dimensiones.
- 3 1 2. Peso propio de aparato y de la carga de servicio
- 3.1 3 Caracteristicas de los distintos movimientos.

3 2. Caracteristicas que debe suministrar el usuario.
- 3 2 1 Altura máxima de elevación (cota superior del gancho).
- 3.2 2 Condiciones de utilización del puente.
- 3 2 3. Estado de carga.

3.3. Caracteristicas medias de los puentes grúa no especiales.

3 4. Clasificación de los puentes grúa
- 3.4 1 Condiciones de utilización
- 3.4 2 Estado de carga.
- 3 4 3. Grupos de puentes grúa.

3 5. Cargas que deben considerarse en el cálculo
- 3.5 1. Carga permanente.
- 3 5 2. Carga móvil del puente.
- 3 5 3 Carga móvil de la pasarela
- 3 5 4 Acción del viento›
- 3 5 5. Variación de temperatura
- 3 5 6 Acción sismica

3 6 Evaluación de los esfuerzos.
- 3 6 1. Carga permanente.
- 3 6 2. Carga móvil del puente.
  - 3 6 2 1 Ambito.
  - 3 6 2 2. Notación
  - 3 6 2 3 Reacciones verticales de las ruedas del puente grúa.
  - 3 6 2 4 Reacciones horizontales longitudinales.
  - 3.6 2 5 Reacciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente
  - 3 6 2 6 Punto de aplicación de las reacciones.
  - 3 6 2 7. Simultaneidad de acción de varios puentes grúa.
- 3 6 3. Carga móvil sobre las pasarelas.
- 3 6 4 Acción del viento
- 3 6 5 Variación de temperatura
- 3.6 6 Acción sismica.

3 7 Efectos locales
- 3.7 1. Tren de sobrecarga torsora

3 7 2. *Esfuerzos locales*.
3 7 2 1 *Longitud de reparto de la presión local de las ruedas*.
3.7 2 2. *Flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera*.
3 7 2 3. *Flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera*.
3.7 2 4. *Flexión de los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera*.
3 7 2 5. *Flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura*.

4. *HIPOTESIS DE CALCULO*

4.1 *Hipótesis para los esfuerzos locales*

5. *FLECHAS ADMISIBLES*

5 1 *Flechas en el camino de rodadura*.

5 2. *Flechas horizontales en los soportes de los caminos de rodadura*.

6 *CRITERIOS DE AGOTAMIENTO*

6 1. *Sistema de coordenadas*.

6.2. *Cálculo de tensiones*.
6.2 1 *Tensiones debidas a la presión local*
6.2 2. *Tensiones debidas a la flexión local del alma*.
6 2 3 *Tensiones debidas a la flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera*.

6 3 *Condición de agotamiento*

6 4 *Resistencia de cálculo de acero*.

ANEJO 1 *Características medias de los puentes grúa no especiales*.

PARTE SEGUNDA: COMPROBACION DEL CAMINO DE RODADURA TENIENDO EN CUENTA LA FATIGA QUE PRODUCEN LAS CARGAS REPETIDAS

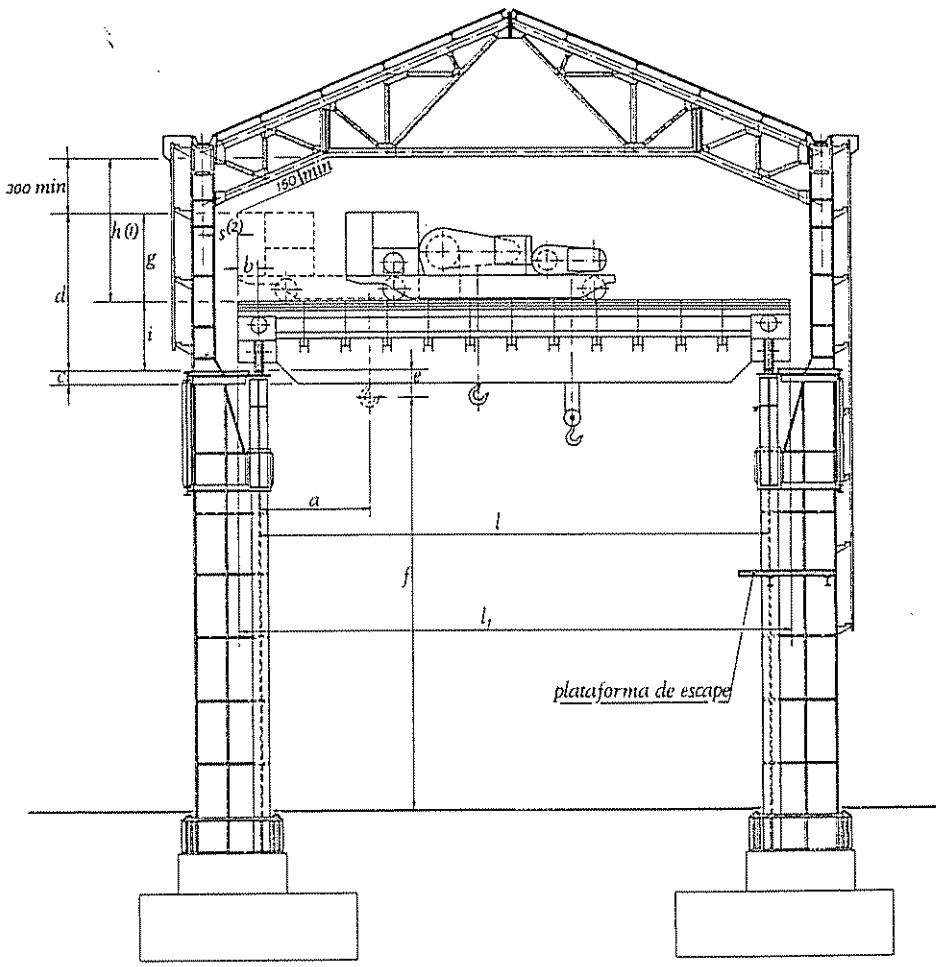
7 *COMPROBACION DE LA FATIGA*

7 1 *Efecto de la fatiga*
7.1 1 *Número de ciclos*.
7 1 2. *Variación del esfuerzo aplicado*.
7.1 3 *Grado de entalladura*.

7 2. *Hipótesis de cálculo en fatiga*

7.3 *Comprobación de la fatiga*.
7 3 1. *Determinación del parámetro de asimetria del ciclo R*.
7.3 1 1 *Determinación de las tensiones minimas en la flexión general de la viga carrilera*.
7.3 1 2. *Valores del parámetro de asimetría del ciclo R de las tensiones locales*
7 3 2. *Elementos que es preciso comprobar*.

7.4. *Tensión admisible máxima de fatiga*



(1) h mín. 1800 mm. cuando sea visitable
(2) s mín. 150 mm. cuando no exista pasarela. En caso de pasarela 500 mm.

a

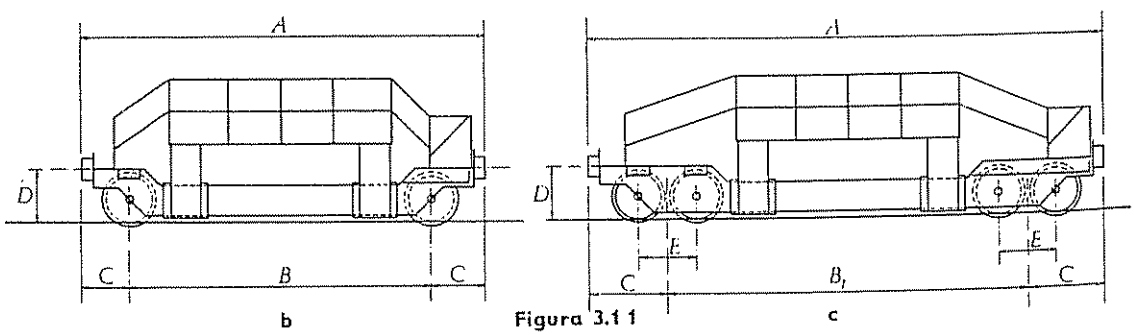


Figura 3.1 1

PARTE PRIMERA

1. Objeto.

La presente Norma tiene por objeto fijar las bases de cálculo específicas para los caminos de rodadura de puentes grúa realizados en construcción metálica. Estas bases complementan las generales que para la construcción metálica se adopten para las estructuras de edificios e instalaciones de las que formen parte los caminos de rodadura.

2. Alcance.

La presente Norma se refiere a las vigas carrileras de los puentes grúa más corrientemente utilizados en fábricas, talleres, almacenes... con valores no extraordinarios para sus luces, cargas y velocidades de elevación. No ampara los puentes grúa especiales, tales como:

Puentes de deslingotado.

Puentes rompe-fundición.

Puentes para hornos de fosa.

Puentes sometidos a altas temperaturas.

Puentes de camino de rodadura circular.

Puentes de carga unida rígidamente al carro

Puentes de electroimán

3. Determinación de las acciones que intervienen en el cálculo de los caminos de rodadura.

3.1 Datos que debe suministrar el Constructor del puente grúa.

3.1.1. Dimensiones. Fig. 3.1.1.

Longitud total del puente, entre puntos más salientes del mismo (l_1).

Luz del puente, entre ejes de carriles de rodadura (l).

Longitud total de la viga testera del puente, entre topes (A).

Distancia entre ruedas de cada viga testera (B) o entre ejes de carretones (B_1), y de la rueda extrema al tope (C).

Distancia mínima vertical entre el gancho y el carril de rodadura (e)

Gálibo de paso, superior (d, h) y lateral (b). Dimensiones de la cabina.

Posiciones extremas del gancho (a).

Tipo y características de los topes.

Altura de tope con relación al carril de rodadura (D)

Posición y dimensiones de las líneas de contacto

3.1.2. Peso propio del aparato y de la carga de servicio.

— Peso del puente grúa con todo el equipo, con excepción del carro móvil y de la carga de servicio.

— Peso del carro móvil, totalmente equipado.

— Carga de servicio, incluyendo la carga útil a elevar y el peso de los accesorios necesarios para su elevación.

— Reacciones verticales de las ruedas de cada viga testera, correspondientes:

a) Al puente enteramente equipado con exclusión de carro.

b) Al carro en vacío, en sus posiciones extremas

c) A la carga útil en servicio más accesorios en posiciones extremas

Cuadro de estados de carga

Estado de carga	Definición
0 Muy ligero	Aparatos que levantan excepcionalmente la carga nominal y aseguran corrientemente la manutención de cargas mucho más ligeros.
1 Ligero	Aparatos que rara vez levantan la carga nominal y corrientemente cargas del orden de 1/3 de la carga nominal.
2 Mediano	Aparatos que rara vez levantan la carga nominal y corrientemente cargas comprendidas entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal.
3 Pesado	Aparatos que levantan regularmente cargas próximas a la nominal.

Tabla 3.4 2

Cuadro de clasificación de los aparatos en grupos

Estado de carga	Clase de utilización			
	A	B	C	D
0	1	2	3	4
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6
3	4	5	6	6

Tabla 3.4 3-1

— *Las reacciones horizontales deberán especificarse en los casos en que los dispositivos de guiado no sean los considerados en la presente Norma.*

3.1.3 *Características de los distintos movimientos.*

Velocidad y aceleración media para los movimientos de:

— *Elevación.*

— *Desplazamiento lateral del carro.*

— *Desplazamiento longitudinal del puente*

3.2. *Características que debe suministrar el usuario.*

3.2.1. *Altura máxima de elevación (cota superior del gancho) con relación al suelo de la nave o edificio.*

3.2.2 *Condiciones de utilización del puente.*

Deberá definir si la utilización del puente es:

— *Utilización ocasional no regular*

— *Utilización regular en servicio intermitente.*

— *Utilización regular en servicio intensivo*

— *Utilización regular en servicio intensivo continuado*

2.2.3 *Estado de carga.*

Para definir el estado de carga se precisará en cuál de estos grupos puede clasificarse:

— *Muy ligero: Si levantan excepcionalmente la carga nominal y manejan corrientemente cargas más ligeras.*

— *Ligero: Si levantan rara vez la carga nominal y manejan corrientemente cargas del orden de 1/3 de la nominal.*

— *Medio: Si levantan normalmente cargas que varían entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal.*

— *Pesado: Si levantan normalmente cargas próximas a la carga nominal.*

3.3 *Características medias de los puentes grúa no especiales*

Como datos previos de anteproyecto, en ausencia y espera de los definitivos indicados en los artículos precedentes, podrán utilizarse los datos aproximados que figuran en los cuadros del Anejo 1

3.4. *Clasificación de los puentes grúa*

Las acciones que producen los puentes grúa dependen no solo de sus características sino también de sus condiciones de utilización y de su estado de carga. A estos efectos se establece una clasificación de los puentes grúa según los criterios siguientes:

3.4.1. *Condiciones de utilización.*

Por la duración efectiva de la utilización, puede establecerse la siguiente clasificación:

A *Utilización ocasional no regular, seguida de largos periodos de descanso*

B *Utilización regular en servicio intermitente, con numerosos periodos de paro estando casi constantemente utilizado*

C *Utilización regular en servicio intensivo, con pocos y cortos periodos de paro estando constantemente utilizado*

D *Utilización en servicio intensivo continuado, durante más de un turno al día.*

Ejemplos de clasificación de los aparatos de elevación

Denominación	Clase de utilización	Estado de carga	Grupo
Puente grúa de central	A	0-1	1-2
Puente grúa de montaje y desmontaje para sala de máquinas	A	1-2	2-3
Puente grúa de almacén	B-C	1-2	3-4-5
Puente grúa de taller con gancho	B	1-2	3-4
Puente grúa con cuchara	B-C-D	3	5-6
*Puente grúa para parque de chatarra o puente con electroimán	B-C	3	5-6
*Puente de colada	B	3	5
*Puente rompe-fundición	B-C	3	5-6
*Puente para deslingotar	C-D	3	6
*Puente para hornos de fosa	B-C	3	5-6
*Puente cargador de hornos	C-D	3	5-6
*Puente para forja	C-D	3	5-6
Pórtico con gancho para servicio de parque de material	B-C	2	4-5
Pórtico con cuchara	B-C-D	3	5-6
Pórtico con gancho para descarga o carga sobre vehículo	B-C	2	4-5
Pórtico para almacén	B-C-D	3	5-6
Pórtico para desmontaje de material	A-B	1-2	2-3-4
Grúa para desmontaje y montaje de material	A-B	1-2	2-3-4
Grúa con gancho	B-C	2	4-5
Grúa con cuchara	B-C-D	3	5-6
Grúa de dique	B	2-3	4-5
Grúa de puerto con gancho	B-C	2	4-5
Grúa de puerto con cuchara	B-C	3	5-6
Grúa para servicio excepcional	A	0-1	1-2
Grúa flotante con gancho	A-B	2	3-4
Grúa flotante con cuchara	A-B	3	4-5
Grúa de astillero	A-B	2	3-4
Grúa de reparación sobre vía férrea	A	1-2	2-3
Grúa de a bordo	B	2-3	4-5
Grúa velocípeda automóvil	B-C	2	4-5
Grúa derrick	A-B	2	3
Monocarril (según utilización)			4-5-6
Pórtico y puente para contenedores	B-C	2	4-5

* Puente especial.

Tabla 3.4 3-2

3.4.2. *Estado de carga.*

El estado de carga se definirá en la práctica por el número de maniobras que realiza el aparato y la carga de servicio según la tabla 3.4.2.

3.4.3. *Grupos de puentes grúa.*

En función de las condiciones de utilización y los estados de carga definidos en los apartados anteriores, se clasificarán los puentes grúa en seis grupos: 1, 2, 3, 4, 5 y 6, definidos según la tabla 3.4.3-1.

En la tabla 3.4.3-2 se consignan a título de ejemplo, una lista de aparatos clasificados en los grupos definidos anteriormente en función de sus utilizaciones más corrientes

3.5 *Cargas que deben considerarse en el cálculo.*

Las cargas que deben considerarse son las siguientes:

— *Carga permanente.*
— *Carga móvil constituida por el propio puente.*
— *Carga móvil sobre las pasarelas de manutención.*
— *Acción del viento.*
— *Variaciones de temperatura.*
— *Acción sísmica.*

3.5.1 *Carga permanente*

Comprende todos los elementos que constituyen la viga carrilera:

— *Viga vertical de rodadura.*
— *Viga vertical de acompañamiento, o ménsulas soportes de la pasarela.*
— *Pasarela.*
— *Vigas horizontales y celosías de arriostramiento.*
— *Carriles de rodadura y eventualmente de guiado.*

Se considera para el acero un peso específico de 7 850 kg/m³.

3.5.2. *Carga móvil del puente.*

Constituida por las reacciones verticales y horizontales de las ruedas de traslación y eventualmente de guiado del puente grúa.

Estas reacciones son función de:

a) *El peso propio de:*

— *El puente grúa y su equipo.*
— *El carro y su equipo.*
— *La carga a elevar y sus accesorios*

b) *Los efectos dinámicos debidos a:*

— *La aceleración positiva o negativa de los movimientos de elevación de la carga, de la traslación del carro y de la propia del puente grúa.*
— *Al efecto lazo de la traslación del puente grúa.*

— *A los choques producidos en la rodadura del puente debido a los defectos y desgastes de las ruedas y a la existencia de juntas en los carriles.*

— *A la brusca elevación o descenso de la carga de servicio.*

3.5.3. *Carga móvil de la pasarela.*

Originada por la circulación del personal de manutención y eventualmente del material necesario para las reparaciones

3.5.4. *Acción del viento.*

a) *Vigas carrileras en el exterior.*

Se considerará la acción del viento. No se tendrá en cuenta la nieve, admitiéndose que su existencia es incompatible con la circulación del puente grúa.

b) *Vigas carrileras en el interior de edificios.*

Sólo se considerará la acción del viento cuando alguno de los elementos de las vigas carrileras formen parte de la estructura contraviento del edificio.

3.5.5. *Variación de temperatura.*

Debe considerarse en el caso en que la viga carrilera no puede dilatarse libremente.

Debe considerarse igualmente su influencia cuando existan fuentes importantes de calor que puedan originar dilataciones desiguales en los elementos que constituyen la viga carrilera.

3.5.6. *Acción sísmica.*

Debe considerarse en los caminos de rodadura ubicados en la zona tercera de sismicidad alta, así como en los ubicados en la segunda zona en lugares con grado VII de intensidad.

3.6. *Evaluación de los esfuerzos*

3.6.1. *Carga permanente*

Origina esfuerzos verticales (momentos flectores y esfuerzos cortantes) a los cuales pueden añadirse esfuerzos de torsión cuando las vigas horizontales y verticales tienen uniones rígidas entre sí, y la resultante de los pesos no pasa por el centro de esfuerzos cortantes de la sección conjunta de la viga carrilera.

3.6.2. *Carga móvil del puente.*

El puente grúa, al crear reacciones verticales y horizontales que actúan sobre los elementos constituyentes del camino de rodadura, origina en éstos solicitaciones, tanto generales como locales de flexión, compresión y cortantes, a los que se añaden esfuerzos de torsión.

3.6.2.1. *Ambito.*

Los valores, que se especifican en los apartados siguientes, corresponden a puentes grúa de cuatro ruedas, de las cuales dos son motrices, y sustentación de la carga por medio de cables

En el caso de ocho ruedas sobre cuatro carretones, los valores numéricos se considerarán por carretón, desdoblándose las fuerzas sobre las dos ruedas.

3 6 2 2. *Notación.*

A) *Características del puente grúa:*

P *peso del puente y su equipo.*
C *peso del carro y su equipo*
N *peso de la carga nominal.*
v_n *velocidad nominal de elevación de la carga.*
v_c *velocidad nominal de desplazamiento del carro.*
v_p *velocidad nominal de traslación del puente.*
j_c *aceleración media positiva o negativa del carro.*
j_p *aceleración media positiva o negativa del puente.*
g *aceleración de la gravedad.*

B) *Reacción de una rueda en carga:*

— *Reacción vertical*

V *reacción* *estática*
V_d *reacción* *dinámica (puente en movimiento).*

— *Reacción horizontal longitudinal:*

H_l *por aceleración o frenado del puente.*

— *Reacción horizontal transversal.*

H_c *por aceleración o frenado del carro.*
H_p *por aceleración o frenado del puente*
H_o *por marcha oblícua del puente.*

C) *Coeficientes:*

f *coeficiente de adherencia de la rueda al carril*
k_c *relación entre el número de ruedas motrices del carro a su número total de ruedas.*
k_p *relación entre el número de ruedas motrices del puente a su número total de ruedas.*
φ_{max} *coeficiente de máxima mayoración dinámica de las reacciones verticales del puente.*
φ_{red} *coeficiente de mayoración dinámica reducida de las reacciones verticales del puente*

3 6 2 3. *Reacciones verticales de las ruedas del puente grúa.*

Las reacciones de las ruedas del puente en movimiento se obtienen a partir de las reacciones estáticas correspondientes, multiplicándolas por un coeficiente de efectos dinámicos. Con las notaciones establecidas:

$$V_d = \varphi \cdot V$$

La tabla 3 6 2 3 da los valores del coeficiente φ correspondiente a los distintos grupos de puentes grúa, tanto para las vigas del camino de rodadura como para los soportes de las mismas. Estos valores corresponden al caso de que tanto el carril como las ruedas estén en buen estado y que las maniobras se efectúen normalmente.

Cuando sobre una viga carrilera actúen simultáneamente más de un puente grúa se aplicará el valor reducido del coeficiente dinámico

Los inconvenientes provenientes de un mal estado del camino de rodadura (juntas defectuosas, carriles sin el necesario grado de fijación) o del mal estado de las ruedas (rueda aplanada) son imposibles de tener en cuenta con ningún valor del coeficiente dinámico.

Valor del coeficiente dinámico vertical φ

Grupo	Viga carrilera		Soportes	
	φ máx	φ red	φ máx	φ red
1-2	1,1	1,1	1,0	1,0
3-4	1,15	1,1	1,0	1,0
5	1,25	1,1	1,1	1,0
6	1,35	1,1	1,2	1,0

Tabla 3.6 2 3

Velocidad	1 Velocidad lenta y media con gran recorrido		2 Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		3 Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Duración de la aceleración	Aceleración media	Duración de la aceleración	Aceleración media	Duración de la aceleración	Aceleración media
m/s	*s*	*m/s²*	*s*	*m/s²*	*s*	*m/s²*
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Tabla 3.6 2 4

3.6.2.4. *Reacciones horizontales longitudinales*

a) *Reacciones sobre los carriles de traslación del puente.*

La aceleración o el frenado del movimiento de traslación del puente conduce a la aparición de reacciones longitudinales aplicadas a las cabezas de los carriles. Estas fuerzas horizontales, que las llantas de las ruedas motrices del puente ejercen sobre el carril, se calcularán en función de la aceleración o deceleración máximas, que se produzcan en servicio normal.

Si los valores de las aceleraciones y deceleraciones no están dadas por el Constructor de la grúa o impuestas por el usuario, se podrán fijar las mismas, a título indicativo, en función de la velocidad del movimiento y de las tres condiciones de explotación siguientes:

1) Aparatos de velocidad lenta y aparatos de velocidad media con grandes recorridos.

2) Aparatos de velocidad media y rápida de aplicación corriente.

3) Aparatos de velocidad rápida con fuertes aceleraciones.

La tabla 3.6.2.4 recoge los valores medios de las aceleraciones y deceleraciones para las tres condiciones de explotación.

El valor de la resultante de las reacciones longitudinales de aceleración de un puente grúa estará limitado por la adherencia entre las ruedas motrices y los carriles

$$\Sigma H_{l\,máx} = (N + C + P)\frac{2 j_p}{g} \leqslant (N + C + P) f k_p$$

siendo el valor del coeficiente de adherencia:

$f = 0{,}12$ en caminos de rodadura húmedos.
$f = 0.20$ en caminos de rodadura secos

Se considera que la carga está en su posición más elevada, no se tendrá en cuenta la oscilación de la carga.

Las reacciones longitudinales se considerarán repartidas por igual en los dos carriles, siempre que su valor no esté limitado por la adherencia entre rueda y carril. En caso contrario se repartirá en dos fuerzas desiguales, de la manera siguiente:

Reacción longitudinal menor:

$$H_{l2} = f k_p \Sigma V_2$$

siendo

$$\Sigma V_2 = \Sigma V_{min}$$

Reacción longitudinal mayor:

$$H_{l1} = \Sigma H_{lmáx} - H_{l2}$$

b) *Reacciones sobre los topes finales del camino de rodadura.*

Estas reacciones corresponden al choque de los topes de las vigas testeras del puente grúa contra los topes finales del camino de rodadura, y son función de la velocidad de traslación del puente, de la elasticidad de la estructura del mismo, y principalmente de la de los amortiguadores de los topes. Los valores de estas reacciones se acorda-

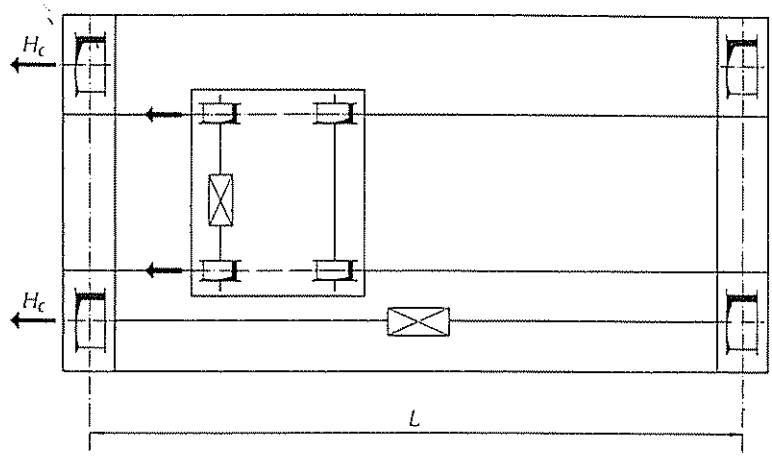


Figura 3.6 2 5-1

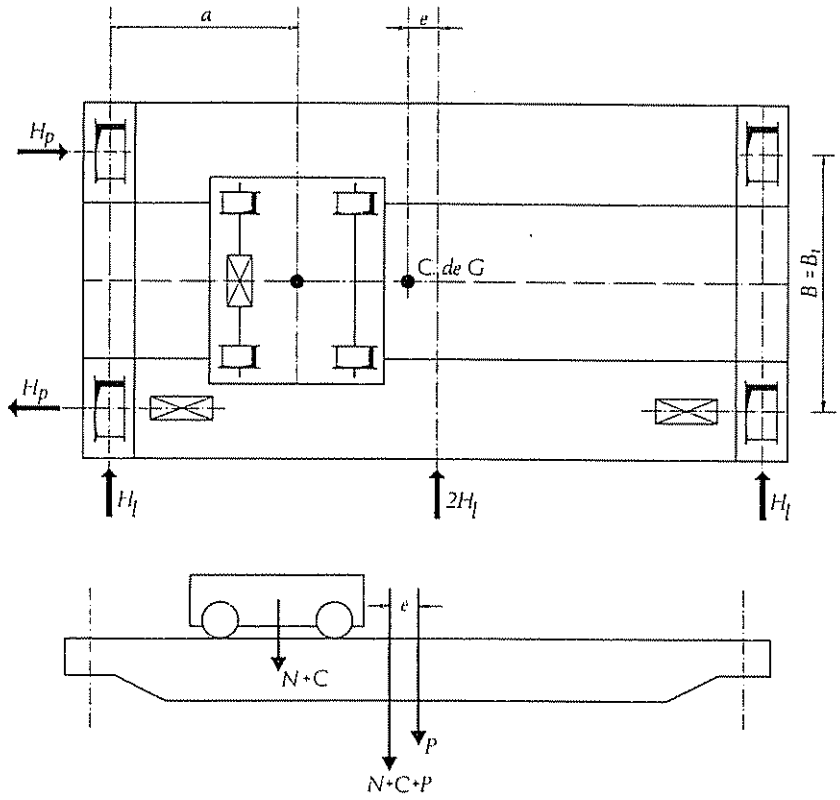


Figura 3.6 2 5 -2

rán con el suministrador del puente grúa. A falta de instrucciones pertinentes, se podrán calcular por las expresiones siguientes:

1) En el caso de amortiguador de muelle con diagrama triangular de crecimiento del esfuerzo:

$$\Sigma H_{tt} = 1{,}25\,(C + P)\,(0{,}5\,\frac{v^2_p}{g\,s_a} - 2\,f\,k_p)$$

2) En el caso de amortiguador hidráulico a esfuerzo constante y diagrama rectangular:

$$\Sigma H_{tt} = 1{,}5\,(C + P)\,(0{,}25\,\frac{v^2_p}{g\,s_a} - f\,k_p)$$

siendo s_a el acortamiento del amortiguador

3 6 2 5. Reacciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente

a) Reacciones H_c, debidas a la aceleración y deceleración del carro.

La aceleración y deceleración del movimiento de desplazamiento del carro conduce a la aparición de reacciones horizontales transversales al camino de rodadura. Estas fuerzas transversales se calcularán en función de la aceleración o deceleración máximas que se produzcan en servicio normal.

El valor de la aceleración media positiva o negativa es un dato que debe proporcionar el Constructor de la grúa o ser fijado por el usuario. Caso de no ser conocido podrán utilizarse, a título indicativo, los valores que para aceleración media se dan en el cuadro 3.6.2.4 en función de la velocidad del movimiento.

El valor de la fuerza total de aceleración del carro estará limitado por la adherencia entre las ruedas motrices del carro y los carriles de las vigas del puente.

$$\Sigma H_{c\,máx} = (N + C)\,\frac{2\,j_c}{g} \leqslant (N + C)\,f\,k_c$$

siendo los valores del coeficiente de adherencia los mismos del apartado 3.6.2.4 (fig. 3.6.2.5-1).

b) Reacciones H_p debidas a la aceleración y deceleración del puente.

Se supone un puente grúa con sincronización (en revoluciones) de las ruedas motrices de ambas vigas testeras.

En este caso la fuerza tractora se reparte por igual entre las ruedas motrices de uno y otro carril, con resultante en el eje de ambos. La resultante de las fuerzas de inercia de puente, carro y carga, en el caso de carro desplazado, tiene una excentricidad $e_{máx}$ con relación a dicho eje. Esta excentricidad origina la aparición de fuerzas horizontales transversales que forman un par de equilibrio como se indican en la figura 3.6.2.5-2. El valor máximo de estas fuerzas corresponderá al desplazamiento máximo del carro y por tanto a la excentricidad máxima, y su valor será:

$$H_{p\,máx} = \pm\,\Sigma\,H_{l\,máx}\,\frac{e_{máx}}{B}$$

Se considera que la carga está en la posición más elevada.

c) Reacciones H_o debidas a la marcha oblicua del puente.

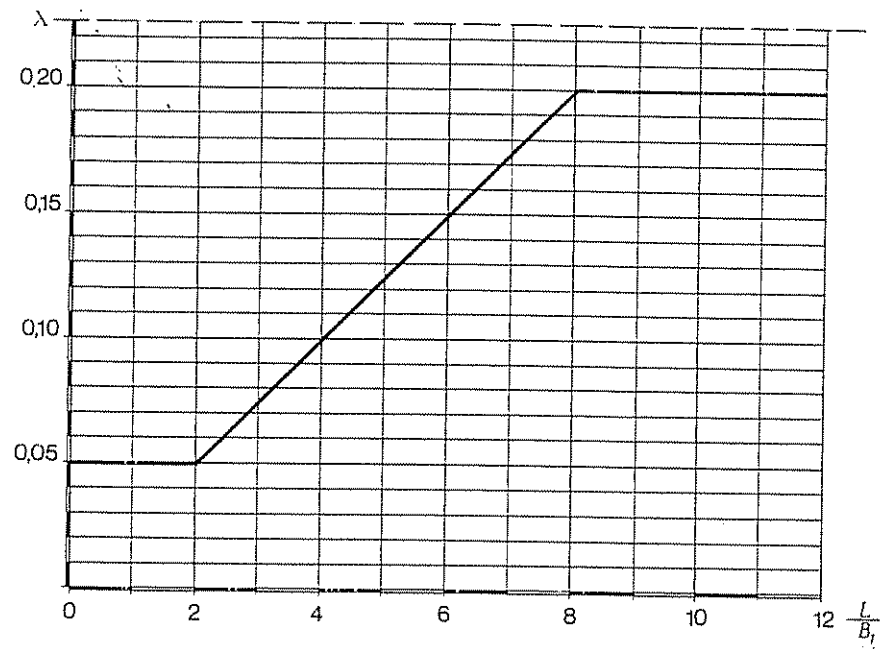
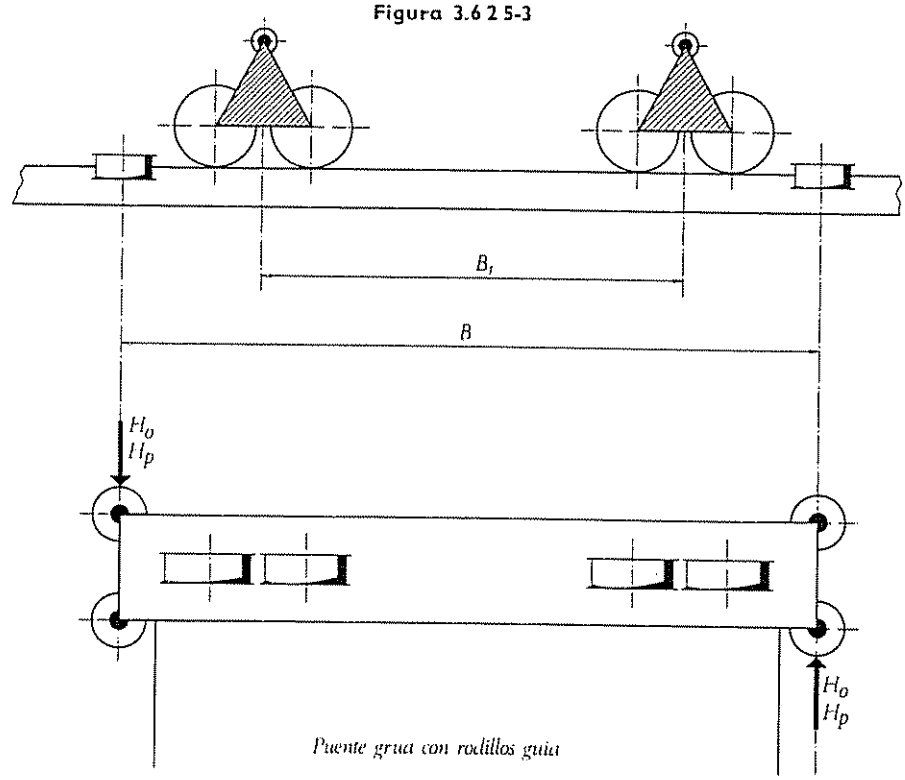


Figura 3.6 2 5-3



Puente grua con rodillos guia

Figura 3.6 2 6-1

La marcha oblicua del puente origina reacciones horizontales transversales (iguales y opuestas) en las ruedas extremas o rodillos guía extremos. A falta de un cálculo más exacto en el que se consideren las particularidades constructivas del puente grúa en cuestión, y las de su mecanismo de traslación, podrá adoptarse como valor de cada fuerza horizontal H_o, constitutivas del par, el dado por la expresión:

$$H_o = \lambda V$$

siendo: V la reacción vertical correspondiente a la rueda extrema donde aparece la reacción horizontal o en el carretón de dos ruedas extremas.

λ *factor cuyo valor es función de la relación L/B_1, según la figura 3 6 2 5-3.*

3 6 2 6 *Punto de aplicación de las reacciones.*

a) *Reacciones verticales*

Para tener en cuenta las tolerancias de ejecución y montaje tanto del puente grúa como de las vigas de rodadura, se supondrá que las reacciones verticales tienen una excentricidad horizontal igual a la cuarta parte del ancho de la cabeza del carril.

b) *Reacciones horizontales*

Se supondrán aplicadas en la cara superior del carril.

- *Las fuerzas horizontales longitudinales H_l en las ruedas motrices exclusivamente y con el reparto que se indica en el artículo 3 6 2 4.*
- *Las fuerzas horizontales ΣH_c originadas por la aceleración del carro se considerarán repartidas por igual entre todas las ruedas de una viga testera del puente.*
- *Las fuerzas horizontales H_p originadas por aceleración o deceleración del puente según las figuras 3 6 2 6-1 y 3 6 2 6-2, en función de la existencia o no de rodillos guía y del número y disposición de las ruedas en la viga testera.*
- *En dichos esquemas se muestra también la posición de fuerzas H_o debidas a la marcha oblicua del puente.*

3 6 2 7 *Simultaneidad de acción de varios puentes grúa.*

Salvo indicación en contrario del usuario de los puentes grúa, cuando existan varios se limitará su número, según los siguientes criterios:

a) *Reacciones verticales*

1) *Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos, y soporte entre dos vigas-carril contiguas, en una misma nave:*

   Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

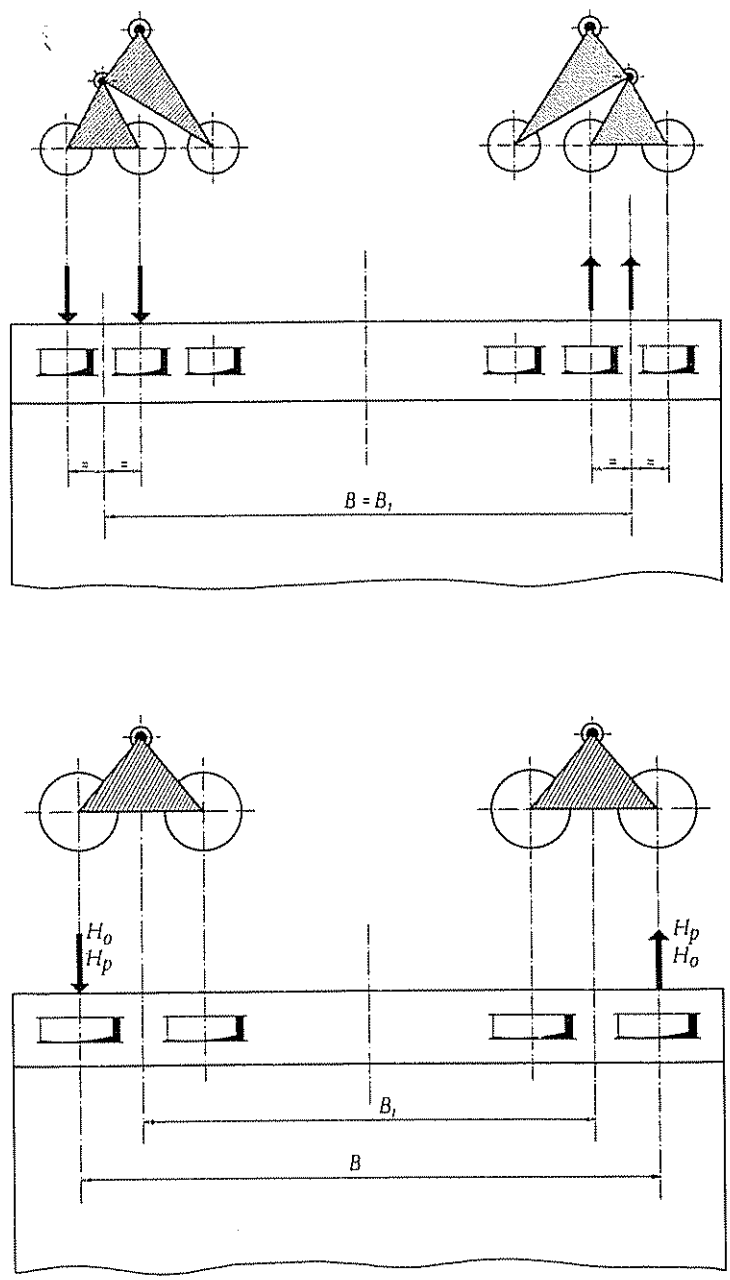
2) *Caminos de rodadura dobles al mismo nivel y soporte entre dos naves contiguas de un edificio:*

   Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (dos por nave).

3) *Soportes con caminos de rodadura a más de un nivel:*

   Actuación de un máximo de seis puentes grúa, siempre que sea compatible con los gálibos de las cargas a trasladar.

b) *Reacciones horizontales transversales.*



Puente grua con ruedas de pestaña

Figura 3.6 2 6-2

1) Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos y soporte entre dos vigas-carril contiguas:

Actuación de un máximo de un puente grúa

2) Caminos de rodadura dobles al mismo nivel y soporte entre naves contiguas de un mismo edificio:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa (uno por nave).

3) Soportes con caminos de rodadura a más de un nivel:

Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (uno por nivel y nave).

c) Reacciones horizontales longitudinales.

1) Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

El primero con la reacción horizontal según apartado 3 6 2 4, el segundo con el 70 % de aquella reacción horizontal.

2) Caminos de rodadura dobles al mismo nivel y soporte entre naves contiguas de un mismo edificio:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

Se tomará, tanto para la disposición de los puentes como para la magnitud y sentido de las reacciones, las que produzcan efectos más desfavorables sobre el elemento a estudiar.

Dos puentes grúa de construcción idéntica o diferente que, según indicaciones del usuario funcionen, por sistema, predominantemente en pareja, se tratarán como un solo puente grúa.

3 6 3. Carga móvil sobre las pasarelas

No se considerará su acción conjunta con las reacciones de los puentes grúa en movimiento

Se considerarán dos casos de carga:

a) Carga móvil aislada de 300 kg aplicada en un punto cualquiera y repartida en una superficie de un m^2

b) Carga uniformemente repartida de 175 kg/m^2.

3 6 4 Acción del viento

El valor de la presión base será de 30 kg/m^2 cuando el puente está en servicio.

Cuando el puente está fuera de servicio se adoptará el valor que corresponda en función del emplazamiento de la instalación (situación geográfica, altitud, exposición). Se considerará el caso en que la carga haya quedado suspendida del carro.

Las dimensiones de la proyección de la carga de servicio sobre un plano vertical normal a la dirección del viento se precisará por el usuario del puente.

En ausencia de tales indicaciones se adoptarán los valores de la tabla 3 6 4.

En la determinación de la sobrecarga de viento debida a la carga útil se considerará un coeficiente eólico de 1,2.

3.6 5. Variación de temperatura

Se considerará una variación de $\pm$ 35° en elementos situados al exterior, y de $\pm$ 25° en elementos en el interior de edificios.

La consideración de las fuentes de calor citadas en el artículo 3 5 5 requerirá un estudio especial.

Superficie expuesta por la carga útil a acción del viento

Carga útil en toneladas	1	2	3	5	10	20	30	50	75	100	150
Sperficie en m^2	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	16,0	20,0	25,0	30,0	36,0	45,0

Tabla 3.6 4

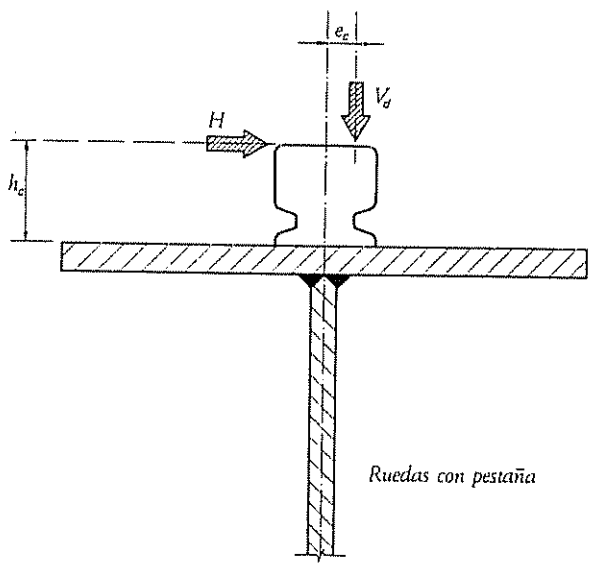


Figura 3.7 1-1

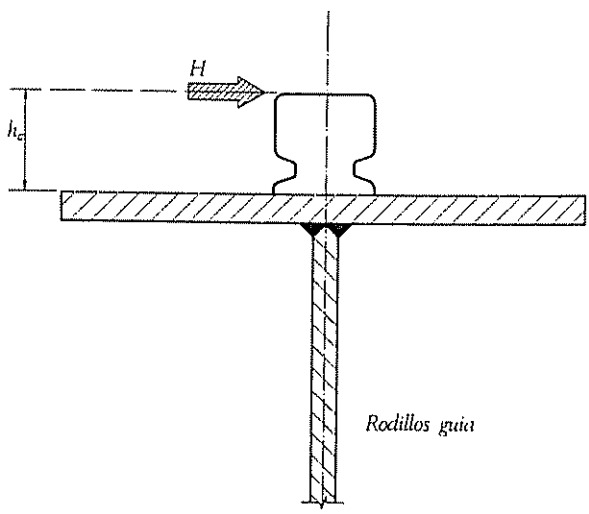


Figura 3.7 1-2

3.6.6. *Acción sísmica.*

Los valores característicos de las acciones verticales y horizontales sísmicas, se determinarán, salvo indicación expresa de organismos competentes, de acuerdo con las prescripciones de la Norma Sismorresistente (PGS-1-1968). En la determinación de las acciones horizontales no se tendrá en cuenta la carga de servicio

3.7. *Efectos locales.*

Las reacciones de las ruedas de los puentes grúa son fuertes cargas concentradas, que independientemente de las solicitaciones generales que como viga producen en el camino de rodadura, inducen importantes tensiones locales en los elementos que componen la parte superior de la viga carril. Estas tensiones locales, son más importantes si se considera, como es lógico hacerlo, un cierto descentramiento del carril con el plano del alma. Las tensiones que se inducen por este efecto deben suporponerse a las producidas por las solicitaciones generales que como parte de la sección de la viga se producen en los elementos afectados.

3.7.1. *Tren de sobrecarga torsora.*

Teniendo en cuenta el punto de aplicación de las reacciones, tanto verticales como horizontales de las ruedas, la viga carrilera está solicitada por un tren de momentos torsores concentrados cuya consideración es necesaria para el cálculo de las tensiones locales inducidas. Los momentos torsores componentes del tren considerados aplicados en el punto medio de la cara superior del ala superior de la viga carrilera, tiene por valor:

— En caso de ruedas con pestaña:

$$M_t = V_d\, e_c + H\, h_c$$

— En caso de rodillos-guía

$$M_t = H\, h_c$$

y en otra sección [1]:

$$M_t = V_d\, e_c$$

siendo:

H *la reacción horizontal transversal total*
e_c *la excentricidad horizontal de aplicación de la reacción vertical de la rueda del puente*
h_c *la altura del carril de rodadura del puente grúa. Véanse las figuras 3.7 1-1 y 3.7 1-2.*
V_d *reacción vertical dinámica*

3.7.2. *Esfuerzos locales*

El ala superior de la viga juntamente con el carril pueden considerarse como una viga sobre lecho elástico, bajo la acción de la carga móvil supuesta centrada en el plano del alma.

Se produce por tanto una flexión local en el ala o platabanda superior y unas compresiones locales en el alma.

El momento torsor produce igualmente tensiones locales de flexión en la parte superior del alma y en los rigidizadores verticales de la misma

También es preciso tener en cuenta la posible flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura.

---

[1] También en ruedas con pestaña en las hipótesis de cálculo 1 y 2.

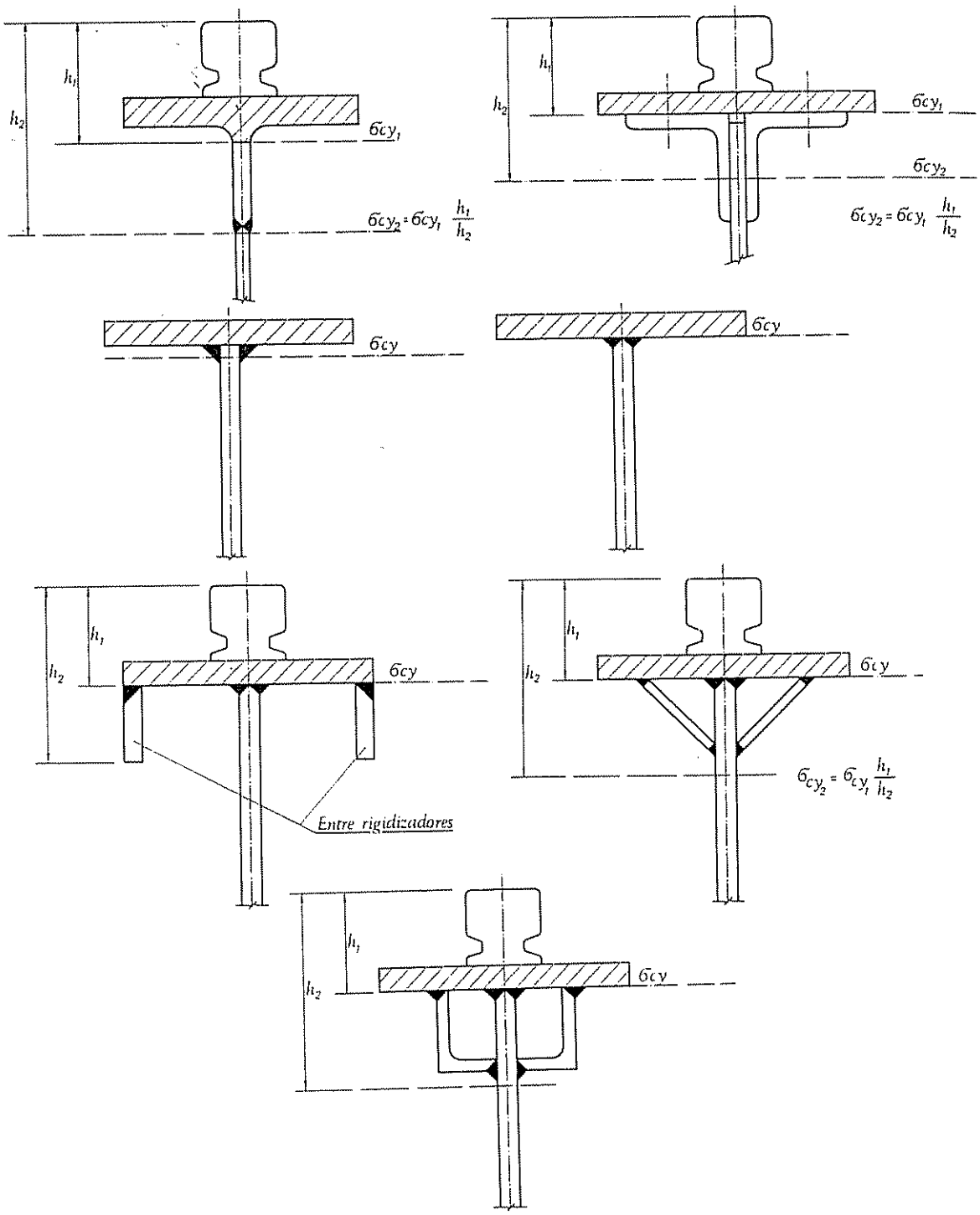

h_1
h_2
σ_{cy_1}
$\sigma_{cy_2} = \sigma_{cy_1} \frac{h_1}{h_2}$
σ_{cy}
Entre rigidizadores

Figura 3.7.2.1

3.7.2.1. *Longitud de reparto de la presión local de las ruedas y compresión del alma.*

La reacción vertical que produce la rueda se reparte, por medio del carril y del ala superior de la viga, en una cierta longitud del alma, sometiéndola a presión local. Salvo que se adopten procedimientos de ejecución muy especiales para la unión entre ala y alma, ésta presión no se transmite por contacto directo sino a través de los cordones de soldadura de esta unión, que deben por tanto calcularse para este efecto.

La longitud de reparto de la presión local se obtendrá siempre que no se haga un cálculo más preciso de la expresión:

$$l = \beta \sqrt[3]{\frac{I_s}{e_a}}$$

siendo:

β *coeficiente que depende del tipo de unión del ala superior al alma de la viga:*

$\beta = 3{,}25$ *para la unión soldada.*
$\beta = 3{,}75$ *para la unión remachada.*

I_s *la suma de los momentos de inercia del carril y del ala superior respecto a sus propios ejes principales horizontales. Cuando el carril se suelde al ala por medio de cordones que garanticen la colaboración entre ambos. I_s será el momento de inercia del conjunto carril más ala.*

e_a *espesor del alma.*

Los elementos de la sección de la viga que es preciso considerar para el cálculo de la tensión de compresión local σ_{ty} se representan en la figura 3.7.2.1.

3.7.2.2. *Flexión local del ala superior de la viga carrilera.*

El ala superior de la viga carrilera, cuando no esté dotada de elementos estructurales que eleven su rigidez frente a la flexión, deberá dimensionarse para resistir el momento flector local originado por la presión de la rueda de rodadura del puente grúa, cuyo valor máximo se obtendrá, siempre que no se desarrolle un cálculo más exacto, de la expresión siguiente:

$$M_{fp} = \frac{V_d\, I_p}{4\, I_s} \sqrt[4]{2\, I_s \frac{h_a}{e_a}}$$

siendo:

I_p *el momento de inercia de la sección del ala respecto a su eje horizontal*
h_a *la altura del alma de la viga carrilera*

3.7.2.3. *Flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera.*

La parte superior del alma de la viga, cuando no esté dotada de elemento estructural alguno de elevada rigidez a torsión, deberá dimensionarse para resistir el momento flector local, originado por el momento torsor exterior concentrado. Momento flector local cuyo valor máximo se obtendrá, siempre que no se desarrolle un cálculo más exacto, de la expresión siguiente:

$$M_{fa} = \frac{2{,}5\, M_t}{d + \sqrt{\frac{15\, I_{ts}}{e^3_a}}}$$

Valores del coeficiente Ψ

h_f/d	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	$\geqslant$ 1,4
Ψ	0,357	0,382	0,398	0,408	0,415	0,420	0,425	0,426

Tabla 3.7.2.3

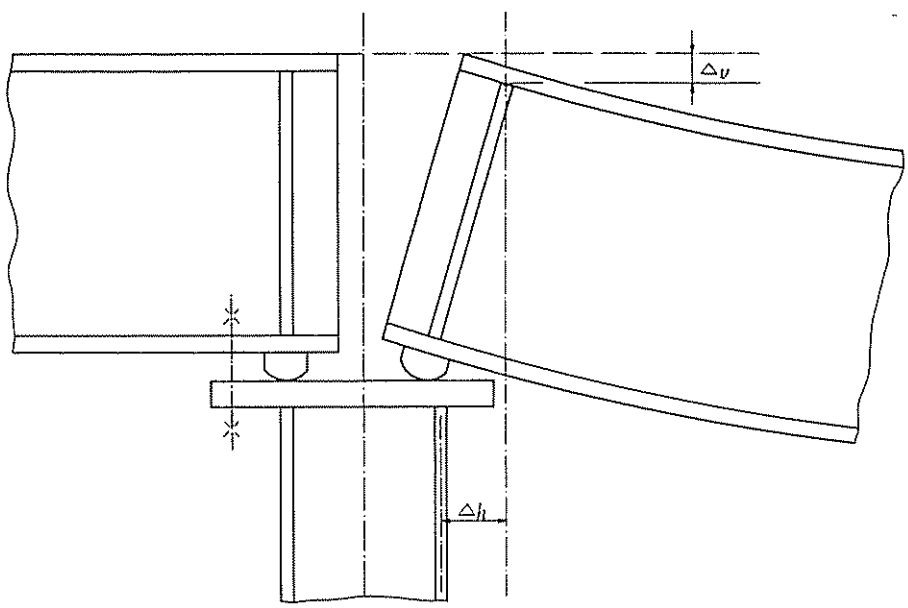


Figura 3.7.2.5

siendo:

M_{fu} *momento por unidad de longitud*
M_t *el momento torsor exterior concentrado según apartado 3.7.1.*
d *la separación entre rigidizadores verticales del alma y como máximo: $d = 2\,h_r$.*
Ψ *coeficiente que se tomará de la tabla 3.7.2.3*
I_{ts} *la suma de los módulos de torsión del carril y del ala superior*
h_r *la altura h_a del alma de la viga, cuando no ósta rigidizador longitudinal del alma de la misma, y la altura h' entre el rigidizador longitudinal del alma de la viga y el ala superior de la misma, cuando exista tal rigidizador longitudinal.*

3.7.2.4. *Solicitaciones de los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera.*

Los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera deberán dimensionarse para asegurar la transmisión de las reacciones verticales de las ruedas de los puentes grúa al alma de la misma viga, y la transmisión de las cargas torsoras exteriores concentradas a las alas superior e inferior de la viga carrilera, a la vez que oponerse al abollamiento del alma de la misma viga.

3.7.2.5. *Flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura.*

En las vigas carrileras, los elementos de fijación de las mismas a los soportes, se pueden encontrar sometidos a elevados esfuerzos de flexión y cortadura, cuando no se haya adoptado el tipo de elemento de fijación adecuado. Todo elemento de fijación, tanto de la viga carrilera como de su viga horizontal, a los soportes deberá ejercer una coacción mínima sobre los corrimientos y el giro de cada uno de los extremos de aquellas.

En las vigas isostáticas de un solo vano las solicitaciones en los elementos de fijación se determinarán teniendo en cuenta:

1) el corrimiento vertical de la viga carrilera en su apoyo, que, siempre que no se realice un cálculo más exacto, se determinará como sigue:

$$\Delta_{v\,máx} = \frac{R_v\,h}{E\,A_v}$$

siendo:

R_v *la reacción vertical en el apoyo de la viga carrilera*
h *altura de la sección de la viga*
A_v *área de la sección de apoyo de la viga carrilera*
E *módulo de elasticidad del acero*

2) el corrimiento horizontal del mismo extremo:

$$\Delta_{h\,máx} = \frac{M\,L\,h}{6\,E\,I_v}$$

siendo:

M *el momento flector máximo en el vano de la viga*
I_v *momento de inercia de la sección de la viga respecto a su eje horizontal principal.*

Según la figura 3.7.2.5.

4 *Hipótesis de cálculo*

Las hipótesis de cálculo a considerar y los coeficientes de ponderación correspondientes figuran en el cuadro siguiente:

		Hipótesis de cálculo	Coeficientes de ponderación
En servicio normal	1	Carga permanente Reacciones verticales procedentes del puente grúa más desfavorable con el coeficiente dinámico $\varphi_{máx}$ Viento de 30 kg/m²	1,33 1,50 1,50
	2	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Viento de 30 kg/m²	1,33 1,50 1,50
	3[1]	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Reacciones [2] horizontales transversales $H_c + H_p + H_o$ Reacciones horizontales longitudinales H_l Viento de 30 kg/m²	1,33 1,33 1,33 1,33 1,33
En servicio no normal	4	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de un puente grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Choque de un puente grúa contra los topes del camino de rodadura	1,33 1,20 1,20
	5	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente de impacto reducido Acción sísmica	1,00 1,00 1,00
Fuera de servicio	6	Carga permanente más sobrecarga en pasarelas Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa, sin el coeficiente dinámico Variación de la temperatura Viento máximo	1,33 1,33 1,33 1,33

[1] También aplicable cuando existe un solo puente grúa

[2] De un sólo puente grúa según 3.6.2.7.

4.1 *Hipótesis para los esfuerzos locales*

Los esfuerzos locales producidos por las reacciones de las ruedas consideradas en cada hipótesis, se superpondrán a los esfuerzos generales para el cálculo de tensiones. El coeficientede ponderación para los esfuerzos locales será el correspondiente al de las reacciones de las ruedas en la hipótesis considerada.

5. *Flechas admisibles*

5.1 *Flechas en el camino de rodadura*

Salvo indicación especifica en el Pliego de Condiciones particulares de la obra de la que forma parte el camino de rodadura, se adoptarán los siguientes valores:

— *Flecha vertical: 1/750 de la luz*

— *Flecha horizontal: 1/1 000 de la luz, pero no mayor de 1.0 cm.*

Los valores de las flechas corresponden a las que producen en el centro del vano las reacciones máximas de las ruedas del puente grúa más desfavorable colocado en la posición en que origine la flecha máxima, pero sin aplicación de coeficientes de ponderación ni de mayoración por efectos dinámicos

El valor de la flecha horizontal corresponde a la que producen las reacciones horizontales H_c máximas del puente grúa más desfavorable, debidas al movimiento del carro cargado, colocado aquél en la posición en que origine la flecha horizontal máxima.

5.2 *Flechas horizontales en los soportes de los caminos de rodadura*

La determinación de las flechas se hará considerando las reacciones horizontales H_c producidas por el frenado del carro de un sólo puente grúa siempre que éstas no sean inferiores al 30 % de las reacciones horizontales totales $\Sigma (H_c + H_p + H_o)$ producidas por la acción de varios puentes grúa de acuerdo con el artículo 3.6.2.7.

El desplazamiento horizontal máximo del soporte a nivel de la cota de rodadura será:

— *En naves en que actúen puentes grúa de los grupos 1, 2, 3, un 1/1 000 de la altura contada desde la cara superior del cimiento hasta el nivel de rodadura.*

— *En naves en que actúen puentes grúa de los grupos 4, 5 y 6, los valores correspondientes serán:*

1/2 500 cuando el valor de los corrimientos se determinen por cálculo plano

1/4 000 cuando el valor de los corrimientos se determinen por cálculo espacial

— *En los pórticos de frenado el desplazamiento máximo, bajo la acción de las fuerzas horizontales longitudinales, será inferior a 1/4 000 en cualquier caso.*

6. *Criterios de agotamiento*

6.1 *Sistema de coordenadas*

La definición de las tensiones se basará en el sistema de coordenadas presentado en la figura 6.1

6.2 *Cálculo de tensiones*

Se determinarán las tensiones en los diferentes elementos de la estructura para las hipótesis de cálculo consideradas en el artículo 4 y se verificará que las tensiones no sobrepasen a las críticas de agotamiento que se definen en el apartado 6.3.

Se aplicarán los procedimientos clásicos de la Resistencia de Materiales.

Se considerarán las secciones brutas de metal sin descontar la superficie de agujeros ocupados por pernos o remaches en todas las partes sometidas a esfuerzos de compresión y las secciones netas descontando la superficie de agujeros en todas las partes sometidas a esfuerzos de tracción.

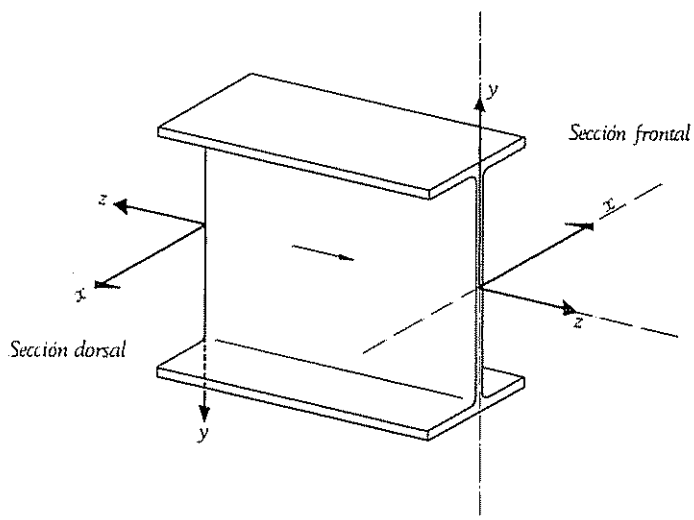


Figura 6.1

6 2 1. *Tensiones debidas a la presión local*

En caso de que no se efectúe una comprobación más detallada, las tensiones de compresión vertical del alma de la viga carrilera, en su unión a la platabanda superior, se pueden establecer como sigue:

$$\sigma_{cy,\,máx} = \frac{V_{d\,máx}}{l\,e_a} \qquad \tau_{c,\,xy,\,máx} = 0{,}2\,\sigma_{cy,\,máx}$$

siendo:

l	*la longitud de reparto de la presión de la rueda, según 3.7 2 1.*
e_a	*el espesor del alma de la viga*
$\sigma_{cy,\,máx}$	*tensión normal máxima de compresión en el borde superior del alma.*
$\tau_{c,\,xy,\,máx}$	*tensión tangencial máxima en el mismo borde*

Para determinar la tensión τ_{xy} en el cordón o cordones de soldadura que unen el alma a la platabanda, se multiplicará σ_{cy} por el factor $\frac{e_a}{2\,t}$ (t = espesor del cordón de soldadura).

Cuando se disponga una banda elástica entre la base del carril y la platabanda, siendo aquella de unos 6 mm de espesor, de dureza Shore A90, se podrán reducir en un 25 % los valores de las tensiones $\sigma_{cy,\,máx}$ y $\tau_{c,\,xy,\,máx}$, de no realizar una comprobación más exacta.

6 2 2. *Tensiones debidas a la flexión local del alma.*

Cuando se den las condiciones mencionadas en 3.7 1, la tensión normal máxima que aparece en el borde superior del alma, se determinará como sigue:

$$\sigma_{flx,\,máx} = \pm \frac{6\,M_{fa}}{e^2_a}$$

siendo:

M_{fa} *momento flector según 3.7 2 3.*

6 2 3. *Tensiones debidas a la flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera.*

Cuando se cumplan las condiciones indicadas en 3.7 2 2, la tensión normal local máxima en la sección vertical de la platabanda se determinará como sigue:

$$\sigma_{flx,\,máx} = \pm \frac{6\,M_{fp}}{b\,e^2_p}$$

siendo b el ancho de la platabanda.

Cuando el ala esté rigidizada se tomará el módulo resistente correspondiente.

6 3. *Condición de agotamiento.*

Las tensiones debidas a esfuerzos locales se deben componer con las debidas a los esfuerzos generales de flexión y torsión.

En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales σ_I, σ_{II}, σ_{III} la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_I - \sigma_{III})^2\right]} = \sigma_u$$

siendo σ_u la resistencia de cálculo del acero.

Si el estado de tensión está definido en ejes cualesquiera, la condición de agotamiento se convierte en:

$$\sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6\,(\tau^2_{xy} + \tau^2_{xz} + \tau^2_{yz})\right]} = \sigma_u$$

Si el estado es de tracción triple existe una segunda condición de agotamiento, que es:

$$\sigma_I = 2\,\sigma_u$$

En un estado plano de tensión, o sea, con una tensión principal nula, definido en su plano XOY, la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\sigma^2_x + \sigma^2_y - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\,\tau^2_{xy}} = \sigma_u$$

Si el estado está definido por sus tensiones principales:

$$\sqrt{\sigma^2_I + \sigma^2_{II} - \sigma_I \cdot \sigma_{II}} = \sigma_u$$

En un estado simple, de tracción o compresión, la condición de agotamiento es:

$$\sigma = \sigma_u$$

En un estado de cortadura simple ($\sigma_x = \sigma_y = 0$), la condición de agotamiento es:

$$\tau = \tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = 0{,}576\,\sigma_u$$

6.4. *Resistencia de cálculo del acero*

La resistencia de cálculo del acero viene fijada por la expresión:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e}{\gamma_a}$$

siendo:

$\gamma_a = 1$ *para los aceros con límite elástico mínimo garantizado.*
$\gamma_a = 1{,}1$ *para aceros cuyo límite elástico sea determinado por métodos clásicos.*

PARTE SEGUNDA

7 Comprobación de la fatiga.

7.1 Efecto de fatiga

Los elementos de un camino de rodadura están sometidos a fatiga por el paso repetido de las ruedas del puente.

Ello origina que las tensiones admisibles para los elementos estructurales sean inferiores a las que les correspondería para el cálculo estático sin considerar el efecto fatiga.

En la determinación del valor de la tensión admisible a fatiga son factores predominantes el número de ciclos o aplicaciones del esfuerzo variable, el margen de variación del esfuerzo aplicado y el grado de entalladura del elemento considerado

No todos los tipos de acero tienen el mismo grado de endurancia o resistencia a la fatiga. No obstante, estas diferencias no son predominantes, sobre todo en uniones soldadas, pues el comportamiento en fatiga depende en gran proporción de la distribución de tensiones y de la ejecución de las soldaduras y la mayor o menor importancia del efecto de entalladura, consecuencia de ella.

7.1.1 Número de ciclos

La tensión de rotura en fatiga disminuye cuando aumenta el número de ciclos o aplicaciones del esfuerzo variable. Este parámetro se determinará a partir de los datos que deberá suministrar el usuario.

En ausencia de datos precisos se podrá fijar el número de ciclos en función del número de pasadas del puente grúa en 25 años, correspondiente al número medio de pasadas diarias Tabla 7.1.1.1

El número convencional de ciclos de tensiones n_0 en un elemento, en función de la clase de utilización del puente grúa, según se define en el artículo 3.4.1 de la Parte Primera, se recoge en la tabla 7.1.1.2.

7.1.2 Variación del esfuerzo aplicado (figura 7.1.2).

La amplitud de la variación se caracteriza por el parámetro de asimetría del ciclo R, relación entre la tensión mínima σ_{min} y la tensión máxima $\sigma_{máx}$ que produce el esfuerzo de un ciclo de carga.

Cuando la tensión varía en un solo sentido (tracción o compresión), la solicitación es pulsatoria si $R > 0$, o intermitente si $R = 0$.

Cuando la tensión varía entre dos valores de signo contrario $R < 0$ se llama alterna. La tensión de rotura a fatiga es máxima e igual a la de rotura estática para $R = 1$ (esfuerzo constante) y mínima para $R = -1$ (solicitación alterna pura o simétrica)

7.1.3 Grado de entalladura.

La disminución de la resistencia del elemento a la fatiga en la proximidad de discontinuidades (agujeros, cambios de sección, cordones de soldadura, etc.), se tiene en cuenta considerando el efecto de entalladura, que caracteriza la concentración de tensiones provocada por la presencia de alguna discontinuidad.

Para caracterizar la importancia de los efectos de entalladura, y su repercusión sobre la tensión admisible a fatiga, los diferentes casos de construcción y uniones, se han repartido en diferentes grados de entalladura de acuerdo con la tabla 7.1.3-1 y la figura 7.1.3-2.

Número de pasadas del puente grúa

Por día	13	80	260	1 300
En 25 años	10^5	$6 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	10^7

Tabla 7.1 1 1

Clase de utilización y número de ciclos de tensiones

A	B	C	D
$n_o \leqslant 10^5$	$10^5 < n_o \leqslant 6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5 < n_o \leqslant 2 \cdot 10^6$	$n_o > 2 \cdot 10^6$

Tabla 7.1 1 2

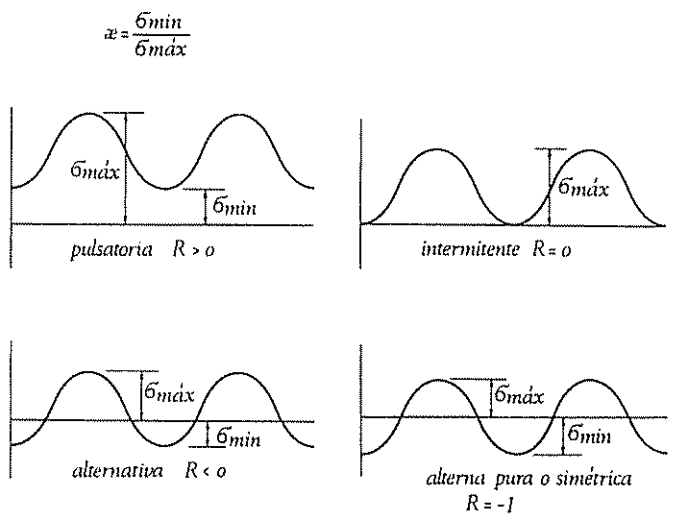


Figura 7.1 2

Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según fig 7.13-2	Categoría de entalladura
Material simple	Metal base laminado.	T o Rev	1-2	A
Barras y vigas armadas	Metal base y metal de aportación de la soldadura en piezas sin uniones, construidas con chapas o perfiles unidos con soldaduras a tope con penetración total, paralelas a la dirección de los esfuerzos.	Rev Rev T o C	3 4 3-4	B* B B
	Metal base y metal de aportación de soldadura en piezas sin uniones formadas por chapas o perfiles unidos por cordones de soldadura paralelos a la dirección de los esfuerzos.	T, C o Rev	4-5-6	B
	Tensión de flexión σ en la zona de unión de ala y alma, adyacente a rigidizadores transversales soldados:			
	Cuando la tensión cortante $\tau < \frac{1}{2}\,\tau_{adm}$	T o Rev	7	C
	Cuando la tensión cortante $\tau > \frac{1}{2}\,\tau_{adm}$	T o Rev	7	D
	siendo τ_{adm} la tensión admisible para solicitaciones estáticas.			
	Metal base en el final de una platabanda con o sin soldadura frontal.	T, C o Rev	5	E
Uniones con elementos mecánicos de unión.	Metal base en la sección neta de uniones con tornillos de alta resistencia sometidos a tensiones alternativas y uniones solicitadas axilmente que producen flexión fuera de su plano del material unido.	T o Rev	8	A
	Metal base en la sección neta de elementos en otros tipos de uniones con elementos mecánicos de unión	T o Rev	8-9	B
Soldadura a tope.	Metal base y de soldadura en uniones con soldadura a tope de penetración completa repasadas en dirección de los esfuerzos y con inspección por Rayos X o ultrasonido.	T o Rev	10	A
	Metal base y de aportación con soldadura de penetración completa, repasadas en uniones de secciones de perfiles o vigas armadas de la misma sección.	T o Rev	10-11	B
	Metal base y de aportación en uniones a tope con penetración completa y casi completa con transición en ancho o espesor, con soldaduras repasadas en dirección al esfuerzo, con taludes no mayores de 1/2.5, soldadura sana con inspección radiográfica o por ultrasonido.	T o Rev	12-13	B

Tabla 7.1 3-1

Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según fig. 7.13-2	Categoría de entalladura
Soldadura a tope (cont.)	Metal base y de aportación con soldaduras a tope de penetración completa o casi completa, con o sin transiciones de taludes no mayor a 1/2,5, repasadas en dirección del esfuerzo y cuya calidad no ha sido comprobada por radiografía o ultrasonido.	T Rev T o Rev	10 10 11-12-13	C C* C
	Metal base y de aportación con soldadura a tope de penetración completa o casi completa, en uniones en T o en cruz.	T Rev	14 14	D D*
	Metal base en nudos unidos con soldaduras a tope solicitados transversal y/o longitudinalmente.	T, C o Rev	15	E
	Metal de aportación en soldadura a tope transversales con penetración parcial referidas a la sección nominal de la soldadura.	T o Rev	16	G
Uniones con cordones de soldadura.	Metal base en cordones discontinuos.	T, C o Rev		E
	Metal base en barras solicitadas axilmente y cordones de fijación en su extremidad.	T, C o Rev	17-18-19 20	E
	Cordones frontales o longitudinales, continuos o intermitentes (excepto cordones frontales en uniones en T) y cordones continuos sometidos a esfuerzo cortante paralelos al eje del cordón en combinación con el cortante debido a la flexión.	S	5-17-18 19-21	F
	Cordones frontales en uniones en T.	S	20	G
Otras disposiciones.	Metal base en las inmediaciones (a una distancia máxima de 5 cm en dirección del esfuerzo) de soldaduras de pequeña longitud.	C T o Rev	22-23-24 22-23-24 25	C D
	Metal base en las inmediaciones de cordones largos.	T, C o Rev	26	E
	Metal base en las inmediaciones de ojal o ranura.	T, C o Rev	27	E
	Tensiones cortantes en conectores (área nominal).	S	22	G
	Tensiones cortantes en soldaduras de ojal o ranura.	S	27	G

T tensiones solamente de tracción pulsatoria o intermitente $R \geqslant 0$

C tensiones solamente de compresión pulsatoria o intermitente $R \geqslant 0$

R_{cv} tensiones alternativas $R < 0$

S campo de variaciones de tensiones cortantes

* en estos casos puede utilizarse como valor admisible de variación de tensión, en lugar de Δ_F, de la tabla 7.1 3-3, el valor Δ'_F dado por la fórmula:

$$\Delta'_F = \frac{\sigma_T + \sigma_c}{\sigma_T + 0{,}6\,\sigma_c}\,\Delta_F$$

σ_c y σ_T tensiones de compresión y tracción, respectivamente, consideradas con su valor absoluto.

Tabla 7.1 3-1

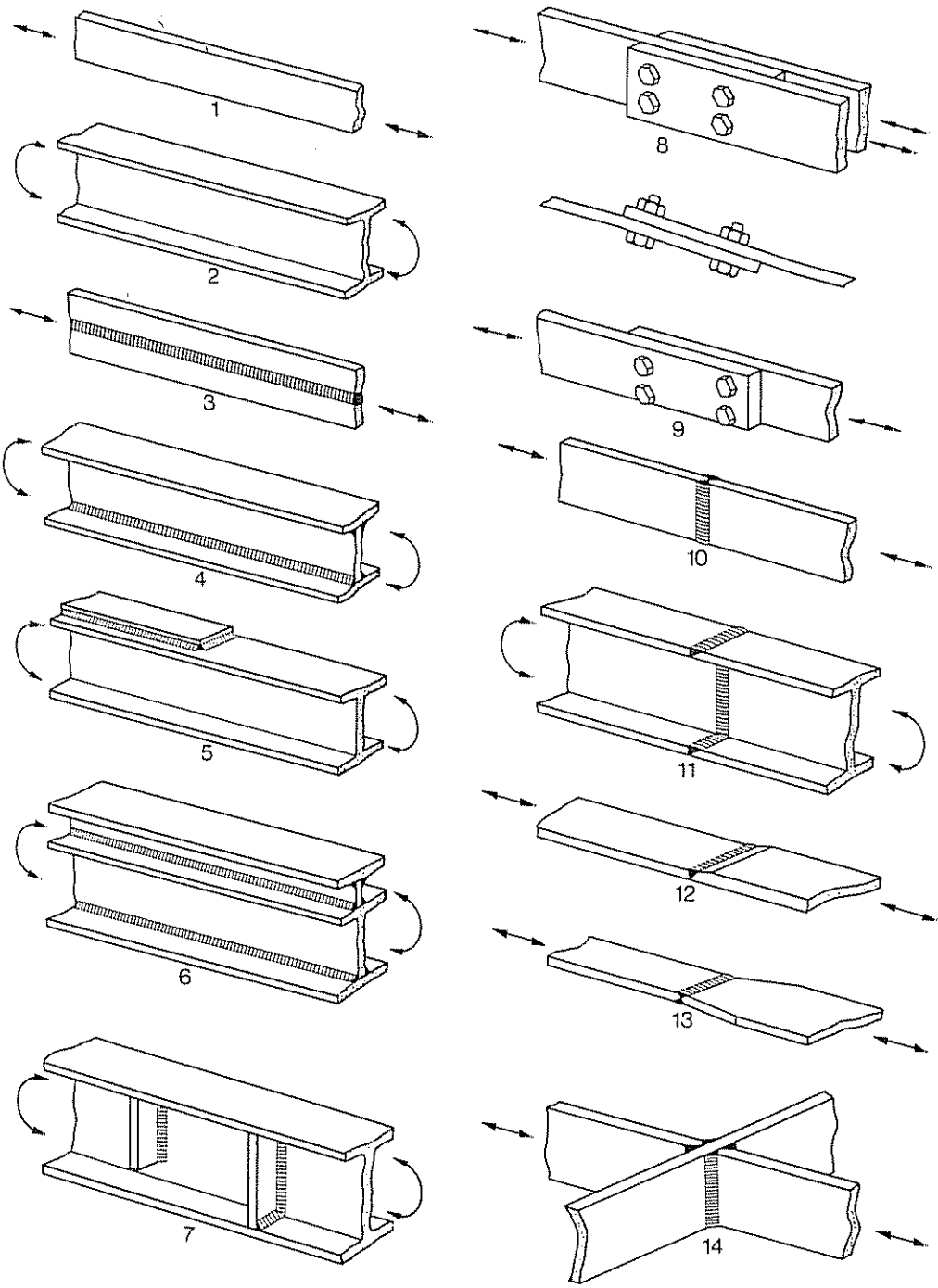


Figura 7.1 3-2

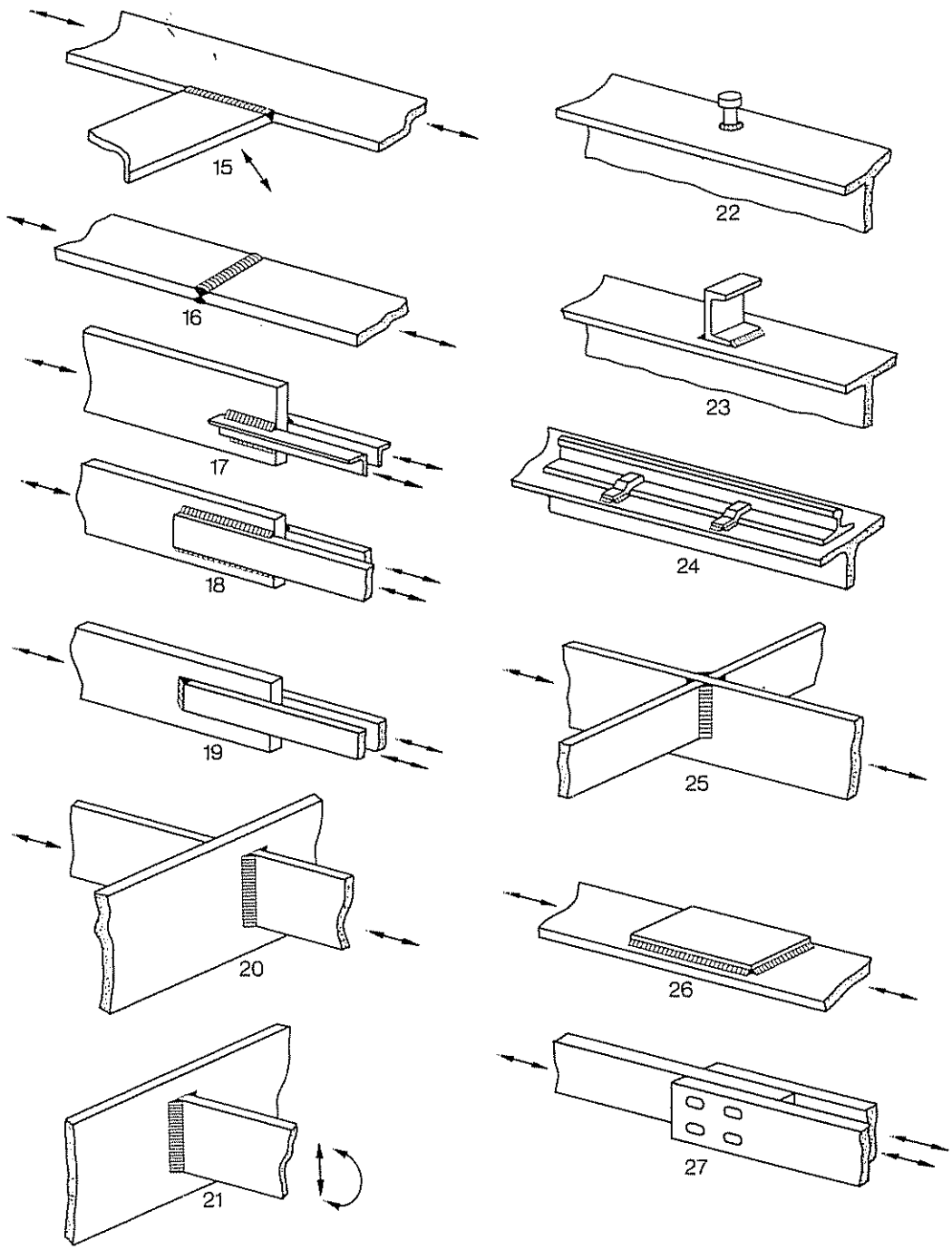


Figura 7.1 3-2

7.2. *Hipótesis de cálculo en fatiga.*

La comprobación de fatiga es una comprobación de tensiones admisibles. Se utilizarán por tanto los valores característicos de las cargas, en las dos hipótesis siguientes:

Hipótesis I	Carga permanente. Reacciones verticales procedentes del puente grúa más desfavorable con un coeficiente dinámico máximo $\varphi_{máx}$.
Hipótesis II	Carga permanente. Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red}.

En ambas hipótesis se tendrán en cuenta los efectos locales.

7.3. *Comprobación de la fatiga.*

La comprobación de las tensiones, a partir de los esfuerzos determinados según apartado 7.2, se efectuará respecto a las tensiones admisibles según apartado 7.4.

Las tensiones locales debidas a los esfuerzos locales, apartados 6.2.1, 6.2.2 y 6.2.3 de la primera parte, se determinarán en todas las hipótesis de cálculo a fatiga con el coeficiente dinámico máximo, aún cuando sea la hipótesis II la solicitación pésima. De igual modo, en vigas carrileras en celosía, para las barras que reciben directamente las reacciones de las ruedas de rodadura del puente grúa, se determinarán las tensiones debidas a los esfuerzos locales (axiles y de flexión) con el coeficiente dinámico máximo.

7.3.1. *Determinación del parámetro de asimetría del ciclo* R.

7.3.1.1. *Determinación de las tensiones mínimas en la flexión general de la viga carrilera*

Para hallar el valor de R *se deberán determinar las tensiones mínimas, normales y cortantes, en el vano y en el apoyo de la viga carrilera sometida a la acción de sólo la carga permanente. En el caso de viga carrilera continua se analizará la variación de las tensiones en las secciones de un vano, en función de las posiciones del puente grúa, o los puentes grúa, en los demás vanos.*

7.3.1.2. *Valores del parámetro de asimetría del ciclo* R *de las tensiones locales.*

Conocida la naturaleza de los esfuerzos locales, se establecen los valores de R *para los esfuerzos locales siguientes:*

— *flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera* $R = 0$.

— *flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera* $R = -1$.

— *compresión vertical local del alma* $R = 0$.

— *esfuerzo tangencial local en el borde superior del alma* $R = -1$

Naturalmente, que en el funcionamiento de la viga las tensiones locales se superponen (componen) con las de la flexión y torsión general, correspondiendo a las tensiones normales y tangenciales totales valores diferentes del parámetro de asimetría del ciclo. Se debe recordar siempre que las tensiones σ_{ty} *y* σ_{fy} *son independientes de* σ_x *y* τ_{xy}.

Valor admisible de la variación de tensión Δ_r (Kg/cm²)

Categoría de la entalladura	Clase de utilización			
	A	B	C	D
	Número de ciclos de tensiones			
	$\leqslant$ 100 000	$>$ 100 000 $\leqslant$ 600 000	$>$ 600 000 $\leqslant$ 2 000 000	$>$ 2 000 000
A	2 812	2 249	1 688	1 688
B	2 320	1 757	1 195	1 054
C	1 968	1 476	984	844
D	1 688	1 195	703	632
E	1 195	843	492	422
F	1 195	984	773	632
G	1 055	843	632	562

Tabla 7.1 3-3

Tensiones admisibles σ_{adm} (Kg/cm²) [1]

Clase de acero	Espesor		
	$\leqslant$ 16	$\geqslant$ 16 $\leqslant$ 40	$\geqslant$ 40 $\leqslant$ 63
A 37	1 600	1 533	1 466
A 42	1 733	1 666	1 600
A 52	2 400	2 333 [2]	2 266 [2]

[1] Para las tensiones cortantes $\tau_{adm} = 0{,}576\ \sigma_{adm}$

[2] En los aceros de tipo A 52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.

Tabla 7.4

7.3.2. *Elementos que es preciso comprobar.*

Los elementos que es preciso comprobar a la fatiga son principalmente la platabanda alta y la parte superior del alma de la viga carrilera, así como los cordones de soldadura que las unen

No es preciso comprobar en las vigas de un solo vano la platabanda inferior traccionada, siempre que la sección de los cordones de soldadura que la unen al alma sea equivalente al espesor de la misma, y siempre y cuando la platabanda esté exenta de otros cordones de soldadura u otros concentradores de tensiones.

En las vigas carrileras en celosía se comprobarán todos los elementos que las constituyen.

7.4. *Tensión admisible máxima de fatiga.*

Las barras, soldaduras y elementos de unión sometidos a solicitaciones repetidas deben calcularse de manera que la tensión máxima no sobrepase en ningún caso la tensión admisible para solicitaciones estáticas, según la tabla 7.4, ni que el margen de variación de tensiones (tensión máxima menos tensión mínima) sobrepase los valores que para dicha variación Δ_F se dan en la tabla 7.1.3.3.

La tensión mínima se considerará negativa en el cálculo de $\Delta\sigma$ si es de signo opuesto a la tensión máxima.

Estas dos condiciones equivalen a:

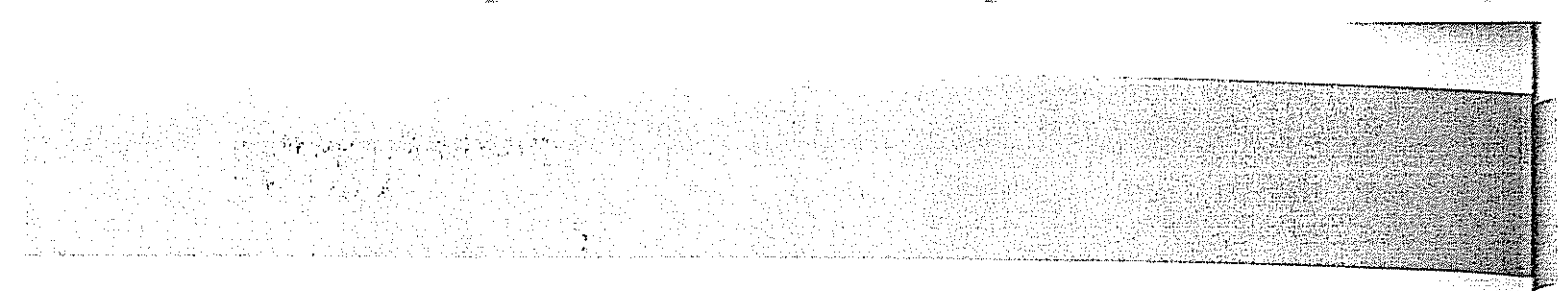
$$\sigma_{máx.F}(1 - R) \leqslant \Delta_F$$

$$\tau_{máx.F}(1 - R) \leqslant \Delta_F$$

debiendo cumplirse al mismo tiempo

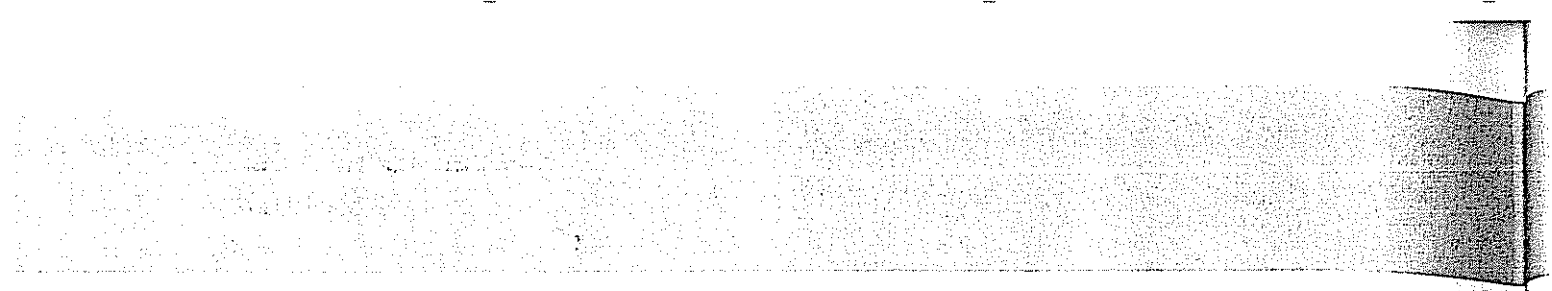
$$\sigma_{máx.F} < \sigma_{adm.\,est.}$$

$$\tau_{máx.F} \leqslant \tau_{adm.\,est.}$$



ANEJO 1

CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS PUENTES GRUA NO ESPECIALES



Dimensiones geométricas

Fuerza de elevación t	l m	a m	b m	c m	d m	A m	B o B_1 m	Figura	Fuerza de elevación t	L m	a_{min} m	b m	c m	d m	A m	B o B_1 m	Figura
5	10,0 13,0 16,0 19,0	0,8	0,23	—	1,65	4,0	2,5	3.11 b	30/5	10,0 13,0 16,0 19,0	1,1	0,35	—	2,35	5,10	3,70	3.11 b
	22,0 25,0 28,0 31,0					4,7	3,4			22,0 25,0 28,0 31,0					5,50	4,10	
10	10,0 13,0 16,0 19,0	0,9	0,3	—	1,9	4.9	3,00	3.11 b	50/10	10,0 13,0 16,0 19,0	1,3	0.4	—	2,85	6,00	4,55	3.11 b
	22,0 25,0 28,0 31,0					5.4	3,5			22,0 25,0 28,0 31,0					6,15	4,75	
15	10,0 13,0 16,0 19,0	1,0	0,3	—	2.0	4,9	3,00	3.11 b	75/15	10,0 13,0 16,0 19,0	1,4	0,6	0,95	3,00	8,50	6,15	3.11 c
	22,0 25,0 28,0 31,0					5,4	3,5			22,0 25,0 28,0 31,0			1.00	3.25	8,70	6.30	
20/5	10,0 13,0 16,0 19,0	1,0	0,3		2,15	5,10	3,20	3.11 b	100/20	10,0 13,0 16,0 19,0	1,5	0,7	1,10	3,25	9,00	6,50	3.11 c
	22,0 25,0 28,0 31,0					5,65	3,75			22,0 25,0 28,0 31,0			1,20	3,50	9,20	6.60	

Pesos y cargas

Fuerza de elevación t	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2					Grupos 3 y 4		
			Pesos			Carga de rueda		Pesos		
			Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t
5	10,0	3.11 b	2,0	11,2	13,2	6,02	3,08	2,2	11,4	13,6
	13,0			13,0	15,0	6,53	3,47		13,2	15,4
	16,0			15,7	17,7	7,23	4,12		15,9	18,1
	19,0			18,4	20,9	7,95	4,75		18,6	20,8
	22,0			22,8	24,8	9,07	5,83		22,8	25,0
	25,0			25,7	27,7	9,82	6,53		25,8	28,0
	28,0			29,0	31,0	10,65	7,35		29,0	31,2
	31,0			31,0	33,0	11,16	7,84		31,1	33,3
10	10,0	3.11 b	3,8	13,2	17,0	9,58	3,92	4,0	13,5	17,5
	13,0			15,2	19,0	10,22	4,28		15,5	19,5
	16,0			16,7	20,5	10,70	4,55		17,0	21,0
	19,0			19,7	23,5	11,50	5,25		20,0	24,0
	22,0			22,7	26,5	12,30	5,95		23,0	27,0
	25,0			25,7	29,5	13,08	6,67		26,0	30,0
	28,0			30,7	34,5	14,36	7,99		30,8	34,8
	31,0			35,7	39,5	15,62	9,12		36,0	40,0
15	10,0	3.11 b	5,2	14,3	19,5	12,66	4,59	5,3	14,7	20,0
	13,0			16,3	21,5	13,40	4,85		16,7	22,0
	16,0			19,3	24,5	14,29	5,46		19,7	25,0
	19,0			22,3	27,5	15,14	6,11		22,7	28,0
	22,0			25,3	30,5	15,96	6,79		25,7	31,0
	25,0			28,3	33,5	16,77	7,48		28,7	34,0
	28,0			35,3	40,5	18,56	9,19		35,7	41,0
	31,0			38,8	44,0	19,31	10,19		39,7	45,0
20/5	10,0	3.11 b	8,4	14,6	23,0	16,43	5,07	8,5	15,0	23,5
	13,0			16,6	25,0	17,26	5,24		17,0	25,5
	16,0			19,6	28,0	18,21	5,79		20,0	28,5
	19,0			23,6	32,0	19,35	6,65		24,0	32,5
	22,0			27,1	35,5	20,45	7,30		27,5	36,0
	25,0			32,1	40,5	21,66	8,59		32,5	41,0
	28,0			37,6	46,0	23,09	9,91		38,0	46,5
	31,0			42,1	50,5	24,27	10,38		42,5	51,0

Grupos 5 y 6							Figura	Luz entre carriles	Fuerza de elevación
Carga de rueda		Pesos			Carga de rueda				
$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t		L m	t
6,16	3,14	3,0	11,6	14,6	6,58	3,22	3.11 b	10,0	5
6,73	3,47		13,4	16,4	7,10	3,60		13,0	
7,40	4,15		16,0	19,1	7,80	4,25		16,0	
8,10	4,80		18,8	21,8	8,53	4,87		19,0	
9,17	5,83		23,0	26,0	9,60	5,90		22,0	
9,93	6,57		26,0	29,0	10,37	6,63		25,0	
10,75	7,35		29,2	32,2	11,19	7,41		28,0	
11,29	7,86		31,3	34,3	11,73	7,92		31,0	
9,75	4,00	4,5	14,5	19,0	10,22	4,28	3.11 b	10,0	10
10,39	4,36		16,5	21,0	10,87	4,63		13,0	
10,86	4,64		18,5	23,0	11,47	5,03		16,0	
11,67	5,33		21,5	26,0	12,28	5,72		19,0	
12,46	6,04		24,5	29,0	13,08	6,42		22,0	
13,25	6,75		27,5	32,0	13,86	7,14		25,0	
14,48	8,05		32,3	36,8	15,09	8,31		28,0	
15,80	9,20		37,5	42,0	16,41	9,59		31,0	
12,81	4,69	6,0	16,5	22,5	13,58	5,17	3.11 b	10,0	15
13,54	4,96		18,5	24,5	14,32	5,43		13,0	
14,44	5,56		21,5	27,5	15,22	6,03		16,0	
15,29	6,21		25,5	31,5	16,32	6,93		19,0	
16,11	6,89		29,0	35,0	17,27	7,72		22,0	
16,92	7,58		32,5	38,5	18,21	8,54		25,0	
18,71	9,29		38,5	44,5	19,75	10,00		28,0	
19,75	10,25		42,5	48,5	20,79	10,96		31,0	
16,58	5,17	9,3	15,7	25,0	17,11	5,39	3.11 b	10,0	20/5
17,40	5,35		17,7	27,0	17,95	5,55		13,0	
18,36	5,89		20,7	30,0	18,91	6,09		16,0	
19,50	6,75		24,2	33,5	19,93	6,82		19,0	
20,48	7,52		27,7	37,0	20,91	7,59		22,0	
21,81	8,63		32,7	42,0	22,24	8,76		25,0	
23,24	10,01		38,2	47,5	23,68	10,10		28,0	
24,42	11,08		42,7	52,0	24,85	11,15		31,0	

Pesos y cargas. (Continuación)

Fuerza de elevación t	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2					Grupos 3 y 4			Ca
			Pesos			Carga de rueda		Pesos			V
			Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	
30/5	10,0	3.11 b	11,2	22,3	33,5	23,91	7,84	12,0	23,0	35,0	2
	13,0			26,3	37,5	25,43	8,32		27,0	39,0	2
	16,0			29,8	41,0	26,63	8,87		30,5	42,5	2
	19,0			34,8	46,0	28,11	9,89		35,5	47,5	2
	22,0			39,8	50,5	29,40	10,86		40,0	52,0	2
	25,0			43,8	55,0	30,64	11,86		44,5	56,5	3
	28,0			49,3	60,5	32,12	13,13		50,0	62,0	3
	31,0			54,8	66,0	33,57	14,43		55,5	67,5	3
50/10	10,0	3.11 b	17,5	28,0	45,5	36,36	11,39	18,0	29,0	47,0	3
	13,0			32,5	50,0	38,50	11,50		33,5	51,5	3
	16,0			37,5	55,0	40,38	12,12		38,5	56,5	4
	19,0			42,5	60,0	42,07	12,93		43,5	61,5	4
	22,0			47,5	65,0	43,63	13,87		48,5	66,5	4
	25,0			53,0	70,5	45,25	15,00		54,0	72,0	4
	28,0			53,0	75,5	46,68	16,07		59,0	77,0	-
	31,0			65,0	82,5	48,58	17,67		66,0	84,0	
75/20	10,0	3.11 c	35,0	45,0	80,0	29,28	9,48	38,0	47,0	85,0	
	13,0			50,0	85,0	30,79	9,21		52,0	90,0	
	16,0			55,0	90,0	31,97	9,28		57,0	95,0	
	19,0			65,0	100,0	33,60	10,15		67,0	105,0	
	22,0			75,0	110,0	35,13	11,13		77,0	115,0	
	25,0			85,0	120,0	36,59	12,17		87,0	125,0	
	28,0			95,0	130,0	38,00	13,25		97,0	135,0	
	31,0			100,0	135,0	38,76	13,74		102,0	140,0	
100/20	13,0	3.11 c	38,0	52,0	90,0	37,02	10,48	42,0	53,0	95,0	
	16,0			62,0	100,0	39,02	10,98		63,0	105,0	
	19,0			72,0	110,0	40,78	11,72		73,0	115,0	
	22,0			82,0	120,0	42,40	12,60		83,0	125,0	
	25,0			92,0	130,0	43,93	13,57		93,0	135,0	
	28,0			102,0	170,0	45,40	14,60		103,0	145,0	
	31,0			112,0	150,0	46,83	15,67		113,0	155,0	

Grupos 5 y 6							Figura	Luz entre carriles	Fuerza de elevación
Carga de rueda		Pesos			Carga de rueda				
$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	$V_{máx}$ t	$V_{mín}$ t		L m	t
24,44	8,06	12,5	24,0	36,5	24,91	8,34	3.11 b	10,0	30/5
25,97	8,53		27,5	40,0	26,33	8,67		13,0	
27,18	9,07		32,0	44,5	27,79	9,46		16,0	
28,66	10,09		37,5	50,0	29,33	10,61		19,0	
29,95	11,05		42,0	54,5	30,59	11,56		22,0	
31,20	12,05		46,5	59,0	31,94	12,56		25,0	
32,68	13,33		53,0	65,5	33,67	14,08		28,0	
34,13	14,62		57,5	70,0	34,87	15,15		31,0	
36,83	11,67	18,5	30,5	49,0	37,48	12,00	3.11 b	10,0	50/10
38,98	11,78		34,5	53,0	39,45	12,10		13,0	
40,86	12,39		40,0	58,5	41,47	12,78		16,0	
42,55	13,20		46,0	64,5	43,41	13,84		19,0	
44,12	14,13		50,5	69,0	44,85	14,65		22,0	
45,73	15,27		55,5	74,0	46,34	15,66		25,0	
47,17	16,33		61,0	79,5	47,91	16,84		28,0	
49,07	17,93		67,5	86,0	49,63	18,31		31,0	
30,17	9,83						3.11 c	10,0	75/20
31,71	9,54							13,0	
32,90	9,60							16,0	
34,54	10,46							19,0	
36,08	11,42							22,0	
37,54	12,46							25,0	
38,96	13,54							28,0	
39,72	14,03							31,0	
38,03	10,72						3.11 c	13,0	100/20
40,05	11,20							16,0	
41,82	11,93							19,0	
43,45	12,80							22,0	
45,00	13,76							25,0	
46,47	14,78							28,0	
47,91	15,84							31,0	

Velocidades de movimiento en m/min.

Fuerza de elevación	Carro			Puente		
t	Lenta	Media	Rápida	Lenta	Media	Rápida
3	30	45	60	60	90	120
5	30	45	60	60	90	120
10	30	45	60	60	90	120
15	30	45	60	60	90	120
20	30	45	60	60	90	120
30	30	40	50	50	80	100
50	25	35	50	40	70	90
75	15	30	40	30	60	80
100	15	30	40	30	50	60

En caso de puentes grúa con mando de botonera desde el suelo, la velocidad de movimiento no excederá los 60 m/minuto.

NOTAS

NOTAS

NOTAS

NOTAS

Para convertir	En	Se multiplica por
Libra/pulgada^2	Atmósfera	0,06804
Libra/pulgada^2	Kilogramo/m^2	703,1
Libra/pulgada^3	Gramo/cm^3	27,68
Libra/pulgada^3	Kilogramo/m^3	$2,768 \times 10^4$
Litro	Centímetro cúbico	1 000,0
Litro	Pie cúbico	0,03531
Litro	Pulgada cúbica	61,02
Litro	Metro cúbico	0.001
Litro	Yarda cúbica	$1,308 \times 10^{-3}$
Litro	Galón (U. S. Liq.)	0,2642
Litro	Pinta (U. S. Liq.)	2.113
Litro	Cuarto (U. S. Liq.)	1,057
Litro/minuto	Pie cúbico/segundo	$5,886 \times 10^{-4}$
Litro/minuto	Galón/segundo	4.403×10^{-3}
Metro	Centímetro	100,0
Metro	Pie	3,281
Metro	Pulgada	39,37
Metro	Milla (náutica)	$5,396 \times 10^{-4}$
Metro	Milla (terrestre)	$6,214 \times 10^{-4}$
Metro	Yarda	1,094
Metro	Vara	1,179
Metro cuadrado	Acre	2.471×10^{-4}
Metro cuadrado	Pie cuadrado	10,76
Metro cuadrado	Pulgada cuadrada	1 550,0
Metro cuadrado	Yarda cuadrada	1,196
Metro cúbico	Pie cúbico	35,31
Metro cúbico	Pulgada cúbica	61 023.0
Metro cúbico	Yarda cúbica	1,308
Metro cúbico	Galones (U. S. Liq.)	264,2
Metro cúbico	Litro	1 000,0
Metro cúbico	Pinta (U. S. Liq)	2 113,0
Metro-kilogramo	Libra · pie	7,233
Metro/minuto	cm/segundo	1,667
Metro/minuto	Pie/minuto	3,281
Metro/minuto	Pie/segundo	0.05468
Metro/minuto	Kilómetro/hora	0,06
Metro/minuto	Nudo	0.03238
Metro/minuto	Milla/hora	0,03728
Metro/segundo	Pie/minuto	196,8
Metro/segundo	Pie/segundo	3,281
Metro/segundo	Kilómetro/hora	3,6
Metro/segundo	Kilómetro/minuto	0,06
Metro/segundo	Milla/hora	2,237
Metro/segundo	Milla/minuto	0,03728
Metro/segundo^2	cm/segundo^2	100,0
Metro/segundo^2	Pie/segundo^2	3,281
Milímetro	Centímetro	0.1
Milímetro	Pie	$3,281 \times 10^{-3}$
Milímetro	Pulgada	0,03937
Milímetro^2	Pie cuadrado	$1,076 \times 10^{-5}$
Milímetro^2	Pulgada cuadrada	1.550×10^{-3}
Milla (náutica)	Pie	6 080,27
Milla (náutica)	Kilómetro	1,853
Milla (náutica)	Metro	1 853,0
Milla (náutica)	Milla (terrestre)	1.1516
Milla (náutica)	Yarda	2 027.0
Milla (terrestre)	Pie	5 280.0
Milla (terrestre)	Pulgada	$6,336 \times 10^4$
Milla (terrestre)	Kilómetro	1,609
Milla (terrestre)	Metro	1 609,0

Para convertir	En	Se multiplica por
Milla (terrestre)	Milla (náutica)	0,8684
Milla (terrestre)	Yarda	1 760,0
Milla cuadrada	Km^2	2,590
Milla cuadrada	Metro cuadrado	$2,590 \times 10^6$
Milla/hora	cm/segundo	44,70
Milla/hora	Pie/minuto	88,0
Milla/hora	Pie/segundo	1,467
Milla/hora	Kilómetro/hora	1,609
Milla/hora	Kilómetro/minuto	0,02682
Milla/hora	Nudo	0,8684
Milla/hora	Metro/minuto	26.82
Minuto (ángulo)	Radián	$2,909 \times 10^{-4}$
Minuto (ángulo)	Segundo	60,0
Newton	Dina	10^5
Nudo	Pie/hora	6 080,0
Nudo	Kilómetro/hora	1,8532
Nudo	Milla náutica/hora	1,0
Nudo	Milla terrestre/hora	1,151
Nudo	Yarda/hora	2 027,0
Nudo	Pie/segundo	1.689
Pie-libra	B. T. U.	$1,286 \times 10^{-3}$
Pie-libra	Ergio	$1,356 \times 10^7$
Pie-libra	Julio	1,356
Pie-libra	Kilogramo-metro	0,1383
Pie	Centímetro	30,48
Pie	Kilómetro	$3,048 \times 10^{-4}$
Pie	Metro	0,3048
Pie	Milla (náutica)	$1,645 \times 10^{-4}$
Pie	Milla (terrestre)	$1,894 \times 10^{-4}$
Pie	Milímetro	304,8
Pie cuadrado	Acre	$2,296 \times 10^{-5}$
Pie cuadrado	Centímetro^2	929,0
Pie cuadrado	Pulgada^2	144,0
Pie cuadrado	Metro cuadrado	0,09290
Pie cuadrado	Milímetro^2	$9,290 \times 10^4$
Pie cuadrado	Yarda cuadrada	0,1111
Pie cúbico	Centímetro cúbico	28 320,0
Pie cúbico	Pulgada cúbica	1 728,0
Pie cúbico	Metro cúbico	0,02832
Pie cúbico	Yarda cúbica	0,03704
Pie cúbico	Galón (U. S. Liq.)	7,48052
Pie cúbico	Litro	28,32
Pie cúbico	Pinta (U. S. Liq)	59,84
Pie cúbico/minuto	cm^3/segundo	472,0
Pie cúbico/minuto	Galón/segundo	0,1247
Pie cúbico/minuto	Litro/segundo	0,4720
Pie cúbico/segundo	Galón/minuto	448,831
Pie de agua	Atmósfera	0.02950
Pie de agua	kg/cm^2	0,03048
Pie de agua	kg/m^2	304,8
Pie de agua	Libra/pie^2	62,43
Pie de agua	Libra/pulgada^2	0,4335
Pie/minuto	Centímetro/segundo	0,5080
Pie/minuto	Pie/segundo	0,01667
Pie/minuto	Kilómetro/hora	0,01829
Pie/minuto	Metro/minuto	0,3048
Pie/minuto	Milla/hora	0,01136

Para convertir	En	Se multiplica por
Pie/segundo	Centímetro/segundo	30,48
Pie/segundo	Kilómetro/hora	1,097
Pie/segundo	Nudo	0,5921
Pie/segundo	Metro/minuto	18,29
Pie/segundo	Milla/hora	0,6818
Pie/segundo	Milla/minuto	0,01136
Pie/segundo^2	cm/segundo^2	30,48
Pie/segundo^2	km/hora/segundo	1,097
Pie/segundo^2	Metro/segundo^2	0,3048
Pulgada	Centímetro	2,540
Pulgada	Metro	2.540×10^{-2}
Pulgada	Milla	$1,578 \times 10^{-5}$
Pulgada	Milímetro	25.40
Pulgada	Yarda	2.778×10^{-2}
Pulgada cuadrada	Centímetro^2	6,452
Pulgada cuadrada	Pie cuadrado	$6,944 \times 10^{-3}$
Pulgada cuadrada	Milímetro^2	645,2
Pulgada cuadrada	Yarda cuadrada	$7,716 \times 10^{-4}$
Pulgada cúbica	Centímetro cúbico	16,39
Pulgada cúbica	Pie cúbico	5.787×10^{-4}
Pulgada cúbica	Metro cúbico	$1,639 \times 10^{-5}$
Pulgada cúbica	Yarda cúbica	$2,143 \times 10^{-5}$
Pulgada cúbica	Galón	$4,329 \times 10^{-3}$
Pulgada cúbica	Litro	0.01639
Pulgada cúbica	Pinta (U. S. Liq.)	0,03463
Pulgada de Hg	Atmósfera	0,03342
Pulgada de Hg	Pie de agua	1,133
Pulgada de Hg	kg/cm^2	0,03453
Pulgada de Hg	kg/m^2	345,3
Pulgada de Hg	Libra/pie^2	70,73
Pulgada de Hg	Libra/pulgada^2	0,4912
Pulgada de agua	Atmósfera	2.458×10^{-3}
Pulgada de agua	kg/cm^2	2.540×10^{-3}
Pulgada de agua	Libra/pie^2	5,204
Pulgada de agua	Libra/pulgada^2	0,03613
Quintal (largo)	Libra	112,0
Quintal (largo)	Tonelada (larga)	0.05
Quintal (corto)	Onza (AVDP)	1 600,0
Quintal (corto)	Tonelada (métrica)	0.0453592
Quintal (corto)	Tonelada (larga)	0,0446429
Radián	Grado	57,30
Radián	Minuto	3 438,0
Radián	Cuadrante	0,6366
Radián	Segundo	$2,063 \times 10^5$
Radián/segundo	Grado/segundo	57,30
Radián/segundo	Revoluciones/minuto	9,549
Radián/segundo	Revoluciones/segundo	0,1592
Radián/segundo^2	Rev/minuto^2	573,0
Radián/segundo^2	Rev/min/seg	9,549
Radián/segundo^2	Rev/segundo^2	0,1592
Revoluciones	Grado	360,0
Revoluciones	Cuadrante	4,0
Revoluciones	Radián	6,283
Rev/minuto	Grado/segundo	6,0
Rev/minuto	Radián/segundo	0,1047
Rev/minuto	Rev/segundo	0,01667
Rev/minuto^2	Radián/segundo^2	$1,745 \times 10^{-3}$

Para convertir	En	Se multiplica por
Rev/minuto^2	Rev/min/seg	0,01667
Rev/minuto^2	Rev/segundo^2	2.778×10^{-4}
Rev/segundo	Grado/segundo	360,0
Rev/segundo	Radián/segundo	6,283
Rev/segundo	Rev/minuto	60,0
Rev/segundo^2	Radián/segundo^2	6,283
Rev/segundo^2	Rev/minuto^2	3 600,0
Rev/segundo^2	Rev/min/seg	60.0
Segundo (ángulo)	Grado	$2,778 \times 10^{-4}$
Segundo (ángulo)	Minuto	0,01667
Segundo (ángulo)	Cuadrante	$3,087 \times 10^{-6}$
Segundo (ángulo)	Radián	$4,838 \times 10^{-6}$
Temp (°C) + 273	Temp absoluta (°C)	1.0
Temp (°C) + 17,78	Temp (°F)	1.8
Temp (°F) + 460	Temp absoluta (°F)	1,0
Temp (°F) — 32	Temp (°C)	5/9
Tonelada (corta)	Libra	2 000,0
Tonelada (corta)	Tonelada (larga)	0,89287
Tonelada (corta)	Tonelada (métrica)	0,9078
Tonelada (corta)	Kilogramo	907,1848
Tonelada (larga)	Kilogramo	1 016,0
Tonelada (larga)	Libra	2 240,0
Tonelada (larga)	Tonelada (corta)	1,120
Tonelada (métrica)	Kilogramo	1 000.0
Tonelada (métrica)	Libra	2 205.0
Vatio	B. T. U./hora	3,4129
Vatio	B. T. U./minuto	0,05688
Vatio	Ergio/segundo	107.0
Vatio	Caballo vapor	$1,341 \times 10^{-3}$
Vatio	CV (métrico)	1.360×10^{-3}
Yarda	Centímetro	91,44
Yarda	Kilómetro	9.144×10^{-4}
Yarda	Metro	0,9144
Yarda	Milla (náutica)	4.934×10^{-4}
Yarda	Milla (terrestre)	$5,689 \times 10^{-4}$
Yarda	Milímetro	914,4
Yarda cuadrada	Centímetro^2	8 361,0
Yarda cuadrada	Pie cuadrado	9,0
Yarda cuadrada	Pulgada cuadrada	1 296.0
Yarda cuadrada	Metro cuadrado	0,8361
Yarda cuadrada	Milímetro^2	8.361×10^5
Yarda cúbica	Centímetro cúbico	7.646×10^5
Yarda cúbica	Pie cúbico	27,0
Yarda cúbica	Pulgada cúbica	46 656,0
Yarda cúbica	Metro cúbico	0,7646
Yarda cúbica	Galón (U. S. Liq.)	202.0
Yarda cúbica	Litro	764,6
Yarda cúbica	Pinta (U. S. Liq.)	1 615,9
Yarda cúbica	Cuarto (U. S. Liq.)	807.9
Yarda^3/minuto	Pie^3/segundo	0,45
Yarda^3/minuto	Galón/segundo	3,367
Yarda^3/minuto	Litro/segundo	12,74