BASES DE CALCULO

DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TOMO 0**

primera edición: julio 1977/7.000
segunda edición: octubre 1990/5 000

© Empresa Nacional Siderúrgica, S. A
Plaza América, 10
33005-OVIEDO (Asturias)
Oficina en Madrid:
C/ Velázquez, 134 bis
28006-MADRID
Derechos reservados. Prohibida la reproducción
total o parcial sin los permisos correspondientes
I S.B.N : 84-87405-06-1 (obra completa)
I.S B N : 84-87405-08-8 (Tomo 0**)
Depósito Legal: M-34.806-1990
Impresión: Mateu Cromo, S A. Ctra. Pinto a Fuenlabrada, s/n.
PINTO (Madrid)

Tomo 0**

Indice

Indice

6.	**UNIONES ROBLONADAS Y ATORNILLADAS**	1
6.1.	**Elementos de unión**	3
6.1.1.	Roblones	5
6.1.1.1.	Dimensiones de los roblones	5
6.1.1.2.	Acero de los roblones	5
6.1.2.	Tornillos ordinarios y calibrados	5
6.1.2.1.	Dimensiones de los tornillos	7
6.1.2.2.	Acero de los tornillos	7
6.1.3.	Tornillos de alta resistencia (TR)	9
6.1.3.1.	Dimensiones de los tornillos TR	9
6.1.3.2.	Acero de los tornillos TR	9
6.1.4.	Tuercas	9
6.1.5.	Disposiciones de la Norma Básica MV-103 sobre los elementos de unión	11
6.1.6.	Disposiciones constructivas según la Norma Básica MV-103	13
6.2.	**Resistencia de los elementos de unión**	17
6.2.1.	Elementos de unión solicitados por una fuerza normal a su eje	19
6.2.2.	Elementos de unión solicitados por una fuerza de tracción según su eje	23
6.2.2.1.	Roblones trabajando a tracción	23
6.2.2.2.	Tornillos trabajando a tracción	27
6.3.	**Valores de las solicitaciones de agotamiento de los elementos de unión**	27
6.3.1.	Solicitaciones de agotamiento según la Norma Básica MV-103	27
6.3.2.	Tornillos de alta resistencia, pretensados, trabajando a cortadura	33
6.4.	**Solicitaciones de agotamiento de los elementos de unión. Tablas y ábacos**	35
6.4.1.	Solicitación de agotamiento de una chapa de 10 milímetros a aplastamiento contra la espiga	35
6.4.2.	Solicitación de agotamiento de un roblón	35
6.4.3.	Solicitación de agotamiento de un roblón a esfuerzos combinados	35
6.4.4.	Solicitación de agotamiento de un tornillo ordinario (T4.6)	35
6.4.5.	Solicitación de agotamiento de un tornillo ordinario (T4.6) a esfuerzos combinados	35
6.4.6.	Solicitación de agotamiento de un tornillo calibrado (TC 5.6)	35
6.4.7.	Solicitación de agotamiento de un tornillo calibrado (TC 5.6) a esfuerzos combinados	35
6.4.8.	Solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia (TR 10.9)	35
6.4.9.	Solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia (TR 10.9) sometido a esfuerzos combinados	35

6.5. Cálculo de los esfuerzos en los elementos de unión que forma un conjunto 45
6.5 1. Solicitaciones que producen esfuerzo cortante 45
6.5 2. Solicitaciones que producen esfuerzo de tracción en los elementos de unión. Tracción centrada 61
6.5 3. Grupos de roblones o tornillos solicitados a tracción por un momento o por una fuerza excéntrica 63
6.5 3 1. Elementos de unión con tensión inicial 63
6.5 3 1 1. Recomendaciones de la Convención Europea de la Construcción Metálica (CECM) 67
6.5 3 2. Elementos de unión sin tensión inicial 69
6.5 3 2 1. Método basado en el momento de agotamiento 71
6.6. Uniones de vigas 73
6.6 1. Rigidez de la unión 75
6.6 1 1. La curva M-0 de la unión 75
6.6 1 2. Influencia de la deformación de la viga 77
6.6 1 3. Determinación de la rigidez de la unión 79
6.6 2. Clasificación de las uniones atendiendo a la rigidez de las mismas 79
6.6 3. Cálculo práctico de algunas uniones usuales 81
6.6 3 1. Unión de alma con angulares 81
6.6 3 2. Unión de alma con angular 83
6.6 3 3. Unión de alma con doble cubrejuntas 117
6.6 3 4. Unión de asiento no rigidizado 139
6.6 3 5. Unión de asiento rigidizado 139
6.6 3 6. Unión flexible con chapa frontal 141
6.6 3 7. Unión flexible con chapa frontal rigidizada 141
6.6 3 8. Unión de piezas a tracción. (Tornillos a tracción) 141
6.6 3 9. Unión rígida excéntrica 143
6.6 3 10. Unión rígida con angulares o casquillos de medio I 143
6.6 3 11. Unión rígida con placa de testa 143
6.6 3 12. Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura.) 207
6.7. Empalmes en vigas y pilares 217
6.7 1. Empalmes de piezas sometidas a esfuerzos de tracción o compresión 219
6.7 1 1. Empalmes con placa de testa 219
6.7 1 2. Empalmes con cubrejuntas 219
6.7 2. Empalmes de piezas sometidas a esfuerzos de flexión 221

6.7.2.1. Empalme con placa de testa ... 221
6.7.2.2. Empalme con cubrejuntas ... 223
Apéndice I. Longitud de vástago. Longitud de apretadura. Peso de los tornillos ... 235
Apéndice II. Resistencia de vigas con despalmillado de una o dos alas ... 243
Apéndice III. Cubrejuntas normalizados para uniones y empalmes ... 263

7. UNIONES SOLDADAS ... 271
7.1. Procedimiento de soldeo ... 273
7.2. El proceso de soldeo ... 277
7.2.1. Metalurgia ... 279
7.2.2. Efectos térmicos ... 281
7.2.3. El material base ... 283
7.2.3.1. Elección del acero ... 283
7.2.3.2. Rotura frágil ... 285
7.2.4. El material de aportación ... 287
7.2.4.1. Electrodos ... 287
7.2.4.2. Alambres macizos para el soldeo al arco eléctrico, en atmósfera protectora ... 291
7.2.4.3. Alambres y fundente para el soldeo por arco sumergido ... 293
7.3. Clasificación, representación y calidad de las soldaduras ... 295
7.3.1. Clasificación de las soldaduras ... 295
7.3.2. Representación simbólica de las soldaduras ... 295
7.3.3. Soldaduras a tope ... 301
7.3.3.1. Preparación de bordes ... 301
7.3.3.2. Uniones a tope según la Norma MV-104 ... 315
7.3.4. Soldaduras de ángulo. Comportamiento y disposiciones constructivas ... 315
7.4. Control de calidad y defectos de las soldaduras ... 327
7.4.1. Control de calidad ... 327
7.4.1.1. Control de materiales ... 329
7.4.1.2. Procedimiento de soldeo ... 329
7.4.1.3. Calificación de los soldadores ... 330
7.4.1.4. Examen e inspección de la ejecución y de las soldaduras obtenidas ... 330
7.4.1.5. Recomendaciones europeas de la CECM ... 332
7.4.2. Defectos de la soldadura ... 335
7.5. Resistencia de las soldaduras ... 337

7.5.1. Resistencia de una soldadura a tope ... 337
7.5.2. Resistencia de las soldaduras de ángulo ... 339
7.5.2.1. Criterios de agotamiento de una soldadura en ángulo ... 339
7.6. Resistencia de un conjunto de cordones de soldadura ... 347
7.6.1. Fórmulas generales de la Norma Básica MV-103 ... 347
7.6.2. Fórmulas simplificadas según la Norma ISO/TC 44/Sec 2 ... 355
7.6.3. Tablas para el cálculo de combinaciones de cordones en algunos casos frecuentes ... 361
7.6.4. Valores estáticos de los cordones de soldadura frontal de perfiles ... 372
7.7. Uniones soldadas ... 379
7.7.1. Unión directa de alma ... 379
7.7.2. Unión de alma por medio de angulares ... 383
7.7.3. Apoyo sobre asiento no rigidizado ... 395
7.7.4. Apoyo sobre asiento rigidizado ... 407
7.7.4.1. Los planos del alma de la viga y del alma del apoyo son perpendiculares ... 407
7.7.4.2. El alma de la viga y el rigidizador están en un mismo plano ... 419
7.7.4.3. Determinación de la longitud y espesor de las soldaduras ... 421
7.7.5. Unión directa perimetral ... 421
7.7.5.1. Comprobación del abollamiento de alma y de la flexión de las alas de la columna ... 421
7.7.5.2. Dimensionamiento de los rigidizadores horizontales ... 423
7.7.5.3. Comprobación de cizallamiento del alma ... 423
7.7.5.4. Refuerzo del alma por cizallamiento ... 427
7.7.5.5. Nudo constituido por dos perfiles laminados. Tablas ... 429
7.7.6. Otras disposiciones para nudos rígidos ... 463
7.7.7. Apoyos intermedios de vigas continuas ... 463
7.7.8. Nudos de las vigas trianguladas ... 463
7.7.8.1. Formas constructivas ... 463
7.7.8.2. Uniones por medio de cartelas. Excentricidad del esfuerzo ... 465
7.7.8.3. Unión directa de barras. Rigidización del nudo ... 477
7.7.9. Unión con empotramiento semirrígido ... 479

8. APOYOS Y APARATOS DE APOYO ... 485
8.1. Clasificación de los apoyos ... 487
8.2. Apoyos de vigas ... 489
8.2.1. Apoyo directo sobre fábrica ... 491

8.2.2. Apoyo con placa de reparto ... 493
8.2.3. Caso de varias placas escalonadas ... 503
8.2.4. Otras disposiciones de apoyos ... 505
8.3. Bases de columnas ... 505
8.3.1. Disposiciones y recomendaciones generales ... 507
8.3.1.1 Pernos de anclaje ... 507
8.3.1.2. Arandelas y tuercas ... 523
8.3.1.3. Chapa o placa de base ... 523
8.3.1.4 Unión entre la columna y placa de base ... 525
8.3.1.5. Hormigonado y montaje ... 525
8.3.1.6 Bases de columnas tipificadas ... 527
8.3.1.7. Bases compuestas para columnas de alma llena o de celosía ... 527
8.3.1.8. Empotramiento directo de la columna ... 529
8.3.2. Cálculo de las bases ... 529
8.3.2.1 Cálculo de la presión sobre el hormigón y la tracción de los pernos ... 529
8.3.2.2. Presión sobre el hormigón ... 543
8.3.2.3 Tracción en los pernos ... 543
8.3.2.4 Espesor de la chapa base en el caso de la placa simple ... 547
8.3.2.5. Unión entre columna y placa de base ... 555
8.3.2.6. Esfuerzos horizontales en la base de la columna ... 557
8.3.2.7 Bases rigidizadas por cartelas ... 559
8.3.2.8. Abacos para el cálculo de bases tipificadas ... 563
8.3.2.9 Cálculo de bases compuestas ... 563
8.3.2.10. Empotramiento por prolongación del fuste ... 563
8.4. Apoyos de puentes ... 573
8.4.1. Aparatos de apoyos clásicos ... 575
8.4.1.1. Placas simples de apoyo ... 575
8.4.1.2. Apoyo móvil con placas deslizantes ... 575
8.4.1.3. Apoyo fijo por bulón o charnela ... 576
8.4.1.4. Rótulas esféricas ... 576
8.4.1.5. Rótula cilíndrica ... 581
8.4.1.6 Apoyo de rodillos ... 585
8.5. Apoyos elastoméricos ... 589
8.5.1. Constitución del elemento de apoyo ... 591

8.5.2. Materiales 591
8.5.3. Dimensionamiento 593
8.5.3.1. Apoyos armados 593
8.5.3.2. Apoyos no armados 598
8.5.4. Reacción horizontal sobre las pilas o cimentaciones 598
Apéndice. Norma Básica MV-103. Capítulo IX. Aparatos de apoyo 599

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. Cálculos 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: Longitudes de vástago, de apretadura y peso de los tornillos

Apéndice II: Resistencia de vigas con despalmillado de una o dos alas

Apéndice III: Cubrejuntas normalizados para uniones y empalmes

6. UNIONES ROBLONADAS Y ATORNILLADAS

6.1. ELEMENTOS DE UNION

La realización de las uniones de las piezas o barras de una estructura metálica es uno de los problemas fundamentales de la construcción metálica, que debe ser estudiado con particular atención por el proyectista, para no correr el riesgo de que la estructura real construida, difiera esencialmente de la estructura teórica calculada. Es preciso tener en cuenta, además, que el comportamiento de las uniones es más complejo que el de las barras que unen. En las uniones tienen gran importancia los efectos locales que pueden invalidar las hipótesis básicas del cálculo. Muchas de ellas poseen un alto grado de indeterminación y la distribución de tensiones depende en gran parte de la propia deformación de los elementos que la constituyen, y con ello se introduce un considerable factor de inexactitud. Por estas razones un cálculo teóricamente riguroso de las uniones es siempre difícil y a menudo imposible.

Por consiguiente, el dimensionado de las uniones debe basarse en gran parte en consideraciones empíricas, en el sentido más honorable de la palabra. De hecho, los métodos prácticos se basan en gran parte en una seria interpretación de la experiencia y de ensayos correctamente realizados.

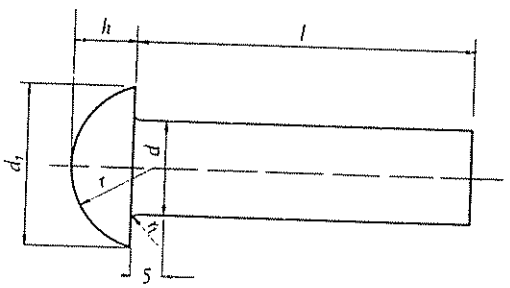
En su mayor parte, las uniones se realizan por medio de roblones, tornillos y soldadura. Estos son los procedimientos que contempla la Norma Básica MV-103 y a los que nos referimos en este Prontuario. Las uniones con bulones tienen un campo de aplicación más limitado y las uniones por medio de adhesivos no han pasado de una fase más o menos experimental, que no aconseja por el momento su inclusión en el Prontuario. Tampoco se han incluido las uniones realizadas con remaches engastados en frío, escasamente difundidos en nuestro país.

En este capítulo se recogen las uniones realizadas por medio de roblones, tornillos ordinarios, tornillos calibrados y tornillos de alta resistencia, dejando para el siguiente capítulo las uniones soldadas.

El proyectista debe tener en cuenta la evolución de los medios de unión y a este respecto se señala que hoy día prácticamente no se utilizan en nuestro país los roblones (en otros países europeos su empleo ha quedado reducido exclusivamente a las estructuras en celosía y su tendencia es igualmente regresiva), los tornillos calibrados y los tornillos de alta resistencia en acero 8.8. En consecuencia, salvo que la obra requiera otros medios de unión, se recomienda utilizar tornillos ordinarios en acero 4.6 y tornillos de alta resistencia en acero 10.9.

Roblones de cabeza esférica. Dimensiones.

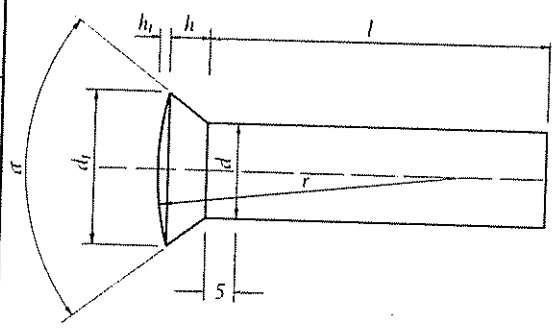
Roblón tipo	Diámetro de la caña d mm	Diámetro de la cabeza d_1 mm	Altura de la cabeza h mm	Radio de la esfera r mm	Radio del acuerdo r_1 mm	Diámetro del agujero a mm
E 10	10	16	6,5	8	0,5	11
E 12	12	19	7,5	9,5	0,6	13
E 14	14	22	9	11	0,6	15
E 16	16	25	10	13	0,8	17
E 18	18	28	11,5	14,5	0,8	19
E 20	20	32	13	16,5	1	21
E 22	22	36	14	18,5	1	23
E 24	24	40	16	20,5	1,2	25
E 27	27	43	17	22	1,2	28
E 30	30	48	19	24,5	1,6	31
E 33	33	53	21	27	1,6	34
E 36	36	58	23	30	2	37



a

Roblones de cabeza bombeada. Dimensiones.

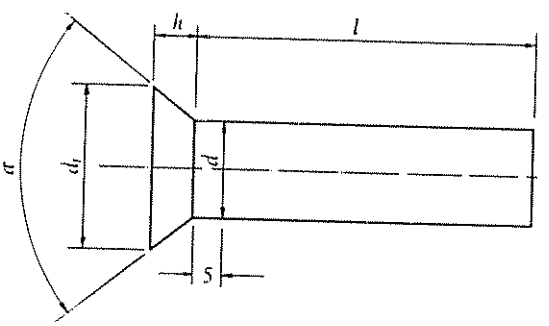
Roblón tipo	Diámetro de la caña d mm	Angulo del cono α grados	Diámetro de la cabeza d_1 mm	Altura de la cabeza h mm	Flecha de la cabeza h_1 mm	Radio de la esfera r mm	Diámetro del agujero a mm
B 10	10	75	14,5	3	1	27	11
B 12	12	75	18	4	1	41	13
B 14	14	75	21,5	5	1	58	15
B 16	16	75	26	6,5	1	85	17
B 18	18	75	30	8	1	113	19
B 20	20	60	31,5	10	1	125	21
B 22	22	60	34,5	11	2	76	23
B 24	24	60	38	12	2	91	25
B 27	27	60	42	13,5	2	111	28
B 30	30	45	42,5	15	2	114	31
B 33	33	45	46,5	16,5	2	136	34
B 36	36	45	51	18	2	164	37



b

Roblones de cabeza plana. Dimensiones.

Roblón tipo	Diámetro de la caña d mm	Angulo del cono α grados	Diámetro de la cabeza d_1 mm	Altura de la cabeza h mm	Diámetro del agujero a mm
P 10	10	75	14,5	3	11
P 12	12	75	18	4	13
P 14	14	75	21,5	5	15
P 16	16	75	26	6,5	17
P 18	18	75	30	8	19
P 20	20	60	31,5	10	21
P 22	22	60	34,5	11	23
P 24	24	60	38	12	25
P 27	27	60	42	13,5	28
P 30	30	45	42,5	15	31
P 33	33	45	46,5	16,5	34
P 36	36	45	51	18	37



c

[6.1]

6.1 1. **Roblones.**

Los roblones utilizados en la construcción metálica están normalizados en la Norma MV-105, y pueden distinguirse tres tipos según la forma de la cabeza: roblones de cabeza esférica, de cabeza bombeada y de cabeza plana. De ellos se recomienda el uso general de los de cabeza esférica, que deben considerarse como los roblones normales, utilizándose los de cabeza bombeada o plana solo en casos excepcionales, cuando la cabeza esférica del roblón normal pudiera impedir el ajuste debido entre los elementos de la estructura.

Las normas de construcción permiten hoy día únicamente la colocación y cierre de las cabezas de los roblones por medios mecánicos, dado que el método manual no ofrece garantías suficientes.

6.1 1 1. *Dimensiones de los roblones.*

En [6 1] se transcriben las tablas correspondientes de la Norma MV-105, en las que figuran las dimensiones de los roblones en sus tres variedades.

La longitud recomendada de la espiga del roblón en bruto es: $l = \frac{4d}{3} + \Sigma e$

Σe = Suma de espesores de los elementos que forman la unión.

6.1 1 2. *Acero de los roblones.*

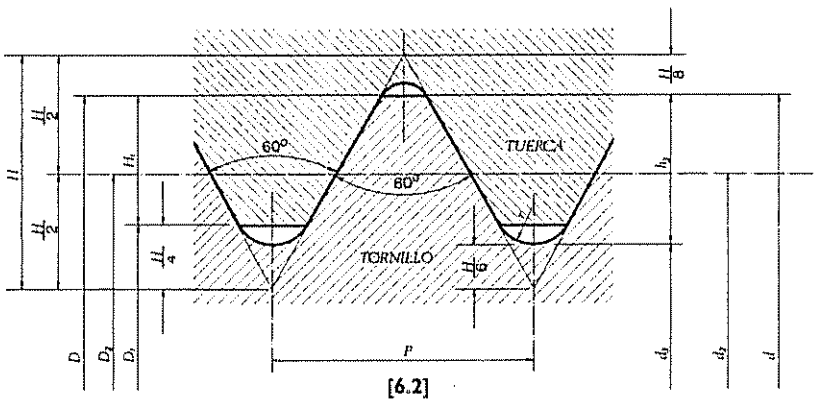
A continuación se resumen las características del acero empleado en la fabricación de los roblones, que figuran en la nueva propuesta de Norma MV-105.

Clase de acero	Resistencia a tracción R kg/mm²	Alargamiento de rotura δ mín	Resistencia a cortadura τ_R kg/mm²
A 37b	37 a 47	26	27,5 a 38,5

6.1 2. **Tornillos ordinarios y calibrados.**

Los tornillos ordinarios y calibrados están normalizados en la Norma MV-106-1968. Parece, pues, lógico que se sigan los preceptos allí contenidos. Sin embargo, desde la

uniones roblonadas y atornilladas

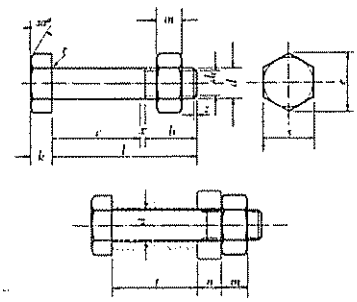


[6.2]

Tornillos ordinarios. Dimensiones.

Tornillo Tipo	Vástago					Cabeza				Diámetro del agujero	Area neta del núcleo	Area resistente
	Diámetro de la caña	Diámetro interior	Longitud roscada	Longitud de la salida	Longitud del chaflán	Espesor	Medida entre caras	Medida entre aristas	Radio del acuerdo			
	d mm	d_1 mm	*b* mm	*x* mm	*z* mm	*k* mm	*s* mm	*e* mm	*r* mm	*a* mm	*An* cm²	*Ar* cm²
T 10	10	8,160	17,5	2,5	1,7	7	17	19,6	0,5	11	0,523	0,580
T 12	12	9,853	19,5	2,5	2	8	19	21,9	1	13	0,762	0,843
T 16	16	13,546	23	3	2,5	10	24	27,7	1	17	1,44	1,57
T 20	20	16,933	25	4	3	13	30	34,6	1	21	2,25	2,75
(T 22)	22	18,933	28	4	3,3	14	32	36,9	1	23	2,82	3,03
T 24	24	20,319	29,5	4,5	4	15	36	41,6	1	25	3,24	3,53
(T 27)	27	23,319	32,5	4,5	4	17	41	47,3	1	28	4,27	4,56
T 30	30	25,706	35	5	5	19	46	53,1	1	31	5,19	5,61
(T 33)	33	28,706	38	5	5	21	50	57,7	1	34	6,47	6,94
T 36	36	31,093	40	6	6	23	55	63,5	1	37	7,59	8,17

TORNILLOS ORDINARIOS



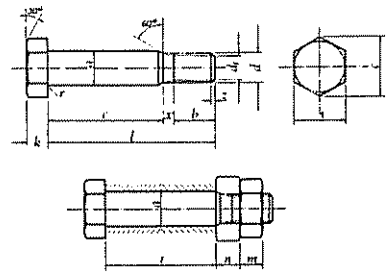
a

Se recomienda no utilizar los tornillos cuyo tipo figura entre paréntesis.

Tornillos calibrados. Dimensiones.

Tornillo calibrado Tipo	Vástago					Cabeza				Area neta del núcleo	Area resistente
	Diámetro de la caña y del agujero	Diámetro exterior de la rosca	Diámetro interior de la rosca	Longitud roscada	Longitud de la salida	Espesor	Medida entre caras	Medida entre aristas	Radio del acuerdo		
	a mm	*d* mm	d_1 mm	*b* mm	*x* mm	*k* mm	*s* mm	*e* mm	*r* mm	*An* cm²	*Ar* cm²
TC 10	11	10	8,160	17,5	2,5	7	17	19,6	0,5	0,523	0,580
TC 12	13	12	9,853	19,5	2,5	8	19	21,9	1	0,762	0,843
TC 16	17	16	13,546	23	3	10	24	27,7	1	1,44	1,57
TC 20	21	20	16,933	26	4	13	30	34,5	1	2,25	2,45
TC 22	23	22	18,933	28	4	14	32	36,9	1	2,82	3,03
TC 24	25	24	20,319	29,5	4,5	15	36	41,6	1	3,24	3,53
TC 27	28	27	23,319	32,5	4,5	17	41	47,3	1	4,27	4,59
TC 30	31	30	25,706	35	5	19	46	53,1	1	5,19	5,61
TC 33	34	33	28,706	38	5	21	50	57,7	1	6,47	6,94
TC 36	39	36	31,093	40	6	23	55	63,5	1	7,59	8,17

TORNILLOS CALIBRADOS



b

[6.3]

elaboración de dicha Norma se han producido cambios importantes en estos tipos de tornillos como consecuencia de la redacción de una Norma ISO y la adaptación progresiva a la misma de diversas normas nacionales, entre las que se incluyen las Normas DIN, etc. Por lo que se refiere a tornillos ordinarios y calibrados se ha estimado conveniente el adaptarse a la normativa internacional, paralela a la NBE-106 (MV) del antiguo Ministerio de la Vivienda.

Se estima que queda suficientemente justificado el porqué este Prontuario se aparta de lo preceptuado en las vigentes Normas del antiguo Ministerio de la Vivienda.

La distinción entre tornillos ordinarios y calibrados está basada en sus características geométricas, y, sobre todo, en su colocación. En los ordinarios existe un huelgo de hasta de 1 mm entre el diámetro de la caña y el diámetro del agujero, mientras que en los calibrados coincide el diámetro de la caña con el del agujero. Son, por tanto, tornillos ajustados y se emplean generalmente en la constitución de nudos rígidos. Su uso en la actualidad ha sido desplazado por el de los tornillos de alta resistencia, trabajando a fricción, que presentan sobre ellos ventajas técnicas y económicas.

6.1.2.1. *Dimensiones de los tornillos.*

En [6.2] y [6.3] se recogen las dimensiones de los tornillos ordinarios y calibrados, siendo:

$$A_n = \frac{\pi d_3^2}{4} \qquad A_r = \left(\frac{d_3 + d_2}{2}\right)^2 \frac{\pi}{4}$$

el área de la sección neta del núcleo y el área resistente de la rosca.

Las longitudes usuales con que se suministra cada tipo de tornillo y las longitudes de caña c, correspondientes figuran en el Apéndice I de este capítulo.

6.1.2.2. *Acero de los tornillos.*

En [6.4] se resumen las características de los aceros utilizados en tornillos ordinarios y calibrados.

Tipo de acero de los tornillos.

Tornillos y sus tuercas	Tipo de acero de productos a unir	Tipo de acero de los tornillos	Resistencia a tracción σ_R kg/mm²		Límite de fluencia σ_F kg/mm²	Alargamiento de rotura δ_R %	Dureza Brinell kg/mm²	
			mín	máx	mín	mín	mín	máx
Ordinarios	A 37 A 42	A 4.6	40	50	24	25	110	170
Calibrados	A 37 A 42 A 52	A 5.6	50	70	30	20	145	215

El número que designa el acero es indicativo de su resistencia a tracción.
La cifra de dureza Brinell es solamente orientativa.

[6.4]

6.1 3. **Tornillos de alta resistencia (TR).**

Este medio de unión se caracteriza por la utilización de tornillos de acero de elevada resistencia a tracción, los cuales se aprietan tan fuertemente que el esfuerzo de apretura que se origina en las superficies de contacto de las piezas que se unen está en condiciones de hacer que los esfuerzos perpendiculares al eje del tornillo puedan transmitirse solamente por rozamiento. Este sistema requiere un método de cálculo especial que difiere de los métodos habituales.

Los tornillos de alta resistencia utilizados en construcción metálica están normalizados en la MV-107-1968. Siguiendo la misma justificación que la recogida en el apartado 6.1 2 nos vamos a referir en las especificaciones de este tipo de tornillos a la moderna normativa internacional, a la que se adaptará en un futuro próximo la Norma MV-107.

6.1 3 1. *Dimensiones de los tornillos TR.*

Las dimensiones correspondientes a cada tipo de tornillo se recogen en [6.5].

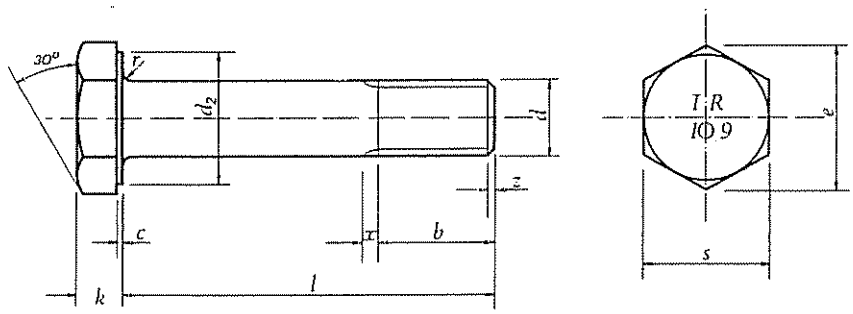
6.1 3 2. *Acero de los tornillos TR.*

En [6.6] se indican las características mecánicas del acero utilizado en la fabricación de tornillos de alta resistencia.

6.1 4. **Tuercas.**

Las calidades de las tuercas, de acuerdo con la Norma DIN 267, se designan con el número que representa el 1/10 de la tensión de prueba. Esta tensión de prueba es igual a la resistencia a la tracción mínima de un tornillo que al acoplarse con la tuerca correspondiente puede ser cargado hasta el límite de alargamiento mínimo del tornillo.

Cifra característica de la clase de resistencia	5	10
Tensión de prueba k/mm²	50	100



Tornillos de alta resistencia. Dimensiones en milímetros.

Tipo de tornillo	Diámetro de la caña d	Longitud roscada b en función de la longitud total l				Longitud de la salida x	Espesor k	Medida entre caras s	Medida entre aristas $e \simeq$	Diámetro exterior de la base de la cabeza d_2 mín	Radio del acuerdo r	Diámetro del agujero a
		l	b	l	b							
TR 12	12	⩽ 40	21	⩾ 45	23	2,5	8	22	25,4	20	1,6	13 - 14
TR 16	16	⩽ 70	26	⩾ 75	28	3	10	27	31,2	25	1,6	17 - 18
TR 20	20	⩽ 85	31	⩾ 90	33	4	13	32	36,9	30	2	21 - 22
TR 22	22	⩽ 85	32	⩾ 90	34	4	14	36	41,6	34	2	23 - 24
TR 24	24	⩽ 85	34	⩾ 90	37	4,5	15	41	47,3	39	2	25 - 26
TR 27	27	⩽ 95	37	⩾ 100	39	4,5	17	46	53,1	43,5	2,5	28 - 29

[6.5]

Aceros para tornillos y tuercas de alta resistencia. Características mecánicas.

Tipo del acero	Resistencia a tracción σ_R kg/mm²		Límite elástico convencional σ_F kg/mm² mín	Alargamiento de rotura δ_R % mín	Resiliencia a 20° C ρ kg · m/cm² mín	Dureza Brinell	Utilización
	mín	máx					
A 10.9	100	120	90	9	4	295 a 350	Solo tornillos

El número que designa el acero es indicativo de su mínima resistencia a tracción.
La cifra de dureza Brinell es solamente orientativa.

[6.6]

Pueden, en general, emplearse tuercas de clases de resistencia más altas en lugar de tuercas de clases de resistencia más baja.

En el cuadro siguiente se fijan la correspondencia entre calidades de tornillos y tuercas.

Clase de resistencia

Tornillo	Tuerca
4.6	5
5.6	5
10.9	10

6.1 5. Disposiciones de la Norma Básica MV-103 sobre los elementos de unión.

Transcribimos a continuación los artículos correspondientes de la citada Norma:

7.2. LOS ELEMENTOS DE UNION.

7.2.1. Los roblones que se utilicen en las estructuras se ajustarán en todas sus características a las prescripciones de la Norma MV-105.

Los roblones con cabeza bombeada o plana solo se podrán utilizar en casos excepcionales, en los que la cabeza saliente del roblón normal o esférico pudiera impedir el ajuste debido entre los elementos de la estructura.

7.2.2. El diámetro nominal del roblón es el de su espiga (caña) en frío, antes de colocar.

El diámetro del agujero será 1 mm mayor que el nominal del roblón.

7.2.3. La longitud de la espiga del roblón deberá elegirse de forma que, al ser colocado, se rellene completamente el agujero y se pueda formar la cabeza de cierre con sus dimensiones debidas. Se recomienda que la longitud de la espiga del roblón en bruto sea:

$$l = \frac{4d}{3} + \Sigma e$$

para los roblones colocados por medios mecánicos, únicos permitidos en esta norma, siendo:

d El diámetro nominal del roblón.

Σe La suma de espesores de los elementos que forman la unión.

7.2.4. *Los tornillos ordinarios y calibrados con sus tuercas y arandelas se ajustarán en todas sus características a lo previsto en la Norma MV-106.*

7.2.5. *El diámetro nominal de un tornillo ordinario es el de su espiga (caña).*

El diámetro del agujero será 1 mm mayor que el de la espiga.

Los tornillos calibrados se designarán por los mismos diámetros nominales que los tornillos ordinarios; el diámetro de la espiga coincide con el del agujero, con las tolerancias prescritas en la Norma MV-104.

7.2.6. *Los tornillos de alta resistencia, con sus tuercas y arandelas, se ajustarán a las prescripciones de la Norma MV-107.*

7.2.7. *El diámetro nominal de un tornillo de alta resistencia es el de su espiga (caña)* [1].

El diámetro del agujero será 1 mm o a lo sumo 2 mm mayor que el de la espiga.

7.2.8. *Los tornillos de alta resistencia deberán apretarse hasta conseguir en su espiga una tensión igual, como mínimo, al 80 % de su límite de fluencia.*

El momento torsor a aplicar se determinará mediante la expresión:

$$M_a = K \cdot d \cdot N_o$$

siendo:

K *Coeficiente que, para los tornillos en estado de suministro (ligeramente engrasados), vale aproximadamente 0,18.*

d *Diámetro nominal del tornillo.*

N_o *Esfuerzo axil de pretensado que ha de conseguirse en la espiga del tornillo.*

[1] Recomendación Europea para las construcciones metálicas del C. E. C. M (primera edición 1975) es menos estricta en cuanto a los diámetros de los agujeros.

En tornillos ordinarios dice: El diámetro del agujero será 2 mm mayor que el de la espiga (hasta tornillos ø 24) y de 3 mm para tornillos de mayor diámetro.

En tornillos pretensados trabajando en uniones por rozamiento el aumento de diámetro del agujero es de 2 mm, excepto en los ajustados, que es de 0,3 mm. Para los tornillos pretensados trabajando a cortadura los valores son los mismos que para los tornillos ordinarios.

En la tabla se indican los valores del momento torsor de apretadura M_a *(para* $K = 0{,}18$*)*

Diámetro nominal del tornillo — mm	Momento de apretadura (m × kg)	
	A 10 *t*	A 8 *t*
TR 12	11,9	8,4
TR 16	29,8	21,2
TR 20	58,4	41,5
TR 22	80,7	57,0
TR 24	101	71,7
TR 27	149	106

A fin de garantizar los valores reales de los momentos torsores indicados en la tabla, se recomienda aplicar con la llave dinamométrica un momento superior en un 10 %, aproximadamente, al valor correspondiente de la tabla.

6.1 6. Disposiciones constructivas según la Norma Básica MV-103.

Reproducimos el artículo 7.3 de la citada Norma:

7.3. *DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.*

7.3.1. *Las distancias* t *entre los centros de agujeros de diámetro* a*, que unan piezas, cuyo espesor mínimo es* e*, cumplirán las condiciones siguientes (figura 7.1)* [1]:

Valor mínimo: para roblones $s \geqslant 3a$

para tornillos $s \geqslant 3{,}5a$

Valor máximo: en general $s \leqslant 8a$; $s \leqslant 15e$

en uniones de atado de piezas a tracción $s \leqslant 15a$; $s \leqslant 25e$

En barras de gran anchura, con más de dos filas paralelas de roblones o tornillos en la dirección del esfuerzo, en las filas interiores, el valor máximo de la distancia s' *en esta dirección puede ser doble del indicado*

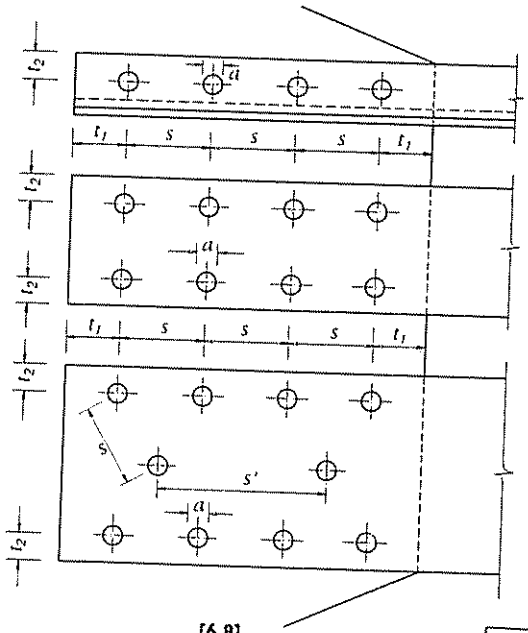
Las distancias t *entre los centros de los agujeros y los bordes cumplirán las condiciones siguientes:*

Valor mínimo: al borde frontal $t_1 \geqslant 2a$

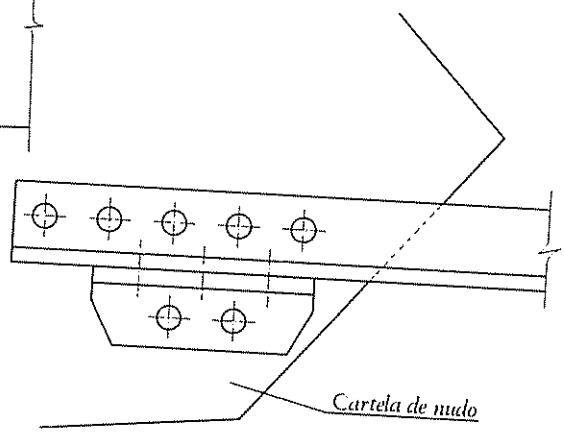
al borde lateral $t_2 \geqslant 1.5a$

Valor máximo: a cualquier borde $t \leqslant 3a$; $t \leqslant 6e$

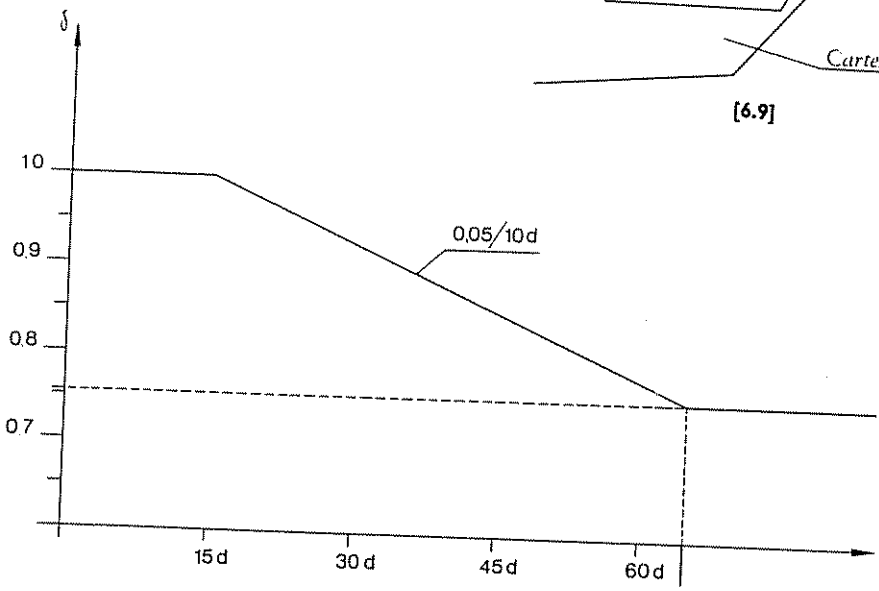
[1] Se representan en [6.8].


t_2
a
t_1
s
s
s
t_1
t_2
a
t_1
s
s
s
t_1
t_2
s
s'
a
t_2

[6.8]


Cartela de nudo

[6.9]


δ
1.0
0.9
0.8
0.7
0,05/10d
15d
30d
45d
60d
65d

[6.10]

7.3.2. *A título de orientación se recomienda la siguiente regla para la elección de los diámetros de los roblones o tornillos:*

$$d \simeq \sqrt{5e} - 0{,}2$$

siendo:

e *El menor espesor, en centímetros, de las piezas que forman la unión;*

d *El diámetro, en centímetros, de la espiga del roblón o tornillo.*

7.3.3. *La suma de espesores de las piezas unidas no excederá, para los roblones o tornillos ordinarios de* $4{,}5d$, *siendo* d *el diámetro del tornillo.*

Con tornillos calibrados, la suma de espesores de las piezas unidas podrá alcanzar el valor $6{,}5d$.

No existe ninguna limitación especial en el caso de uniones con tornillos de alta resistencia.

7.3.4. *En las estructuras roblonadas o atornilladas, todas las uniones de fuerza deben constar de un mínimo de dos roblones o tornillos.*

Se exceptúan de esta prescripción las barras formadas por un solo angular en las celosías ligeras y los elementos secundarios cuya misión sea únicamente de arriostramiento.

7.3.5. *No se considerará la colaboración simultánea de más de cinco roblones o tornillos en una misma fila paralela a la dirección del esfuerzo axil de la pieza, a menos que se adopten medidas constructivas especiales, que deben justificarse debidamente en el anejo de cálculo, indicando el reparto del esfuerzo resultante en los roblones o tornillos.*

El cumplimiento de la regla anterior puede llevar a la necesidad de disponer casquillos de angular en los extremos de la barra; la unión de estos casquillos a la barra se efectuará con el 150 % de los roblones, o tornillos, que serían teóricamente necesarios para transmitir la parte de esfuerzo correspondiente a los roblones o tornillos de unión del casquillo a la cartela [1] *(figura 7.2a)* [2].

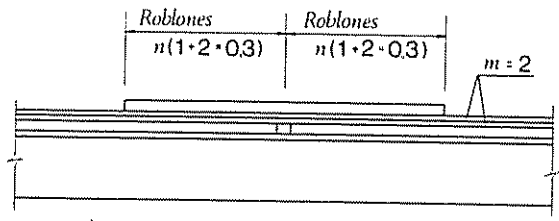
[1] La ya citada Recomendación Europea 1975, es menos exigente a este respecto, y distingue, como parece lógico, el caso en que se trata de esfuerzos distribuidos, para los cuales la limitación anterior no se justifica plenamente. Dice en su apartado R 81.05:

Longitud de la unión atornillada:

Cuando la distancia entre el primer y último tornillo no es mayor de $15d$, puede adoptarse como resistencia de la unión la suma de la resistencia de cada tornillo. Pero cuando dicha distancia es mayor de $15d$, la resistencia total es una fracción δ de la suma de las resistencias individuales [6.10].

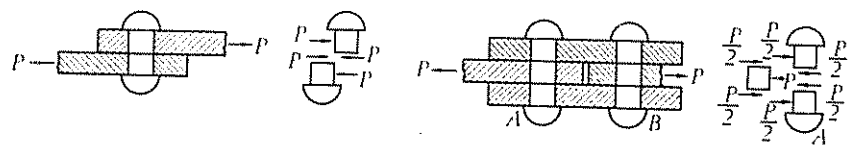
Obviamente no se aplicará esta limitación cuando las fuerzas estén uniformemente distribuidas sobre todos los tornillos en toda la longitud de la unión, por ejemplo, en el caso de transmisión de esfuerzos cortantes del alma al ala, o del alma a los rigidizadores en los apoyos de una viga armada.

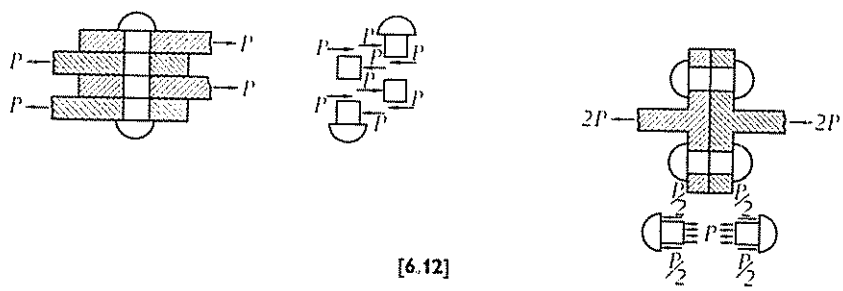
[2] Se representa en [6.9].



n = Número teorico de roblones

[6.11]





[6.12]

7.3.6. Cuando un cubrejuntas no esté colocado directamente sobre la pieza a la que sirve, existiendo entre ambos forros u otros elementos (figura 7.2b) [1] *el número de roblones que sería necesario disponer, en el caso de contacto directo, se multiplicará por el factor:*

$$1 + 0{,}3\,m$$

siendo:

m *el número de elementos intermedios.*

6.2. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DE UNION

Las uniones roblonadas y atornilladas pueden clasificarse según la forma en que las cargas son transmitidas por los roblones y tornillos. Si la carga se transmite por contacto entre la chapa y la caña, se origina un esfuerzo cortante en el roblón o tornillo y se dice que éste trabaja a cortadura.

Si la carga se transmite por contacto entre la chapa o perfil y la cabeza del elemento de unión, se somete a éste a tracción. Es el caso de un roblón o tornillo a tracción.

El caso más normal es el de roblones o tornillos trabajando a cortadura. Si el esfuerzo cortante se transmite por solo una sección del elemento de unión, éste está sometido a simple cortadura. Si las secciones, del roblón o del tornillo, que intervienen son dos, se presenta la doble cortadura, pudiéndose ocasionalmente darse el caso de roblones o tornillos trabajando a cortadura múltiple. En [6.12] se representan ejemplos.

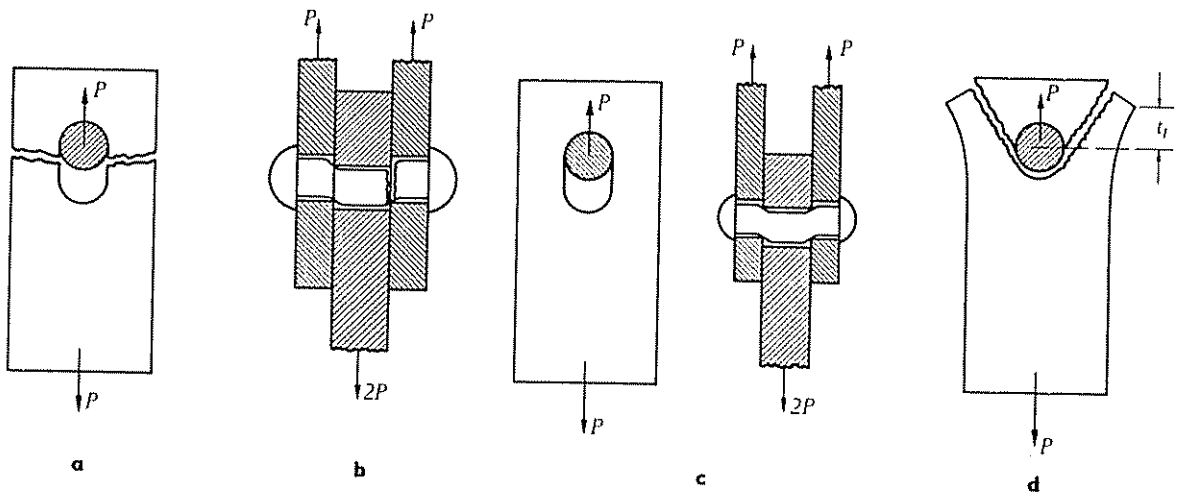
En el caso de los tornillos de alta resistencia pretensados [2], las fuerzas normales a su eje son contrarrestadas por el rozamiento entre las chapas, pero no someten el tornillo a esfuerzos adicionales. El valor límite de la fuerza exterior será el correspondiente a la iniciación del deslizamiento entre chapas.

Las fuerzas, según el eje de un tornillo de alta resistencia, son contrarrestadas, parte, por un incremento de tracción en el tornillo, y parte, por una descompresión de las chapas unidas. Le son, por tanto, aplicables todas las consideraciones que más adelante se recogen para los roblones trabajando a tracción.

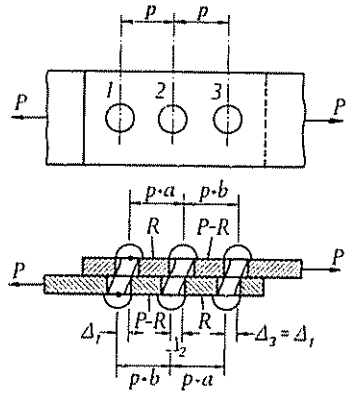
---

[1] Se representa en [6.11].

[2] Aunque la norma MV-103 solo considera el caso de tornillos pretensados o en uniones a fricción, otras normas también consideran el caso de tornillos TR pretensados trabajando a cortadura. Ver 6.3.2.


P
P
2P
P
P
P
P
P
2P
P
P
P
t_1
P
a
b
c
d

[6.13]


p
p
1
2
3
P
P
p·a
p·b
R
P-R
P
P
P-R
R
Δ_1
Δ_2
$\Delta_3 = \Delta_1$
p·b
p·a

[6.14]

6.2.1. Elementos de unión solicitados por una fuerza normal a su eje.

El fallo por rotura de una unión en que el esfuerzo sobre el roblón o tornillo (T o TC) es una fuerza normal a su eje, puede producirse:

— por rotura a tracción de la chapa [6.13a].

— por rotura a cortadura en una o más secciones del roblón o tornillo [6.13b].

— por presión entre las chapas y espiga (caña) que puede originar aplastamiento de la chapa, flexión de la espiga o ambos efectos conjuntamente [6.13c].

— por rotura a esfuerzo cortante, o sea, desgarro de la chapa, que generalmente se evita al tener en cuenta las distancias mínimas a los bordes y que, por tanto, no se tiene en cuenta en el cálculo [6.13d].

El cálculo de los roblones y tornillos está basado en la consideración de las que pudiéramos llamar tensiones nominales de agotamiento, a las que se les aplican coeficientes correctores, para tener en cuenta las divergencias entre las hipótesis teóricas y el comportamiento real de la unión.

Las tensiones nominales se refieren a los distintos tipos de rotura posible y son:

Tensión de tracción en la sección neta de la chapa:

$$\sigma^* = \frac{P^*}{A_n}$$

P^* Esfuerzo ponderado solicitante.

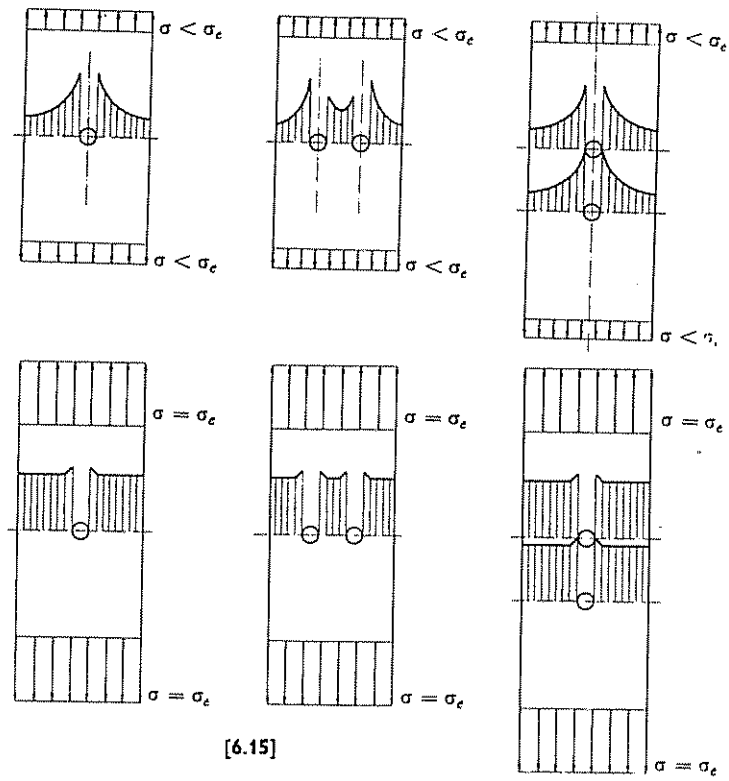
A_n Sección neta de la chapa.

Tensión cortante en el roblón o tornillo:

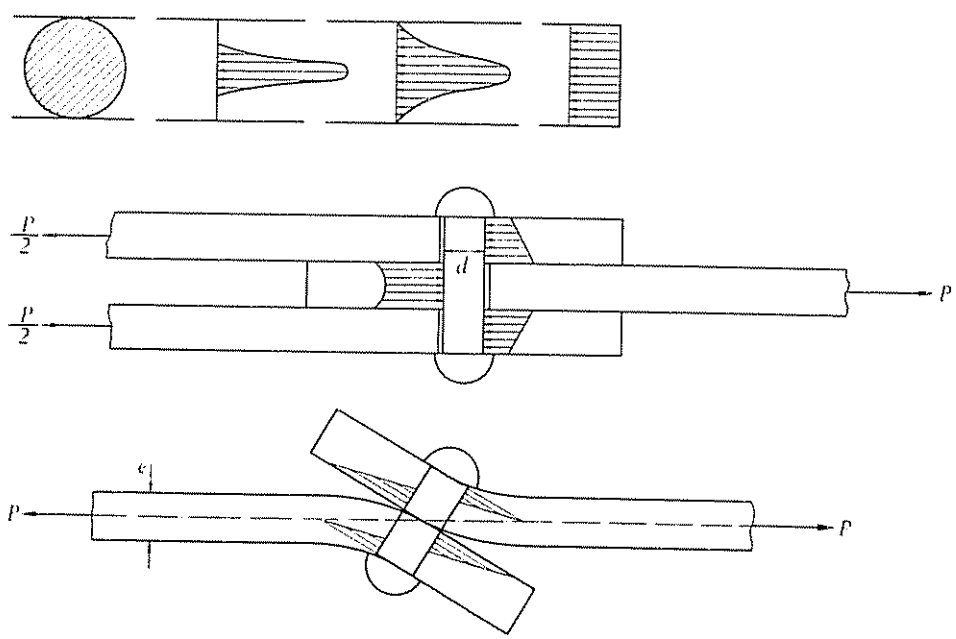
$$\tau^* = \frac{P^*}{A}$$

siendo:

A Area de la sección del agujero para el roblón o área de la sección de la caña para los tornillos.


$\sigma < \sigma_e$
$\sigma < \sigma_e$
$\sigma < \sigma_e$
$\sigma < \sigma_e$
$\sigma < \sigma_e$
$\sigma < \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$
$\sigma = \sigma_e$

[6.15]


$\frac{P}{2}$
$\frac{P}{2}$
d
P
e
P
P

[6.16]

Tensión de aplastamiento entre el elemento de unión y chapas:

$$\sigma^* = \frac{P^*}{A} \qquad A = e\,d$$

siendo:

d Diámetro del roblón o tornillo, y
e Espesor de la chapa o chapas que sufren la presión del roblón.

Las tensiones nominales anteriores difieren de las reales porque en su cálculo se han hecho las hipótesis simplificativas que enumeramos:

1.° Se desprecia la resistencia por rozamiento entre chapas en el caso de roblones.

2.° No se tiene en cuenta la deformación de las chapas, considerándolas como infinitamente rígidas [6.14]

3.° No se tiene en cuenta la flexión del roblón o tornillo [6.14].

4.° No se tiene en cuenta la concentración de tensiones en las inmediaciones del agujero [6.15].

5.° Se supone una distribución uniforme de las tensiones de aplastamiento [6.16]

6.° Se supone una distribución uniforme de las tensiones cortantes en la sección del roblón o tornillo [6.16].

El cálculo práctico que indica la Norma Básica MV-103, se realiza fijando unas disposiciones constructivas y unos coeficientes que afectan a las tensiones de agotamiento nominales.

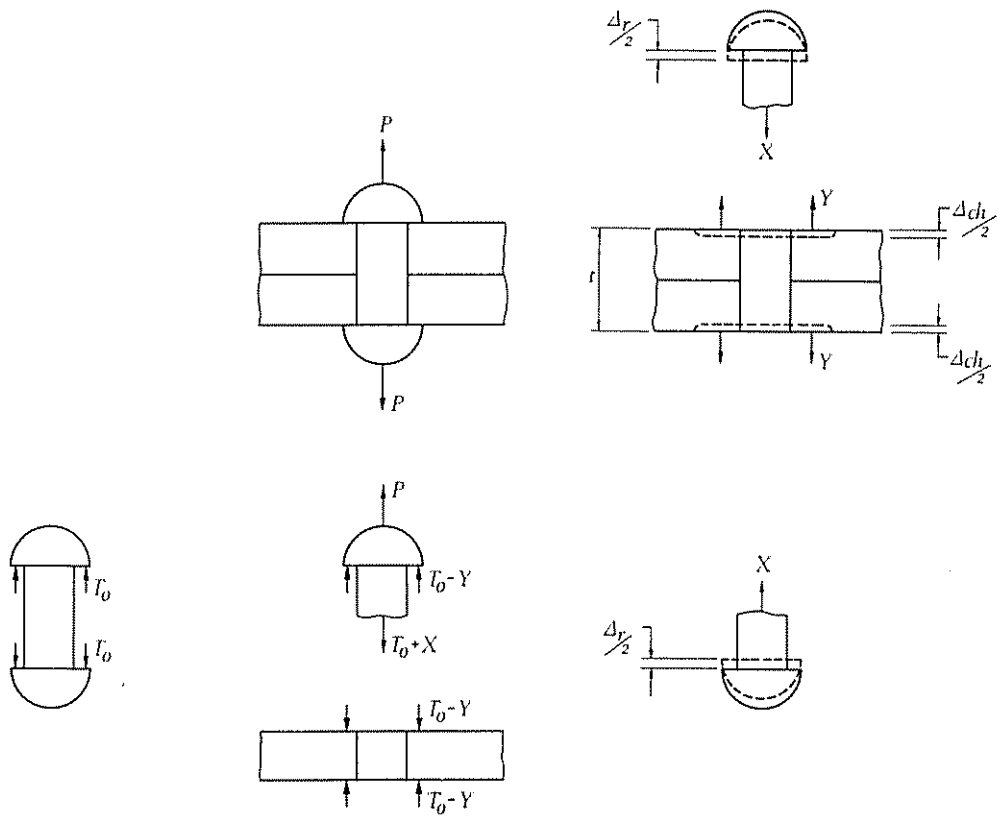
Ya hemos mencionado el sistema de trabajo de los tornillos de alta resistencia. Recordemos algunos conceptos para este tipo de solicitación. La fuerza de rozamiento, que ha de igualar la fuerza exterior normal al eje, se deduce a partir de la fuerza dirigida perpendicularmente a la superficie de rozamiento y del coeficiente de rozamiento μ, cuya magnitud depende del estado de las superficies de rozamiento. En este caso, la magnitud de los esfuerzos que se pueden transmitir depende:

— del valor del esfuerzo de tracción originado en la espiga del tornillo, por la apretadura.

— del coeficiente de rozamiento μ que se haya conseguido, al tratar las superficies de contacto. En la Norma Básica MV-103 se dan los valores adecuados de μ, que reproducimos en 6.3, según el tratamiento de las superficies y el tipo de acero de las piezas unidas.

La capacidad resistente de una unión con tornillos TR se basa en la carga límite de deslizamiento y no en la carga de rotura, como en los demás tipos de uniones.

Roblones



Solicitaciones provocadas por el enfriamiento

a

Solicitaciones sobre el roblón y la chapa al aplicar la fuerza exterior

b

Deformaciones

c

[6.17]

El fallo de una unión con tornillos TR se considera como el momento en que inicia el deslizamiento, y no los enumerados anteriormente para roblones y tornillos T y TC.

6.2.2. Elementos de unión solicitados por una fuerza de tracción según su eje.

6.2.2.1. *Roblones trabajando a tracción.*

Durante muchos años, no se ha admitido en las Normas que los roblones pudiesen trabajar a tracción, basándose en tres consideraciones principales: una, la poca fiabilidad de la transmisión del esfuerzo a través de las cabezas de los roblones cuando éstas se ejecutaban manualmente; en segundo lugar, la concentración de tensiones que se producen en la zona de unión de cabeza y espiga, y por último el hecho de que debido al enfriamiento del roblón, éste queda sometido a tracción y se consideraba, por tanto, que la tracción exterior incrementaría peligrosamente las tensiones en la caña del roblón.

Sin embargo, ha sido ampliamente demostrado experimentalmente la posibilidad de absorción de esfuerzos de tracción por los roblones; por una parte, por la garantía que ofrece el roblonado mecánico en la formación de la cabeza forjada «in situ», y por otra, como veremos a continuación, porque la tracción sobre el roblón afecta en muy pequeña proporción a las tensiones sobre el mismo y en mucha mayor proporción a la descompresión de las chapas unidas.

Consideremos en primer lugar el comportamiento «ideal» de un roblón a tracción [6.17]. Por efecto del enfriamiento, éste está sometido a una tracción inicial T_o si aplicamos un esfuerzo P de tracción sobre la cabeza, el roblón se alargará aumentando la tracción sobre su eje en una cantidad X, al mismo tiempo que la compresión inicial $C_o = T_o$, entre las chapas, disminuirá en una cantidad Y.

Si X es menor que T_o, las chapas permanecerán en contacto. En todo caso, el alargamiento del roblón debe ser igual a la dilatación de las chapas

$$\Delta_r = \frac{X\,t}{A_r\,E} \quad ; \quad X = \frac{A_r\,E}{t}\,\Delta_r = K_r\,\Delta_r$$

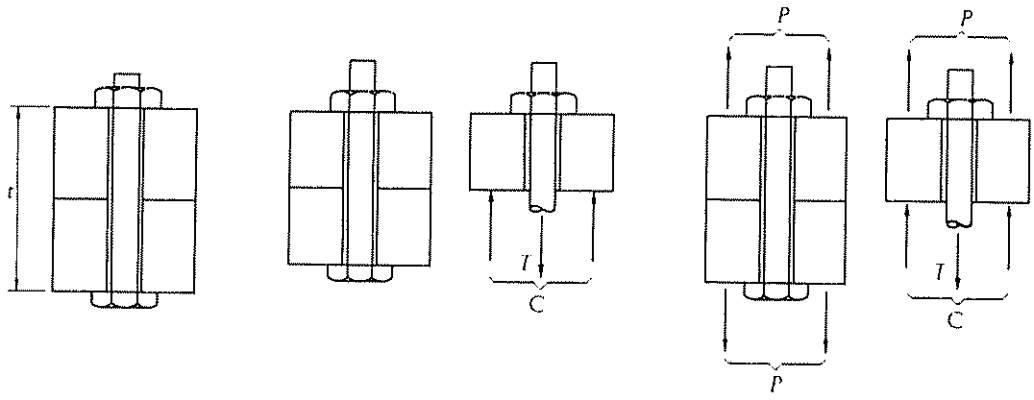
$$\Delta_{ch} = \frac{Y\,t}{A_{ch}\,E} \quad ; \quad Y = \frac{A_{ch}\,E}{t}\,\Delta_{ch} = K_{ch}\,\Delta_{ch}$$

siendo:

t Suma de los espesores de las chapas a unir.

A_r, A_{ch} Areas resistentes efectivas del roblón y de las chapas.

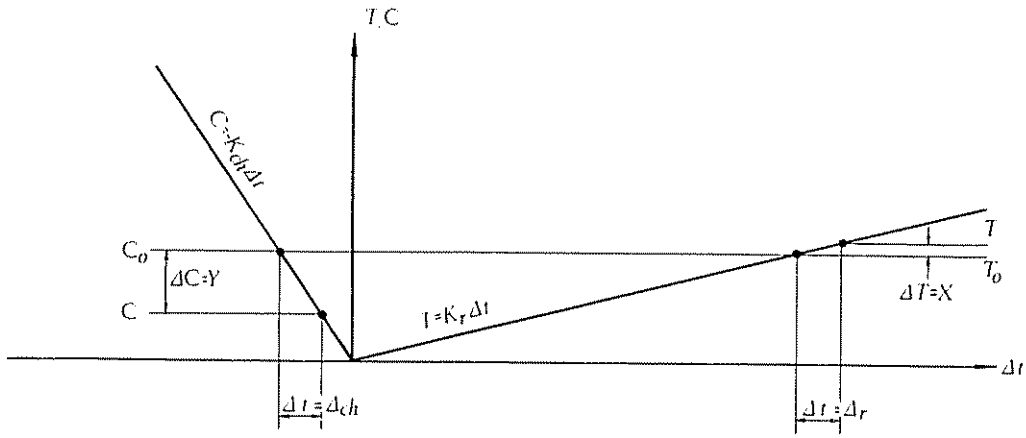
Tornillos TR



a — *Tornillo sin apretar*

c — *Tornillo pretensado*

b — *Tracción exterior*



[6.18]

De la ecuación de equilibrio del roblón ($X + Y = P$) y de la igualdad de deformaciones del roblón y de las chapas ($\Delta_r = \Delta_{ch}$), obtenemos los valores de:

$$X = \frac{P}{1 + \frac{A_{ch}}{A_r}}$$

$$Y = \frac{\frac{A_{ch}}{A_r} P}{1 + \frac{A_{ch}}{A_r}}$$

A_{ch} Magnitud indeterminada, pero prácticamente puede suponerse que $A_{ch}/A_r = 10$, y, por tanto, $X = \frac{P}{11}$, lo que indica que el aumento de tensión en el roblón es solo un 10 % de la carga aplicada. En [6 18] se expresa gráficamente el razonamiento anterior.

Si la tensión inicial en el roblón es superior al límite elástico, el valor efectivo de $A_r E$ es todavía menor y el valor de X disminuye, y, por tanto, el porcentaje de aumento en el roblón es más reducido.

Hemos supuesto que las chapas permanecían en contacto. Sin embargo, cuando P rebasa un cierto valor se transmitirá íntegramente al roblón.

Para puntualizar, consideremos el caso de $K_{ch} = 10\ K_r$ y, por tanto, $Y = 10\ X$.

$$T = T_o + X$$

$$C = C_o - Y = T_o - 10\ X$$

La separación se inicia cuando $C = 0$, o sea, cuando, $X = T_o/10$.

En este momento la tracción en el roblón es $T = 1.10\ T_o$.

La variación de la tensión en el roblón en función de la fuerza exterior, se indica en [6.19].

De todo ello se deduce una limitación del valor de P:

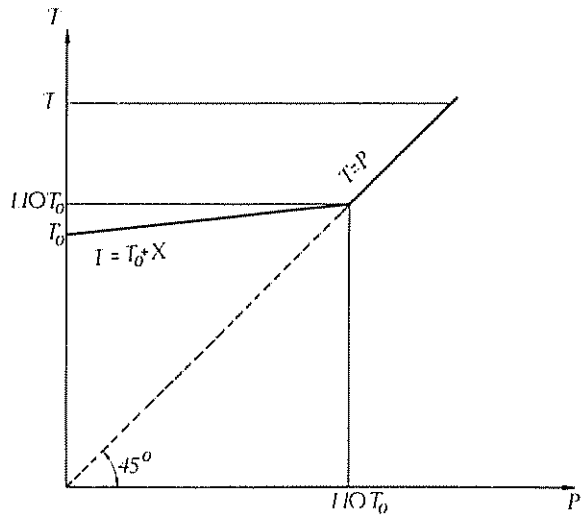
$$\frac{P}{A_r} \not> \sigma_e$$

siendo:

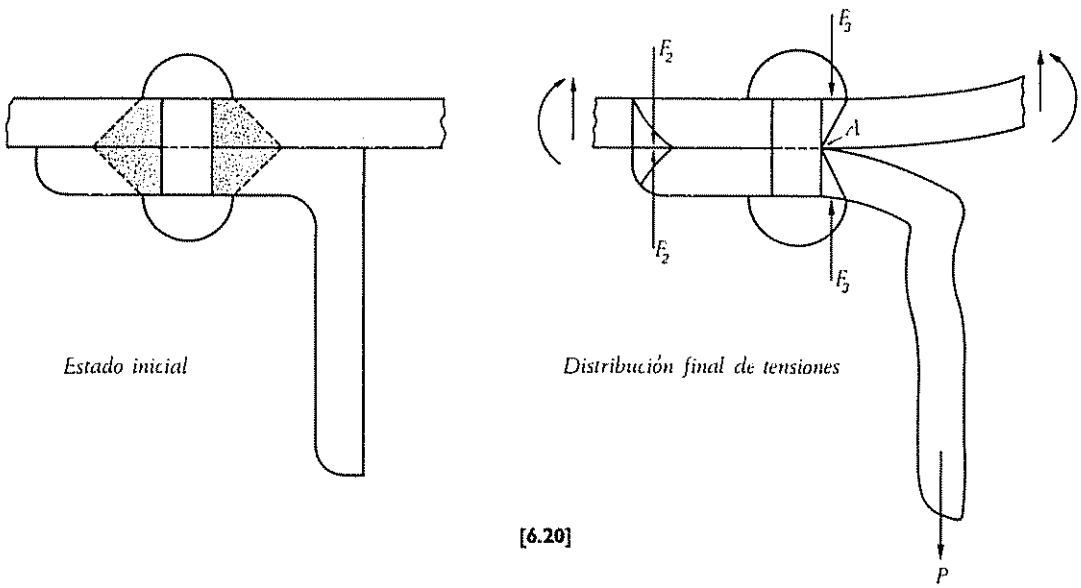
A_r Sección del roblón

σ_e Límite elástico del material del roblón.

En los casos reales, la tracción no se ejerce sobre la cabeza de los roblones, sino de alguna manera sobre las chapas unidas por ellos. En el caso [6 20], debido a la flexión de las chapas, las fuerzas F_2 y



[6.19]



Estado inicial

Distribución final de tensiones

[6.20]

F_3 no pueden anularse y, por tanto, no desaparece totalmente la compresión inicial de las chapas. Lo incipiente separación en A será menor que en el caso teórico, resultando que el incremento de esfuerzo X en el tornillo es también menor del supuesto y, por tanto, menor del 10 % de la tracción inicial.

6.2.2.2. *Tornillos trabajando a tracción.*

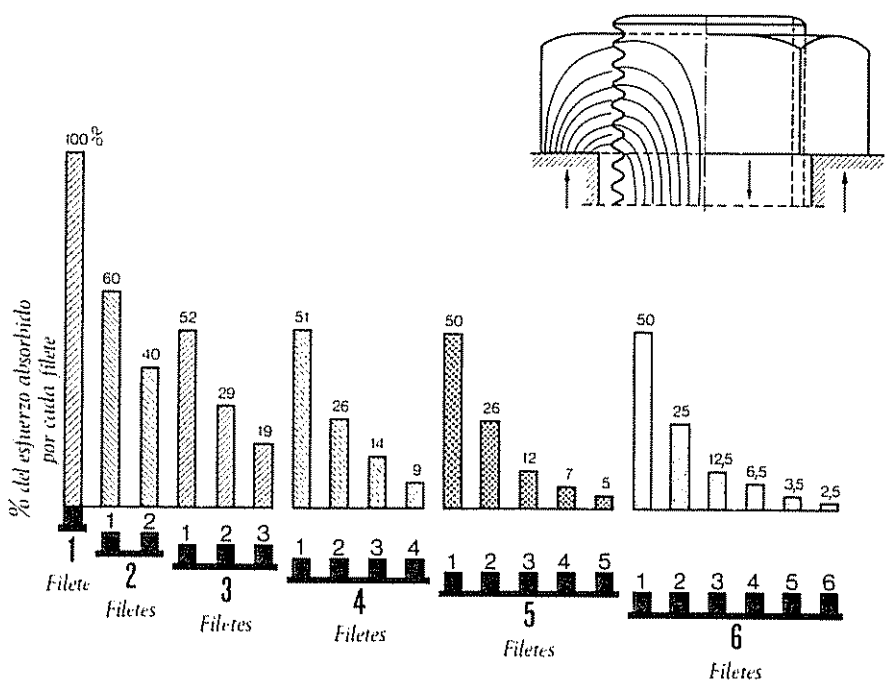
El hecho de que en las normas se fije una solicitación admisible de los tornillos T y TC superior a la de los roblones, se debe a su mejor conformación para trabajar a tracción y a que las dimensiones de los tornillos se ajustan más a las dimensiones teóricas de los mismos. Esta observación es cierta, ante todo, en lo que se refiere al redondeo del acuerdo entre cabeza y espiga del tornillo, para el cual se prevé un pequeño radio. Precisamente este acuerdo entre cabeza y espiga, que en los roblones depende del acabado de los bordes del agujero y de la calidad del trabajo de roblonado, es frecuentemente, debido a la punta de tensiones que en él se origina, el punto de partida del deterioro del roblón. Como se indica en [6.21], la transmisión del esfuerzo de la espiga del tornillo a la tuerca, se verifica distribuyéndose a lo largo de toda la longitud de la parte roscada en forma, en cierto modo, análoga a como se transmiten los esfuerzos mediante una fila de tornillos.

Las uniones con tornillos TR están especialmente destinadas a la transmisión de esfuerzos perpendiculares a la dirección del eje del tornillo, pero también resultan ventajosas cuando están solicitadas por esfuerzos de tracción en su dirección, especialmente porque estos tornillos no son susceptibles de aflojarse. Para el trabajo de los tornillos de alta resistencia a tracción, son válidas todas las consideraciones hechas en 6.2.2.1 para los roblones sometidos a tracción, ya que la mayor parte de ésta es absorbida, como en el caso de los roblones, por descompresión de la chapa. La Norma Básica MV-103 considera como solicitación de agotamiento el valor de N_0 del esfuerzo de pretensado.

6.3. VALORES DE LAS SOLICITACIONES DE AGOTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE UNION

6.3.1. Solicitaciones de agotamiento según la Norma Básica MV-103.

Todos los valores expresados en las tablas y ábacos del apartado 6.4, se han calculado siguiendo la Norma Básica MV-103, que transcribimos a continuación:


% del esfuerzo absorbido por cada filete
100 %
60
40
52
29
19
51
26
14
9
50
26
12
7
5
50
25
12,5
6,5
3,5
2,5
1 Filete
2 Filetes
3 Filetes
4 Filetes
5 Filetes
6 Filetes

[6.21]

7.5. *RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DE UNION*

7.5.1. *Se considera como solicitación de agotamiento de un perfil o chapa solicitado a aplastamiento contra la espiga de un roblón o tornillo a la dada por el producto:*

2 $\sigma_u A$, *para los tornillos ordinarios;*
2,5 $\sigma_u A$, *para los roblones y tornillos calibrados;*
3 $\sigma_u A$, *para los tornillos de alta resistencia, siendo:*

σ_u *Resistencia de cálculo del acero que forma la estructura,*
A *Area de la superficie de contacto definida en el apartado 7.5.2.*

7.5.2. *Como superficie de contacto entre espiga y chapa o perfil unido para la solicitación de aplastamiento, se tomará la que resulte de multiplicar el diámetro del agujero por el espesor del elemento que transmite o recibe el esfuerzo.*

7.5.3. *Se considerará como solicitación de agotamiento de un roblón solicitado a esfuerzo cortante, la dada por el producto:*

$$0{,}80\ \sigma_r n\ A$$

siendo:

σ_r *Resistencia de cálculo del roblón, que, de acuerdo con la norma MV-105, adoptará el valor* $\sigma_r = 2\,400\ kg/cm^2$.
n *Número de secciones transversales que resisten conjuntamente al esfuerzo cortante*
A *Area de la sección del agujero.*

7.5.4. *Cuando excepcionalmente y por razones constructivas un roblón esté solicitado a tracción, se considerará como solicitación de agotamiento la dada por el producto:*

$$0{,}25\ \sigma_r A$$

siendo:

σ_r *Resistencia de cálculo del roblón.*
A *Area de la sección del agujero.*

No obstante, deberán evitarse las uniones en las que los roblones estén solicitados a tracción.

7.5.5. *Cuando excepcionalmente un roblón esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, se comprobará que:*

$$\left(\frac{F^*_t}{R_t}\right)^2 + \left(\frac{F^*_c}{R_c}\right)^2 \leq 1$$

siendo:

F^*_t *Esfuerzo ponderado de tracción solicitante.*
$R_t = 0.25\ \sigma_r A$ *Solicitación de agotamiento a tracción*
F^*_c *Esfuerzo cortante ponderado solicitante.*
$R_c = 0.80\ n\sigma_r A$ *Solicitación de agotamiento a esfuerzo cortante.*

7.5.6. *Se considerará como solicitación de agotamiento de un tornillo solicitado a esfuerzo cortante, la dada por el producto:*

$0{,}65\ \sigma_t n\ A$ *Para los tornillos ordinarios.*

$0{,}80\ \sigma_t n\ A$ *Para los tornillos calibrados,*

siendo:

σ_t *Resistencia de cálculo del tornillo, que de acuerdo con la norma MV-106 adoptará los siguientes valores:*
Tornillo en acero 4D [1]: $\sigma_{tr} = 2\,400\ kg/cm^2$.
Tornillo en acero 5D [1]: $\sigma_{tr} = 3\,000\ kg/cm^2$.

n *Número de secciones transversales que resisten conjuntamente al esfuerzo cortante.*

A *Area de la sección de la espiga.*

7.5.7. *Se considerará como solicitación de agotamiento de un tornillo solicitado a tracción, la dada por el producto:*

$$0{,}80\ \sigma_t\ A_r$$

siendo:

σ_t *Resistencia de cálculo del tornillo, dada en 7.5.6.*

A_r *Area resistente del tornillo (norma MV-106).*

7.5.8. *Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, se comprobará que:*

a) El esfuerzo de tracción es inferior a la solicitación de agotamiento definida en 7.5.7.

b) En la espiga del tornillo se verifique:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 3\tau^{*2}} \leqslant \sigma_t$$

siendo:

σ^* *Tensión normal ponderada originada por el esfuerzo de tracción*

τ^* *Tensión tangencial ponderada originada por el esfuerzo cortante.*

σ_t *Resistencia de cálculo del tornillo dada en 7.5.6.*

7.5.9. *El esfuerzo axil de pretensado que actúa sobre la espiga de un tornillo de alta resistencia se tomará a efectos de cálculo igual a:*

$$N_o = 0{,}80\ \sigma_e\ A_n$$

[1] Designados, respectivamente, 10.9 y 8.8, según recomendaciones ISO

siendo:

σ_e *Límite elástico del material del tornillo.*
A_n *Area del núcleo del tornillo.*

El esfuerzo de pretensado para los tornillos tipificados en la Norma MV-107, vale:

Tornillo	N_o (*t*)	
	Acero A 10*t* (1)	Acero A 8*t* (1)
TR 12	5,5	3,9
TR 16	10.3	7,3
TR 20	16,2	11,5
TR 22	20,2	14,4
TR 24	23,3	16,6
TR 27	30,6	21,8

7.5.10. *Se considerará como solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia sometido a un esfuerzo perpendicular a su eje, la dada por el producto:*

$$1{,}07\ N_o \mu\ n$$

siendo:

N_o *Esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga.*
μ *Coeficiente de rozamiento entre las superficies de contacto.*
n *Número de secciones en contacto entre las chapas o perfiles que componen la unión.*

Como valor del coeficiente de rozamiento se tomará $\mu = 0{,}30$ para superficies que no hayan sufrido ningún tratamiento y para cualquier tipo de acero.

Como superficies preparadas, bien al chorro de arena o de granalla de acero, o bien con soplete, y observando todas las condiciones necesarias para el buen éxito de esta operación, podrá tomarse, como valores de coeficiente de rozamiento:

$\mu = 0{,}45$ *para aceros A 37.*
$\mu = 0{,}52$ *para aceros A 42.*
$\mu = 0{,}60$ *para aceros A 52.*

7.5.11. *Se considerará como solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia, sometido a un esfuerzo de tracción en la dirección de su eje, el valor N_o del esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga.*

(1) Designados, respectivamente, 4 6 y 5 6, según recomendaciones ISO

	MV-103	C. E. C. M.	
	Uniones por rozamiento	Uniones por rozamiento	Uniones sin rozamiento
Fuerza de pretensado N_o	$0{,}80\ \sigma_e\ A_n$	$0{,}80\ \sigma_e\ A_n$	$0{,}80\ \sigma_e\ A_n$
Coeficientes de rozamiento	A 37, $\mu = 0{,}45$ A 42, $\mu = 0{,}52$ A 52, $\mu = 0{,}60$	A 37, $\mu = 0{,}50$ A 44, $\mu = 0{,}50$ A 52, $\mu = 0{,}55$	— — —
Tensiones cortantes, T, (con superficies preparadas) TORNILLOS 10.9 $\sigma_e = 9\,000$ kg/cm²	$1{,}07 \times 0{,}80\ \mu\ \sigma_e$	$1{,}15 \times 0{,}90\ \mu\ \sigma_e$	$0{,}65 \times 0{,}8\ \sigma_e$
Tensión de aplastamiento	$3\ \sigma_u$	$3\ \sigma_u$	$3\ \sigma_u$
Tensión de agotamiento a tracción	$0{,}8\ \sigma_e$	$0{,}8\ \sigma_e$	$0{,}8\ \sigma_e$
Condición de agotamiento para solicitación cortante y de tracción	Tracción: $N^* = N_o$ Cortante: $Q = 1{,}07\ (N_o - N^*)\ \mu\ n$	$N^* = N_o$ $Q = 1{,}15\mu\ (N_o - 0{,}7\ N^*)$	$\left(\frac{\tau}{\bar{\tau}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}\right)^2 \leq 1$
Tolerancia de agujeros	2 mm	2 mm	2 mm hasta ⌀ 25 y 3 mm para ⌀ > 25
Combinación de tornillos y soldaduras	Permitida	Permitida	No permitida

[6.22]

7.5.12. *Cuando simultáneamente actúen esfuerzos en la dirección del eje y en dirección perpendicular al mismo, se considerará como solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia en la dirección del eje, a la magnitud* N_o *y como solicitación de agotamiento en la dirección perpendicular al mismo, la dada por:*

$$1{,}07\,(N_o - N^*)\,\mu\,n$$

siendo:

N_o *Esfuerzo de pretensado que actúa sobre su espiga.*
N^* *Esfuerzo de tracción ponderado que actúa en la dirección de su eje.*
μ *Coeficiente de rozamiento entre las superficies de contacto.*
n *Número de secciones en contacto entre las chapas o perfiles que componen la unión.*

Ver ejemplos de aplicación en las páginas 34 y 44.

6.3.2. Tornillos de alta resistencia, pretensados, trabajando a cortadura.

Las uniones de tornillos de alta resistencia pretensados, ofrecen dos alternativas: las uniones por rozamiento *(GRIP CONNECTIONS)* o las uniones a cortadura *(PRELOADED SHEAR CONNECTIONS)*. La Norma Básica MV-103 no considera más que el primer tipo de uniones, pero creemos muy interesante incluir en este Prontuario lo que sobre este segundo tipo de uniones expone la propuesta de «Recomendaciones europeas para la Construcción Metálica» del C. E. C. M.

En realidad no se trata de dos tipos diferentes de unión, sino de dos escalones de resistencia, al partirse de las mismas tolerancias de agujeros, calidad de tornillos y apretadura de los mismos. En efecto, cuando el rozamiento estático se sobrepasa por un aumento de solicitaciones en la unión se produce un pequeño deslizamiento y la espiga o caña del tornillo se pone en contacto con las paredes del agujero, pero conservándose una elevada proporción de rozamiento. Puede entonces considerarse que existen dos etapas de resistencia, una primera, resistencia por fricción, con una absoluta rigidez de la unión, y una segunda en que la resistencia de la unión aumenta, pero a costa de una cierta deformación o deslizamiento de la unión y tiene lugar por fricción contra la pared y cortadura del tornillo.

En las uniones en que el deslizamiento, siquiera pequeño, pueda ejercer efectos desfavorables en la estructura o alterar las hipótesis de cálculo, la primera etapa de resistencia no debe sobrepasarse. Es preciso tener en cuenta que solo es compatible dentro de una misma unión el trabajo conjunto de soldaduras y tornillos de alta resistencia pretensados cuando éstos se calculen para resistir por rozamiento. En [6.22] se recogen comparativamente las distintas magnitudes que determinan el comportamiento de los tornillos de alta resistencia pretensados, según la Norma Básica MV-103, en uniones por rozamiento y según las Recomendaciones del C. E. C. M. en las dos modalidades de trabajo del tornillo en la unión.

6.3 1 y 6.4. EJEMPLO DE APLICACION

Calcular el diámetro del tornillo ordinario necesario para resistir una tracción mayorada de 7 t y un esfuerzo cortante simple mayorado de 8 t.

El dimensionamiento debe efectuarse para dos secciones del tornillo. La sección resistente de la rosca A_r sometida únicamente a tracción y la sección de la espiga A_E sometida a tracción y esfuerzo cortante. Generalmente, esta última es determinante, pero es preciso hacer las dos comprobaciones, ya que $A_r < A_E$

Método directo

Según los artículos 7.5.7-7.5.8 de la Norma Básica MV-103.

Comprobación de un tornillo T27.

a) Sección de la rosca

Solicitación de agotamiento:

$$R_t = 0.80\sigma_t\ A_r; \quad \sigma_t = 2{,}4\ t/cm^2$$

para un T27, $A_r = 4.56\ cm^2$ (MV-106):

$$R_t = 0{,}80 \times 2.4 \times 4{,}56 = 8{,}75\ t > 8\ t$$

b) Sección de la espiga.

Tensión de comparación:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 3\tau^{*2}} < \sigma_t$$

$$A_E = \frac{\pi\, d^2}{4} = \frac{\pi\ 2{,}7^2}{4} = 5.72$$

$$\sigma^* = \frac{7}{A_E} = 1{,}22\ t/cm^2$$

$$\tau^* = \frac{8}{A_E} = 1{,}39\ t/cm^2$$

$$\sigma_{co} = \sqrt{1{,}22^2 + 3 \times 1{,}39^2} = 2{,}69\ t/cm^2$$

no es válido, por ser $2{,}69 > 2{,}4\ t/cm^2$, entonces el tornillo a utilizar sería el T30, repitiendo la comprobación.

Utilización de 6.4 4 y 6.4 5

a) Sección de la rosca.

De **6.4 4** $R_t = 8{,}75 > 8t$

b) Sección de la espiga.

En **6.4 5** podemos ver que la vertical correspondiente a esfuerzo de tracción (7 t) corta a la horizontal por el esfuerzo cortante (8 t), en un punto situado por encima de la línea del T27, luego este tornillo no es adecuado, y sí el T30, cuya curva sitúa a dicho punto en su interior.

6.4. SOLICITACIONES DE AGOTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE UNION. TABLAS Y ABACOS

Basándonos en los criterios anteriores, se han calculado para los robiones y tornillos normalizados las solicitaciones de agotamiento, en las tablas y ábacos de las páginas siguientes:

Tabla **6.4 1.** Solicitación de agotamiento de una chapa de 10 mm a aplastamiento contra la espiga.

Tabla **6.4 2.** Solicitación de agotamiento de un roblón.

Abaco **6.4 3.** Solicitación de agotamiento de un roblón a esfuerzos combinados.

Tabla **6.4 4.** Solicitación de agotamiento de un tornillo ordinario (T 4.6).

Abaco **6.4 5.** Solicitación de agotamiento de un tornillo ordinario (T 4.6) a esfuerzos combinados.

Tabla **6.4 6.** Solicitación de agotamiento de un tornillo calibrado (TC 5.6).

Abaco **6.4 7.** Solicitación de agotamiento de un tornillo calibrado (TC 5.6) a esfuerzos combinados.

Tabla **6.4 8.** Solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia (TR 10.9).

Abaco **6.4 9.** Solicitación de agotamiento de un tornillo de alta resistencia (TR 10.9) sometido a esfuerzos combinados.

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de una chapa de 10 mm a aplastamiento contra la espiga

Tornillo	Tipo de acero			Tornillo [2]	Tipo de acero			Tornillo	Tipo de acero		
	A 37	A 42	A 52 [1]		A 37	A 42	A 52		A 37	A 42	A 52
T 10	5,28	5,72	—	TC 10	6,60	7,15	9,90	—	—	—	—
T 12	6,24	6,76	—	TC 12	7,80	8,45	11,70	TR 12	9,36	10,16	14,06
T 16	8,16	8,84	—	TC 16	10,20	11,05	15,30	TR 16	12,24	13,26	18,36
T 20	10,08	10,92	—	TC 20	12,60	13,65	18,90	TR 20	15,12	16,38	22,68
T 22	11,04	11,96	—	TC 22	13,80	14,95	20,70	TR 22	16,56	17,94	24,84
T 24	12,00	13,00	—	TC 24	15,00	16,25	22,50	TR 24	18,00	19,50	27,00
T 27	13,44	14,56	—	TC 27	16,80	18,20	25,20	TR 27	20,16	21,84	30,24
T 30	14,88	16,12	—	TC 30	18,60	20,15	27,90	—	—	—	—
T 33	16,32	17,68	—	TC 33	20,40	22,10	30,60	—	—	—	—
T 36	17,76	19,24	—	TC 36	22,20	24,42	33,30	—	—	—	—

[1] No se recomienda su empleo.
[2] También válido para roblones.

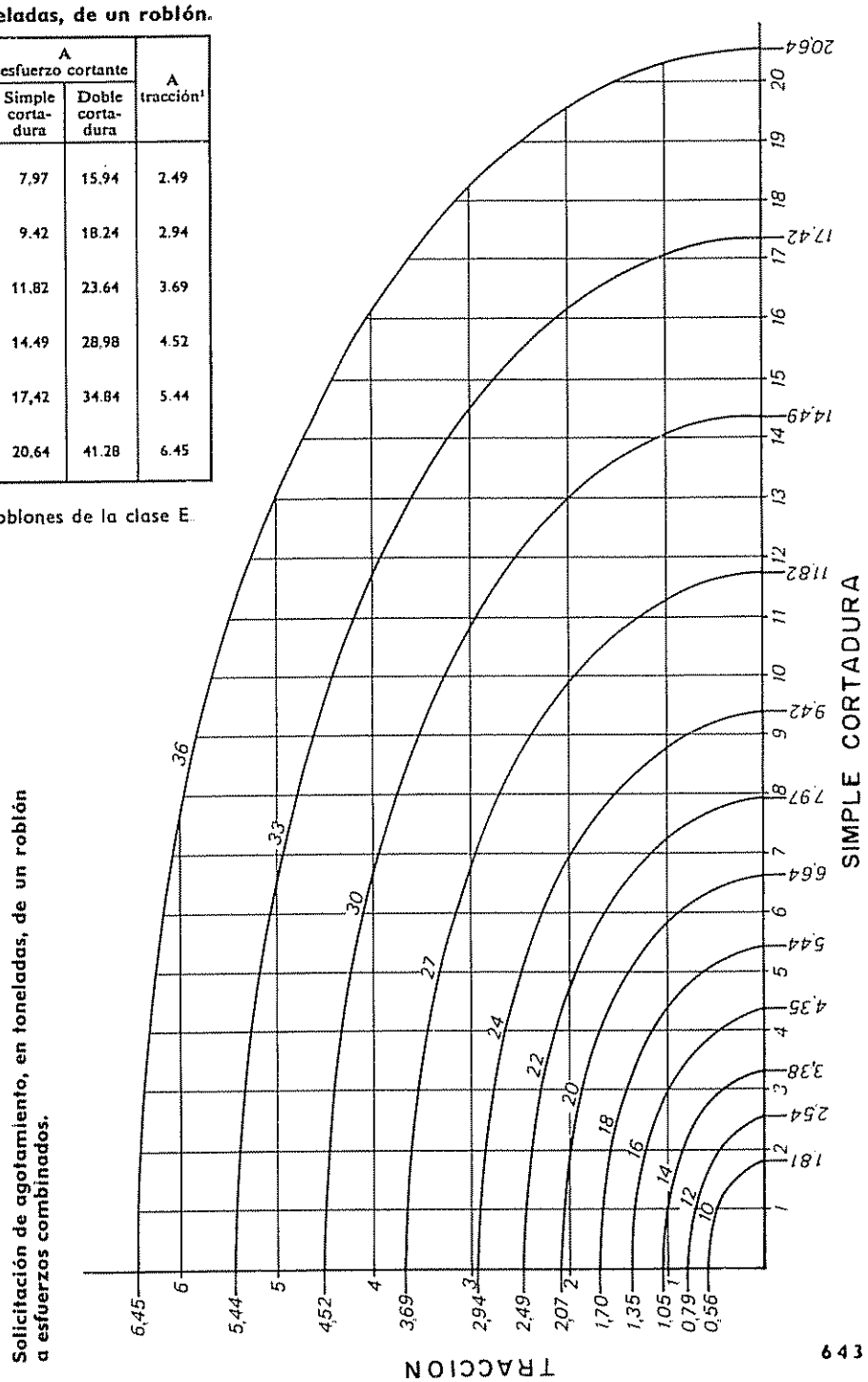
6.4 1

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un roblón.

Roblón	A esfuerzo cortante		A tracción[1]	Roblón	A esfuerzo cortante		A tracción[1]
	Simple cortadura	Doble cortadura			Simple cortadura	Doble cortadura	
E 10 B 10 P 10	1.81	3,62	0.56	E 22 B 22 P 22	7,97	15.94	2.49
E 12 B 12 P 12	2.54	5.08	0,79	E 24 B 24 P 24	9.42	18.24	2.94
E 14 B 14 P 14	3.38	6.76	1.05	E 27 B 27 P 27	11.82	23.64	3.69
E 16 B 16 P 16	4.35	8.70	1.35	E 30 B 30 P 30	14.49	28.98	4.52
E 18 B 18 P 18	5.44	10.88	1.70	E 33 B 33 P 33	17,42	34.84	5.44
E 20 B 20 P 20	6.64	13.28	2.07	E 36 B 36 P 36	20.64	41.28	6.45

[1] Normalmente se permite el uso de roblones de la clase E.

6.4 2



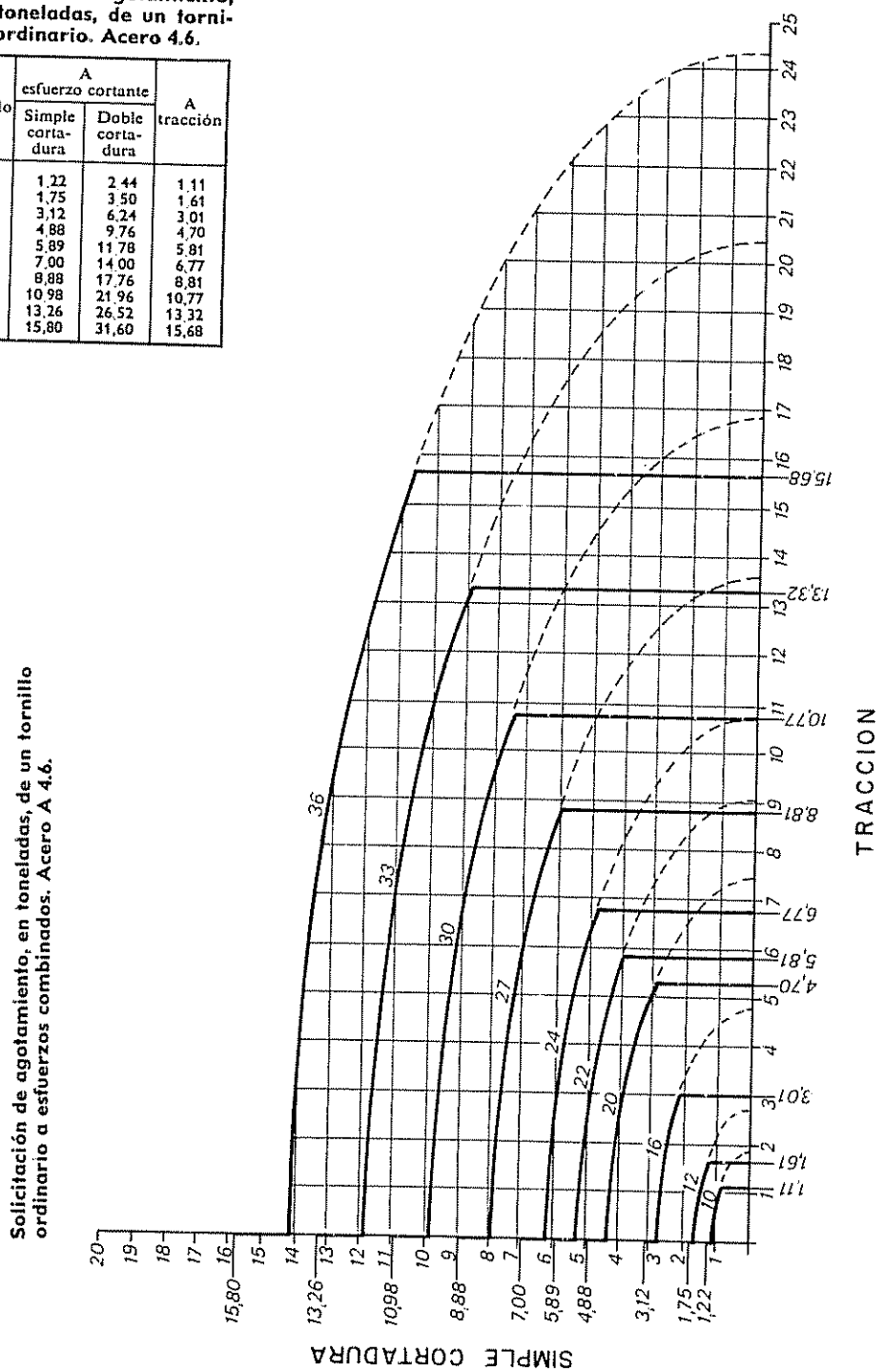
Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un roblón a esfuerzos combinados.

6.4 3

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo ordinario. Acero 4.6.

Tornillo	A esfuerzo cortante		A tracción
	Simple cortadura	Doble cortadura	
T 10	1,22	2,44	1,11
T 12	1,75	3,50	1,61
T 16	3,12	6,24	3,01
T 20	4,88	9,76	4,70
T 22	5,89	11,78	5,81
T 24	7,00	14,00	6,77
T 27	8,88	17,76	8,81
T 30	10,98	21,96	10,77
T 33	13,26	26,52	13,32
T 36	15,80	31,60	15,68

6.4.4

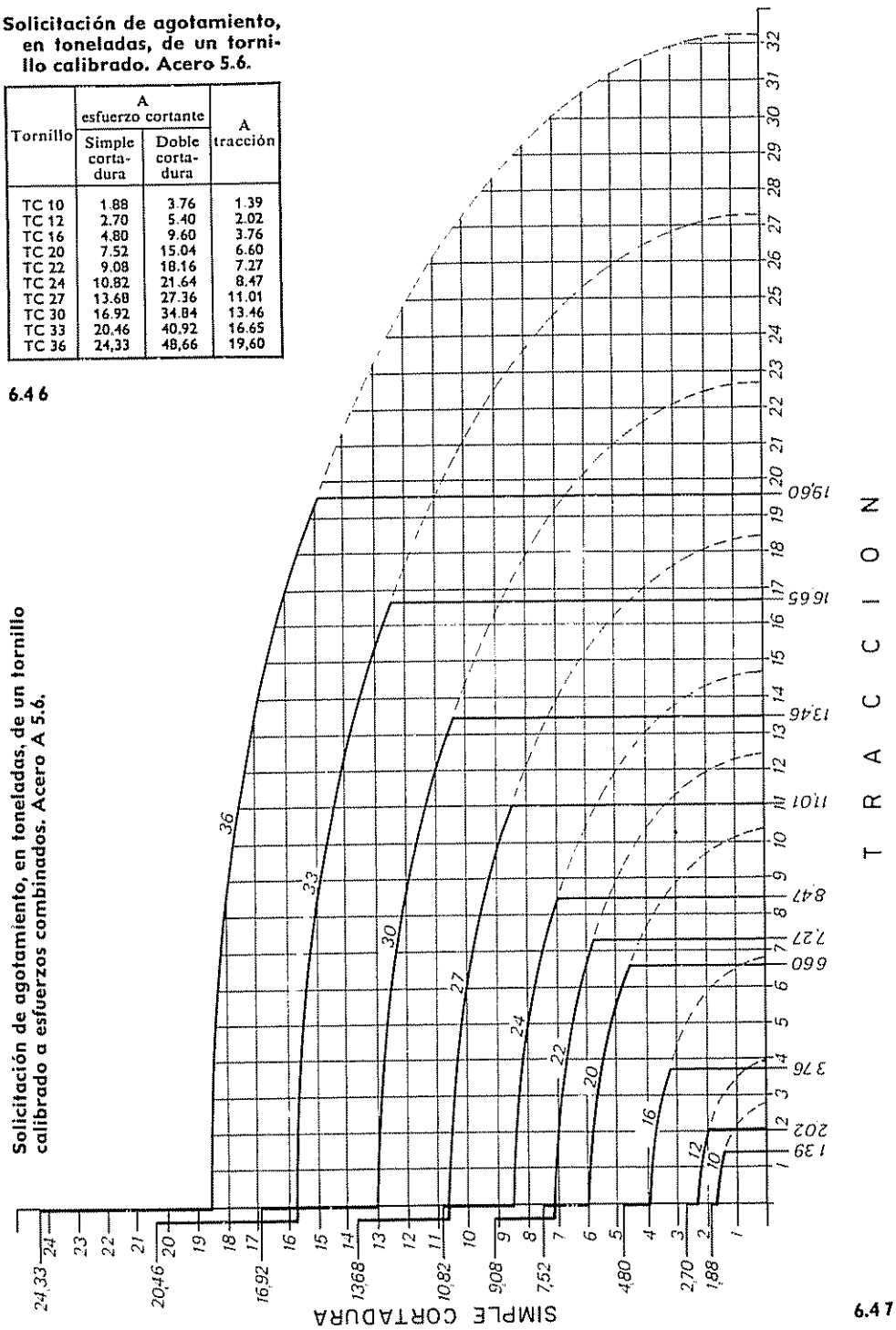


6.4.5

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo calibrado. Acero 5.6.

Tornillo	A esfuerzo cortante		A tracción
	Simple cortadura	Doble cortadura	
TC 10	1.88	3.76	1.39
TC 12	2.70	5.40	2.02
TC 16	4.80	9.60	3.76
TC 20	7.52	15.04	6.60
TC 22	9.08	18.16	7.27
TC 24	10.82	21.64	8.47
TC 27	13.68	27.36	11.01
TC 30	16.92	34.84	13.46
TC 33	20,46	40.92	16.65
TC 36	24,33	48,66	19,60

6.4 6

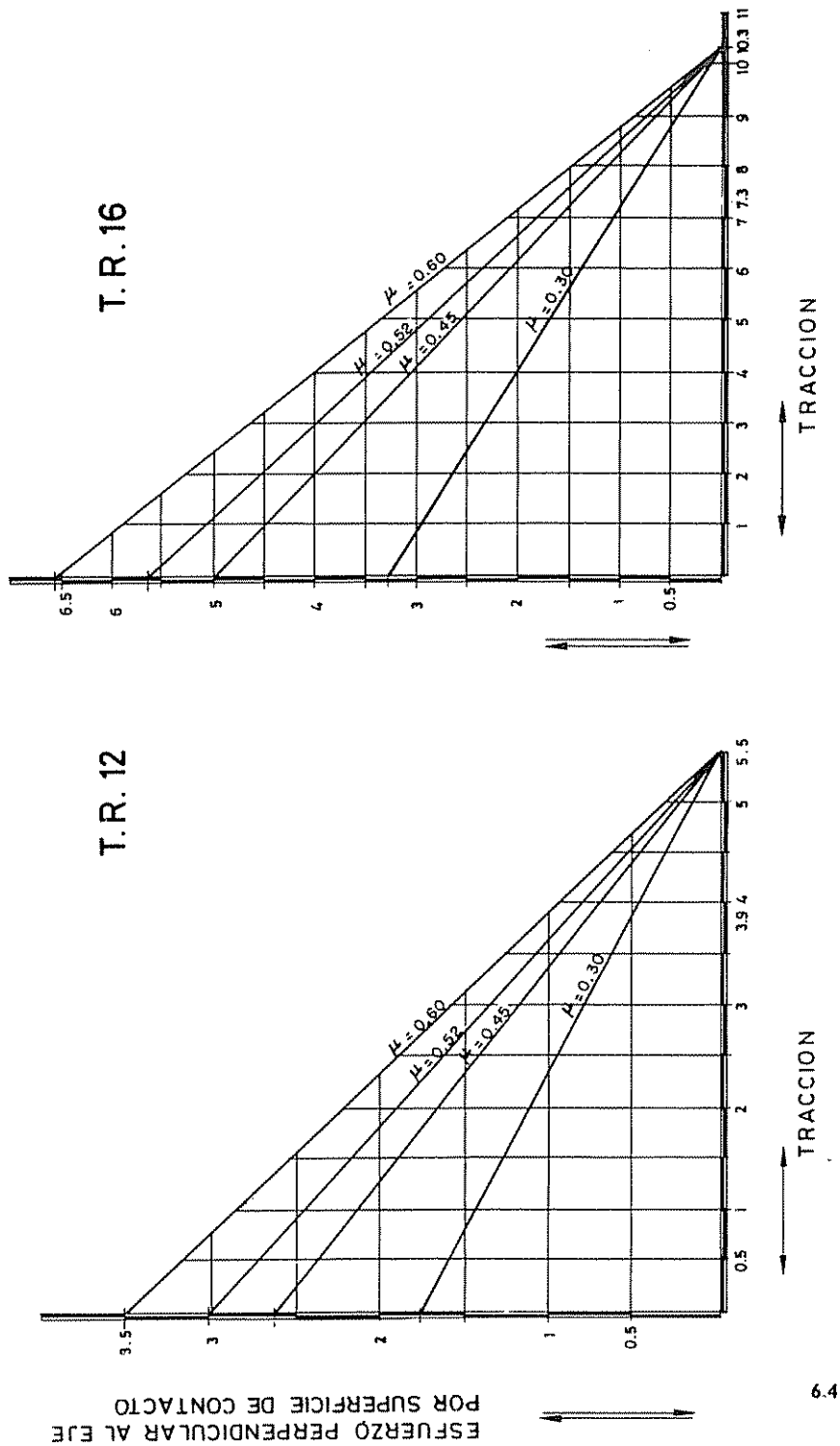


6.4 7

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo de alta resistencia. Acero 10.9.

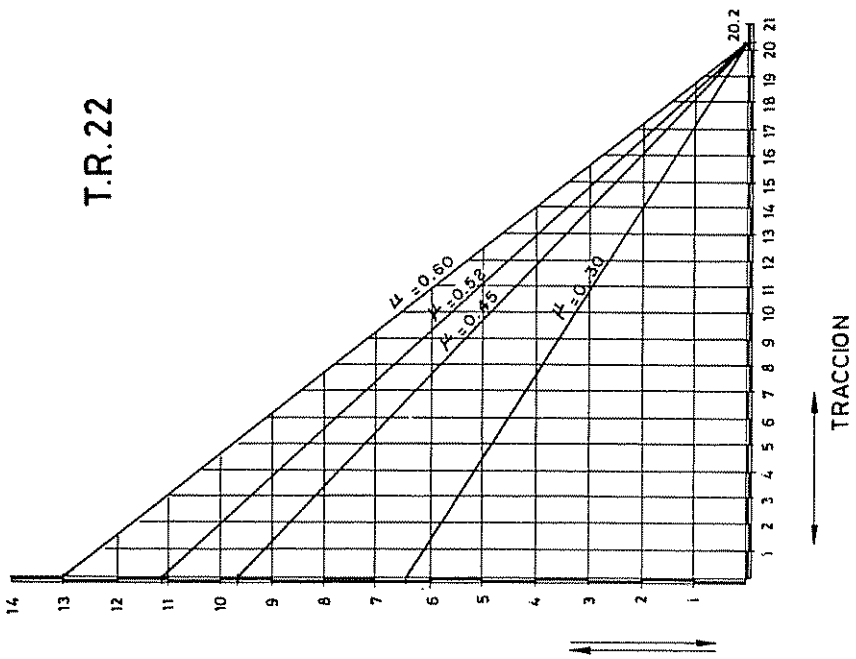
Tornillo	Esfuerzo perpendicular al eje por superficie de contacto				Esfuerzo en la dirección de su eje
	Superficie sin preparar	Superficies preparadas			
		A 37	A 42	A 52	
TR 12	1,70	2,64	3,05	3,52	5,5
TR 16	3,30	4,95	5,73	6,61	10,3
TR 20	5,19	7,79	9,01	10,39	16,2
TR 22	6.48	9,72	11,23	12,96	20,2
TR 24	7,47	11,21	12,46	14,95	23,3
TR 27	9,82	14,73	17,02	19,64	30,6

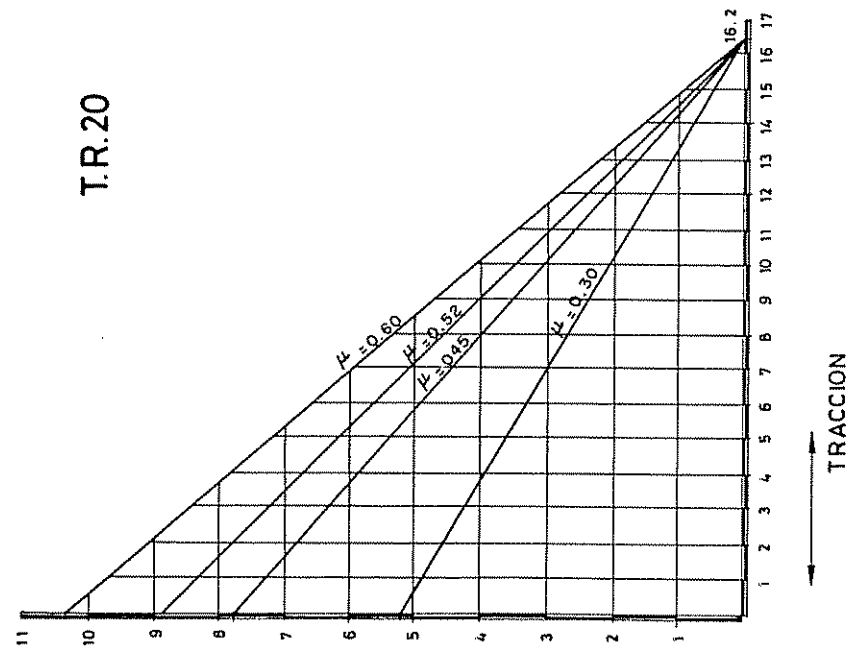
6.4 8



Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo de alta resistencia sometido a esfuerzos combinados. Acero A 10.9.

6.4.9

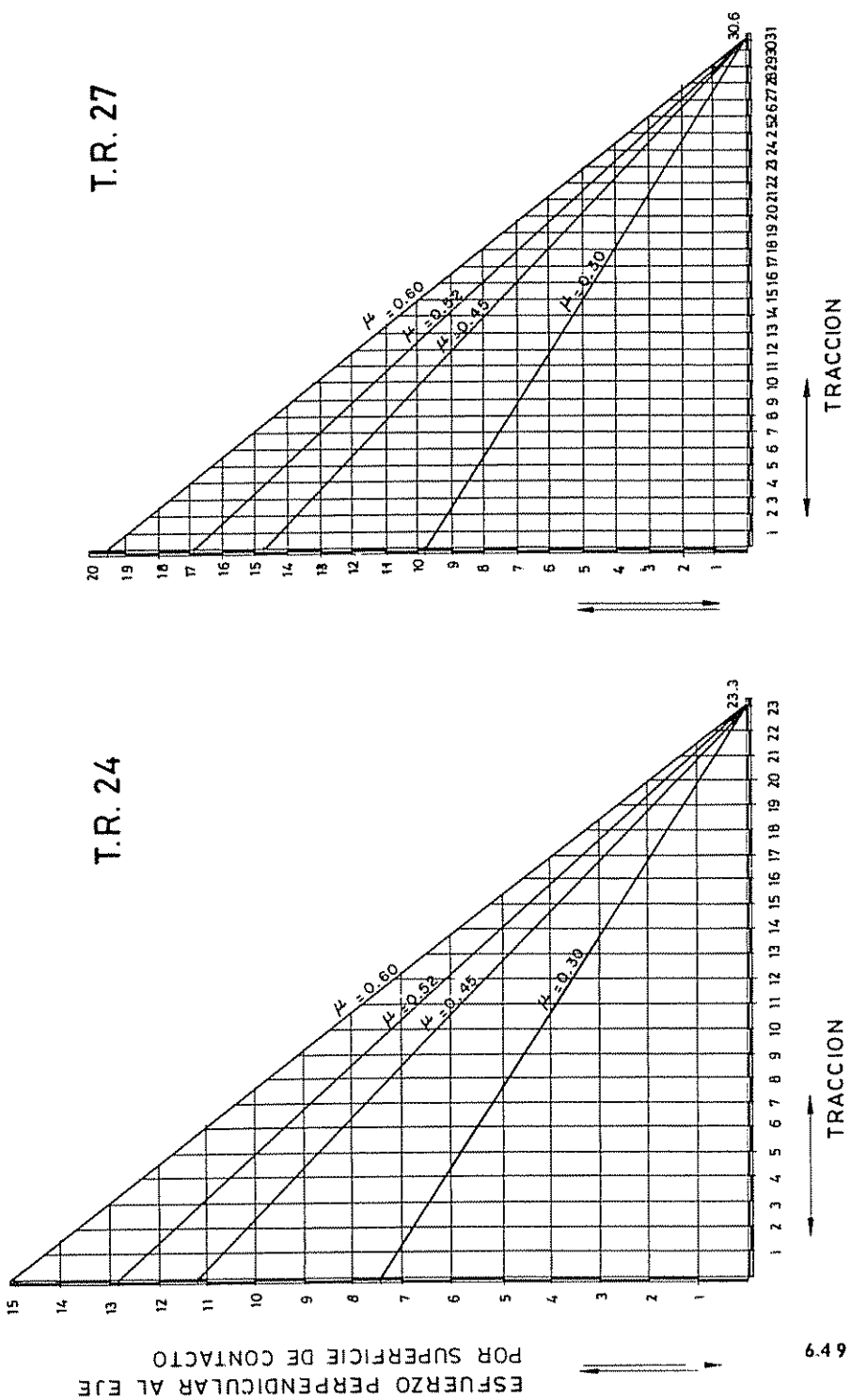




ESFUERZO PERPENDICULAR AL EJE
POR SUPERFICIE DE CONTACTO

Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo de alta resistencia sometido a esfuerzos combinados. Acero A 10.9.

6.49



Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un tornillo de alta resistencia sometido a esfuerzos combinados. Acero A 10.9.

6.4.9

6.3 1 y 6.4. EJEMPLO DE APLICACION

Calcular el diámetro del tornillo de alta resistencia calidad A10.9 necesario para una solicitación simultánea de un esfuerzo en la dirección del eje de 6 t y de un esfuerzo en la dirección perpendicular del eje de 5 t, ambos mayorados. Las dos chapas a unir por el tornillo TR han sido preparadas y son de calidad A 42.

Se comprueba que las solicitaciones de agotamiento en las direcciones del eje y su perpendicular son superiores respectivamente a las actuantes sobre el tornillo.

Comprobación de un tornillo TR20.

Método directo

Según artículo 7.5.12 de la Norma Básica MV-103.

a) Dirección del eje

Solicitación de agotamiento $N_O = 16{,}2$ t 16,2 t > 6 t

b) Dirección perpendicular al eje.

Solicitación de agotamiento = $1{,}07\ (N_O - N^*)\ \mu n = 1.07\ (16{,}2 - 6)\ 0{,}52 \cdot 1 = 5{,}67$

siendo: $N_O = 16{,}2$ t $\mu = 0{,}52$ y $n = 1$

según se define en la Norma Básica MV-103 y $N^* = 6$ t esfuerzo según el eje.

Como 5.67 t > 5 t, el tornillo TR20 es adecuado.

Utilización de 6.4 8 y 6.4 9

a) Dirección del eje.

De **6.4 8,** solicitación de agotamiento = 16,2 t

16,2 t > 6 t

b) Dirección perpendicular al eje

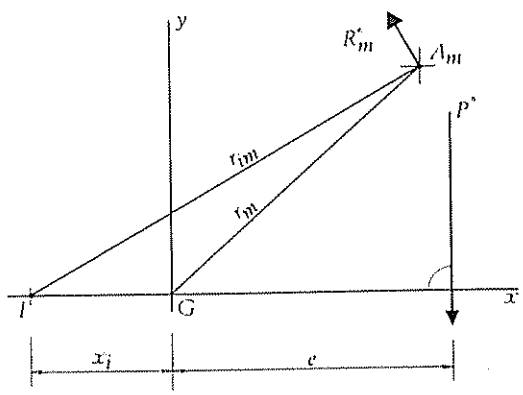
De **6.4 9,** el correspondiente al tornillo TR20 nos fija el punto de coordenadas (6,5 t) por debajo de la recta $\mu = 0{,}52$, luego el tornillo TR20 es válido. En el ábaco del tornillo TR16 se puede comprobar que este tornillo es insuficiente.

6.5. CALCULO DE LOS ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DE UNION QUE FORMAN UN CONJUNTO

6.5 1. Solicitaciones que producen esfuerzo cortante.

Cuando una unión está solicitada por una fuerza P* con una excentricidad, *e*, respecto del centro de gravedad, G, del conjunto de los elementos de unión, la Norma Básica MV-103, en su Anejo 5, dice:

Siendo I el centro instantáneo de rotación, se tiene:



$$x_i = \frac{\Sigma A_m r^2_m}{e \Sigma A_m}$$

$$R^*_m = \frac{P^* e r_{im} A_m}{\Sigma A_m r^2_m}$$

siendo:

n *Número de elementos.*
A_m *Sección del elemento.*

Aplicación al caso de grupos de elementos de la misma sección distribuidos en una o dos filas.

Fórmula general

$$R^*_m = \frac{P^*}{\frac{\Sigma r^2_m}{e r_{im}}}$$

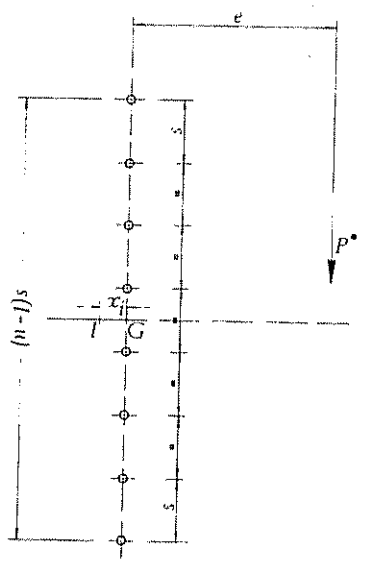
El valor máximo de R^*_m corresponde al mayor valor de r_{im} y puede ponerse en la forma

$$R^*_{max} = \frac{P^*}{C}$$

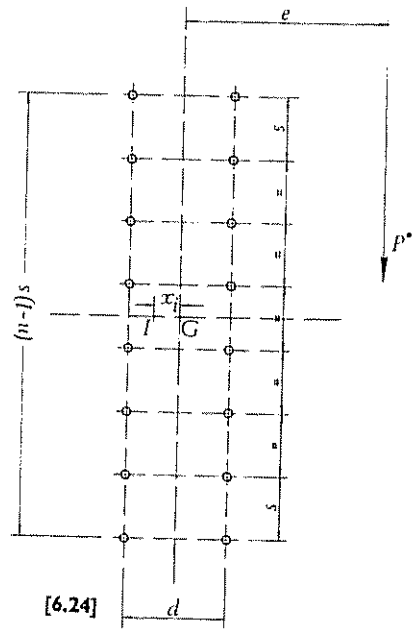
Solicitación máxima producida

$$R^{*}_{max} = \frac{P^{*}}{C}$$

n, número de elementos de unión por columna



[6.23]



[6.24]

6.5 1. EJEMPLO DE APLICACION

Comprobación del conjunto formado por cuatro tornillos T20, sometidos a una fuerza P = 7,3 t situada con una excentricidad e = 200 mm, como representa la figura adjunta.*

Método directo. Anejo 5 de la Norma Básica MV-103.

Cálculo del centro instantáneo de rotación:

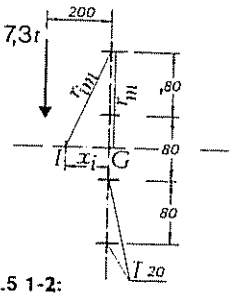
$$x_i = \frac{\Sigma A_m\, r_m^2}{e\,\Sigma A_m} = \frac{\Sigma r_m^2}{e\,n} = \frac{40^2 + 120^2 + 40^2 + 120^2}{200 \times 4} = 40 \text{ mm}$$

Cálculo del esfuerzo máximo soportado por un tornillo:

$$R^{*}_m = \frac{P^{*}\, e\, r_{im}^2\, A_m}{\Sigma A_m\, r_m^2} = \frac{P^{*}\, e\, r_{im}}{\Sigma r_m^2} = \frac{7{,}30 \times 200 \times 126{,}49}{40^2+120^2+40^2+120^2} = 5{,}76 \text{ t}$$

La solicitación de agotamiento de un tornillo T20 es 4,88 t (**6.4 4**), por ser 5,76 t > 4,88 t este conjunto no es válido. Hay dos soluciones, utilizar un tornillo de diámetro superior (solicitación de agotamiento de un T22 = 5,89 t > 5,76 t) o aumentar la separación entre tornillos, por ejemplo a 100 mm, con lo que se obtiene:

$x_i = 62{,}50$ mm $R^{*}_m = 4{,}74$ t $P^{*} = 7{,}3t$



solución también válida, por ser 4,88 t > 4,74 t

Usando 6.5 1

De **6.5 1-1:** C = 1,26 $R^{*}_m = \frac{7{,}30}{1{,}26} = 5{,}79$ t

solicitación de agotamiento de un tornillo T20 = 4,88 t < 5,79 t.

Es necesario el cambio del diámetro del tornillo:
solicitación de agotamiento de un tornillo T22 = 5,89 t > 5,79 t.
Si, por el contrario, se cambia la disposición a separación = 100 mm. De **6.5 1-2:**

C = 1,54 $R^{*}_m = \frac{7{,}30}{1{,}54} = 4{,}74$ t < 4,88 t disposición válida

En los casos [6.23] y [6.24], el valor de C viene dado por las expresiones:

una fila

$$C = \frac{n}{\sqrt{\left[\frac{6\,e}{(n+1)\,s}\right]^2 + 1}}$$

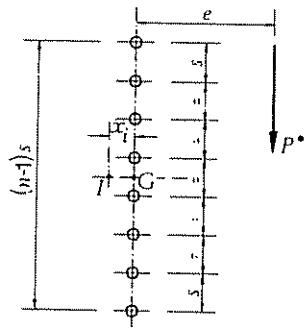
dos filas:

$$C = \frac{2\,[s^2\,n\,(n^2-1) + 3\,n\,d^2]}{\sqrt{[6\,e\,d + s^2\,(n^2-1) + 3\,d^2]^2 + [6\,es\,(n-1)]^2}}$$

En las tablas que insertamos a continuación se tabulan los valores de C, para distintos valores de las constantes de forma n, s y d, y de la excentricidad e.

Los valores de s y d considerados en las tablas son 80, 100 y 120 mm. Para otros valores pueden, con suficiente exactitud, hacerse las interpolaciones lineales correspondientes, para obtener los valores de C.

Ver ejemplo de aplicación en la página 46.

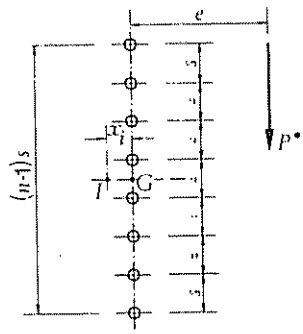


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para una separación s de 80 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	1,41	2,40	3,43	4,47	5,51	6,55	7,59	8,62	9,65	10,67	11,69
60	1,11	1,99	2,97	4,00	5,05	6,10	7,16	8,21	9,26	10,30	11,34
80	0,89	1,66	2,56	3,54	4,56	5,60	6,66	7,72	8,78	9,84	10,90
100	0,74	1,41	2,22	3,12	4,09	5,11	6,15	7,20	8,26	9,33	10,39
120	0,63	1,22	1,94	2,77	3,68	4,65	5,66	6,69	7,74	8,80	9,87
140	0,55	1,07	1,72	2,48	3,33	4,24	5,21	6,21	7,23	8,28	9,34
160	0,49	0,95	1,54	2,24	3,02	3,88	4,80	5,76	6,76	7,78	8,82
180	0,43	0,85	1,39	2,03	2,76	3,57	4,44	5,36	6,32	7,31	8,32
200	0,39	0,77	1,26	1,86	2,54	3,29	4,12	4,99	5,91	6,87	7,86
220	0,36	0,71	1,16	1,71	2,34	3,05	3,83	4,66	5,55	6,47	7,43
240	0,33	0,65	1,07	1,58	2,17	2,84	3,58	4,37	5,21	6,10	7,03
260	0,30	0,60	0,99	1,47	2,03	2,66	3,35	4,11	4,91	5,77	6,66
280	0,28	0,56	0,93	1,37	1,90	2,49	3,15	3,87	4,64	5,46	6,32
300	0,26	0,53	0,87	1,29	1,78	2,35	2,97	3,66	4,39	5,18	6,00
320	0,25	0,49	0,82	1,21	1,68	2,21	2,81	3,46	4,17	4,92	5,72
340	0,23	0,46	0,77	1,15	1,59	2,10	2,66	3,29	3,96	4,68	5,45
360	0,22	0,44	0,73	1,08	1,51	1,99	2,53	3,13	3,77	4,47	5,21
380	0,21	0,42	0,69	1,03	1,43	1,89	2,41	2,98	3,60	4,27	4,98
400	0,20	0,40	0,66	0,98	1,36	1,80	2,30	2,85	3,44	4,09	4,77
420	0,19	0,38	0,63	0,94	1,30	1,72	2,20	2,72	3,30	3,92	4,58
440	0,18	0,36	0,60	0,89	1,25	1,65	2,10	2,61	3,16	3,75	4,40
460	0,17	0,35	0,57	0,86	1,19	1,58	2,02	2,51	3,04	3,61	4,23
480	0,17	0,33	0,55	0,82	1,15	1,52	1,94	2,41	2,92	3,48	4,08
500	0,16	0,32	0,53	0,79	1,10	1,46	1,87	2,32	2,81	3,35	3,93
520	0,15	0,31	0,51	0,76	1,06	1,41	1,80	2,24	2,71	3,23	3,79
540	0,15	0,29	0,49	0,73	1,02	1,36	1,74	2,16	2,62	3,12	3,67
560	0,14	0,28	0,47	0,71	0,99	1,31	1,68	2,08	2,53	3,02	3,55
580	0,14	0,27	0,46	0,68	0,95	1,27	1,62	2,02	2,45	2,93	3,44
600	0,13	0,27	0,44	0,66	0,92	1,23	1,57	1,95	2,37	2,83	3,33

6.5 1-1

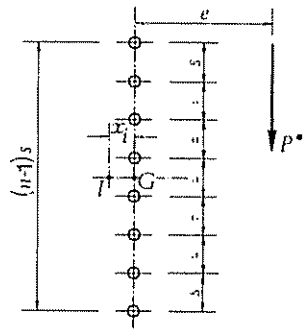


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para una separación s de 100 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	1,56	2,57	3,61	4,64	5,68	6,70	7,73	8,75	9,77	10,79	11,80
60	1,28	2,23	3,25	4,29	5,34	6,38	7,43	8,47	9,50	10,54	11,58
80	1,06	1,92	2,89	3,90	4,95	6,00	7,06	8,11	9,17	10,21	11,26
100	0,89	1,66	2,56	3,54	4,56	5,60	6.66	7,72	8,78	9,84	10,90
120	0.77	1,46	2,28	3,20	4,18	5,20	6,25	7,30	8,37	9,43	10,50
140	0.67	1,29	2,05	2,91	3,84	4,83	5,85	6,89	7,95	9,01	10,08
160	0,60	1,15	1,85	2,65	3,54	4,48	5.47	6,49	7,53	8,59	9,65
180	0,54	1,04	1,68	2,43	3,26	4,17	5,12	6,11	7,14	8,18	9,23
200	0,49	0,95	1,54	2,24	3,02	3,88	4,80	5,76	6,76	7,76	8,82
220	0,44	0,87	1,42	2,07	2,81	3,63	4,51	5,43	6,40	7,40	8,42
240	0.41	0,80	1,31	1,92	2,62	3,40	4,24	5,13	6,07	7,04	8,04
260	0,38	0,75	1,22	1,79	2,46	3,19	4,00	4,86	5,76	6,71	7,68
280	0,35	0,69	1,14	1,68	2,31	3,01	3,78	4,60	5,48	6,39	7,34
300	0,33	0,65	1,07	1.58	2,17	2,84	3,58	4,37	5,21	6,10	7,03
320	0,31	0,61	1,01	1,49	2,06	2,69	3,40	4,16	4,97	5,83	6,73
340	0,29	0,58	0,95	1,41	1,95	2,56	3,23	3,96	4,75	5,58	6,45
360	0,28	0,55	0,90	1,34	1,85	2,43	3,08	3,78	4,54	5,34	6,19
380	0,26	0,52	0,86	1,27	1,76	2,32	2,94	3,61	4,35	5,12	5,94
400	0,25	0,49	0,82	1,21	1,68	2,21	2,81	3,46	4,17	4,92	5,72
420	0,24	0,47	0,78	1,16	1,61	2,12	2,69	3,32	4,00	4,73	5,50
440	0,23	0,45	0,74	1,11	1,54	2,03	2,58	3,19	3,85	4,55	5,30
460	0,22	0,43	0,71	1,06	1,48	1,95	2,48	3,07	3,70	4,39	5,11
480	0,21	0,41	0,68	1,02	1,42	1,87	2,39	2,95	3,57	4,23	4,94
500	0,20	0,40	0,66	0,98	1,36	1,80	2,30	2,85	3,44	4,09	4,77
520	0,19	0,38	0,63	0,94	1,31	1,74	2,22	2,75	3,33	3,95	4,62
540	0,18	0,37	0,61	0,91	1,27	1,68	2,14	2,65	3,21	3,82	4,47
560	0,18	0,35	0,59	0,88	1,22	1,62	2,07	2,57	3,11	3,70	4,33
580	0,17	0,34	0,57	0,85	1,18	1,57	2,00	2,49	3,01	3,59	4,20
600	0,17	0,33	0,55	0,82	1,15	1,52	1,94	2,41	2,92	3,48	4,08

6.5 1-2

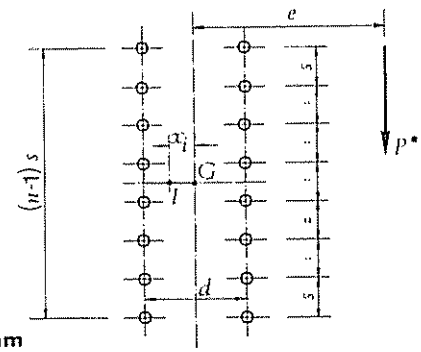


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para una separación s de 120 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	1,66	2,68	3,71	4,74	5,77	6,79	7,81	8,83	9,84	10,85	11,86
60	1,41	2,40	3,43	4,47	5,51	6,55	7,59	8,62	9,65	10,67	11,69
80	1,20	2,12	3,12	4,16	5,21	6,26	7,31	8,36	9,40	10,44	11,47
100	1,03	1,87	2,83	3,84	4,88	5,94	6,99	8,05	9,10	10,15	11,20
120	0,89	1,66	2,56	3,54	4,56	5,60	6,66	7,72	8,78	9,84	10,90
140	0,79	1,49	2,32	3,25	4,24	5,27	6,31	7,37	8,44	9,50	10,57
160	0,70	1,34	2,12	3,00	3,95	4,95	5,98	7,03	8,09	9,15	10,22
180	0,63	1,22	1,94	2,77	3,68	4,65	5,66	6,69	7,74	8,80	9,87
200	0,57	1,11	1,79	2,57	3,44	4,37	5,35	6,36	7,40	8,45	9,51
220	0,53	1,03	1,66	2,39	3,22	4,12	5,07	6,05	7,07	8,11	9,16
240	0,49	0,95	1,54	2,24	3,02	3,88	4,80	5,76	6,76	7,78	8,82
260	0,45	0,88	1,44	2,10	2,84	3,67	4,55	5,49	6,46	7,46	8,49
280	0,42	0,82	1,35	1,97	2,68	3,47	4,33	5,23	6,18	7,16	8,17
300	0,39	0,77	1,26	1,86	2,54	3,29	4,12	4,99	5,91	6,87	7,86
320	0,37	0,73	1,19	1,76	2,40	3,13	3,92	4,77	5,67	6,60	7,57
340	0,35	0,69	1,13	1,66	2,28	2,98	3,74	4,56	5,43	6,34	7,29
360	0,33	0,65	1,07	1,58	2,17	2,84	3,58	4,37	5,21	6,10	7,03
380	0,31	0,62	1,02	1,51	2,07	2,72	3,42	4,19	5,01	5,87	6,78
400	0,30	0,59	0,97	1,44	1,98	2,60	3,28	4,02	4,82	5,66	6,54
420	0,28	0,56	0,93	1,37	1,90	2,49	3,15	3,87	4,64	5,46	6,32
440	0,27	0,54	0,89	1,32	1,82	2,39	3,03	3,72	4,47	5,27	6,10
460	0,26	0,51	0,85	1,26	1,75	2,30	2,92	3,59	4,31	5,09	5,90
480	0,25	0,49	0,82	1,21	1,68	2,21	2,81	3,46	4,17	4,92	5,72
500	0,24	0,47	0,78	1,17	1,62	2,13	2,71	3,34	4,03	4,76	5,54
520	0,23	0,46	0,76	1,12	1,56	2,06	2,62	3,23	3,90	4,61	5,37
540	0,22	0,44	0,73	1,08	1,51	1,99	2,53	3,13	3,77	4,47	5,21
560	0,21	0,42	0,70	1,05	1,46	1,92	2,45	3,03	3,66	4,33	5,05
580	0,21	0,41	0,68	1,01	1,41	1,86	2,37	2,93	3,55	4,21	4,91
600	0,20	0,40	0,66	0,98	1,36	1,80	2,30	2,85	3,44	4,09	4,77

6.5 1-3

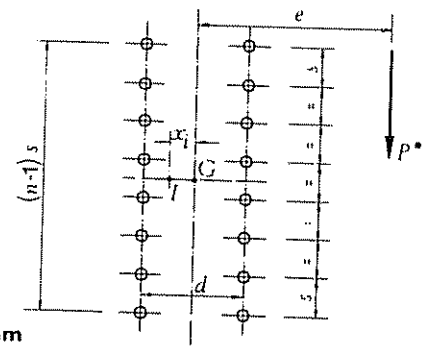


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 80 mm y d de 80 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,53	4,33	6,30	8,36	10,44	12,54	14,64	16,73	18,82	20,89	22,96
60	2,10	3,68	5,49	7,44	9,48	11,57	13,68	15,79	17,90	20,01	22,12
80	1,79	3,17	4,80	6,62	8,56	10,59	12,67	14,77	16,89	19,02	21,15
100	1,55	2,77	4,23	5.91	7,73	9,67	11,69	13,76	15,86	17,98	20,11
120	1,37	2,45	3,77	5,30	7,01	8.85	10,78	12,79	14,85	16,94	19,05
140	1,23	2,20	3.39	4,80	6,38	8,11	9,95	11,89	13,88	15,93	18,01
160	1,11	1,99	3,07	4,37	5,84	7.46	9,21	11,06	12,99	14,98	17,02
180	1,01	1,81	2,81	4,00	5,37	6,90	8,55	10,32	12,17	14,10	16,08
200	0,93	1,66	2,58	3,69	4,97	6,40	7,96	9,64	11,42	13,28	15,20
220	0,86	1,54	2,39	3,42	4,61	5,96	7,44	9,04	10,74	12,52	14,38
240	0,80	1,43	2,22	3,18	4,30	5,57	6,97	8,49	10,12	11,83	13,63
260	0,75	1,33	2,07	2,97	4,03	5,23	6,56	8,00	9,56	11,20	12,93
280	0,70	1,25	1,94	2,79	3,79	4,92	6,18	7,56	9,05	10,63	12,29
300	0,66	1,18	1,83	2,63	3,57	4,65	5,85	7,16	8,58	10,10	11,70
320	0,62	1,11	1,73	2,48	3,38	4,40	5,54	6,80	8,16	9,61	11,16
340	0,59	1,05	1,64	2,35	3,20	4,17	5,26	6,47	7,77	9,17	10,66
360	0,56	1,00	1,55	2,24	3,04	3,97	5,01	6,16	7,41	8,76	10,19
380	0,54	0,95	1,48	2,13	2,90	3,79	4,78	5,89	7,09	8,38	9,77
400	0,51	0,91	1,41	2,03	2,77	3,62	4,57	5,63	6,79	8,04	9,37
420	0,49	0,87	1,35	1,94	2,65	3,46	4,38	5,40	6,51	7,71	9,00
440	0,47	0,83	1,29	1,86	2,54	3,32	4,20	5,18	6,25	7,41	8,66
460	0,45	0,80	1,24	1,79	2,44	3,19	4,04	4,98	6,01	7,14	8,34
480	0,43	0,77	1,19	1,72	2,34	3,07	3,88	4,79	5,79	6,88	8,04
500	0,42	0,74	1,15	1.65	2,26	2,95	3,74	4,62	5,59	6,63	7,76
520	0,40	0,71	1,11	1,59	2,18	2,85	3,61	4,46	5,39	6,41	7,50
540	0,39	0,69	1,07	1,54	2,10	2,75	3,49	4,31	5,21	6,20	7,26
560	0,38	0,66	1,03	1.49	2,03	2,66	3,37	4,17	5,04	6,00	7,03
580	0,36	0,64	1,00	1,44	1,96	2,57	3,26	4,03	4,88	5,81	6,81
600	0,35	0,62	0,97	1,39	1,90	2,49	3,16	3,91	4,73	5,63	6,60

6.5 1-4

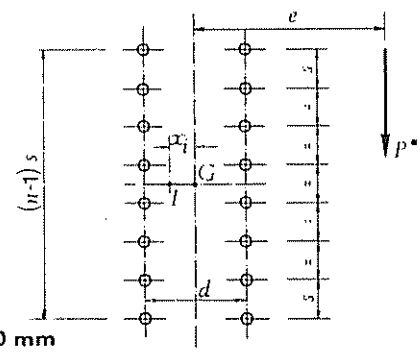


Solicitación máxima
producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 100 mm y d de 80 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,71	4,66	6,71	8,80	10,90	12,99	15,07	17,14	19,21	21,26	23,31
60	2,29	4,05	6,00	8,05	10,14	12,25	14,36	16,47	18,56	20,65	22,73
80	1,97	3,55	5,34	7,32	9,37	11,46	13,57	15,69	17,81	19,93	22,03
100	1,72	3,13	4,80	6,65	8,62	10,67	12,76	14,88	17,00	19,13	21,26
120	1,53	2,80	4,32	6,05	7,93	9,92	11,97	14,06	16,17	18,30	20,43
140	1,37	2,52	3,92	5,53	7,31	9,22	11,21	13,26	15,34	17,46	19,59
160	1,24	2,29	3,57	5,08	6,76	8,58	10,50	12,50	14,54	16,63	18,74
180	1,14	2,09	3,28	4,69	6,27	8,00	9,85	11,78	13,78	15,83	17,91
200	1,04	1,92	3,03	4,34	5,84	7,48	9,25	11,12	13,06	15,07	17,11
220	0,97	1,78	2,81	4,04	5,45	7,01	8,71	10,50	12,39	14,34	16,35
240	0,90	1,66	2,62	3,77	5,11	6,59	8,21	9,94	11,76	13,66	15,62
260	0,84	1,55	2,45	3,54	4,80	6,21	7,76	9,42	11,18	13,03	14,94
280	0,79	1,45	2,30	3,33	4,52	5,87	7,35	8,95	10,65	12,43	14,29
300	0,75	1,37	2,17	3,14	4,28	5,56	6,98	8,51	10,15	11,88	13,69
320	0,70	1,29	2,05	2,97	4,05	5,28	6,64	8,11	9,69	11,36	13,12
340	0,67	1,23	1,94	2,82	3,85	5,02	6,32	7,74	9,27	10,88	12,59
360	0,64	1,17	1,85	2,68	3,67	4,79	6,04	7,40	8,87	10,44	12,09
380	0,61	1,11	1,76	2,56	3,50	4,57	5,77	7,09	8,51	10,02	11,62
400	0,58	1,06	1,66	2,44	3,34	4,38	5,53	6,80	8,17	9,63	11,19
420	0,55	1,01	1,61	2,34	3,20	4,19	5,30	6,53	7,85	9,27	10,78
440	0,53	0,97	1,54	2,24	3,07	4,03	5,10	6,27	7,56	8,93	10,40
460	0,51	0,93	1,48	2,15	2,95	3,87	4,90	6,04	7,28	8,62	10,04
480	0,49	0,90	1,42	2,07	2,84	3,73	4,72	5,82	7,03	8,32	9,70
500	0,47	0,86	1,37	1,99	2,74	3,59	4,55	5,62	6,78	8,04	9,38
520	0,46	0,83	1,32	1,92	2,64	3,47	4,40	5,43	6,56	7,78	9,08
540	0,44	0,80	1,27	1,86	2,55	3,35	4,25	5,25	6,35	7,53	8,80
560	0,43	0,78	1,23	1,80	2,47	3,24	4,11	5,08	6,15	7,30	8,53
580	0,41	0,75	1,19	1,74	2,39	3,14	3,98	4,93	5,96	7,08	8,28
600	0,40	0,73	1,15	1,68	2,31	3,04	3,86	4,78	5,78	6,87	8,04

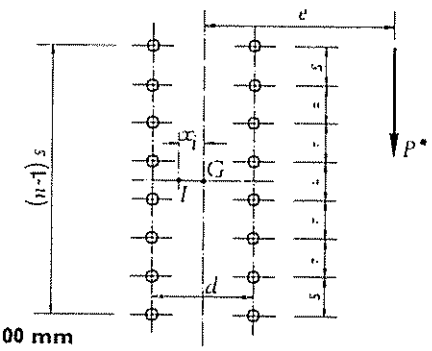
6.5 1-5



Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 120 mm y d de 80 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,88	4,92	7,00	9,10	11,19	13,26	15,33	17,39	19,44	21,48	23,51
60	2,47	4,37	6,40	8,45	10,59	12,70	14,79	16,88	18,96	21,03	23,09
80	2,15	3,88	5,81	7,86	9,95	12,06	14,18	16,29	18,39	20,49	22,58
100	1,89	3,47	5,28	7,25	9,30	11,39	13,51	15,63	17,76	19,87	21,98
120	1,69	3,12	4,81	6,68	8,67	10,73	12,83	14,95	17,08	19,21	21,34
140	1,52	2,83	4,40	6,17	8,09	10,10	12,16	14,27	16,39	18,52	20,65
160	1,38	2,58	4,04	5,72	7,55	9,49	11,52	13,59	15,69	17,82	19,95
180	1,26	2,37	3,73	5,31	7,06	8,93	10,90	12,93	15,01	17,12	19,24
200	1,17	2,19	3,46	4,95	6,61	8,42	10,32	12,31	14,35	16,43	18,54
220	1,08	2,03	3,22	4,62	6,21	7,94	9,79	11,72	13,72	15,77	17,85
240	1,01	1,89	3,01	4,34	5,84	7,50	9,29	11,16	13,12	15,13	17,19
260	0,94	1,77	2,82	4,08	5,52	7,11	8,82	10,64	12,55	14,52	16,54
280	0,89	1,66	2,65	3,85	5,22	6,74	8,40	10,16	12,01	13,94	15,92
300	0,84	1,57	2,51	3,64	4,95	6,41	8,00	9.71	11,51	13,39	15,33
320	0,79	1,48	2,37	3,45	4,70	6,10	7,64	9,29	11,04	12,87	14,77
340	0,75	1,41	2,25	3,28	4,47	5,82	7,30	8,90	10,59	12,38	14,24
360	0,71	1,34	2,14	3,12	4,27	5,56	6,99	8.53	10,18	11,92	13,73
380	0,68	1,28	2,04	2,98	4,08	5,32	6,70	8,19	9,79	11,48	13,25
400	0,65	1,22	1,95	2,85	3,90	5,10	6,43	7,87	9,43	11,07	12,80
420	0,62	1,17	1.87	2,73	3,74	4,90	6,18	7,58	9,08	10,68	12,37
440	0,60	1,12	1,79	2,62	3,60	4,71	5,95	7,30	8,76	10,32	11,96
460	0,57	1,07	1,72	2,52	3.46	4,53	5,73	7,04	8,46	9,98	11,58
480	0,55	1,03	1,66	2,42	3,33	4,37	5,53	6,80	8,18	9,65	11,21
500	0,53	0,99	1,59	2,34	3,21	4,21	5,34	6,57	7,91	9,35	10,87
520	0,51	0,96	1,54	2,25	3,10	4,07	5,16	6,36	7,66	9,06	10,54
540	0,49	0,93	1,49	2,18	3,00	3,94	4,99	6,16	7,42	8,79	10,23
560	0,48	0,89	1,44	2,11	2,90	3,81	4.84	5,97	7,20	8.53	9,94
580	0,46	0,87	1,39	2,04	2,81	3,69	4,69	5,79	6,99	8,28	9,66
600	0,45	0,84	1,35	1,97	2,72	3,58	4,55	5,62	6,79	8,05	9,40



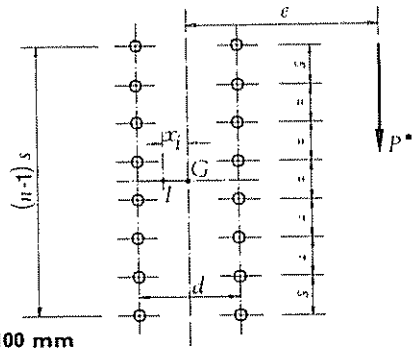
Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 80 mm y d de 100 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,60	4,35	6,27	8,29	10,36	12,45	14,54	16,64	18,72	20,80	22,87
60	2,19	3,73	5,49	7,40	9,41	11,48	13,57	15,68	17,79	19,90	22,00
80	1,88	3,24	4,83	6,61	8,52	10,52	12,58	14,67	16,78	18,90	21,02
100	1,65	2,85	4,29	5,92	7,71	9,62	11,61	13,66	15,75	17,86	19,98
120	1,47	2,54	3,84	5,34	7,01	8,81	10,72	12,71	14,75	16,83	18,93
140	1,32	2,29	3,46	4,84	6,40	8,10	9,91	11,82	13,80	15,83	17,90
160	1,20	2,08	3,15	4,42	5,87	7,46	9,19	11,01	12,92	14,90	16,92
180	1,10	1,90	2,89	4,06	5,41	6,91	8,54	10,28	12,12	14,02	15,99
200	1,01	1,75	2,66	3,75	5,01	6,42	7,96	9,62	11,38	13,22	15,12
220	0,94	1,62	2,47	3,48	4,66	5,99	7,45	9,03	10,71	12,48	14,32
240	0,87	1,51	2,30	3,25	4,35	5,61	6,99	8,49	10,10	11,80	13,58
260	0,82	1,41	2,15	3,04	4,08	5,27	6,58	8,01	9,55	11,18	12,89
280	0,77	1,33	2,02	2,86	3,84	4,96	6,21	7,57	9,04	10,61	12,26
300	0,73	1,25	1,90	2,70	3,63	4,69	5,87	7,18	8,58	10,09	11,68
320	0,69	1,19	1,80	2,55	3,43	4,44	5,57	6,82	8,16	9,61	11,14
340	0,65	1,12	1,71	2,42	3,26	4,22	5,30	6,49	7,78	9,17	10,64
360	0,62	1,07	1,62	2,30	3,10	4,02	5,05	6,19	7,43	8,76	10,18
380	0,59	1,02	1,55	2,19	2,95	3,83	4,82	5,91	7,10	8,39	9,76
400	0,57	0,97	1,48	2,09	2,82	3,66	4,61	5,66	6,81	8,04	9,37
420	0,54	0,93	1,41	2,00	2,70	3,51	4,42	5,43	6,53	7,72	9,00
440	0,52	0,89	1,35	1,92	2,59	3,37	4,24	5,21	6,27	7,43	8,66
460	0,50	0,86	1,30	1,84	2,49	3,23	4,08	5,01	6,04	7,15	8,34
480	0,48	0,83	1,25	1,77	2,39	3,11	3,92	4,83	5,82	6,89	8,05
500	0,46	0,79	1,20	1,71	2,31	3,00	3,78	4,65	5,61	6,65	7,77
520	p,45	0,77	1,16	1,65	2,22	2,89	3,65	4,49	5,42	6,43	7,51
540	0,43	0,74	1,12	1,59	2,15	2,79	3,53	4,34	5,24	6,22	7,27
560	0,42	0,72	1,08	1,54	2,08	2,70	3,41	4,20	5,07	6,02	7,04
580	0,41	0,69	1,05	1,49	2,01	2,61	3,30	4,07	4,91	5,83	6,82
600	0,39	0,67	1,02	1,44	1,95	2,53	3,20	3,94	4,76	5,66	6,62

6.5 1-7

Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

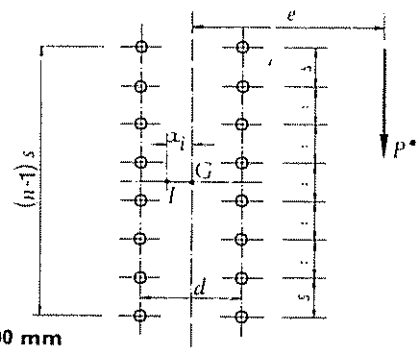


Coeficiente C, para separaciones s de 100 mm y d de 100 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,75	4,64	6,66	8,73	10,82	12.91	14,99	17,07	19,13	21,19	23,25
60	2,34	4,05	5,96	7,98	10,06	12,16	14,27	16,37	18,47	20,56	22,64
80	2,03	3,57	5,34	7,27	9,29	11,37	13,47	15,59	17,71	19,82	21,93
100	1,79	3,17	4,80	6,62	8,56	10,59	12,67	14,77	16,89	19,02	21,15
120	1,60	2,84	4,34	6,04	7,89	9.85	11.88	13,96	16.07	18,19	20.32
140	1,44	2,57	3,95	5,53	7,29	9,17	11,14	13,17	15,25	17,35	19,47
160	1,31	2,34	3,61	5,09	6,75	8,54	10,44	12,42	14,45	16,53	18,63
180	1,20	2,15	3,32	4,70	6,27	7,97	9,80	11,72	13,70	15,74	17,81
200	1,11	1,99	3,07	4,37	5,84	7,46	9,21	11,06	12,99	14,98	17,02
220	1,03	1,84	2,86	4,07	5,46	7,00	8,68	10,46	12,33	14,27	16,26
240	0,96	1,72	2,67	3,81	5,12	6,59	8,19	9,90	11,71	13,60	15,00
260	0,90	1,61	2,50	3,57	4,82	6,22	7,75	9,39	11,14	12,97	14,87
280	0,85	1,51	2,35	3,37	4,55	5,88	7,34	8,92	10,61	12,38	14,23
300	0,80	1,43	2,22	3,18	4,30	5,57	6,97	8,49	10,12	11,83	13,63
320	0,76	1,35	2,10	3,01	4,08	5,29	6,64	8,10	9,67	11,33	13,00
340	0,72	1,28	1,99	2,86	3,88	5,04	6,33	7,73	9.25	10,85	12,54
360	0,68	1,22	1.90	2,72	3,70	4,81	6,04	7,40	8,86	10,41	12,05
380	0,65	1,16	1,81	2,60	3,53	4,59	5,78	7,09	8,49	10,00	11,59
400	0,62	1,11	1,73	2,48	3,38	4,40	5,54	6,80	8,16	9,61	11,16
420	0,60	1,06	1,65	2,38	3,23	4,22	5,32	6,53	7.85	9,26	10,75
440	0,57	1,02	1.59	2,28	3,10	4,05	5,11	6,28	7,55	8,92	10,38
460	0,55	0,98	1,52	2,19	2,98	3,90	4,92	6,05	7,28	8,61	10,02
480	0,53	0,94	1,47	2,11	2,87	3,75	4,74	5,83	7,03	8,31	9,68
500	0,51	0,91	1,41	2,03	2,77	3,62	4,57	5,63	6,79	8,04	9,37
520	0,49	0,88	1,36	1,96	2.67	3,49	4,42	5,44	6,56	7,78	9,07
540	0,48	0,85	1,32	1,89	2,58	3,38	4,27	5,27	6,35	7,53	8,79
560	0,46	0,82	1,27	1,83	2,50	3,27	4,13	5,10	6,16	7,30	8,53
580	0.45	0,79	1,23	1,77	2,42	3,16	4,01	4,94	5,97	7,08	8,26
600	0,43	0,77	1,19	1,72	2,34	3,07	3,88	4,79	5,79	6,88	8,04

6.5 1-8

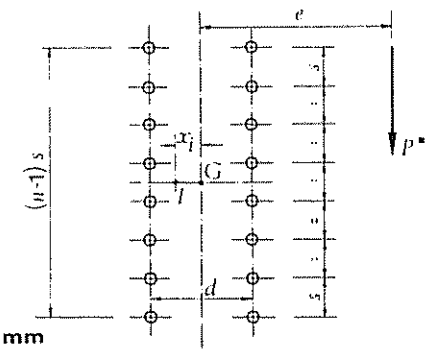
Solicitación máxima
producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$



Coeficiente C, para separaciones s de 120 mm y d de 100 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,89	4,87	6,94	9,03	11,12	13,20	15,27	17,33	19,38	21,43	23,47
60	2,49	4,34	6,34	8,41	10,51	12,62	14,71	16,80	18,89	20,96	23,02
80	2,18	3,87	5,77	7,79	9,87	11,97	14,09	16,20	18,30	20,40	22,49
100	1,93	3,48	5,25	7,19	9,23	11,31	13,42	15,54	17,66	19,78	21,89
120	1,73	3,14	4,80	6,64	8,61	10,66	12,75	14,86	16,98	19,11	21,24
140	1,57	2,85	4,40	6,14	8,04	10,03	12,08	14,17	16,29	18,42	20,55
160	1,43	2,61	4,05	5,70	7,51	9,43	11,44	13,50	15,60	17,72	19,85
180	1,31	2,40	3,74	5,30	7,02	8,88	10,83	12,86	14,92	17,02	19,14
200	1,22	2,23	3,48	4,94	6,59	8,37	10,27	12,24	14,27	16,34	18,45
220	1,13	2,07	3,24	4,63	6,19	7,91	9,74	11,65	13,64	15,68	17,76
240	1,05	1,93	3,03	4,34	5,83	7,48	9,24	11,11	13,05	15,05	17,10
260	0,99	1,81	2,85	4,09	5,51	7,08	8,79	10,59	12,49	14,45	16,46
280	0,93	1,71	2,69	3,86	5,22	6,73	8,37	10,12	11,96	13,87	15,85
300	0,88	1,61	2,54	3,66	4,95	6,40	7,98	9,67	11,46	13,33	15,26
320	0,83	1,53	2,41	3,47	4,71	6,09	7,62	9,25	10,99	12,81	14,70
340	0,79	1,45	2,28	3,30	4,48	5,82	7,28	8,87	10,55	12,33	14,18
360	0,75	1,38	2,18	3,15	4,28	5,56	6,97	8,51	10,14	11,87	13,68
380	0,72	1,32	2,08	3,01	4,09	5,32	6,69	8,17	9,76	11,44	13,20
400	0,69	1,26	1,99	2,88	3,92	5,11	6,42	7,86	9,40	11,03	12,75
420	0,66	1,20	1,90	2,76	3,76	4,90	6,18	7,57	9,06	10,65	12,33
440	0,63	1,16	1,82	2,65	3,61	4,72	5,95	7,29	8,74	10,29	11,92
460	0,61	1,11	1,75	2,54	3,48	4,54	5,73	7,04	8,44	9,95	11,54
480	0,59	1,07	1,69	2,45	3,35	4,38	5,53	6,79	8,16	9,63	11,18
500	0,56	1,03	1,63	2,36	3,23	4,23	5,34	6,57	7,90	9,33	10,84
520	0,55	0,99	1,57	2,28	3,12	4,08	5,16	6,36	7,65	9,04	10,52
540	0,53	0,96	1,52	2,20	3,02	3,95	5,00	6,16	7,42	8,77	10,21
560	0,51	0,93	1,47	2,13	2,92	3,82	4,84	5,97	7,19	8,51	9,92
580	0,49	0,90	1,42	2,06	2,83	3,71	4,70	5,79	6,98	8,27	9,64
600	0,48	0,87	1,38	2,00	2,74	3,60	4,56	5,62	6,78	8,04	9,38

6.5 1-9



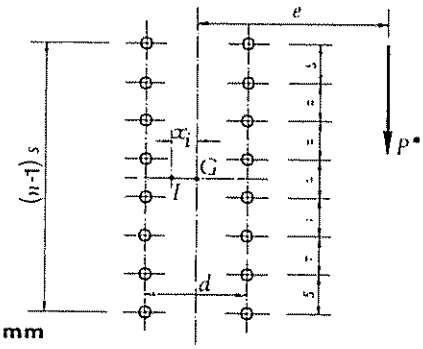
Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 80 mm y d de 120 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,68	4,39	6,27	8,26	10,30	12,38	14,46	16,55	18,63	20,71	22,78
60	2.28	3,80	5,52	7,39	9,37	11,41	13,49	15,59	17,69	19,79	21,90
80	1.98	3.33	4,88	6,62	8,50	10,47	12,50	14,58	16,68	18,79	20,90
100	1,75	2,95	4,36	5,96	7,72	9,60	11,56	13,59	15,66	17,75	19,87
120	1.56	2,64	3,92	5.39	7,03	8,81	10.69	12,65	14,67	16,73	18,82
140	1,41	2,39	3,55	4,91	6,43	8,11	9,90	11,78	13,74	15,75	17,81
160	1,29	2,18	3,24	4,49	5,92	7,49	9,19	10,99	12,88	14,83	16,84
180	1,19	2,00	2,98	4,14	5,47	6,94	8,55	10,27	12,08	13,97	15,92
200	1,10	1,85	2,76	3,83	5.07	6,46	7,98	9,62	11,36	13,18	15,07
220	1.02	1,72	2,56	3,57	4.73	6,04	7,48	9,04	10,70	12,45	14,27
240	0,95	1,61	2,39	3,33	4,42	5,66	7,03	8.51	10,10	11,78	13,54
260	0,89	1,51	2,24	3,12	4,15	5,32	6,62	8,03	9,55	11,17	12,86
280	0,84	1,42	2,11	2,94	3,91	5,02	6,25	7,60	9,05	10,60	12,24
300	0,80	1,34	1,99	2.78	3,70	4,75	5,92	7,21	8,60	10,09	11,66
320	0,75	1,27	1,89	2,63	3.50	4,50	5,62	6,85	8,19	9,62	11,13
340	0,72	1,20	1,79	2,50	3,33	4,28	5,35	6,53	7,81	9,18	10,64
360	0,68	1,15	1,70	2,38	3,17	4,08	5,10	6,23	7,46	8,78	10,19
380	0,65	1,09	1,62	2,27	3,02	3,89	4,87	5,96	7,14	8,41	9,77
400	0,62	1,05	1,55	2,17	2,89	3.72	4.66	5,70	6,84	8,07	9,38
420	0,60	1,00	1,49	2,08	2.77	3,57	4,47	5,47	6,57	7,75	9,02
440	0,58	0,96	1,43	1,99	2,66	3,43	4,29	5,26	6,31	7,45	8,68
460	0,55	0,92	1,37	1,91	2,55	3,29	4,13	5,06	6,07	7,18	8,36
480	0,53	0,89	1,32	1,84	2,46	3,17	3,98	4,87	5,85	6,92	8,07
500	0,51	0,86	1,27	1,77	2,37	3,06	3,83	4,70	5,65	6,68	7,79
520	0,50	0,83	1,23	1,71	2,28	2,95	3,70	4,54	5,46	6,46	7,54
540	0,48	0,80	1,18	1,65	2,21	2,85	3,58	4,39	5,28	6,25	7,29
560	0,46	0.77	1,15	1,60	2,13	2,76	3,46	4,24	5,11	6,05	7,07
580	0,45	0,75	1,11	1,55	2,07	2,67	3,35	4,11	4,95	5,86	6,85
600	0,44	0,73	1,08	1,50	2,00	2,59	3,25	3,99	4,80	5,69	6,65

6.5 1-10

uniones roblonadas y atornilladas



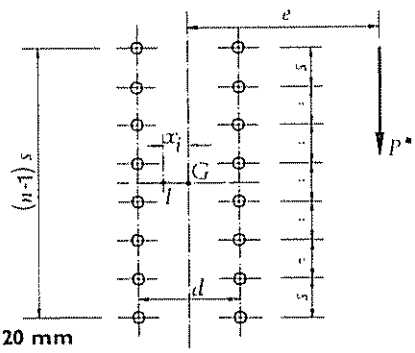
Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

Coeficiente C, para separaciones s de 100 mm y d de 120 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,79	4,64	6,62	8,68	10,75	12,84	14,92	17,00	19,07	21,13	23,18
60	2,40	4,08	5,95	7,94	10,00	12,08	14,18	16,28	18,38	20,47	22,56
80	2,10	3,61	5,34	7,24	9,24	11,30	13,39	15,50	17,61	19,73	21,83
100	1,86	3,23	4,82	6,61	8,52	10,53	12,59	14,69	16,80	18,92	21,04
120	1,67	2,91	4,37	6,04	7,87	9,80	11,82	13,88	15,97	18,09	20,21
140	1,52	2,64	3,99	5,55	7,28	9,13	11,08	13,10	15,16	17,26	19,37
160	1,38	2,41	3,66	5,12	6,75	8,52	10,40	12,36	14,38	16,44	18,54
180	1,27	2,22	3,38	4,74	6,28	7,96	9,77	11,67	13,63	15,66	17,72
200	1,18	2,06	3,13	4,41	5,86	7,46	9,19	11,02	12,93	14,91	16,94
220	1,10	1,92	2,92	4,11	5,49	7,01	8,66	10,43	12,28	14,21	16,19
240	1,03	1,79	2,73	3,85	5,15	6,60	8,18	9,88	11,67	13,54	15,48
260	0,96	1,68	2,56	3,62	4,85	6,23	7,75	9,38	11,11	12,92	14,81
280	0,91	1,58	2,41	3,42	4,58	5,90	7,35	8,92	10,59	12,34	14,18
300	0,86	1,49	2,28	3,23	4,34	5,60	6,98	8,49	10,10	11,80	13,58
320	0,82	1,42	2,16	3,07	4,12	5,32	6,65	8,10	9,65	11,30	13,03
340	0,77	1,35	2,05	2,91	3,92	5,07	6,34	7,74	9,24	10,83	12,51
360	0,74	1,28	1,96	2,78	3,74	4,84	6,06	7,40	8,85	10,39	12,02
380	0,71	1,22	1,87	2,65	3,57	4,63	5,80	7,10	8,49	9,99	11,57
400	0,68	1,17	1,78	2,54	3,42	4,43	5,56	6,81	8,16	9,61	11,14
420	0,65	1,12	1,71	2,43	3,28	4,25	5,34	6,55	7,85	9,25	10,74
440	0,62	1,08	1,64	2,33	3,15	4,09	5,14	6,30	7,56	8,92	10,36
460	0,60	1,03	1,58	2,24	3,03	3,93	4,95	6,07	7,29	8,61	10,01
480	0,58	1,00	1,52	2,16	2,92	3,79	4,77	5,85	7,04	8,32	9,68
500	0,56	0,96	1,46	2,08	2,81	3,65	4,60	5,65	6,80	8,04	9,37
520	0,54	0,93	1,41	2,01	2,71	3,53	4,45	5,47	6,58	7,78	9,07
540	0,52	0,90	1,36	1,94	2,62	3,41	4,30	5,29	6,37	7,54	8,79
560	0,50	0,87	1,32	1,88	2,54	3,30	4,16	5,12	6,17	7,31	8,53
580	0,49	0,84	1,28	1,82	2,46	3,20	4,04	4,97	5,99	7,09	8,28
600	0,47	0,81	1,24	1,76	2,38	3,10	3,91	4,82	5,81	6,89	8,05

6.5 1-11

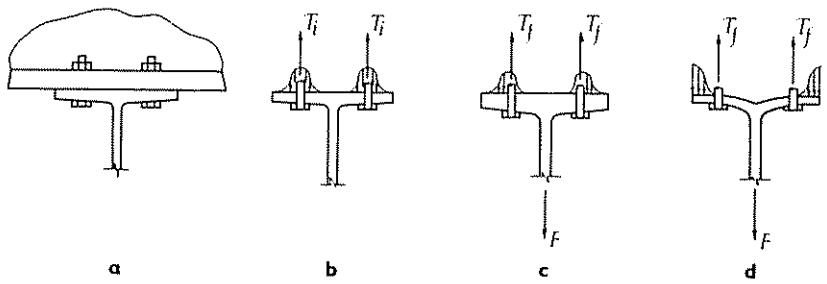
Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$



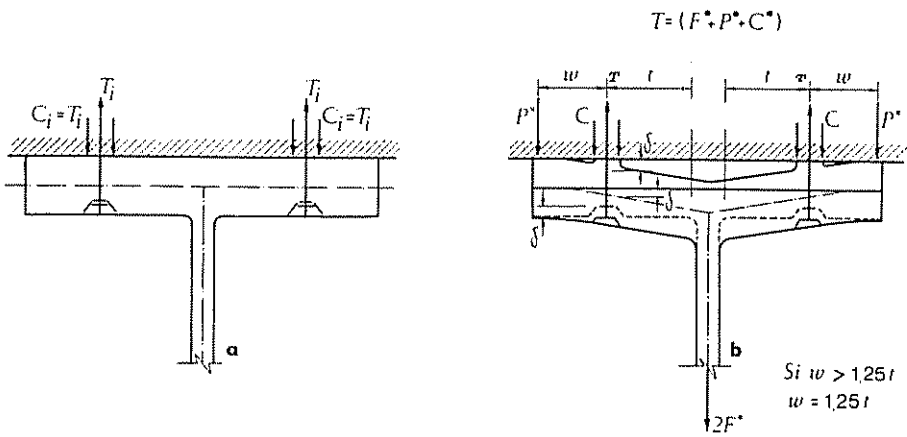
Coeficiente C, para separaciones s de 120 mm y d de 120 mm

Excentricidad e *mm*	Elementos de unión, n, por columna										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	2,91	4,85	6,90	8,98	11,06	13,14	15,21	17,27	19,33	21,38	23,42
60	2,53	4,33	6.30	8.36	10.44	12,54	14,64	16,73	18,82	20,89	22.96
80	2.23	3,88	5.75	7.74	9,80	11.90	14,01	16,12	18,22	20.32	22.42
100	1,99	3,50	5,24	7,15	9,17	11,24	13,34	15,46	17,57	19.69	21.80
120	1.79	3,17	4.60	6,62	8,56	10.59	12.67	14.77	16,89	19,02	21,15
140	1,63	2.89	4,41	6,13	8,00	9,97	12,01	14,09	16,20	18,33	20,46
160	1,49	2,66	4,07	5,69	7,48	9,39	11,38	13,43	15,52	17,63	19,76
180	1,37	2,45	3.77	5,30	7.01	8,85	10,78	12.79	14,85	16,94	19.05
200	1,27	2,28	3,51	4,96	6,58	8,34	10,22	12,18	14,20	16,26	18.36
220	1.19	2,12	3.28	4.64	6,19	7.88	9,70	11.60	13.58	15,61	17,68
240	1.11	1,99	3,07	4,37	5,84	7.46	9.21	11,06	12.99	14,98	17,02
260	1,04	1,87	2,89	4,12	5,52	7,08	8,76	10,56	12,43	14,38	16.39
280	0,98	1,76	2,73	3.89	5.23	6,72	8,35	10,08	11,91	13,81	15,78
300	0,93	1,66	2,58	3,69	4.97	6,40	7,96	9,64	11,42	13,28	15,20
320	0,88	1,58	2,45	3.50	4,72	6.10	7,61	9.23	10.96	12.77	14,65
340	0.84	1,50	2.33	3,33	4,50	5.82	7,28	8,85	10,52	12,29	14,13
360	0.80	1.43	2,22	3,18	4.30	5,57	6,97	8,49	10,12	11,83	13,63
380	0,76	1,36	2,12	3.04	4,12	5,34	6,69	8,16	9,74	11,41	13,16
400	0,73	1.30	2,03	2,91	3,94	5,12	6,43	7,85	9,38	11,01	12,71
420	0,70	1,25	1.94	2,79	3,79	4,92	6.18	7.56	9.05	10,63	12,29
440	0.67	1,20	1,87	2,68	3,64	4,73	5,95	7,29	8,73	10,27	11,89
460	0,65	1.15	1,79	2.58	3,50	4,56	5,74	7,04	8,44	9,93	11,52
480	0,62	1,11	1,73	2,48	3,38	4,40	5,54	6,80	8.16	9.61	11,16
500	0.60	1,07	1.67	2,40	3,26	4,25	5,35	6,57	7,90	9,31	10,82
520	0,58	1,03	1.61	2,31	3,15	4,10	5.18	6,36	7.65	9,03	10,50
540	0,56	1,00	1,55	2,24	3.04	3,97	5,01	6,16	7,41	8,76	10.19
560	0,54	0.97	1,50	2,16	2,95	3,85	4,86	5,98	7,19	8.51	9,91
580	0,53	0,94	1,46	2.10	2,85	3,73	4,71	5,80	6,99	8.26	9,63
600	0 51	0,91	1,41	2,03	2,77	3,62	4,57	5,63	6,79	8,04	9.37

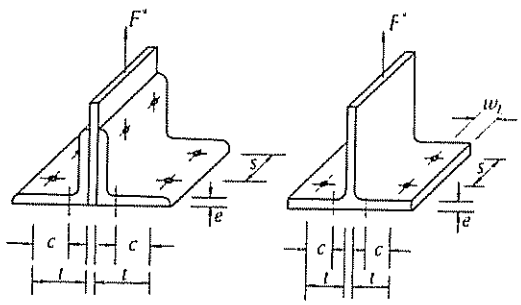
6.5 1-12


T_i
T_i
T_f
T_f
T_f
T_f
F
F
a
b
c
d

[6.25]


$T = (F^* + P^* + C^*)$
$C_i = T_i$
T_i
T_i
$C_i = T_i$
a
w
t
t
w
P^*
C
C
P^*
b
$2F^*$
Si $w > 1{,}25\,t$
$w = 1{,}25\,t$

[6.26]


F^*
F^*
w_1
s
s
e
e
c
c
c
c
t
t
t
t

[6.27]

6.5.2. Solicitaciones que producen esfuerzo de tracción en los elementos de unión. Tracción centrada.

Es el caso más simple. El punto de aplicación del esfuerzo exterior coincide con el centro de gravedad del conjunto de los elementos de unión y éstos están igualmente solicitados. Como hemos dicho anteriormente, cualquier pretensión del elemento (roblones o tornillos TR) es equilibrada por presiones de contacto entre las chapas unidas [6.25, b]. En este tipo de unión es preciso tener en cuenta el posible «efecto palanca», que puede producir un aumento importante, en la solicitación de los elementos de unión, sobre la calculada en la hipótesis de rigidez transversal infinita de las chapas unidas.

Para fijar ideas, consideremos el caso de la unión de un tirante por medio de una T [6.25].

Si el ala de la T es muy rígida, su deformación por flexión es pequeña con relación al alargamiento del tornillo, la distribución de presiones adopta la forma de [6.25, c] y el efecto palanca es despreciable. No ocurre lo mismo cuando el ala de la T es muy flexible [6.25, d], no pudiendo en este caso despreciarse la sobretensión que produce el efecto palanca.

El efecto palanca puede cuantificarse en función de estudios y ensayos realizados [1] según la fórmula:

$$P^* = \left[\frac{\frac{1}{2} - \frac{se^3}{30\,\omega\,t^3\,A_r}}{\frac{3\,\omega}{4\,t}\left(\frac{\omega}{4\,t}+1\right) + \frac{se^3}{30\,\omega\,t^3\,A_r}} \right] F^*$$

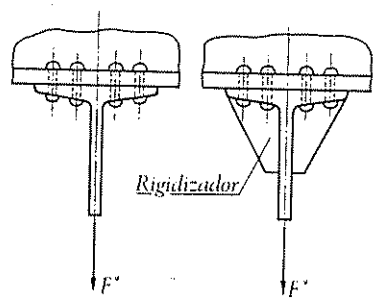
con la notación correspondiente a [6.26] y [6.27] y siendo A_r el área resistente de cada elemento de unión (roblón o tornillo).

La Norma Básica MV-103 especifica que no es necesario tener en cuenta el efecto palanca cuando se cumple la condición

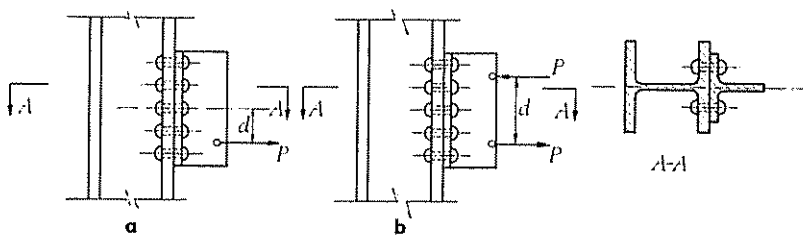
$$F^* \leqslant 375\, e \frac{t}{c} \times \frac{s}{s+t}$$

---

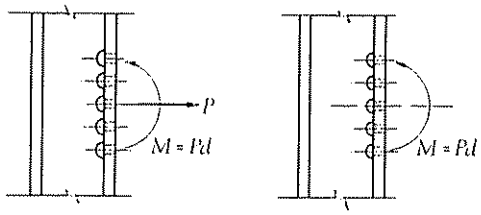
[1] DOUTY y McGUIRE, *High-Strength Bolted Connections*. J. Struct. Div. ASCE, vol. 91. Abril 1965.



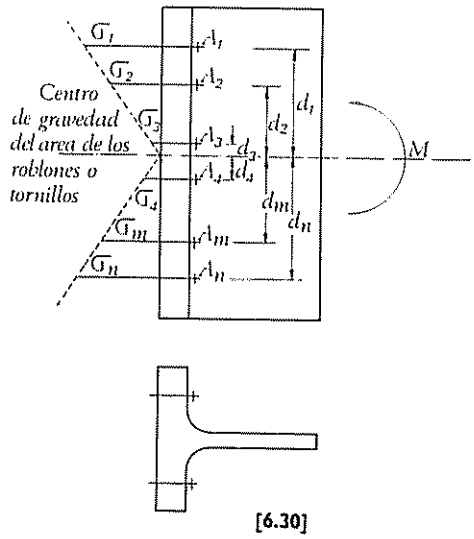
a [6.28] b



a b



c [6.29] d



[6.30]

siendo F^* el esfuerzo de tracción ponderada que actúa sobre cada elemento de unión (roblón o tornillo) expresado en kilogramos ($F^* = P^*/n$). Los valores de e, t, c y s están expresados en milímetros.

De lo contrario es preciso tener en cuenta el efecto palanca o rigidizar el perfil de unión [6.28].

6.5.3. Grupos de roblones o tornillos solicitados a tracción por un momento o por una fuerza excéntrica.

En [6.29a] sobre la unión actúa una fuerza excéntrica y en [6.29b] actúa un momento. En el primer caso la acción resultante puede representarse por una fuerza concéntrica con el centro de gravedad del grupo de elementos y un momento [6.29c]. La fuerza concéntrica produce tracciones en los roblones o tornillos, iguales si son del mismo diámetro o proporcionales al área de cada uno de ellos, si son de diferente diámetro. Queda por determinar los esfuerzos que origina el momento solicitante.

Puesto que en las uniones con roblones y tornillos de alta resistencia existe una pretensión que mantiene las dos placas unidas comprimidas entre sí, y en las uniones con tornillos ordinarios y calibrados no existe este efecto, el comportamiento de la unión será distinto en ambos casos y, por tanto, el método de cálculo.

6.5.3.1. *Elementos de unión con tensión inicial.*

La Norma Básica MV-103, en el Anejo 5, recomienda para este tipo de uniones [6.30]:

El esfuerzo en un elemento de sección A_m, a una distancia d_m del centro de gravedad, es:

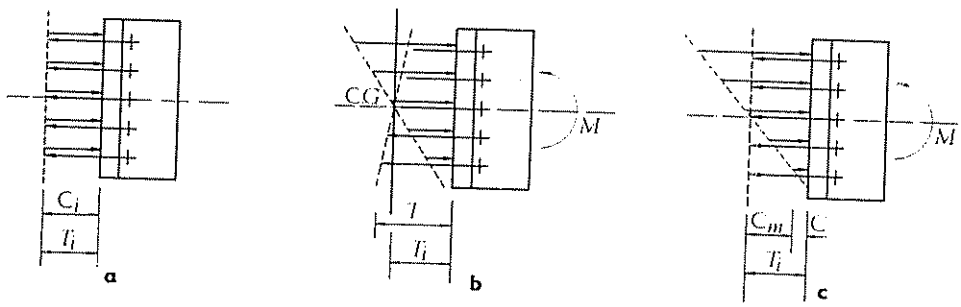
$$F^*_m = \frac{M^* d_m A_m}{I}$$

donde:

$$I = \sum_{m=1}^{n} A_m d^2_m$$

cuando todos los elementos tienen la misma sección ($A_m = A$):

$$F^*_m = \frac{M^* d_m}{I'}$$



[6.31]

donde:

$$I' = \sum_{m=1}^{n} d^2_m$$

El valor F^*_m se utilizará para la comprobación del roblón o tornillo de alta resistencia, considerando únicamente, en los casos normales en la práctica, los situados en la zona de tracción.

Existe una aparente contradicción entre la recomendación de este método a uniones de elementos con tensión inicial y la también aparente no consideración del hecho de que la resistencia de la unión la proporciona la variación de compresiones entre las placas unidas. El análisis de un caso concreto puede aclarar estos conceptos.

En [6.31] se representa el caso de un casquillo de T solicitado por un momento y suponemos que los elementos de unión (TR o R) son de igual área, y con separaciones iguales, para mayor simplicidad. Cuando sobre la unión no actúa ningún esfuerzo exterior, cada fila se supone tiene la misma pretensión T_i. Las tensiones de contacto que las equilibran se representan por su resultante $C_i = T_i$, en cada fila [6.31a], considerando solo las tensiones de contacto en las zonas de influencia de cada elemento de unión, suponiendo un comportamiento elástico, y la conservación de las secciones planas cuando se aplica el momento, el centro de rotación será el centro de gravedad de las fuerzas de compresión o, lo que es lo mismo, el centro de gravedad del grupo de los elementos de unión.

Al introducir el momento exterior, las tracciones en los tornillos y las compresiones concéntricas con ellos, variarán como se indica en [6.31b]. Según se ha indicado en [6.31], la variación en las fuerzas de contacto es mayor que la variación en las tracciones de los elementos de unión. En cada fila habrá un esfuerzo, diferencia entre las tracciones en los elementos y las compresiones de contacto. Estos esfuerzos producen un momento que equilibra al momento solicitante. Por consiguiente, como las tracciones en los elementos de unión varían muy poco, si las chapas no pierden el contacto, puede suponerse que las tracciones no se alteran y que la variación afecta solo a las fuerzas de contacto como se representa en [6.31c]. La variación en las fuerzas de contacto viene dada por:

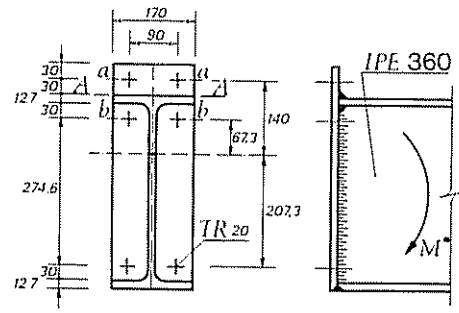
$$C_m = \frac{M\ d_m}{I'}$$

d_m Distancia del centro de gravedad a la C_m considerada.

$$I' = \sum_{m=1}^{n} d^2_m$$

6.5 3 1. EJEMPLO DE APLICACION

Comprobar la unión representada en el esquema adjunto, para un momento $M^* = 1.800$ cm · t. Las superficies han sido preparadas y el acero es de calidad A 42.



Método de la Norma Básica MV-103 (Artículo 6.531)

$$I' = \Sigma d_m^2 = 2\,(6.73^2 + 14{,}0^2 + 20.73^2) = 1.342 \text{ cm}^2$$

$$F_n^* = \frac{M^* d_n}{I'} = \frac{1.800 \times 14.0}{1.342} = 18{,}77 \text{ t}$$

solicitación de agotamiento de un tornillo TR20, en la dirección de su eje = 16.2 t < 18,77 t, los tornillos de la unión no son suficientemente resistentes.

Método de las Recomendaciones de la Convención Europea de la Construcción Metálica (Artículo 6.532)

$$T^* = \frac{M^*}{h - e_1} = \frac{1.800}{36 - 1.27} = 51{,}83 \text{ t} \qquad \frac{T^*}{2} + P \leqslant 2 \times R_t$$

suponemos la chapa lo suficientemente rígida, $P = 0$

$$\frac{51{,}83}{2} \leqslant 2 \times 16{,}2 \qquad 25{,}91 < 32{,}4$$

según este método, los tornillos de la unión son suficientemente resistentes.

Esto nos demuestra que la Norma Básica MV-103 es más conservadora, por suponer una distribución triangular [**6.30**], siendo diferentes los esfuerzos en los tornillos a-a y b-b, no así las Recomendaciones de la Convención Europea [**6.33**], que transforma el momento exterior M en un par, y la fuerza de tracción del par produce esfuerzos iguales en los tornillos a-a y b-b.

El espesor de la placa de testa nos lo da el dimensionamiento de la sección A-A.

$$\frac{T}{2} f - P e = M \qquad \frac{51{,}82}{2} \times 3{,}0 = \frac{1}{6} 17 e^2 2{,}6 \qquad e = 32{,}4 \text{ mm, se elige 35 mm}$$

Utilización de 6.6 3 1 1

Todas estas tablas están hechas siguiendo las Recomendaciones de la Convención Europea y nos permite, con los datos de entrada, deducir:

perfil IPE 360 y $M^* = 1.800$ cm · t

Son posibles dos soluciones:

Con chapa absolutamente rígida (máximo aprovechamiento de los tornillos):

Placa de 35 mm y tornillos Ø 20, cuya designación sería, según el Prontuario:

R - PR - 1IPE 360 - TR20

Con chapa no absolutamente rígida (efecto palanca):

Placa de 22 mm y tornillos de Ø 22, cuya designación sería:

R - PF - 1IPE 360 - TR22

Si la F^*_m calculada según el procedimiento recomendado por la Norma es igual o menor que la fuerza que se fija como la de agotamiento, del elemento de unión a tracción y teniendo en cuenta que ésta es siempre menor que la tensión inicial, se deduce de la expresión de C_m, que su máximo valor será menor que la tensión inicial. Las superficies de las chapas permanecerán, por tanto, en contacto, y la tracción en el elemento más solicitado será solo ligeramente mayor que la tracción inicial. Con ello se justifica el método de comprobación indicado en la Norma.

En este caso no se tiene en cuenta el efecto palanca, puesto que no existe flexión de la chapa.

Ver ejemplo de aplicación en la página 66.

6.5.3.1.1. *Recomendaciones de la Convención Europea de la Construcción Metálica (CECM).* [1]

El espesor de la placa de testa determina que los tornillos de la zona de tracción estén sometidos, o no, a efecto palanca. El proyectista puede optar por dimensionar la placa de testa de manera que no exista efecto palanca y, por tanto, lograr un aprovechamiento integral de los tornillos o, por el contrario, proyectar una unión con una placa más delgada, teniendo en cuenta este efecto y el consiguiente desaprovechamiento de los tornillos.

Ambas opciones le son posibles con el método que recomienda la CECM y que a continuación reproducimos:

R 82.0311. *Cálculo de los esfuerzos en los tornillos y del espesor de la placa cuando la unión está solicitada por un momento.*

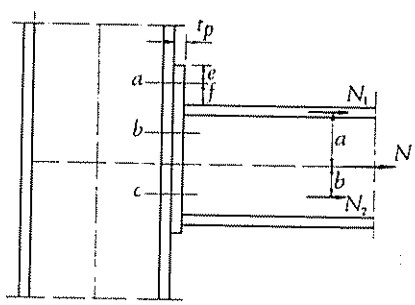
Se aconseja colocar las filas de tornillos a-a y b-b tan próximos como constructivamente sea posible (llaves de apretado) del ala traccionada, y no usar más de dos tornillos por fila. Si se emplean más de dos tornillos por fila no puede asegurarse una distribución uniforme entre ellos del esfuerzo.

Los esfuerzos en los tornillos y el espesor en la placa de testa pueden calcularse mediante las fórmulas (dos tornillos en la sección a-a, [6.33]).

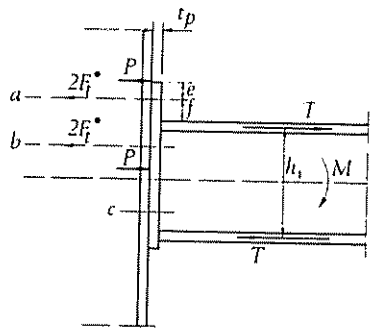
$$T = \frac{M}{h_1} \cdot \frac{T}{2} + P \leqslant 2 \times F^*_t$$

$$\frac{Tf}{2} - Pe \leqslant \overline{M}_1$$

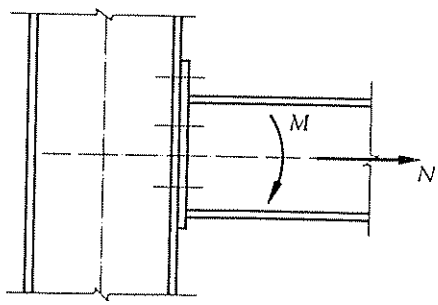
[1] Primera edición, 1975.



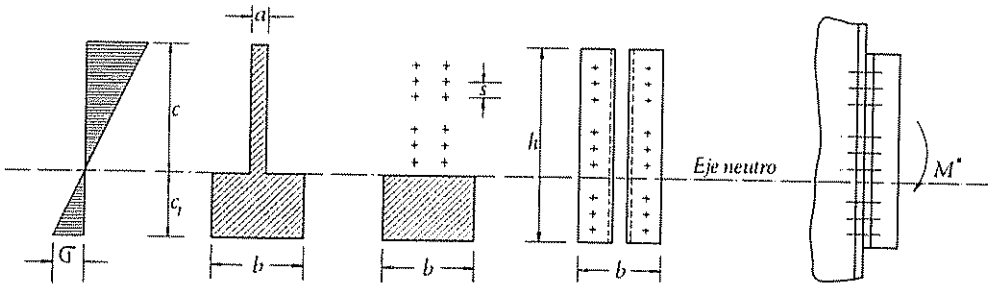
[6.32]



[6.33]



[6.34]



[6.35]

pudiéndo tomarse cualquier valor para P, *siempre que se cumpla*

$$Pe \leqslant \overline{M}_2$$

permisible.

Los valores que se indican como permisibles serán los admisibles o los de agotamiento, según se trabaje con solicitaciones características o ponderadas:

F^*_t *tracción permisible en el tornillo.*

$\overline{M}_1$ *momento límite en la sección transversal de la placa de testa inmediata al ala traccionada del perfil.*

$\overline{M}_2$ *momento límite en la sección neta a-a de la placa de testa.*

R 82.0312. *Uniones de testa solicitadas a tracción.*

La tracción (N) *se distribuye entre los tornillos equilibrándose con los esfuerzos en los mismos. Refiriéndonos a* [6.32]

$$N_1 = \frac{b}{a+b} N \qquad N_2 = \frac{a}{a+b} N$$

El cálculo de los esfuerzos en los tornillos (F^*_t) *y del espesor* t_p *de la placa se hace de acuerdo con R 82.0311, sustituyendo* T *por* N_1.

Cuando la unión está solicitada por una fuerza de tracción (N) *y un momento* M [6.34] *deben sumarse* N_1 *y* T.

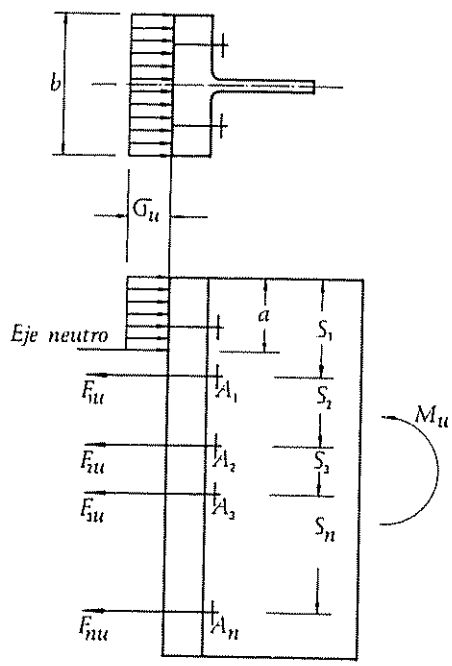
6.5.3.2. *Elementos de unión sin tensión inicial.*

Este es el caso de los tornillos ordinarios y calibrados. Cuando la unión es solicitada por un momento, las chapas se despegan en la zona de tracción y el momento resistente lo proporcionan las tracciones en los tornillos en la zona de tracción y las tensiones de contacto entre chapas en la zona de compresión. La Norma Básica MV-103 en el Anejo 5 recomienda para este tipo de uniones [6.35]:

Se supone que el momento es resistido por los tornillos en la zona de tracción y por contacto en la zona de compresión.

La posición de la fibra neutra viene determinada por la ecuación:

$$\frac{c_1}{c} = \sqrt{\frac{a}{b}}$$



[6.36]

siendo:

$$a = \frac{A}{s} m$$

o sea, el ancho del área equivalente de la sección de los tornillos supuestos uniformes, y m el número de filas paralelas de tornillos.

El esfuerzo máximo sobre el tornillo más alejado de la fibra neutra será:

$$F^* = \frac{M^* c}{I} \frac{a s}{m}$$

La máxima tensión de compresión en la placa es:

$$\sigma^* = \frac{M^* c_1}{I}$$

siendo:

$$I = \frac{a c^3}{3} + \frac{b c_1^3}{3}$$

6.5.3.2.1. *Método basado en el momento de agotamiento.*

Exponemos este método con el fin exclusivo de demostrar con un ejemplo comparativo que el indicado en la Norma Básica MV-103 es suficientemente conservador, considerando el momento límite de agotamiento de la unión en fase plástica. Consideramos el caso representado en [6.36] y vamos a calcular el momento límite M_u que es capaz de soportar la unión.

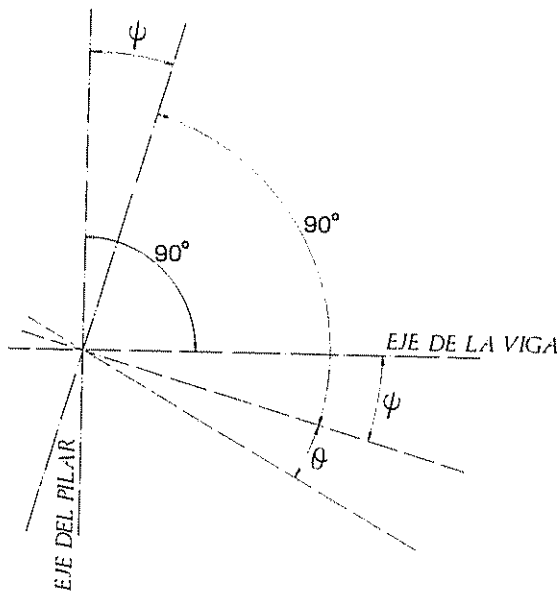
Suponemos [1] que una estimación aproximada del momento de agotamiento M_u consiste en suponer todos los tornillos traccionados trabajando a su carga de agotamiento y que las tensiones de compresión alcanzan el límite elástico en el área adecuada para equilibrar las tracciones de los tornillos.

Con las notaciones de [6.36];

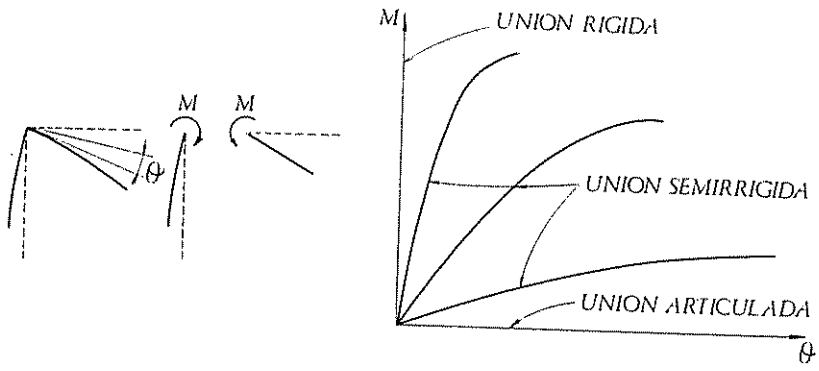
$$\sigma_u b a = F_{1u} + F_{2u} + \cdots F_{nu} = \sum_{i=1}^{n} F_{iu}$$

---

[1] *Plastic Design in Steel* AISC. Tercera edición. Nueva York, 1959.


ψ
90°
90°
EJE DE LA VIGA
ψ
θ
EJE DEL PILAR

[6.37]


M
M
θ
M
UNION RIGIDA
UNION SEMIRRIGIDA
UNION ARTICULADA
θ

[6.38]

siendo:

σ_u Límite elástico del material de las chapas
F_{tu} Carga de agotamiento de cada fila de elementos (en el caso de la figura dos veces la de cada elemento).
n Número de filas de tornillos en tracción.

De la ecuación anterior se obtiene el valor «a», y a partir de éste, el del momento de agotamiento por la expresión:

$$M_u = \frac{\sigma_u\, b\, a^2}{2} + \sum_{1}^{n} F_{tu}\,(S_t - a)$$

6.6. UNIONES DE VIGAS

Las uniones pueden clasificarse, según su capacidad de giro, en: flexibles, rígidas y semi-rígidas. Usualmente el proyectista utiliza en sus cálculos uniones que considera teóricamente como perfectamente flexibles, o como perfectamente rígidas.

Las uniones reales son todas semi-rígidas, con mayor o menor grado de capacidad rotacional. El cálculo de una estructura con uniones semi-rígidas presenta dos problemas fundamentales:

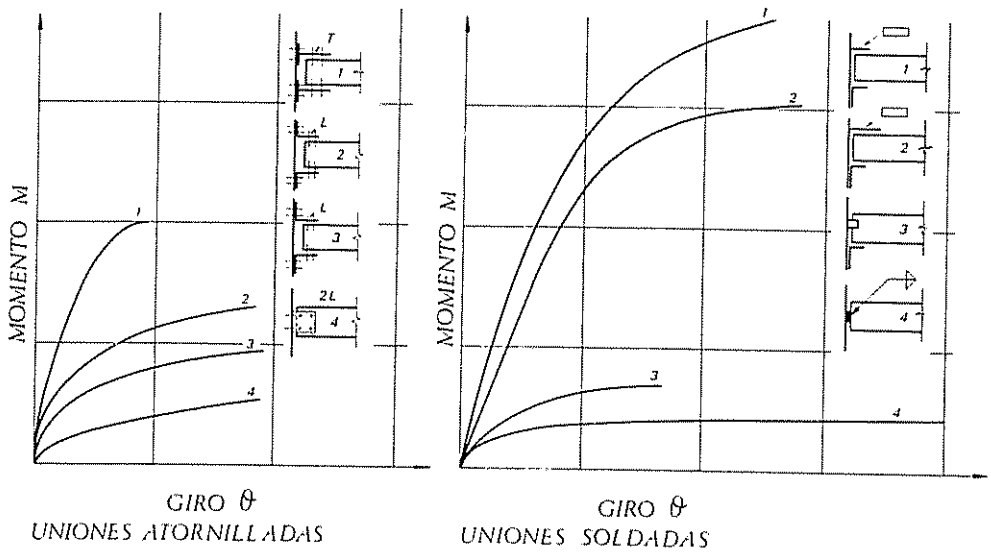
— cuantificación de la rigidez de una unión determinada.

— análisis de la estructura, teniendo en cuenta el grado de rigidez real de las uniones.

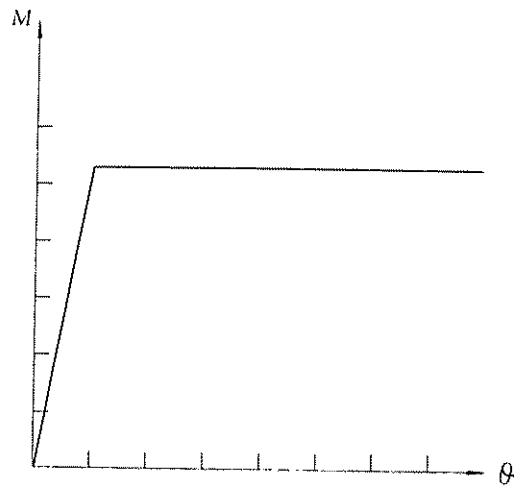
El cálculo considerando la rigidez real de las uniones, es en muchos casos irrealizable, y en todos ellos muy laborioso, por ello su interés es más bien teórico [1], reduciéndose en la práctica el problema a proyectar las uniones con la preocupación de que la discrepancia entre el comportamiento real y el teórico supuesto sea mínima. Más adelante analizaremos algunas de las uniones más usuales desde este punto de vista.

---

[1] LOTHERS, en *Cálculo superior de estructuras de acero*, considera la introducción de la semirigidez de una unión en el cálculo por el método de CROSS de una estructura, pero afectando al coeficiente de rigidez propio de cada nudo, independientemente de las características de la viga y de la carga. Compañía Editora Continental, S. A. México, diciembre 1965.


MOMENTO M
GIRO θ
UNIONES ATORNILLADAS
MOMENTO M
GIRO θ
UNIONES SOLDADAS

[6.39]


M
θ

[6.40]

6.6 1. **Rigidez de una unión.**

La rigidez de la unión del extremo de una viga sometida a una carga determinada se define como el cociente entre el momento real que se produce en el extremo de la viga y el momento de empotramiento perfecto de la misma, todo ello suponiendo que la columna o barra a la que se une la viga no sufre ningún giro. El giro de esta barra soporte modifica el momento en el extremo, pero no modifica la rigidez de la unión. Esta depende de la rigidez del tipo de unión, de las cargas y de las características de la viga.

6.6 1 1. *La curva* M-θ *de la unión.*

La principal característica de una unión es la curva M-θ que se define como la curva que relaciona el momento M que transmite la unión con la rotación relativa θ de las directrices de las barras unidas [6.37].

Se supone implícitamente que la conexión es de longitud cero y que las barras unidas se encuentran, por tanto, en un punto.

En una unión rígida, la curva M-θ se confunde con el eje vertical, mientras que una unión articulada, o sea, perfectamente flexible, dicha curva coincide con el eje horizontal. Cualquier otra unión representada por una curva intermedia es semi-rígida [6.38].

Algunos autores [1] han determinado mediante ensayos las curvas características de algunos tipos de uniones [6.39].

Estas curvas pueden sustituirse aproximadamente por un diagrama lineal [6.40], que en la zona elástica es de la forma

$$M = \gamma\theta$$

siendo:

γ Coeficiente que determina la rigidez de la unión.

---

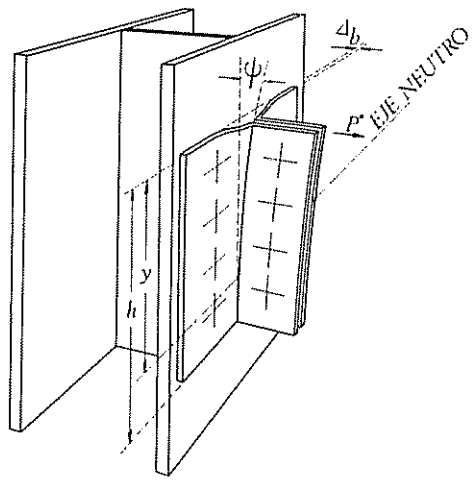
[1] B. G. JOHNSTON y E. MOUNT, *Analysis of Building Frames with Semi-rigid Connections*, Trans. ASCE, 107, 993 (1942).

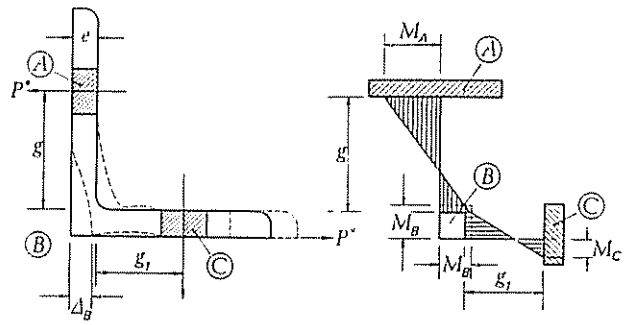
J. F. BAKER, *The Steel Skeleton*, volúmenes I y II, Cambridge University Press, 1953-1956.

J. CHARLES RATHBUN, *Elastic properties of riveted Connections*. Trans. ASCE 1936.

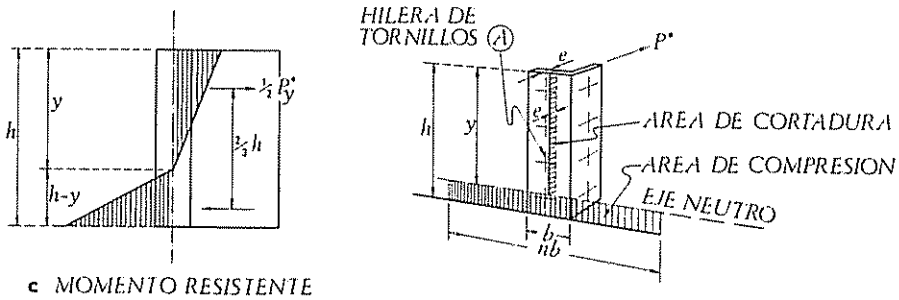
Second Report of the Steel Research Committee Gt. Brit., Dept. Sci. Ind. Res., Londres, 1934.

JOHNSTON, B. G., y G. R. DEITS, *Tests of Miscellaneous Welded Building Connections*, Welding J., enero 1942.





a *NOTACION* **b** *MOMENTOS RELATIVOS*



c *MOMENTO RESISTENTE*

[6.41]

Algunos autores, como Lothers, se han planteado el problema de la deducción teórica del coeficiente $Z = \frac{1}{\gamma}$ en algunos casos particulares.

Para la unión mediante dos angulares, LOTHERS [1] llega a la expresión del valor de Z:

$$Z = \left(\frac{6\,g^3}{E\,h\,e^3\,y^2}\right)\left(\frac{g + g_1}{4\,g + g_1}\right)$$

siendo:

$$y = \frac{h\,(n\,b - \sqrt{n\,b\,t})}{n\,b - t}$$

la profundidad del eje neutro, y

$$n = \frac{6\,g\,(2\,g + g_1)}{e\,(4\,g + g_1)}$$

con el significado de las constantes que se da en [6.41].

6.6.1.2. *Influencia de la deformación de la viga.*

Consideremos ahora una viga prismática cargada uniformemente, unida a pilares suficientemente rígidos, mediante una unión cuya rigidez viene determinada por la curva [6.40]. Suponemos también que nos movemos dentro de la zona de proporcionalidad de la curva sin llegar a la zona de plasticidad de la unión.

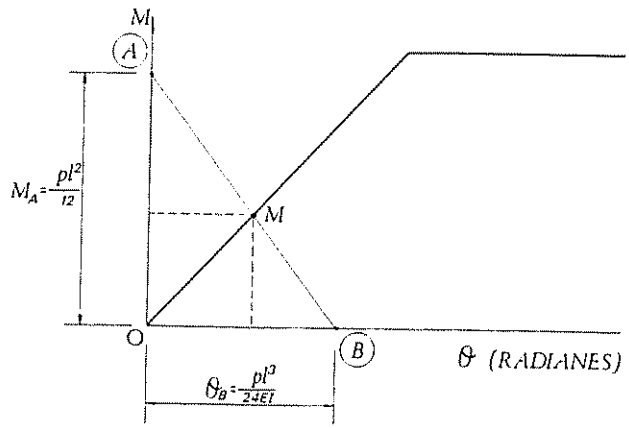
Podemos expresar el momento en un extremo de la viga en función del momento de empotramiento perfecto, y del giro de las secciones extremas, por la expresión:

$$M = M_E - \frac{2\,E\,I\,\theta}{l}$$

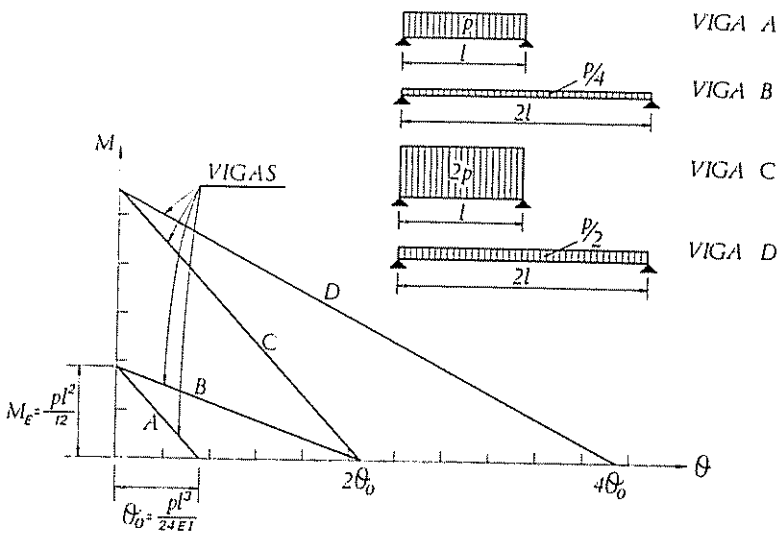
esta ecuación representa una recta, considerando como variables M y θ, que corta a los ejes en los puntos A y B [6.42].

---

[1] JOHN E. LOTHERS, *Cálculo superior de estructuras de acero*, pág. 412. Compañía Editora Continental México (1965).


M
A
$M_A = \frac{pl^2}{12}$
M
O
B
θ (RADIANES)
$\theta_B = \frac{pl^3}{24EI}$

[6.42]


p
l
VIGA A
p/4
2l
VIGA B
2p
l
VIGA C
p/2
2l
VIGA D
M
VIGAS
D
C
B
A
$M_E = \frac{pl^2}{12}$
$2\theta_0$
$4\theta_0$
θ
$\theta_0 = \frac{pl^3}{24EI}$

[6.43]

El punto A representa el momento cuando la viga está empotrada perfectamente.

El punto B representa la rotación del extremo de la viga cuando está articulada

$$M_B = 0 \qquad \theta_B = \frac{M_E\, l}{2\,E\,I} = \frac{p\, l^3}{24\,E\,I}$$

6.6.1.3. *Determinación de la rigidez de la unión.*

El momento real que se produce en el extremo de la viga debe verificar tanto la ecuación de rigidez de la unión como la de la deformación de la viga, por consiguiente, viene determinado por el punto M de intersección de ambas [6.42].

Eliminando θ entre las dos ecuaciones, se obtiene:

$$M = \frac{M_E}{1 + \dfrac{2\,E\,I}{\gamma\, l}}$$

como por definición el grado de rigidez K de la unión es:

$$M = K\, M_E$$

resulta:

$$K = \frac{1}{1 + \dfrac{2\,E\,I}{\gamma\, l}}$$

expresión válida no solo para carga uniforme, sino también para cualquier tipo de carga simétrica.

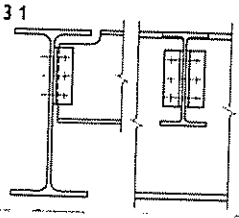
Como se deduce de su obtención, la rigidez K depende no solo del coeficiente γ, sino también del tipo de la carga y del valor $\dfrac{I}{l}$ de la viga.

En [6.43] se pone de manifiesto esta variación.

6.6.2. Clasificación de las uniones atendiendo a la rigidez de las mismas.

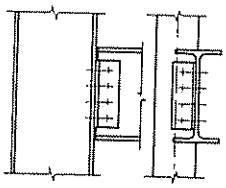
No se trata de este problema en la Norma Básica MV-103, ni en la mayor parte de las normas de construcción metálica. En las especificaciones AISC, sin embargo, se clasifi-

6.6.3.1



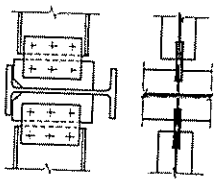
Unión de alma con angulares. Capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.2



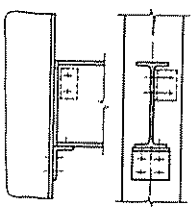
Unión de alma con un angular, capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.3



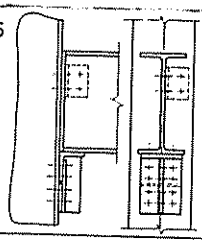
Unión de alma con cubrejuntas. Capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.4



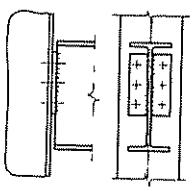
Unión de asiento no rigidizado. Capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.5



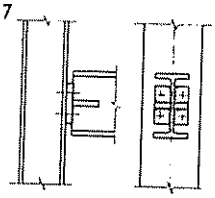
Unión de asiento rigidizado. Capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.6



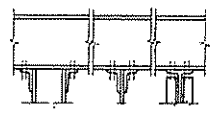
Unión flexible con chapa frontal. Capaz de transmitir esfuerzos Q*.
Flexible.

6.6.3.7



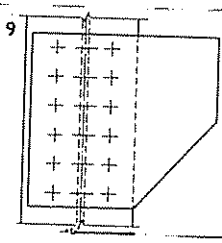
Unión flexible con chapa frontal rigidizada. Capaz de transmitir esfuerzos N* y Q*.
Flexible.

6.6.3.8



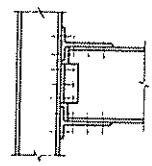
Unión de piezas a tracción. (Tornillos a tracción.)

6.6.3.9



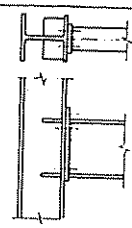
Unión rígida excéntrica. Capaz de transmitir esfuerzos M* y Q*.
Rígida.

6.6.3.10



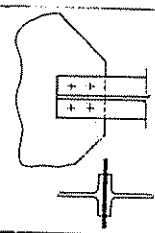
Unión rígida con angulares en el alma y perfiles T en las alas. Capaz de transmitir esfuerzos M*, N* y Q*.
Rígida.

6.6.3.11



Unión rígida con placa de testa. Capaz de transmitir esfuerzos M*, N* y Q*.
Rígida.

6.6.3.12



Unión de piezas a tracción. (Tornillos a cortadura.)

[6.44]

can las uniones de acuerdo con el cuadro que sigue y se permite el cálculo de las uniones tipo 1 y 2 como empotramientos o articulaciones perfectas. Las uniones semi-rígidas pueden ser útiles para disminuir las flechas, cuando éstas son condicionantes en el cálculo de las vigas:

Tipo de unión	AISC	Grado de rigidez K
Unión rígida	Tipo 1	$\geqslant 90\ \%$
Unión simple, flexible o articulada	Tipo 2	$\leqslant 20\ \%$
Unión semirígida	Tipo 3	$< 90\ \% > 20\ \%$

6.6 3. **Cálculo práctico de algunas uniones usuales.**

En [6.44] se recogen algunas de las uniones roblonadas o atornilladas más usuales, indicando su clasificación según su rigidez y el artículo en el cual se indica el procedimiento práctico de cálculo. Las uniones quedan fijadas con un conjunto de datos que sirven para su designación, las que han sido tabuladas llevan un ejemplo de designación.

6.6 3 1. *Unión de alma con angulares.*

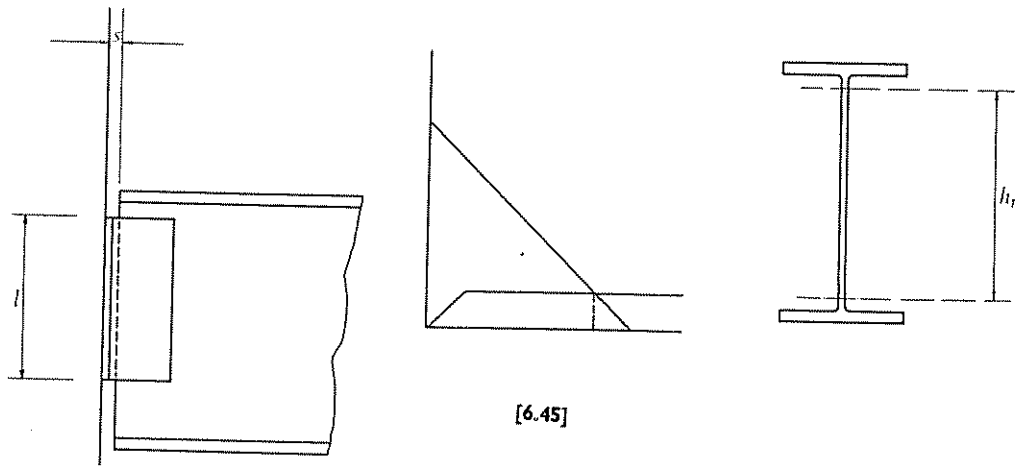
Se considera como flexible. La flexibilidad se debe a la deformación plástica de los angulares (la recta M-θ del extremo de la viga, corta a la curva M-θ de la unión en la zona de deformación plástica, con lo que el coeficiente de rigidez es siempre menor que el 20 %) [6.45]. La longitud l del angular no debe ser inferior a la mitad de la altura de la parte recta del alma

$$l \nless \frac{h_1}{2}$$

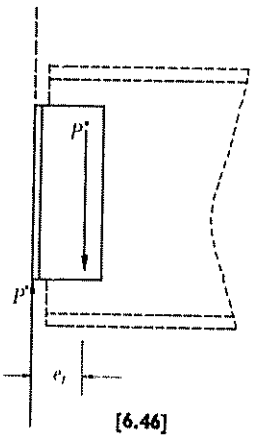
y no deben usarse angulares de más espesor del requerido por la condición de aplastamiento, para que la unión sea realmente flexible.

Si se requieren espesores mayores, deben utilizarse angulares de mayor lado, para permitir mayor separación entre roblones o tornillos. Normalmente no deben utilizarse angulares con espesores mayores de 12 mm.

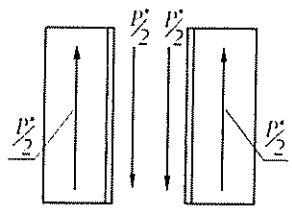
Los angulares deben sobresalir del alma de la viga una longitud adecuada. La Norma AISC aconseja una s mínima de 0,007 h. En general, para perfiles laminados puede adoptarse $s = 5$ mm [6.45].



[6.45]

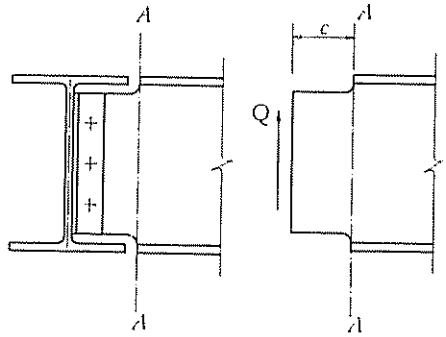


[6.46]

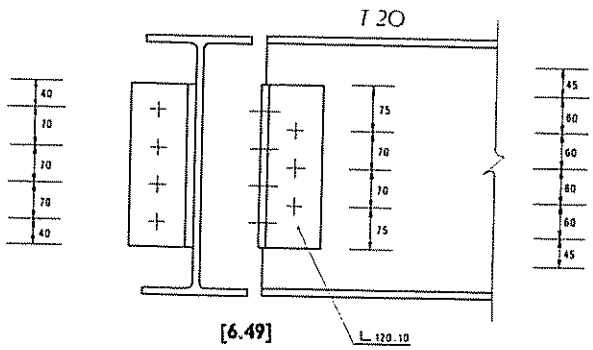


Excentricidades producidas

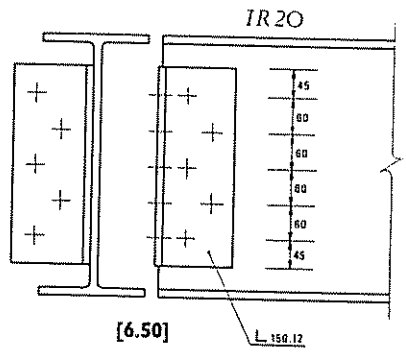
[6.47]



[6.48]



[6.49]



[6.50]

Para el cálculo de los elementos de unión, es práctica habitual el considerar la excentricidad de los tornillos que unen los casquillos al alma de la viga que se embrocha-la [6.46], despreciando por el contrario la excentricidad [6.47] de los tornillos que unen los casquillos al pilar o viga principal sustentante.

En el Tomo I figuran los diámetros de los agujeros que pueden hacerse en el alma de cada perfil, así como sus posiciones límites. El número máximo de tornillos será, por tanto, la parte entera de

$$\frac{a}{3{,}5\,d}$$

Dentro de la infinita variedad de uniones posibles en las tablas **6.6 3 1-A, 6.6 3 1-B** y **6.6 3 1-C,** se han tipificado uniones con una y dos filas de elementos de unión y con angulares de 120.10 y 150.12, respectivamente.

Aunque en general no es necesario, cuando la dimensión c es grande, caso de embrochalamiento en una H [6.48], se debe comprobar la sección A-A solicitada por un esfuerzo cortante Q* y un momento flector Q*c. Para los perfiles laminados esta comprobación puede hacerse utilizando las tablas incluidas en el Apéndice II. Los valores de Q* son los que agotan la sección A-A, en la hipótesis de distribución lineal de las tensiones de flexión y cortantes, y calculando la tensión de comparación.

Ver ejemplo de aplicación en la página 116.

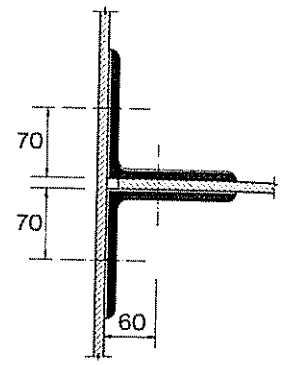
6.6 3 2. *Unión de alma con un angular.*

Cuando por motivos constructivos no sea posible colocar más que un angular en el alma de la viga, se pueden usar también todas las tablas incluidas en el artículo anterior para las distribuciones tipo [6.49] y [6.50], que se corresponden respectivamente a las tablas A o B, según la disposición de tornillos en el alma. La solicitación de agotamiento es aproximadamente la mitad de la indicada en las tablas.

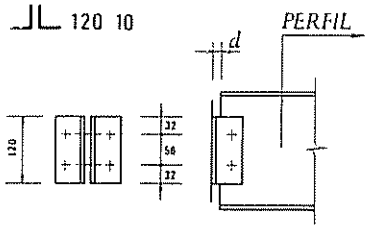
Se usa el mismo tipo de notación, con la diferencia de emplear letras minúsculas, a y b, para distinguir los dos tipos de unión:

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F —	b —	3 —	77 —	T 20

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.



Tipo A
N.° de filas 2



IPE	IPN	HEB	UPN
160	160	180	180
180	180	200	200
200	200	220	220
220	220	240	—

Diámetro de los tornillos: 12-16

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (*t*)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						para
		12	16				12			16			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 3
T A 4.6	56	3,400	6,058	—	—	—	6,058	6,563	—	7,922	8,583	—	—
TC A 5.6	56	5,243	9,320	—	—	—	7,573	8,204	11,36	9,903	10,73	14,85	—
TR A 10.9	56	5,126	9,611	—	—	—	9,087	9,864	13,67	11,88	12,87	17,83	—

6.6.3.1-A.2

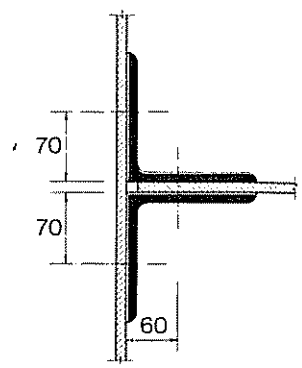
Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 2	— 56	— T 16

[1] Unión flexible.

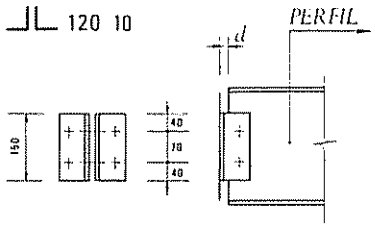
para un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	56	T A 4.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	56	TC A 5.6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	56	TR A 10.9

6.6.3.1-A.2



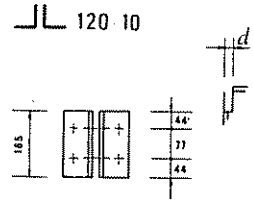
Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

Tipo A
N.º de filas 2



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
200	200	220	200
220	220	240	220
240	240	260	240
270	260	280	260
300	280	300	280
330	300	320	300
360	320	340	—
—	340	360	—
—	360	400	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						par
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A
T A 4.6	70	6,30	9,85	11,89	—	—	8,24	8,92	—	10,17	11,02	—	11
	77	6,73	10,54	12,72	15,12	—	8,80	9,53	—	10,89	11,80	—	11
	84	7,17	11,22	13,54	10,16	—	9,38	10,16	—	11,59	12,56	—	12
TC A 5.6	70	9,69	15,19	18,34	—	—	10,30	11,16	15,45	12,73	13,79	19,10	13
	77	10,36	16,24	19,61	23,37	—	11,01	11,93	16,52	13,61	14,74	20,42	14
	84	11,04	17,29	20,88	24,88	—	11,73	12,71	17,60	14,49	15,70	21,74	15
TR A 10.9	70	11,57	18,20	22,68	—	—	—	13,39	—	—	16,54	—	-
	77	12,37	19,46	24,25	26,91	—	—	14,31	—	—	17,69	—	-
	84	13,17	20,72	25,82	28,65	—	—	15,23	—	—	18,83	—	-

6.6 3 1-A 2

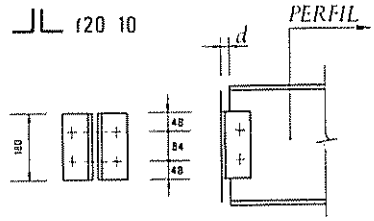
Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 2	— 77	— T 20

[1] Unión flexible.

El esfuerzo de aplastamiento en TR, para aceros A 37 y A 52 no se ha indicado en las tablas. Pueden obtenerse por proporcionalidad de los valores dados para el A 42.

IPE	IPN	HEB	UPN
220	220	240	220
240	240	260	240
270	260	280	260
300	280	300	280
330	300	320	300
360	320	340	—
—	340	360	—
—	360	400	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

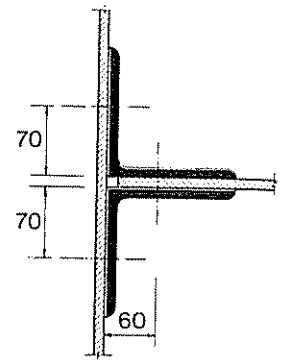
IPE	IPN	HEB	UPN
240	240	280	240
270	260	300	260
300	280	320	280
330	300	340	300
360	320	360	—
—	340	400	—
—	360	—	—

para un espesor de 10 mm

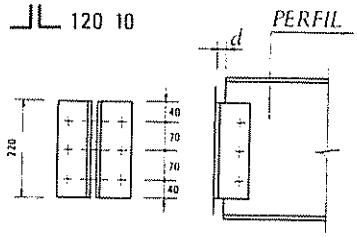
22			24						Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
11,14	12,07	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4.6
11,92	12.91	—	12,96	14,04	—	—	—	—	77	
12,69	13,75	—	13,80	14,95	—	—	—	—	84	
13.94	15,10	20.91	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5.6
14,90	16.14	22,35	16,20	17,55	24,30	—	—	—	77	
15,87	17,19	23,81	17.25	18,69	25,88	—	—	—	84	
—	18,12	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10 9
—	19.38	—	—	21,07	—	—	—	—	77	
—	20,63	—	—	22.43	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 2

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

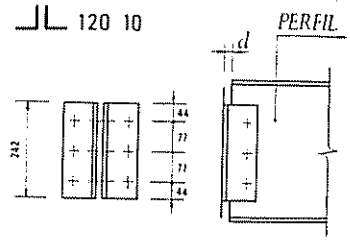


Tipo A
N.º de filas 3



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
300	280	320	300
330	300	340	—
360	320	360	—
400	340	400	—
450	360	450	—
500	380	500	—
—	400	—	—
—	450	—	—
—	500	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (*t*)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						pa
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	
T A 4 6	70	11,48	17,95	21,67	—	—	15,01	16,26	—	18,54	20,09	—	
	77	12,16	19,03	22,97	27,30	—	15,90	17,23	—	19,65	21,29	—	
	84	12,79	20,00	24,14	28,70	—	16,73	18,12	—	20,66	22,38	—	
TC A 5.6	70	17,66	27,67	33,41	—	—	18,76	20,32	28,14	23,18	25,11	34,77	
	77	18,72	29,32	35,41	42,19	—	19,89	21,55	29,84	24,56	26,61	36,84	
	84	19,68	30,83	37,22	44,36	—	20,91	22,65	31,37	25.83	27,98	38,75	
TR A 10 9	70	21,08	33,15	41,32	—	—	—	24,39	—	—	30,13	—	
	77	22,34	35,13	43,79	48,59	—	—	25,84	—	—	31,93	—	
	84	23,49	36,94	46,04	51,08	—	—	27,18	—	—	33,58	—	

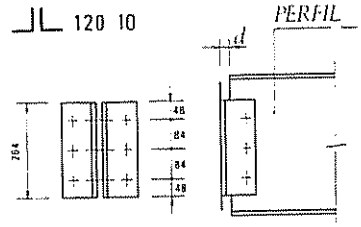
6.6 3 1-A 3

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	A —	3 —	84 —	T 20

[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
300	320	340	—
330	340	360	—
360	360	400	—
400	380	450	—
450	400	500	—
500	450	—	—
—	500	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

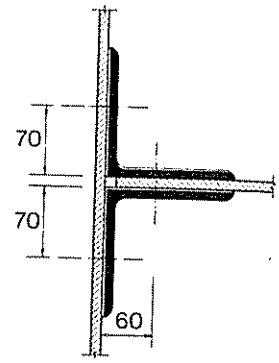
IPE	IPN	HEB	UPN
330	340	400	—
360	360	450	—
400	380	500	—
450	400	550	—
500	450	—	—
550	500	—	—
—	550	—	—

ara un espesor de 10 mm

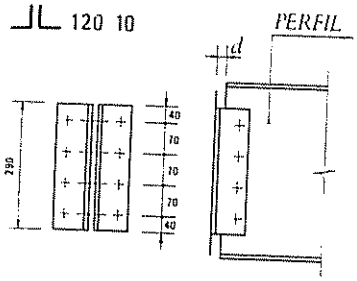
22			24						Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
20,31	22,00	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4.6
21.53	23,32	—	23,40	25,35	—	—	—	—	77	
22,68	24,51	—	24,66	26,65	—	—	—	—	84	
25,39	27,51	38,09	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5.6
26,91	29,15	40,37	29,24	31,68	43,84	—	—	—	77	
28,28	30,64	42,42	30,75	33,31	46,13	—	—	—	84	
—	33,01	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10.9
—	34,93	—	—	38,05	—	—	—	—	77	
—	36,79	—	—	39,99	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 3

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

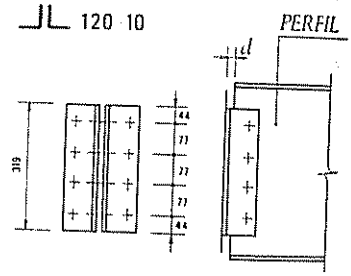


Tipo A
N.º de filas 4



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
360	360	400	—
400	380	450	—
450	400	500	—
500	450	550	—
550	500	600	—
600	550	650	—
—	600	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t, para						
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A
T A 4.6	70	17,40	27,23	32,86	—	—	22,75	24,65	—	28,12	30,46	—	30,
	77	18,22	28,49	34,39	40,88	—	23,83	25,82	—	29,42	31,87	—	32,
	84	18,96	29,67	35,81	42,56	—	24,79	26,86	—	30,64	33,19	—	33,
TC A 5.6	70	26,78	41,96	50,66	—	—	28,45	30,82	42,68	35,15	38,08	52,73	38,
	77	28,03	43,91	53,02	63,18	—	29,78	32,26	44,67	36,79	39,86	55,19	40,
	84	29,18	45,72	55,20	65,78	—	31,00	33,58	46,50	38,30	41,49	57,45	41,
TR A 10.9	70	31,97	50,27	62,66	—	—	—	36,99	—	—	45,70	—	—
	77	33,46	52,61	65,58	72,76	—	—	38,71	—	—	47,82	—	—
	84	34,80	54,78	68,27	75,75	—	—	40,30	—	—	49,80	—	—

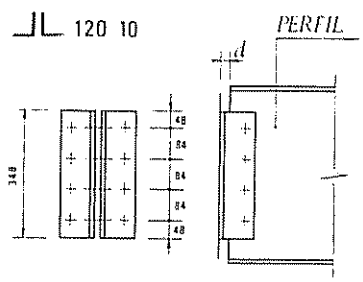
6.6 3 1-A 4

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 4	— 70	— T 22

[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
400	400	450	—
450	450	500	—
500	500	550	—
550	550	600	—
600	600	650	—
650	—	—	—



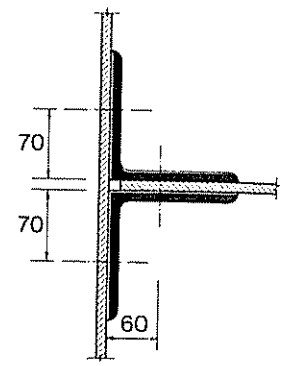
Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
450	450	450	—
500	500	500	—
550	550	550	—
600	600	600	—
650	—	650	—
700	—	700	—
750	—	—	—

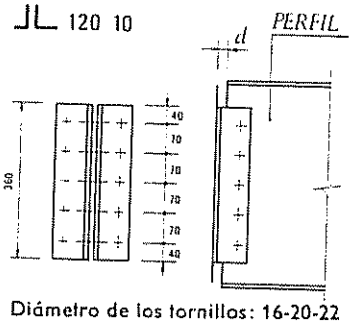
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24							
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
30.80	33.37	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4.6
32.23	34,92	—	35,04	37.96	—	—	—	—	77	
33,56	36,16	—	36.48	39,52	—	—	—	—	84	
38,50	41.71	57,75	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5.6
40.29	43,65	60,44	43,79	47,44	65,69	—	—	—	77	
41,95	45,45	62,93	45.60	49.40	68.40	—	—	—	84	
—	50,07	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10.9
—	52.40	—	—	56,97	—	—	—	—	77	
—	54,55	—	—	59,31	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 4

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

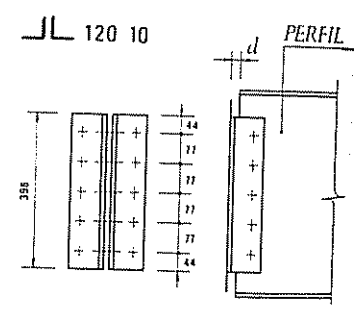


Tipo A
N.° de filas 5



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
450	450	500	—
500	500	550	—
550	550	600	—
600	600	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

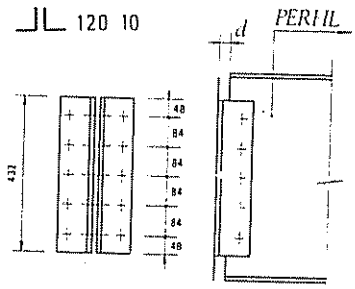
Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t, para						
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 3
T A 4.6	70	23,71	37,08	44,76	—	—	31,01	33,59	—	38,30	41,49	—	41,9
	77	24,58	38,45	46,41	55,16	—	32,14	34,82	—	39,71	43,02	—	43,5
	84	25,39	39,72	47,94	56,98	—	33,20	35,97	—	41,02	44,44	—	44,9
TC A 5.6	70	36,48	57,15	69,00	—	—	38,76	41,99	58,14	47,88	51,87	71,82	52,4
	77	37,82	59,25	71,55	85,26	—	40,18	43,53	60,27	49,64	53,78	74,46	54,3
	84	39,07	61,21	73,91	88,07	—	41,51	44,97	62,27	51,28	55,55	76,92	56,1
TR A 10.9	70	43,54	68,47	85,34	—	—	—	50,38	—	—	62,24	—	—
	77	45,15	70,99	88,49	98,18	—	—	52,24	—	—	64,53	—	—
	84	46,64	73,34	91,41	101,42	—	—	53,96	—	—	66,67	—	—

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 5	— 77	— T 20

[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
500	500	500	—
550	550	550	—
600	600	600	—
650	—	650	—
700	—	700	—
750	—	750	—
800	—	800	—
850	—	—	—

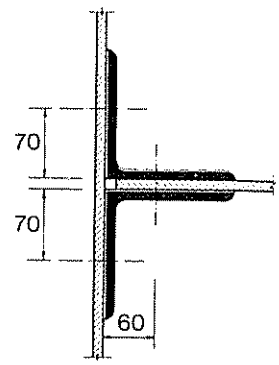


Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
550	550	550	—
600	600	600	—
650	—	650	—
700	—	700	—
750	—	750	—
800	—	800	—
850	—	900	—
900	—	—	—

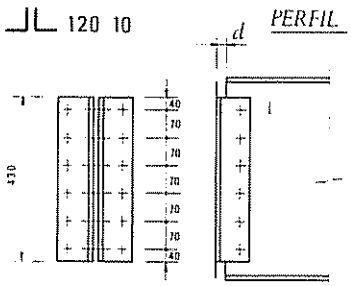
para un espesor de 10 mm

22			24						Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
41,95	45,45	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4 6
43,50	47,13	—	47.28	51,22	—	—	—	—	77	
44.93	48,67	—	48,84	52,91	—	—	—	—	84	
52,43	56.80	78,65	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5 6
54,37	58,90	81,56	59,10	64,03	88,65	—	—	—	77	
56,17	60,85	84,26	61,05	66,14	91,58	—	—	—	84	
—	68,18	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10 9
—	70,70	—	—	76,87	—	—	—	—	77	
—	73,04	—	—	79,41	—	—	—	—	84	



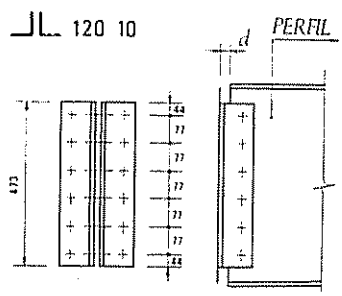
Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

Tipo A
N.º de filas 6



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
550	550	550	—
600	600	600	—
650	—	650	—
700	—	700	—
750	—	750	—
800	—	800	—
850	—	900	—
900	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t, para								
		18	20	22	24		16			20					
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52			A 3
T A 4 6	70	30,20	47,23	57,01	—	—	39,49	42,78	—	48,78	57,85	—			53,4
	77	31,13	48,70	58,78	69,86	—	40,71	44,10	—	50,30	54,49	—			55,0
	84	31,94	49,97	60,31	71,68	—	41,77	45,25	—	51,61	55,91	—			56,5
TC A 5.6	70	46,46	72,79	87,89	—	—	49,36	53,47	74,04	60,98	66,06	91,47			66,7
	77	47,90	75,04	90,61	107,98	—	50,89	55,13	76,34	62,87	68,11	94,31			68,8
	84	49,15	77,00	92,97	110,79	—	52,22	56,57	78,33	64,51	69,89	96,77			70,6
TR A 10.9	70	55,46	87,21	108,70	—	—	—	64,17	—	—	79,27	—			—
	77	57,18	89,91	112,07	124,35	—	—	66,16	—	—	81,73	—			—
	84	58,67	92,26	114,99	127,59	—	—	67,88	—	—	83,86	—			—

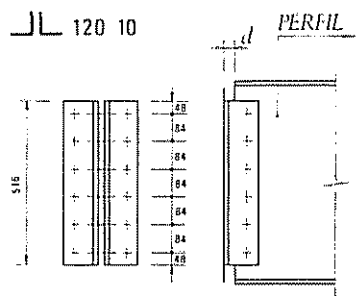
6.6 3 1-A 6

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	A —	6 —	84 —	T 24

[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
600	600	600	—
650	—	650	—
700	—	700	—
750	—	750	—
800	—	800	—
850	—	900	—
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



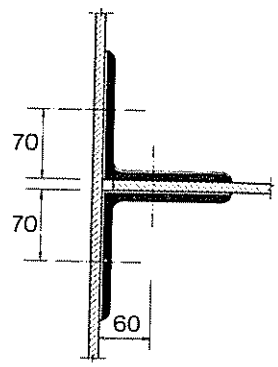
Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
600	—	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—

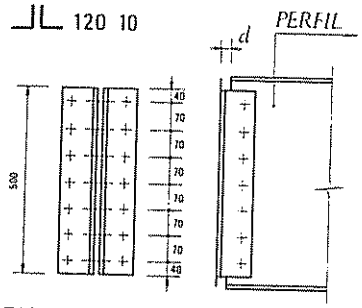
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24							
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
53,43	57,88	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4 6
55.09	59.68	—	59.88	64.87	—	—	—	—	77	
56,52	61,23	—	61,44	66,56	—	—	—	—	84	
66,79	72,36	100.19	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5.6
68,86	74,60	103,29	74.85	81.09	112,28	—	—	—	77	
70,65	76,54	105,98	76,80	83,20	115.20	—	—	—	84	
—	86.85	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10.9
—	89,54	—	—	97.37	—	—	—	—	77	
—	91.88	—	—	99,90	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 6

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

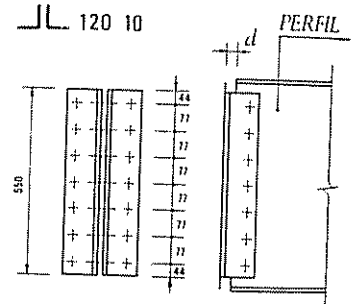


Tipo A
N.º de filas 7



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
600	—	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	—	—
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

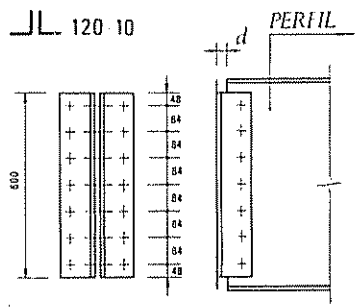
Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,					
		16	20	22	24		16			20		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T A 4.6	70	36,75	57,48	69,38	—	—	48,06	52,07	—	59,37	64,32	—
	77	37,68	58,95	71,15	84,56	—	49,27	53,38	—	60,88	65,95	—
	84	38,50	60,21	72,68	86,38	—	50,35	54,55	—	62,18	67,36	—
TC A 5.6	70	56,54	88,58	106,96	—	—	60,07	65,08	90,11	74,21	80,39	111,32
	77	57,98	90,84	109,68	130,70	—	61,60	66,73	92,40	76,10	82,44	114,15
	84	59,23	92,79	112,04	133,41	—	62,93	68,17	94,40	77,74	84,22	116,61
TR A 10.9	70	67,49	106,13	132,28	—	—	—	78,09	—	—	96,47	—
	77	69,21	108,84	135,65	150,51	—	—	80,08	—	—	98,94	—
	84	70,70	111,18	138,57	153,75	—	—	81,80	—	—	101,06	—

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 7	— 77	— T 24

[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



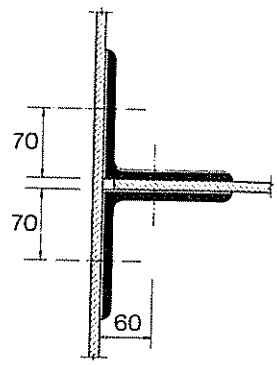
Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—

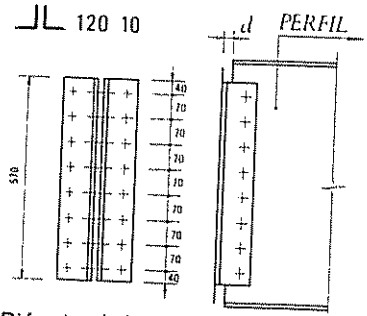
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24							
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
65,02	70,44	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4 6
66,68	72,24	—	72,48	78,52	—	—	—	—	77	
68,11	73,79	—	74,04	80,21	—	—	—	—	84	
81,28	88,05	121,92	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5 6
83,34	90,29	125,01	90,60	98,15	135,90	—	—	—	77	
85,14	92,24	127,71	92,54	100,25	138,81	—	—	—	84	
—	105,69	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10 9
—	108.38	—	—	117,85	—	—	—	—	77	
—	110,72	—	—	120,39	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 7

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

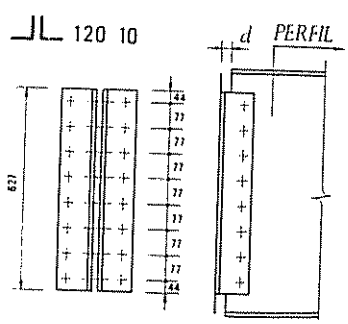


Tipo A
N.º de filas 8



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						para u
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37
T A 4.6	70	43,36	67,83	81,87	—	—	56,70	61,43	—	70,05	75,89	—	76,73
	77	44,30	69,29	83,63	99,40	—	57,93	62,76	—	71,56	77,52	—	78,38
	84	45,05	70,46	85,05	101,08	—	58,91	63,82	—	72,77	78,83	—	79,71
TC A 5.6	70	66,72	104,52	126,21	—	—	70,89	76,80	106,34	87,56	94,86	131,34	95,91
	77	68,16	106,78	128,93	153,64	—	72,11	78,45	108,24	89,16	96,96	133,80	97,60
	84	69,31	108,58	131,11	156,24	—	73,83	79,78	110,06	90,66	98,59	136,05	99,25
TR A 10.9	70	79,64	125,23	156,09	—	—	—	92,14	—	—	113,83	—	—
	77	81,36	127,94	159,46	176,93	—	—	94,13	—	—	116,30	—	—
	84	82,74	130,10	162,16	179,92	—	—	95,73	—	—	118,26	—	—

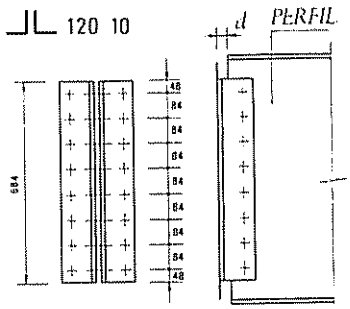
6.6 3 1-A 8

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	A —	8 —	70 —	T 20

[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

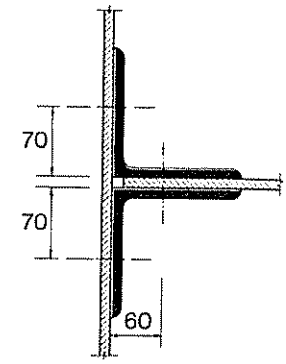
IPE	IPN	HEB	UPN
750	—	900	—
800	—	1 000	—
850	—	—	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—

para un espesor de 10 mm

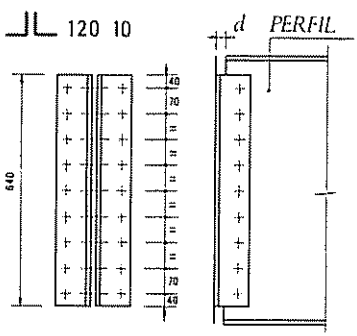
22			24						Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
76.73	83,12	—	—	—	—	—	—	—	70	T
78,38	84,91	—	85.20	92.30	—	—	—	—	77	A 4 6
79.71	86,35	—	86,64	93,86	—	—	—	—	84	
95,91	103,90	143,87	—	—	—	—	—	—	70	TC
97.60	106,11	146,34	106.01	115.38	159,17	—	—	—	77	A 5 6
99,25	107,90	148.81	107,81	117,34	161.86	—	—	—	84	
—	124,72	—	—	—	—	—	—	—	70	TR
—	127.41	—	—	138.54	—	—	—	—	77	A 10 9
—	129,57	—	—	140,48	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 8

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

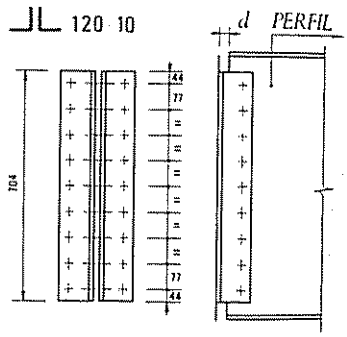


Tipo A
N.º de filas 9



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						par
		16	20	22	24		16			20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A
T A 4.6	70	49,92	78,08	94,24	—	—	65,28	70,72	—	80,64	87,36	—	8
	77	50,85	79,54	96,00	114,10	—	66,50	72,04	—	82,15	89,00	—	8
	84	51,60	80,71	97,42	115,78	—	67,48	73,10	—	83,36	90,31	—	9
TC A 5.6	70	76,80	120,32	145,28	—	—	81,25	88,40	121,96	100,47	109,25	150,76	10
	77	78,24	122,57	148,00	176,36	—	82,78	90,05	124,25	102,35	111,29	153,58	11
	84	79,39	124,38	150,18	178,96	—	83,99	91,38	126,07	103,86	112,94	155,85	11
TR A 10.6	70	91,68	144,16	179,68	—	—	—	106,07	—	—	131,04	—	-
	77	93,39	146,89	183,04	203,09	—	—	108,05	—	—	133,52	—	-
	84	94,77	149,02	185,74	206,08	—	—	109,65	—	—	135,46	—	-

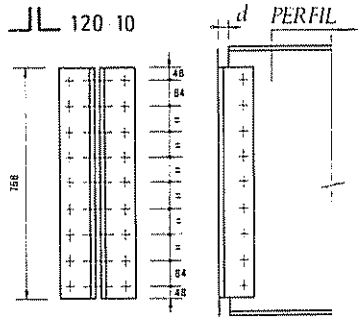
6.6 3 1-A 9

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A	— 9	— 77	— T 24

[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
800	—	900	—
850	—	1 000	—
900	—	—	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



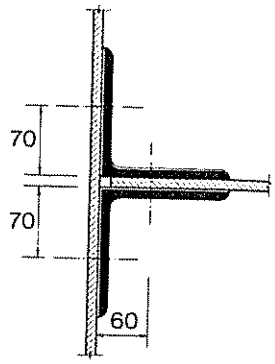
Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
850	—	900	—
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—

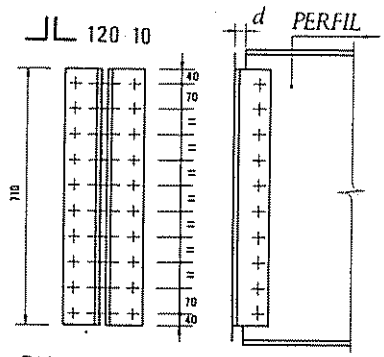
ıra un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24							
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
88,32	95,68	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4.6
89,97	97,47	—	97.80	105,95	—	—	—	—	77	
91,30	98,91	—	99,24	107,51	—	—	—	—	84	
109,98	119,57	164.89	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5 6
112,04	121.80	167,98	121,69	132,45	182,71	—	—	—	77	
113,69	123,60	170,45	123,48	134,40	185.40	—	—	—	84	
—	143.56	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10.6
—	146,25	—	—	159.02	—	—	—	—	77	
—	148,41	—	—	161,36	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 9

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

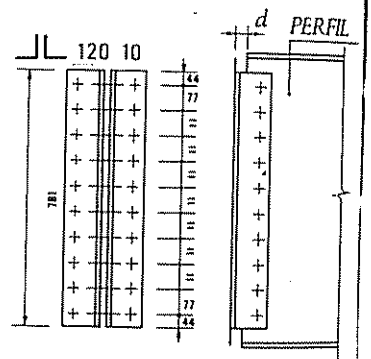


Tipo A
N.º de filas 10



Diámetro de los tornillos: 16-20-22

IPE	IPN	HEB	UPN
850	—	900	—
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (*t*)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,					
		16	20	22	24		16			20		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T A 4.6	70	56,53	88,42	106,72	—	—	73,92	80,08	—	91,32	98,93	—
	77	57,40	89,79	108,37	128,80	—	75,06	81,32	—	92,73	100,46	—
	84	58,15	90,96	109,78	130,48	—	76,04	82,38	—	93,74	101,77	—
TC A 5.6	70	86,97	136,26	164,52	—	—	92,41	100,11	138,62	112,41	123,66	170,73
	77	88,32	138,36	167,07	199,08	—	93,84	101,66	140,76	114,15	125,56	173,37
	84	89,47	140,17	169,25	201,68	—	95,06	102,98	142,59	115,64	127,20	175,63
TR A 10.9	70	103,82	163,26	203,48	—	—	—	120,12	—	—	148,40	—
	77	105,43	165,78	206,63	229,26	—	—	121,98	—	—	150,69	—
	84	106,80	167,94	209,32	232,25	—	—	123,57	—	—	152,66	—

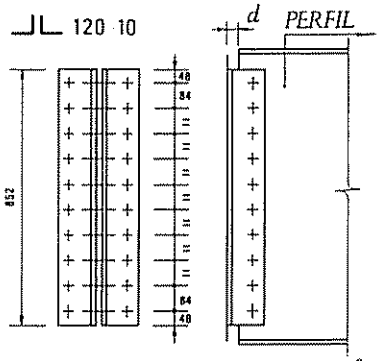
6.6 3 1-A 10

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— A —	10 —	84 —	T 24

[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



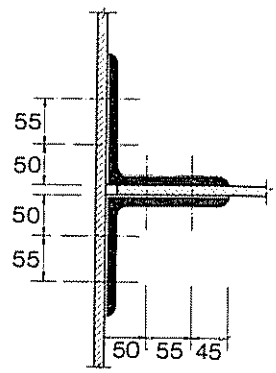
Diámetro de los tornillos: 16-20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
950	—	1 000	—
1 000	—	—	—

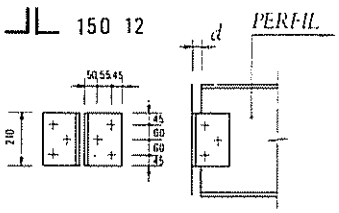
para un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24							
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
100,02	108,36	—	—	—	—	—	—	—	70	T A 4.6
101,56	110,02	—	110,40	119,60	—	—	—	—	77	
102,82	111,45	—	111,84	121,16	—	—	—	—	84	
125,02	135,44	187,53	—	—	—	—	—	—	70	TC A 5.6
126,96	137,54	190,44	137,99	149,49	206,99	—	—	—	77	
128,62	139,34	192,93	139,80	151,45	209,70	—	—	—	84	
—	162,58	—	—	—	—	—	—	—	70	TR A 10.9
—	165.10	—	—	179,57	—	—	—	—	77	
—	167,25	—	—	181,85	—	—	—	—	84	

6.6 3 1-A 10

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

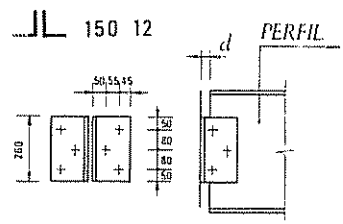


Tipo B
N.º de filas 2.1



Diámetro de los tornillos: 20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
270	260	300	300
300	280	320	—
330	300	340	—
360	320	360	—
400	340	400	—
450	360	450	—
—	380	—	—
—	400	—	—
—	450	—	—



Diámetro de los tornillos: 20-22-24-27

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,					
			20	22	24	27				20		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T	60	—	14,85	17,93	21,31	—	—	—	—	15,34	16,62	—
A 4.6	80	—	18,08	21,82	25,93	32,89	—	—	—	18,67	20,23	—
TC	60	—	22,89	27,64	32,94	—	—	—	—	19,18	20,78	28,77
A 5.6	80	—	27,85	33,63	40,08	50,67	—	—	—	23,33	25,27	35,00
TR	60	—	27,43	34,18	37,93	—	—	—	—	—	24,93	—
A 10.9	80	—	33,33	41,55	46,10	63,04	—	—	—	—	30,30	—

6.6 3 1-B 2 - 1

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	B —	2.1 —	60 —	T 20

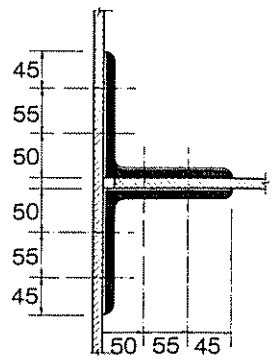
[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
330	340	360	—
360	360	400	—
400	380	450	—
450	400	500	—
500	450	—	—
—	500	—	—

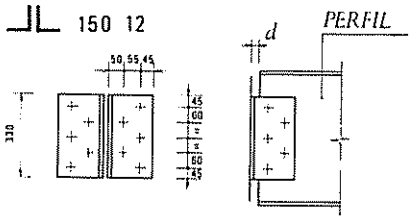
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24			27				
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
16,80	18,20	—	18,27	19,79	—	—	—	—	60	T
20.45	22,15	—	22,23	24,08	—	24.89	26,96	—	80	A 4.6
21,00	22,75	31,50	22,83	24,73	34,25	—	—	—	60	TC
25,56	27,69	38,34	27,78	30,10	41,67	31,11	33,70	46,67	80	A 5.6
—	27,31	—	—	29.70	—	—	—	—	60	TR
—	33,20	—	—	36,10	—	—	40,45	—	80	A 10.9

6.6 3 1-B 2 1

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

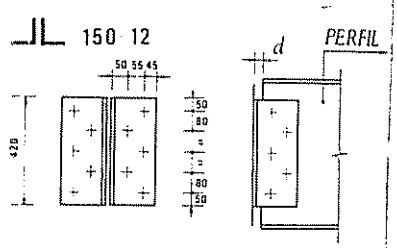


Tipo B
N.° de filas 3.2



IPE	IPN	HEB	UPN
400	450	450	—
450	500	500	—
500	550	550	—
550	600	600	—
600	—	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—

Diámetro de los tornillos: 20-22-24



Diámetro de los tornillos: 20-22-24-27

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						p
			20	22	24	27				20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	
T	60	—	31,42	37,93	45,08	—	—	—	—	32,45	35,15	—	
A 4.6	80	—	37,53	45,30	53,84	68,20	—	—	—	38,76	41,99	—	
TC	60	—	48,42	58,47	69,68	—	—	—	—	40,57	43,95	66,65	
A 5.6	80	—	57,75	69,73	83,09	105,06	—	—	—	48,38	52 41	79,49	
TR	60	—	58,02	72,32	80,24	—	—	—	—	—	52,74	—	
A 10.9	80	—	69,19	86,24	95,69	130,71	—	—	—	—	62,91	—	

6.6 3 1-B 3 · 2

Ejemplo de notación

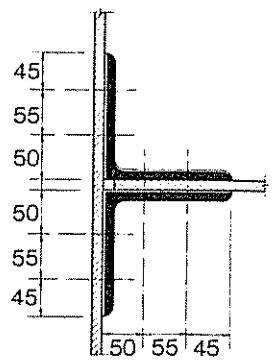
Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	B —	3.2 —	60 —	T 20

[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
500	550	550	—
550	600	600	—
600	—	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	—	—

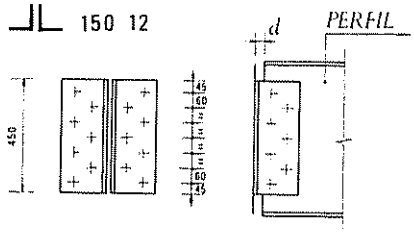
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24			27				
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
35,54	38,50	—	38,64	41,86	—	—	—	—	60	T
42,45	45,99	—	46,15	50,00	—	51,61	55,91	—	80	A 4.6
44,43	48,13	66,65	48,30	52,33	72,45	—	—	—	60	TC
52,99	57,41	79,49	57,60	62,40	86,40	69,89	75,71	104,84	80	A 5.6
—	57,78	—	—	62,83	—	—	—	—	60	TR
—	68,91	—	—	74,93	—	—	83,86	—	80	A 10.9

6.6 3 1-B 3 · 2

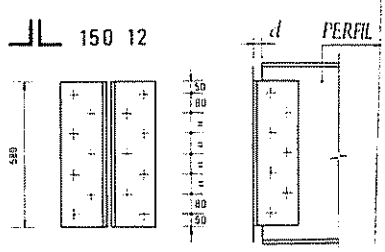


Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

Tipo B
N.º de filas 4.3



IPE	IPN	HEB	UPN
550	600	600	—
600	—	650	—
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 20-22-24

Diámetro de los tornillos: 20-22-24-27

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,					
			20	22	24	27				20		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T A 4.6	60 80	— —	50,31 56,26	60,73 67,90	72,17 80,70	— 102,37	— —	— —	— —	51,96 58,11	52,29 62,95	— —
TC A 5.6	60 80	— —	77,53 86,69	93,61 104,67	111,55 124,73	— 157,70	— —	— —	— —	64,95 72,63	70,36 78,68	97,43 108,95
TR A 10.9	60 80	— —	92,89 103,86	115,78 129,46	128,46 143,64	— 196,21	— —	— —	— —	— —	84,44 94,41	— —

6.6 3 1-B 4 3

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	B —	4 3 —	80 —	T 20

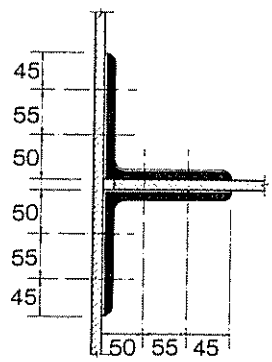
[1] Unión flexible

IPE	IPN	HEB	UPN
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—

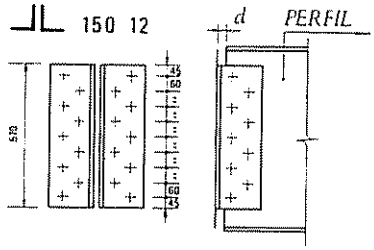
para un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24			27				
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
56,92	61,66	—	61,86	67,02	—	—	—	—	60	T
63.64	68,94	—	69,17	74,93	—	77,47	83,93	—	80	A 4.6
71,14	77,07	106.71	77,32	83,76	115,98	—	—	—	60	TC
79,54	86,17	119,31	86,46	93,67	129,69	104,90	113,64	157,35	80	A 5.6
—	92,51	—	—	100,58	—	—	—	—	60	TR
—	103,44	—	—	112,47	—	—	125,89	—	80	A 10.9

6.6 3 1-B 4 3

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

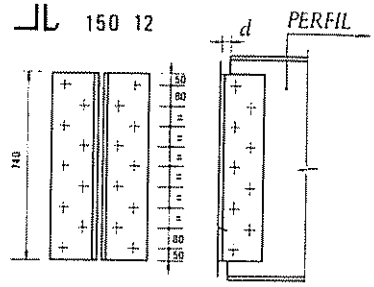


Tipo B
N.º de filas 5.4



Diámetro de los tornillos: 20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
650	—	700	—
700	—	750	—
750	—	800	—
800	—	900	—
850	—	1 000	—



Diámetro de los tornillos: 20-22-24-27

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (*t*)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,					
			20	22	24	27				20		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T A 4.6	60 80	— —	70,46 76,71	85,05 92,59	101,08 110,04	— 139,59	— —	— —	— —	72,77 79,23	78,83 85,83	— —
TC A 5.6	60 80	— —	108,58 118,21	131,11 142,73	156,24 170,09	— 215,04	— —	— —	— —	90,97 99,03	98,55 107,28	136,46 148,55
TR A 10.9	60 80	— —	130,10 141,63	162,16 176,53	179,92 195,87	— 267,55	— —	— —	— —	— —	118,26 128,74	— —

6.6 3 1-B 5 · 4

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] —	B —	5.4 —	80 —	T 20

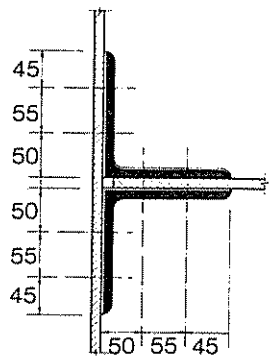
[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
850	—	900	—
—	—	1 000	—

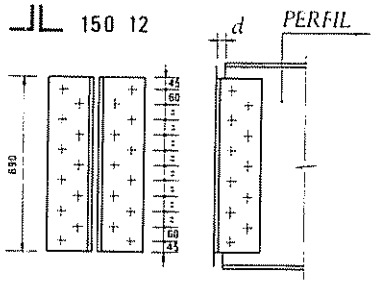
ara un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
22			24			27				
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
79,71	73,58	—	86,64	93,86	—	—	—	—	60	T
86,77	94,00	—	94,32	102,18	—	105,64	114,44	—	80	A 4.6
99,63	107,93	149,45	108,30	117,33	162,45	—	—	—	60	TC
108,46	117.50	162,69	117,90	127,73	176,85	143,05	154,97	214,58	80	A 5 6
—	129,57	—	—	140,88	—	—	—	—	60	TR
—	141,05	—	—	153,37	—	—	171,66	—	80	A 10.9

6.6 3 1-B 5 4

Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

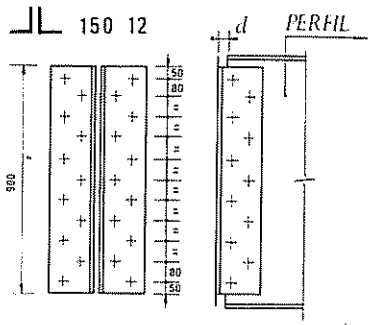


Tipo B
N.º de filas 6.5



Diámetro de los tornillos: 20-22-24

IPE	IPN	HEB	UPN
800	—	800	—
850	—	900	—
900	—	1 000	—
950	—	—	—
1 000	—	—	—



Diámetro de los tornillos: 20-22-24-27

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (t)					Esfuerzo de aplastamiento, en t,						p
			20	22	24	27				20			
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	
T A 4.6	60 80	— —	91,13 97,60	109,99 117,80	130,72 140,00	— 177,60	— —	— —	— —	94,12 100,80	104,96 109,20	— —	
TC A 5.6	60 80	— —	140,43 150,40	169,56 181,60	202,05 216,40	— 273,60	— —	— —	— —	117,65 126,00	127,45 136,50	176,48 189,00	1 1
TR A 10 9	60 80	— —	168,25 180,20	209,90 224,60	232,68 249,20	— 340,40	— —	— —	— —	— —	152,94 163,80	— —	

6.6 3 1-B 6 · 5

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1]	— B	— 6.5	— 60	— T 20

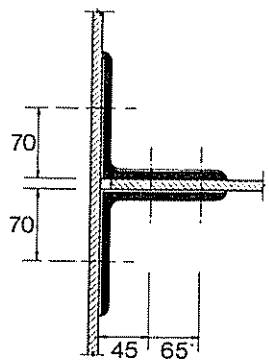
[1] Unión flexible.

IPE	IPN	HEB	UPN
1 000	—	1 000	—

para un espesor de 10 mm

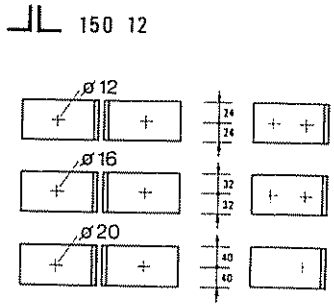
22			24			27			Separación	Elementos de unión
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
103.08 110,40	111.67 119,60	— —	112.05 120,00	121,39 130.00	— —	— 134,40	— 145,60	— —	60 80	T A 4.6
128,85 137,47	139,59 149,46	193,28 206.12	140.05 149,32	151,72 162,52	210,08 224,19	— 168,00	— 182,00	— 252,00	60 80	TC A 5.6
— —	167.71 179,46	— —	— —	182,19 195,12	— —	— —	— 218,40	— —	60 80	TR A 10.9

6.6 3 1-B 6 5



Unión de vigas.
Unión de alma con angulares.

Tipo C
N.º de filas 1



IPE	IPN	HEB	UPN
80	80	100	80
100	100	120	100
120	120	140	120
140	140	160	140
160	160	180	160
180	180	200	180
200	200	—	200

Diámetro de los tornillos: 12-16-20

Elementos de unión	Separación	Esfuerzo cortante Q (*t*)					Esfuerzo de aplastamiento, en *t*,					
		12	16	20			12			16		
							A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52
T A 4.6	—	2,087	3,720	5,820	—	—	3,72	4,03	—	4,87	5,28	—
TC A 5.6	—	3,220	5,724	8,968	—	—	4,65	5,04	6,98	6,08	6,59	9,12
TR A 10.9	—	4,234	6,833	10,745	—	—	—	6,05	—	—	7,90	—

6.6.3 1-C 1

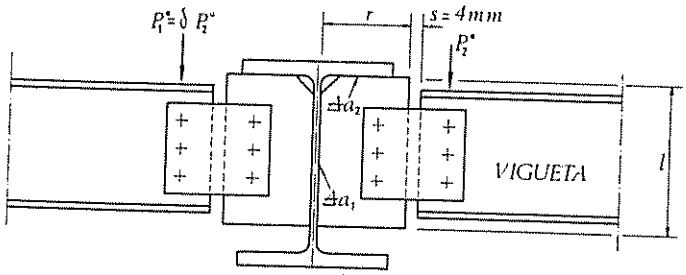
Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Paso	Tornillo
F[1] — C — 1 — 32 — T 16				

Unión flexible.

para un espesor de 10 mm									Separación	Elementos de unión
20										
A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52	A 37	A 42	A 52		
6,01	6,51	—	—	—	—	—	—	—	—	T A 4.6
7,51	8,13	11,27	—	—	—	—	—	—	—	TC A 5.6
—	9.76	—	—	—	—	—	—	—	—	TR A 10.9

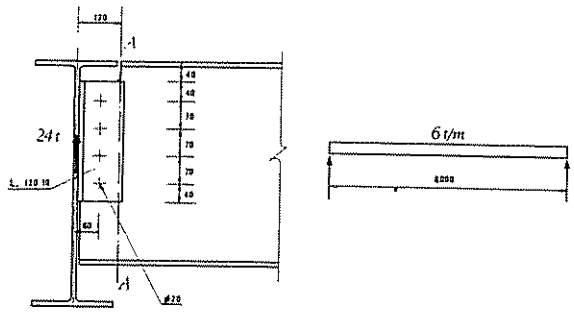
6.6 3 1-C 1



[6.51]

6.6 3 1. EJEMPLO DE APLICACION

Dimensionar una viga de 8 m de luz, con una carga uniformemente repartida ponderada de 6 t/m y su unión por medio de casquillos de angular a una viga IPE 600. Acero A 42.



La reacción en los apoyos es:

$$R^* = \frac{1}{2}\ 8 \times 6 = 24\ t$$

y de las tablas 5.7 se deduce que la viga adecuada es un IPE 500.

El Tomo 2 recomienda los diámetros y la disposición de los agujeros adecuados para cada perfil. Adoptamos Ø 21 mm.

De la tabla 6.4 4 se deduce que la resistencia de agotamiento de un tornillo ordinario T20, a doble cortadura, es 9,76 t. El número de tornillos adecuados serían, en principio:

$$n = \frac{24{,}00}{9{,}76} = 2{,}46$$

Adoptamos tres tornillos y como casquillos de unión dos angulares de 120 × 10, según esquema. Comprobación de la unión diseñada:

$$V^* = \frac{24}{3} = 8\ t \qquad H^*_{máx} = \frac{24 \times 6}{14} = 10{,}29\ t \qquad R^* = \sqrt{8^2 + 10{,}29^2} > 9{,}76\ t$$

que es lo que resiste un tornillo ordinario a doble cortadura; luego no es válida esta unión. Hay que adoptar cuatro tornillos.

Con cuatro tornillos ordinarios de Ø 20, separados 70 mm:

$$V^* = \frac{24}{4} = 6\ t \qquad H^*_{máx} = \frac{24 \times 6}{21}\ 0{,}9 = 6{,}17\ t \qquad R^* = \sqrt{6^2 + 6{,}17^2} = 8{,}6\ t < 9{,}76\ t$$

La solicitación de agotamiento del alma de la viga (e = 10 mm) a aplastamiento contra la espiga del tornillo T20 es 10,92 t > 8,60 t 6.4 1.

La comprobación de la sección del angular, en la línea de gramil, solicitada por el momento $M^* = 24 \times 6 = 144$ cm · t, y considerando la sección semineta, demuestra que la tensión de trabajo = 0,56 t/cm² < 2,6 t/cm².

Sigue en la página 118

6.6.3.3. *Unión de alma con doble cubrejuntas.*

Este tipo de unión presenta la ventaja con relación a la tradicional de unión con casquillos de angulares, de no ser preciso en ningún caso la preparación del extremo de la vigueta a embrochalar, bastando el corte recto de dicho extremo y el taladrado o punzonado de los agujeros correspondientes.

La dimensión r del rigidizador [6.51] debe ser tal que éste enrase o sobrepase ligeramente el borde de la viga principal.

El espesor del rigidizador debe ser al menos igual al espesor del alma de la vigueta. Las soldaduras a_1 y a_2 que fijan el rigidizador se dimensionan: la a_1 para soportar el esfuerzo cortante P^*_2 y la a_2 como soldadura longitudinal sometida al esfuerzo

$$\frac{P^*_2\, r}{l}$$

originado por la excentricidad de la reacción.

Hipótesis de cálculo.

Los tornillos de la unión están sometidos a un esfuerzo cortante y a un momento. El valor de este momento depende de la excentricidad con que se considere la reacción de la vigueta.

En el caso [6.52] de dos cargas iguales y simétricas P^*_1, es evidente que la viga principal no sufre ninguna torsión y por consiguiente ningún giro y el momento solicitante de los tornillos será

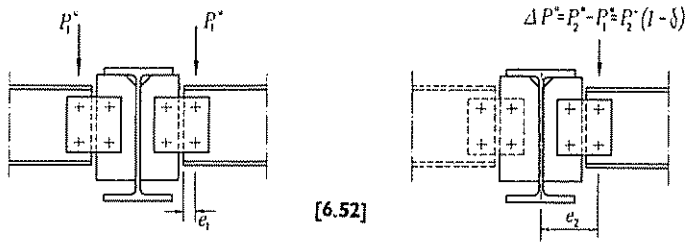
$$M^* = P^*_1\, e_1$$

En el caso de asimetría total, dada la poca rigidez a torsión de las vigas en doble T y en general las de sección abierta, ésta no puede absorber el momento solicitante $P^*_1\, e_1$ sin girar. La reacción P^*_1 debe situarse en el alma de la viga principal y la unión debe, por tanto, calcularse con el momento $P^*_1\, e_2$.

En el caso general [6.51] de dos fuerzas, P^*_1 y P^*_2, tal que $P^*_1 = \delta P^*_2$, siendo $\delta < 1$, el momento solicitante es:

$$M^* = P^*_1\, e_1 + \Delta P^* e_2 \qquad \Delta P^* = P^*_2 - P^*_1$$

Ver ejemplo de aplicación en la página 118.



Viene de la página 116

El despalmillado del ala superior obliga a comprobar la sección A-A, solicitada por el momento $M^* = 24 \times 12 = 288$ cm · t, calculados los valores estáticos de la sección A-A, la tensión de trabajo es 1,04 t/cm² < 2,6 t/cm².

Hechas estas comprobaciones, la unión es válida.

La unión la formarían dos angulares L120 · 10, de longitud 290 mm y 4×3 T20.

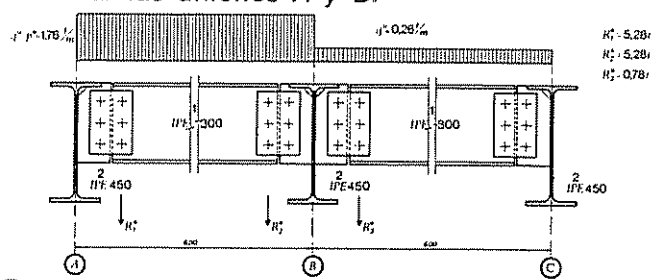
Usando las tablas 6.6 3 1

Podemos utilizar dentro de la gama posible de uniones tabuladas, la nominada F-A-4-70-T20, comprobando en la tabla **6.6 3 1-A4** que el esfuerzo cortante capaz de absorber los tornillos es 27,23 t > 24 t y que el esfuerzo de aplastamiento para el espesor del alma de la viga (10 mm) es 30,46 t > 24 t.

La comprobación de la sección A-A es inmediata con las tablas del Apéndice II, para un perfil IPE 500 con el despalmillado e = 40 y c = 125, $Q^* = 60{,}27$ t > 24 t.

6.6 3 3. EJEMPLO DE APLICACION

La figura representa las vigas de parte de un forjado con sus correspondientes cargas. Calcular las uniones A y B.



El perfil 2 (IPE 450) fija el ancho del rigidizador r = 100. El cálculo de la unión A se realiza con la tabla **6.6 3 3-1**, para la columna definida por $\gamma = \dfrac{P^*_1}{P^*_2} = 0$ y r = 100 mm y del grupo de cubrejuntas adaptables al perfil IPE 300. Así, dos cubrejuntas 3.2.20 con $P^*_2 = 5{,}6$ t > 5,28 t se realiza una unión válida.

La unión B tiene un valor de $\gamma = \dfrac{0{,}78}{5{,}28} = 0{,}14$ se interpola linealmente entre los valores, correspondientes al cubrejuntas 3.2.20, de la excentricidad de cargas:

$\gamma = 0$	$P^*_2 = 5{,}6$ t
$\gamma = 0{,}5$	$P^*_2 = 10{,}4$ t

correspondiendo para $\gamma = 0{,}14$ un valor de $P^*_2 = 6{,}94$ t > 5,28 t. Cada unión se realiza con dos cubrejuntas 3.2.20 y seis tornillos T20, A4.6.

El Apéndice III define el tipo de cubrejuntas, así como el diámetro del tornillo.

En el caso de vigas principales rígidas a la torsión, el valor de la reacción de agotamiento en una unión unilateral se eleva considerablemente. Para vigas infinitamente rígidas a la torsión se podrían utilizar los valores correspondientes a:

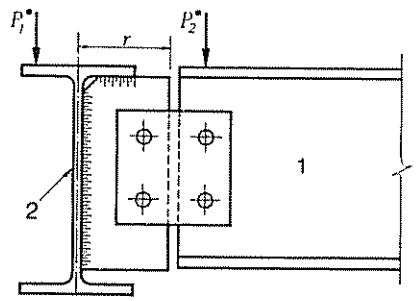
$$P^*_1/P^*_2 = \gamma = 1$$

en las tablas que se acompañan.

Tablas de uniones con doble cubrejuntas.

En las tablas **6.6 3 3** se han recogido los valores P^*_2 de agotamiento correspondientes a uniones tipificadas para las series de perfiles IPE, HEA, HEB, correspondientes a diferentes anchos de ala de la viga principal y a relaciones γ entre las reacciones P^*_1/P^*_2 de 0, 0,5 y 1.

En estas tablas se indica el número y diámetro de los tornillos (T4.6) necesarios, así como el tipo de cubrejunta normalizada a emplear. Las dimensiones de los diferentes tipos de estas cubrejuntas figuran en el Apéndice III, de este capítulo. El número de tornillos y su diámetro son los correspondientes al cubrejuntas utilizado.

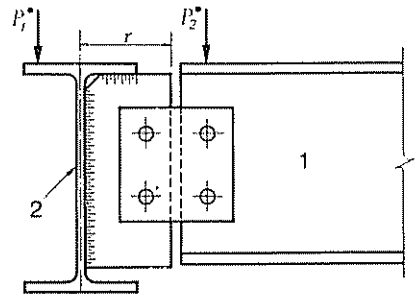


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_g, en toneladas.

1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
160	2.2.12	1,5	2,6	3,6	1,3	2,2	3,6	1,1	1,9	3,6
180	2.2.12	1,5	2,8	3,8	1,3	2,4	3,8	1,1	2,1	3,8
	2.2.16	—	—	—	1,9	3,5	5,0	1,7	3,1	5,0
200	2.2.12	1,7	2,9	4,0	1,4	2,5	4,0	1,3	2,2	4,0
	2.2.16	—	—	—	2,1	3,8	5,4	1,8	3,3	5,4
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	2,4	4,5	6,7
	3.2.12	2,5	4,5	6,0	2,7	3,8	6,0	1,8	3,3	6,0
220	2.2.12	1,8	3,2	4,0	1,3	2,6	4,0	1,3	2,4	4,0
	2.2.16	—	—	—	2,1	3,4	5,7	1,8	3,5	5,7
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	2,5	4,7	7,1
	3.2.12	2,6	4,7	6,4	2,2	4,0	6,4	1,8	3,5	6,4
240	2.2.12	1,8	3,3	4,5	1,5	2,8	4,5	1,3	2,5	4,5
	2.2.16	—	—	—	2,2	4,0	5,6	1,9	3,6	6,0
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	2,6	4,9	7,4
	3.2.12	2,8	5,0	6,7	2,2	4,2	6,7	1,9	3,8	6,7
	3.2.16	—	—	—	3,9	6,8	9,5	3,3	6,0	9,5
270	2.2.12	1,9	3,5	4,7	1,7	3,0	4,7	1,4	2,6	4,7
	2.2.16	—	—	—	2,4	4,3	6,3	2,1	3,9	6,3
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	2,9	5,3	7,9
	3.2.12	2,9	5,3	7,1	2,5	4,5	7,1	2,1	3,9	7,1
	3.2.16	—	—	—	4,0	7,2	10,0	3,5	6,4	10,0
	4.2.12	4,9	8,2	10,4	4,0	7,1	10,4	3,5	6,3	10,4
300	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,6	4,7	6,8	2,2	4,2	6,8
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,0	5,6	8,5
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	4,5	7,8	10,9	3,8	6,7	10,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	5,6	10,4	14,5
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	7,1	12,0	15,7	6,3	10,9	15,7

6.6 3 3-1

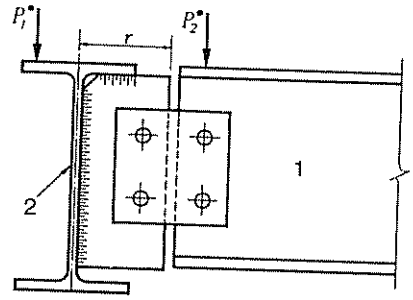


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
330	2.2.12	2.1	3.8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,8	5,0	7,2	2,4	4,5	7,2
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,5	6,0	8,9
	3.2.12	3,0	5.6	7,5	2,5	4,7	7,5	2.2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	4,6	8,2	11,4	4,0	7,4	11,4
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	6,4	11,0	15,2
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3.6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	7,5	12,7	16,7	6,5	11,4	16,7
360	2.2.16	—	—	—	2,9	5,3	7.7	2.5	4,7	7,7
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,5	6.4	9,6
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4.7	7,5	2.2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,0	8,8	12,3	4.3	7,8	12,3
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	6,8	11.7	16.3
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7.5	11,0	3,6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	8,1	13,5	17,8	6,7	12,3	17,8
400	2.2.16	—	—	—	3,2	5,7	8,2	2.8	5,0	8,2
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,8	6.8	10,3
	3.2.16	—	—	—	5,3	9,5	13,1	4,6	8,4	13,1
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	7,2	12,7	17,4
	4.2.16	—	—	—	8,6	14,6	19,1	7.5	13,2	19.1
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	11,7	19,2	24,9
	5.2.16	—	—	—	12,7	20,2	25,2	11,1	18,5	25,2
450	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,0	7,5	11,3
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	7,9	13,8	19.1
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	12,8	21,0	27,3
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,0	33,6
500	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,5	8,1	12,3
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	8,6	14,9	20,8
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8.1	14,2	20,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	13,9	22.8	29,7
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27.0	12,0	19,9	27,0
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	20,2	31,5	38,6
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,0	33,6

6.6 3 3-1



Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_a, en toneladas.

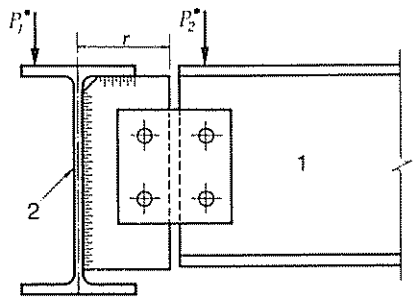
1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
550	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,9	8,8	13,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,3	16,3	22,6
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,2	24,9	32,2
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	22,0	34,1	42,1
600	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,7	17,0	23,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	23,0	35,7	43,9
	6.2.20	—	—	—	—	—	—	30,9	45,7	54,0

6.6 3 3-1

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Cubrejuntas
F[1]	DC[2] — 3 · 2 · 20	

[1] Unión flexible.
[2] Doble cubrejuntas.

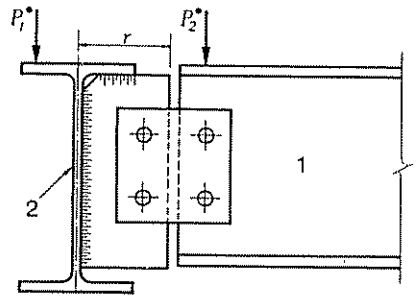


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
160	2.2.12	1,0	1,8	3,6	0,8	1,7	3,6	0,8	1.5	3,6
180	2.2.12	1,0	1,9	3,8	0,8	1,7	3,8	0,8	1,7	3,8
	2.2.16	1,5	2,8	5,0	1,4	2,6	5,0	1,3	2,4	5,0
200	2.2.12	1,1	1,9	4.0	1,0	1,8	4.0	0,8	1,7	4,0
	2.2.16	1,5	2,9	5,4	1,4	2,8	5,4	1,4	2.5	5,4
	2.2.20	2,2	4,0	6,7	1,9	3,8	6,7	1,8	3,5	6,7
	3.2.12	1,5	3,0	6,0	1,4	2,8	6,0	1,4	2,5	6,0
220	2.2.12	1,1	2,1	4,2	1,0	1,9	4,2	1,0	1,8	4,2
	2.2.16	1,7	3,1	5,7	1,5	2,9	5,7	1,4	2,6	5,7
	2.2.20	2,2	4.3	7.1	2,1	3,9	7,1	1,9	3,8	7,1
	3.2.12	1,7	3,2	6,4	1.5	2,9	6,4	1,4	2,6	6,4
240	2.2.12	1,1	2.2	4,5	1.1	2,1	4.5	1,0	1,9	4,5
	2.2.16	1,8	3,3	6,0	1.5	3,0	6,0	1,5	2,8	6,0
	2.2.20	2,4	4,5	7,4	2,2	4,2	7,4	2.1	3,9	7,4
	3.2.12	1,8	3,3	6,7	1,5	3,1	6,7	1,5	2,8	6,7
	3.2.16	2,9	5,4	9,5	2,6	5,0	9,5	9,5	4,7	9,5
270	2.2.12	1,3	2,4	4,7	1.1	2,1	4,7	1,1	2,1	4,7
	2.2.16	1,8	3,5	6,3	1,7	3,2	6,3	1,5	3,0	6,3
	2.2.20	2,5	4,7	7,9	2,4	4,5	7,9	2,2	4,2	7,9
	2.2.24	3,6	6,5	9,5	3,3	6,1	9,5	3,0	5,7	9,5
	3.2.12	1,8	3,5	7,1	1,7	3,2	7,1	1,5	3,0	7,1
	3.2.16	3,2	5,8	10,0	2,9	5,4	10,0	2,6	5,2	10,0
	4.2.12	3,0	5,7	10,4	2,8	5,3	10,4	2,6	4,9	10,4
300	2.2.12	1,3	2,5	5,0	1,1	2,2	5,0	1,1	2,1	5,0
	2.2.16	1,9	3,8	6,8	1,8	3,5	6,8	1,7	3,2	6,8
	2.2.20	2,8	5,2	8,5	2,5	4,7	8,5	2,4	4,5	8,5
	2.2.24	3,9	7,0	10,2	3,5	6,5	10,2	3,3	6,3	10,2
	3.2.12	1,9	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	3,3	6,3	10,9	3,0	5,8	10.9	2,9	5,4	10,9
	3.2.20	5,4	9,6	14,5	5,0	8,9	14,5	4,6	8,5	14,5
	4.2.12	3.2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	5,6	10,0	15,7	5,2	9,3	15,7	4,7	8,8	15,7

6.6 3 3-1

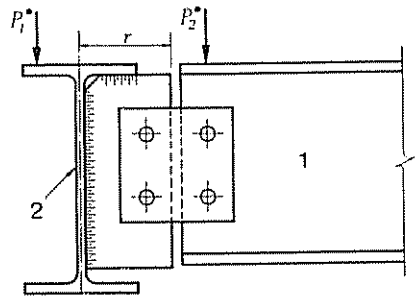


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_{2}, en toneladas.

1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
330	2.2.16	2,1	3,9	7,2	1,9	3,6	7,2	1,8	3,5	7,2
	2.2.20	2,9	5,4	8,9	2,6	5,0	8,9	2,5	4,7	8,9
	2.2.24	4,0	7,4	10,7	3,8	7,0	10,7	3,5	6,5	10,7
	3.2.12	1,9	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	3,6	6,7	11,4	3,2	6,1	11,4	3,0	5,8	11,4
	3.2.20	5,7	10,2	15,2	5,3	9,5	15,2	4,9	8,9	15,2
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	5,8	10,6	16,7	5,4	9,7	16,7	5,0	9,3	16,7
360	2.2.16	2,2	4,2	7,7	2,1	3,9	7,7	1,9	3,6	7,7
	2.2.20	3,0	5,7	9,6	2,8	5,3	9,6	2,6	5,0	9,6
	2.2.24	4,3	7,9	11,6	4,0	7,4	11,6	3,8	7,0	11,6
	3.2.12	1,9	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	3,9	7,1	12,3	3,5	6,5	12,3	3,2	6,1	12,3
	3.2.20	6,1	10,9	16,3	5,6	10,0	16,3	5,3	9,6	16,3
	3.2.24	7,7	13,5	18,8	7,1	12,7	18,8	6,7	12,1	18,8
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	6,3	11,3	17,8	5,7	10,4	17,8	5,4	9,9	17,2
400	2.2.16	2,4	4,6	8,2	2,2	4,2	8,2	2,1	3,9	8,2
	2.2.20	3,3	6,3	10,3	3,1	5,7	10,3	2,9	5,4	10,3
	2.2.24	4,7	8,5	12,4	4,3	7,9	12,4	4,0	7,5	12,4
	3.2.16	4,2	7,7	13,1	3,8	7,0	13,1	3,5	6,7	13,1
	3.2.20	6,6	11,6	17,4	6,0	10,9	17,4	5,6	10,3	17,4
	3.2.24	8,4	14,5	20,2	7,7	13,7	20,2	7,2	13,0	20,2
	4.2.16	6,8	12,1	19,1	6,1	11,3	19,1	5,9	10,6	19,1
	4.2.20	10,6	18,0	24,9	9,8	16,9	24,9	9,2	16,2	24,9
	5.2.16	9,9	17,1	25,2	9,1	16,0	25,2	8,6	15,3	25,2
450	2.2.20	3,6	6,8	11,3	3,3	6,3	11,3	3,1	5,6	11,3
	2.2.24	5,2	9,3	13,5	4,7	8,6	13,5	4,5	8,2	13,5
	3.2.20	7,1	12,7	19,1	6,6	11,8	19,1	6,1	11,3	19,1
	3.2.24	9,1	15,9	22,0	8,4	14,9	22,0	7,9	14,2	22,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
	4.2.20	11,6	19,6	27,3	10,7	18,5	27,3	10,0	17,7	27,3
	4.2.24	14,8	24,5	31,8	13,7	23,1	21,8	12,8	22,2	31,8
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	6.2.16	14,6	24,4	33,6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6

6.6 3 3-1

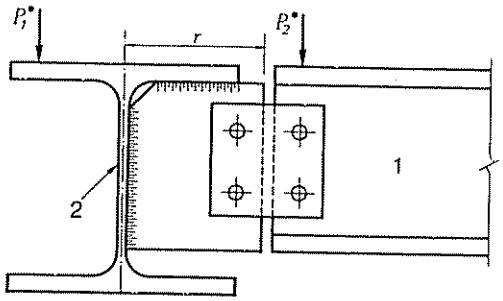


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_g, en toneladas.

1 IPE	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
500	2.2.20	3,9	7,4	12,3	3,6	6,8	12,3	3,3	6,4	12,3
	2.2.24	5,6	10,0	14.6	5.2	9,3	14,6	4,7	8,9	14,6
	3.2.20	7.8	13,8	20,8	7,1	12,8	20,8	6,7	12,3	20,8
	3.2.24	9,9	17.3	24,0	9,1	16,2	24.0	8.5	15,5	24,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6.7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
	4.2.20	12.7	21,3	29,7	11,6	20,1	29,7	10,9	19,2	29,7
	4.2.24	15,9	26,6	34,5	14,8	25,1	34,5	13.9	24,1	34,5
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	5.2.20	18.4	29,7	38,6	17.0	28.1	38,6	16,0	27,0	38,6
	6.2.16	14,6	24,4	33,6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
550	2.2.20	4,3	7,9	13,2	3.9	7,4	13,2	3,6	7,0	13,2
	2.2.24	6,0	11,0	16.0	5,6	10,2	16.0	5,3	9,8	16,0
	3.2.20	8,5	15,0	22,6	7,8	13,9	22,6	7.2	13,2	22,6
	3.2.24	10,7	18,8	26,1	9,9	17,6	26,1	9,3	16,9	26,1
	4.2.20	13,8	23,3	32,2	12.7	21,9	32,2	11,8	20,9	32,2
	4.2.24	17,4	28,8	37,6	16,0	27,3	37.6	15,2	26,2	37,6
	5.2.20	20,1	32.2	42,1	18,5	30,5	42,1	17,4	29,4	42,1
	5.2.24	25,2	39,8	49,3	23,4	38.0	49,3	22,3	36,8	49,3
600	2.2.20	4,5	8,4	13.9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	6.6	11,8	17,3	6,0	11,0	17,3	5,7	10,5	17,3
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	11,6	20,3	28,1	10,7	19.1	28,1	10,0	18,1	28,1
	4.2.20	14,4	24,2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	4.2.24	18,8	31,2	40,5	17,4	29,5	40,5	16,4	28,4	40,5
	5.2.20	20,9	33,6	43,9	19,2	31,9	43,9	18,3	30,6	43,9
	5.2.24	27,3	43,2	53,4	25,4	41,1	53,4	24,0	39,7	53,4
	6.2.20	28,3	43,5	54,0	26,3	41,5	54,0	24,9	40,1	54,0

6.6 3 3-1

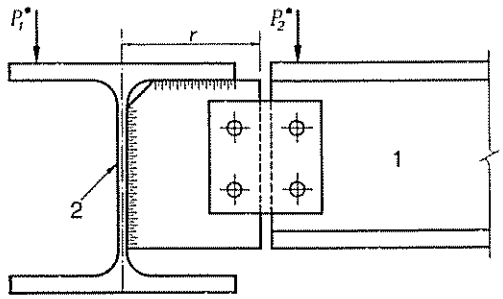


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-500 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
180	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
200	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
220	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
240	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,3	7,9	12,0
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
260	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,3	7,9	12,0
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
280	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,6	8,4	12,5
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
300	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,7	8,8	13,2
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0
320	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,1	14,2
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0

6.6 3 3-2

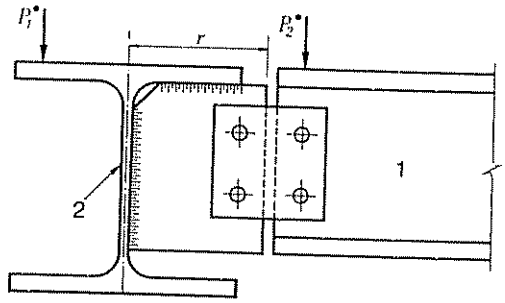


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
340	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.12	3,0	5.6	7,5	2.5	4.7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.12	5,0	8,6	11.0	4,2	7.5	11,0	3,6	6,7	11,0
360	2.2.16	—	—	—	3,3	6.1	8,9	2.9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9.2	13,9
	3.2.12	3.0	5,6	7,5	2.5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14.2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9.8	17,0	23,5
	4.2.12	5,0	8.6	11,0	4.2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	9.3	15,6	20,5	8,1	14.2	20,5
400	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2.2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9.1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.12	5,0	8,6	11.0	4,2	7,5	11,0	3.6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	9.3	15,6	20,5	8,1	14.2	20,5
450	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9.2	13,9
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14.2	5.0	9.1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9.8	17,0	23.5
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5 2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
500	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5.0	9,2	13.9
	3.2.16	—	—	—	5.7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33.6
	5 2.16	—	—	—	13,5	21.7	27,0	12,0	19,9	27,0
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6

6.6 3 3-2



Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_u, en toneladas.

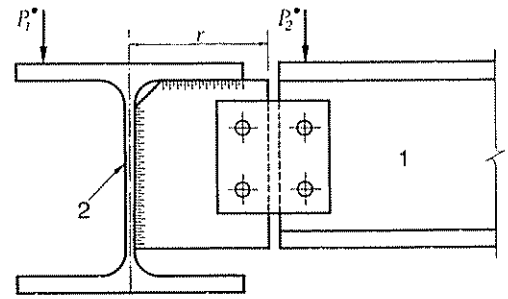
1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm: 60 — 2 IPN 220-300, IPE 220-240			80 — 2 IPE 270-360			100 — 2 IPE 400-550, HEA 180-200, HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
550	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	23,0	35,7	43,9
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6
600	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	23,0	35,7	43,9
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6
	6.2.20	—	—	—	—	—	—	30,9	45,7	54,0

6.6 3 3-2

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Cubrejuntas
F[1] —	DC[2] —	6 · 2 · 16

[1] Unión flexible.
[2] Doble cubrejuntas.



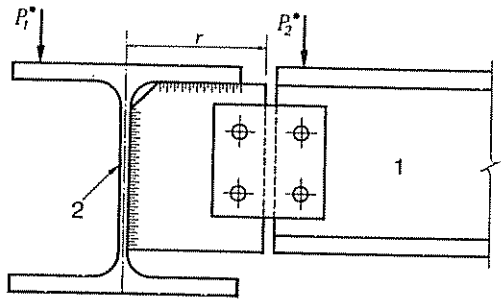
Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_u, en toneladas.

1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
180	2.2.12	1.3	2,5	5.0	1,1	2,2	5.0	1,1	2,1	5,0
200	2.2.12	1,3	2.5	5,0	1.1	2,2	5,0	1,1	2,1	5,0
220	2.2.12	1,3	2,5	5,0	1,1	2,2	5,0	1,1	2.1	5,0
	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2.4	4,5	8.9	2,2	4,2	8.9
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1.8	3,3	7,5	1,7	3,2	7.5
240	2.2.12	1,3	2.5	5,0	1,1	2,2	5,0	1,1	2,1	5,0
	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8.9	2.2	4,2	8,9
	2.2.20	3,9	7,2	12.0	3.5	6,7	12,0	3,3	6,3	12,0
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1.8	3.3	7,5	1,7	3.2	7,5
260	2.2.12	1,3	2.5	5,0	1,1	2,2	5,0	1,1	2.1	5.0
	2.2.16	2.7	4.9	8.9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8.9
	2.2.20	3.9	7,2	12.0	3.5	6,7	12.0	3,3	6,3	12,0
	3.2.12	2,0	3,8	7.5	1,8	3.3	7.5	1,7	3.2	7,5
280	2.2.12	1,3	2,5	5,0	1.1	2.2	5.0	1,1	2.1	5,0
	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4.5	8,9	2,2	4.2	8,9
	2.2.20	4,0	7.5	12,5	3,8	7,0	12,5	3,5	6,6	12.5
	3.2.12	2.0	3,8	7.5	1.8	3.3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
300	2.2.12	1,3	2.5	5,0	1,1	2.2	5,0	1,1	2,1	5,0
	2.2.16	2,7	4.9	8,9	2.4	4,5	8,9	2.2	4,2	8,9
	2.2.20	4.3	7.9	13,2	3,9	7,4	13,2	3,6	7.0	13,2
	2.2.24	6,0	10,9	15,7	5,4	10.2	15,7	5,2	9.6	15,7
	3.2.12	2,0	3.8	7,5	1,8	3,3	7,5	1.7	3,2	7.5
	3.2.16	4.5	8.2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5.4	11.0	2,8	5.2	11,0
320	2.2.12	1.3	2.5	5,0	1,1	2,2	5.0	1,1	2.1	5.0
	2.2.16	2,7	4.9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8.9
	2.2.20	4.5	8,4	13,8	4.0	7,7	13,8	3.8	7,2	13,8
	2.2.24	6.3	11,3	16.6	5,7	10.6	16.6	5,4	10.0	16,6
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1.7	3,2	7.5
	3.2.16	4,5	8.2	14,2	4,0	7.5	14,2	3.8	7.1	14,2
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0

6.6 3 3-2

uniones roblonadas y atornilladas

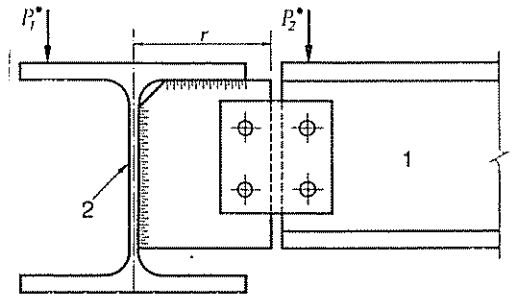


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_u, en toneladas.

1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600, HEA 220-240, HEB 220-240			2 HEA 260-280, HEB 260-280			2 HEA 300-1 000, HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
340	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	6,6	11,8	17,3	6,0	11,0	17,3	5,7	10,5	17,3
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
360	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	6,8	12,4	18,0	6,3	11,6	18,0	5,9	10,9	18,0
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
400	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7,4	13,4	19,4	6,7	12,4	19,4	6,4	11,8	19,4
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	13,0	22,8	31,6	12,0	21,5	31,6	11,3	20,5	31,6
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
450	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7,5	13,7	19,9	7,0	12,8	19,9	6,6	12,1	19,9
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	13,4	23,5	32,5	12,4	22,0	32,5	11,6	21,0	32,5
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
	4.2.20	14,4	24,2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0

6.6 3 3-2

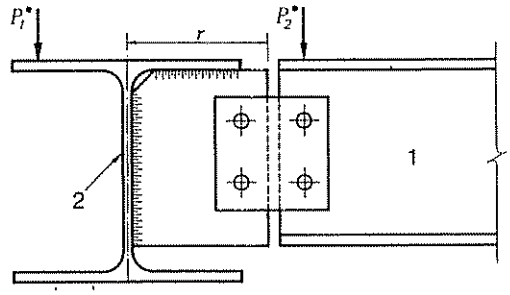


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 HEB	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600, HEA 220-240, HEB 220-240			2 HEA 260-280, HEB 260-280			2 HEA 300-1 000, HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
500	2.2.20	4.5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7.5	13.7	19.9	7,0	12,8	19,9	6,6	12,1	19,9
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	13,4	23.5	32,5	12.4	22,0	32,5	11,6	21,0	32.5
	4.2.16	7.2	13,0	20,5	6.7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
	4.2.20	14,4	24,2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	4.2.24	21,7	36,1	46,9	20,1	34,1	46.9	18,9	32,9	46,9
	5.2.16	10,7	18,4	27.0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	6.2.16	14.6	24,4	33.6	13.5	23.0	33,6	12.7	21,9	33,6
550	2.2.20	4.5	8.4	13.9	4.0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7,5	13,7	19,9	7,0	12,8	19,9	6,6	12,1	19,9
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	13,4	23,5	32.5	12.4	22,0	32,5	11,6	21,0	32.5
	4.2.20	14.4	24.2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	4.2.24	21,7	36,1	46,9	20,1	34,1	46.9	18,9	32.9	46,9
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	5.2.20	20,9	33.6	43,9	19,2	31.9	43,9	18.3	30,6	43.9
	6.2.16	14,6	24.4	33,6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
600	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7,5	13,7	19.9	7.0	12,8	19,9	6,6	12,1	19,9
	3.2.20	8,8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	13,4	23,5	32,5	12,4	22,0	32,5	11,6	21,0	32.5
	4.2.20	14,4	24,2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	4.2.24	21,7	36,1	46,9	20,1	34.1	46,9	18,9	32,9	46,9
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	5.2.20	20,9	33,6	43,9	19,2	31,9	43.9	18,3	30,6	43.9
	5.2.24	31,6	49,9	61,7	29,3	47,6	61,7	27,9	46,0	61,7
	6.2.16	14,6	24,4	33.6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
	6.2.20	28,3	43.5	54,0	26,3	41,5	54,0	24,9	40,1	54,0

6.6 3 3-2

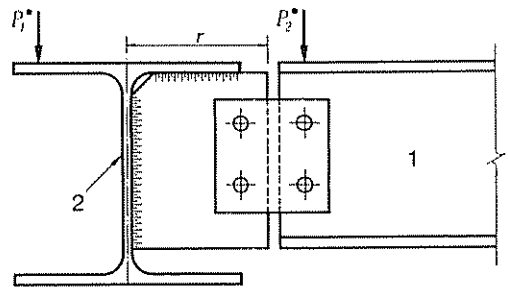


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_u, en toneladas.

1 HEA	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
180	2.2.12	1,8	3,2	4,3	1,5	2,8	4,3	1,3	2,4	4,3
200	2.2.12	2,0	3,5	4,7	1,8	2,9	4,7	1,4	2,7	4,7
220	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,5	4,6	6,7	2,2	4,0	6,7
	3.2.12	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
240	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,8	5,0	7,2	2,4	4,5	7,2
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,2	6,0	8,9
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
260	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,8	5,0	7,2	2,4	4,5	7,2
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,2	6,0	8,9
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
280	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	2,9	5,3	7,7	2,5	4,7	7,7
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,5	6,4	9,6
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,0	8,8	12,3	4,3	7,8	12,3
300	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,0	5,6	8,1	2,7	5,0	8,1
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,6	6,7	10,2
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,3	9,3	13,0	4,6	8,4	13,0
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0
320	2.2.12	2,1	3,8	5,0	1,7	3,2	5,0	1,5	2,8	5,0
	2.2.16	—	—	—	3,3	6,0	8,6	2,8	5,3	8,6
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	3,9	7,1	10,7
	3.2.12	3,1	5,6	7,5	2,5	4,7	7,5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,6	9,9	13,8	4,9	8,8	13,8
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3,6	6,7	11,0

6.6 3 3-3

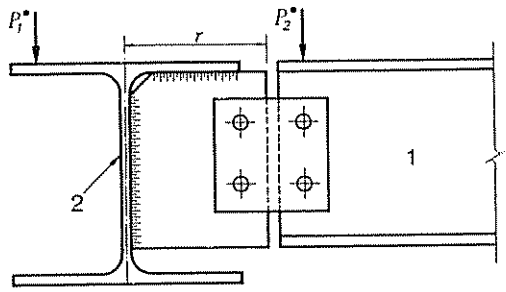


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 HEA	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
340	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8.9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,2	7.5	11,4
	3.2.72	3,0	5,6	7,5	2,5	4,7	2,2	2.2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5.0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	7,8	13,9	19,4
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4.2	7,5	11.0	3,6	6,7	11,0
360	2.2.16	—	—	—	3,3	6.1	8,9	2,9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,3	7,9	12,0
	3.2.12	3.0	5,6	7,5	2.5	4,7	7,5	2.2	4,2	7.5
	3.2.16	—	—	—	5.7	10.2	14.2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	8,5	14,6	20,3
	4.2.12	5,0	8,6	11,0	4,2	7,5	11,0	3.6	6,7	11.0
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8.1	14,2	20,5
400	2.2.16	—	—	—	3,3	6,1	8.9	2.9	5,4	8,9
	2.2.20	—	—	—	—	—	—	4,7	8,8	13,2
	3.2.12	3,0	5.6	7,5	2.5	4.7	7.5	2,2	4,2	7,5
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5.0	9,1	14.2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,3	16.2	22,4
	4.2.12	5,0	8,6	11.0	4.2	7.5	11.0	3,6	6,7	11,0
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20,5
450	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,1	13,8
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	16,9	23,4
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20.5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,7	25,8	33,4
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
500	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5.0	9,2	13,9
	3.2.16	—	—	—	5,7	10,2	14,2	5,0	9,1	14,2
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.16	—	—	—	9,3	15,6	20,5	8,1	14,2	20,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15.9	25,9	33,6
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6

6.6 3 3-3



Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

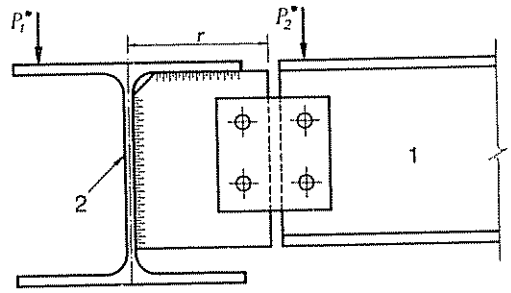
1 HEA	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		60			80			100		
		2 IPN 220-300 IPE 220-240			2 IPE 270-360			2 IPE 400-550 HEA 180-200 HEB 180-200		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
550	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.10	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	5.2.20	—	—	—	—	—	—	23,0	35,7	43,9
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6
600	2.2.20	—	—	—	—	—	—	5,0	9,2	13,9
	3.2.20	—	—	—	—	—	—	9,8	17,0	23,5
	4.2.20	—	—	—	—	—	—	15,9	25,9	33,6
	5.2.16	—	—	—	13,5	21,7	27,0	12,0	19,9	27,0
	5.2.26	—	—	—	—	—	—	23,0	35,7	43,9
	6.2.16	—	—	—	18,4	28,0	33,6	16,3	26,1	33,6
	6.2.20	—	—	—	—	—	—	30,9	45,7	54,0

6.6 3 3-3

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Cubrejuntas
F[1]	DC[2]	5 · 2 · 16

[1] Unión flexible.
[2] Doble cubrejuntas.

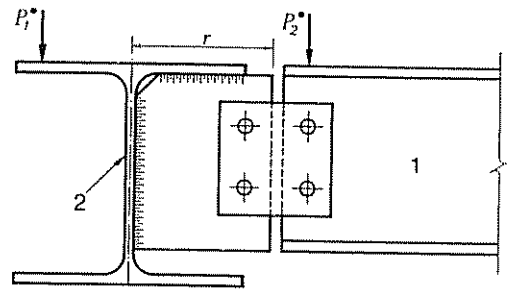


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_2, en toneladas.

1 HEA	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
180	2.2.12	1,1	2.1	4,3	1,0	2,0	4,3	1,0	1,8	4,3
200	2.2.12	1,3	2,4	4,7	1,1	2,1	4,7	1,0	2,0	4,7
220	2.2.12	1,3	2,5	5.0	1,1	2,2	5,0	1,1	2,1	5.0
	2.2.16	2.0	3,8	6,7	1,8	3,3	6.7	1.7	3,2	6,7
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
240	2.2.12	1,3	2.5	5,0	1,1	2,2	5,0	1.1	2,1	5,0
	2.2.16	2,1	3,9	7,2	2,0	3,6	7,2	1,8	3,5	7,2
	2.2.20	2,9	5,4	8,9	2.7	5.0	8,9	2,5	4.7	8.9
	3.2.12	2.0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7.5
260	2.2.12	1,3	2,5	5.0	1,1	2,2	5.0	1.1	2,1	5.0
	2.2.16	2,1	3,9	7,2	2,0	3,6	7,2	1,8	3,5	7,2
	2.2.20	2,9	5.4	8,9	2,7	5.0	8,9	2,5	4,7	8,9
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1.8	3.3	7,5	1,7	3,2	7.5
280	2.2.12	1,3	2,5	5,0	1,1	2,2	5,0	1,1	2,1	5.0
	2.2.16	2,2	4,2	7,7	2,1	3,9	7,7	2.0	3.6	7,7
	2.2.20	3,0	5,7	9,6	2,8	5,3	9,6	2,7	5,0	9,6
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3.3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	3,9	7,1	12,3	3,5	6,6	12,3	3,2	6.1	12,3
300	2.2.12	1,3	2,5	5.0	1,1	2,2	5,0	1,1	2,1	5,0
	2.2.16	2.4	4,5	8,1	2,2	4.2	8,1	2,1	3,9	8.1
	2.2.20	3,3	6.1	10,2	3.0	5,7	10,2	2.8	5.3	10,2
	2.2.24	4,6	8,4	12.3	4,3	7,8	12,3	4,0	7,4	12,3
	3.2.12	2.0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,0	7,5	13,0	3.8	7.0	13,0	3,5	6,6	13,0
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11.0	2.8	5,2	11,0
320	2.2.12	1,3	2,5	5,0	1,1	2,2	5.0	1.1	2,1	5,0
	2.2.16	2,5	4,7	8,6	2,4	4,3	8,6	2,1	4,2	8,6
	2.2.20	3.5	6,6	10,7	3,2	6,0	10,7	2,9	5,7	10,7
	2.2.24	4.9	8.9	13,0	4,6	8,2	13,0	4.2	7.8	13,0
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1.8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,3	7,9	13,8	3,9	7,4	13,8	3,6	7,0	13,8
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5.4	11,0	2.8	5,2	11.0

6.6 3 3-3

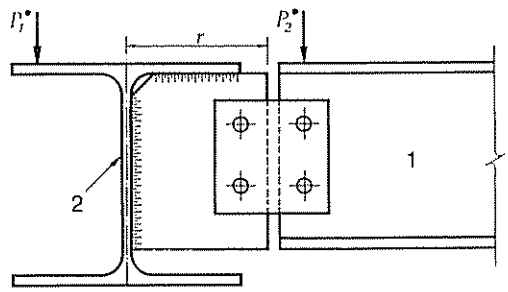


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

Resistencia de agotamiento P^*_3, en toneladas.

1 HEA	Tipo de cubre-juntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600 HEA 220-240 HEB 220-240			2 HEA 260-280 HEB 260-280			2 HEA 300-1 000 HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
340	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	3,6	6,8	11,4	3,3	6,3	11,4	3,2	6,0	11,4
	2.2.24	5,2	9,3	13,7	4,7	8,8	13,7	4,5	8,4	13,7
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	7,2	12,8	19,4	6,7	12,0	19,4	6,3	11,4	19,4
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
360	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	3,9	7,2	12,0	3,5	6,7	12,0	3,3	6,3	12,0
	2.2.24	5,4	9,9	14,4	5,0	9,2	14,4	4,7	8,8	14,4
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	7,7	13,5	20,3	7,0	12,5	20,3	6,6	12,0	20,3
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
400	2.2.16	2,7	4,9	8,9	2,4	4,5	8,9	2,2	4,2	8,9
	2.2.20	4,3	7,9	13,2	3,9	7,4	13,2	3,6	7,0	13,2
	2.2.24	6,0	10,9	15,7	5,4	10,2	15,7	5,2	9,6	15,7
	3.2.12	2,0	3,8	7,5	1,8	3,3	7,5	1,7	3,2	7,5
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,4	14,9	22,4	7,7	13,8	22,4	7,2	13,1	22,4
	3.2.24	10,6	18,7	25,8	9,8	17,4	25,8	9,2	16,6	25,8
	4.2.12	3,2	6,0	11,0	2,9	5,4	11,0	2,8	5,2	11,0
	4.2.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
450	2.2.20	4,5	8,4	13,8	4,0	7,7	13,8	3,8	7,2	13,8
	2.2.24	6,3	11,3	16,6	5,7	10,6	16,6	5,4	10,0	16,6
	3.2.16	4,5	8,2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8,8	15,5	23,4	8,1	14,5	23,4	7,5	13,8	23,4
	3.2.24	11,1	19,5	26,9	10,2	18,3	26,9	9,6	17,4	26,9
	2.4.16	7,2	13,0	20,5	6,7	12,1	20,5	6,3	11,4	20,5
	2.4.20	14,2	24,1	33,4	13,1	22,6	33,4	12,3	21,6	33,4
	2.5.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0

6.6 3 3-3

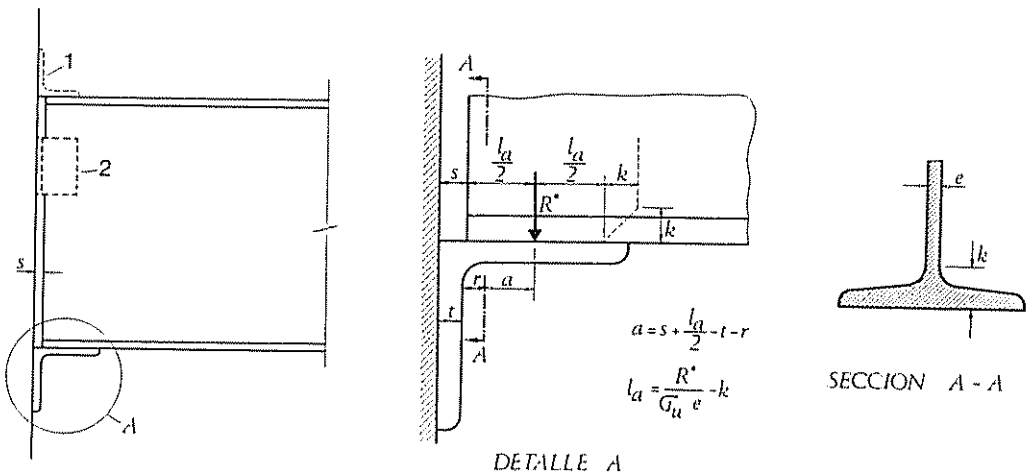


Unión de vigas.
Unión de alma con doble cubrejuntas (DC).

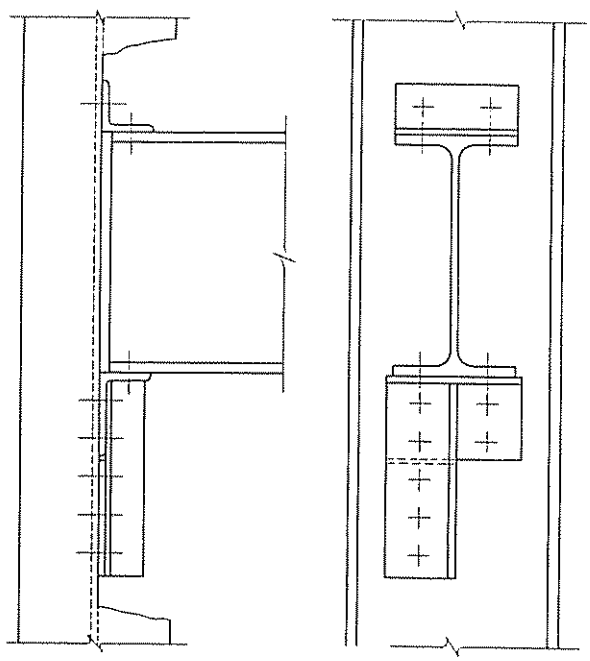
Resistencia de agotamiento P^*_g, en toneladas.

1 HEA	Tipo de cubrejuntas	Anchura del rigidizador mm								
		120			140			150		
		2 IPE 600, HEA 220-240, HEB 220-240			2 HEA 260-280, HEB 260-280			2 HEA 300-1 000, HEB 300-1 000		
		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1,0$
500	2.2.20	4.5	8,4	13.9	4,0	7,7	13,9	3.9	7,2	13,9
	2.2.24	6,6	11,8	17.3	6,0	11,0	17,3	5,7	10,5	17,3
	3.2.16	4,5	8.2	14,2	4,0	7,5	14,2	3,8	7,1	14,2
	3.2.20	8.8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13.8	23,5
	3.2.24	11,6	20,3	28,1	10,7	19,1	28,1	10,0	18,1	28,1
	2.4.14	7,2	13,0	20,5	6,7	12.1	20,5	6,3	11,4	20,5
	2.4.20	14,4	24.2	33,6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	2.4.24	18,8	31,2	40,5	17,4	29,5	40.5	16.4	28.4	40,5
	2.5.16	10,7	18,4	27,0	9.8	17.3	27,0	9,2	16,4	27.0
	6.2.16	14,6	24,4	33.6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
550	2.2.20	4.5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3.9	7,2	13,9
	2.2.24	6,8	12,4	18,0	6,3	11.6	18,0	5,9	10,9	18,0
	3.2.20	8,8	15.6	23,5	8.1	14.6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	12.1	21,2	29.3	11.1	19,8	29,3	10,5	18,9	29,3
	4.2.20	14,4	24,2	33,6	13,2	22.7	33,6	12,4	21.7	33,6
	4.2.24	19,5	32.6	42,3	18,1	30.8	42,3	17,1	29,5	42,3
	5.2.16	10,7	18,4	27,0	9.8	17,3	27.0	9,2	16,4	27,0
	5.2.20	20,9	33,6	43,9	19,2	31,9	43,9	18.3	30,6	43,9
	5.2.16	14.6	24,4	33,6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
600	2.2.20	4,5	8,4	13,9	4,0	7,7	13,9	3,9	7,2	13,9
	2.2.24	7,1	12,8	18,7	6.6	12,0	18,7	6,1	11,4	18,7
	3.2.20	8.8	15,6	23,5	8,1	14,6	23,5	7,5	13,8	23,5
	3.2.24	12,5	22.0	30,5	11,6	20,6	30,5	10,9	19,6	30,5
	4.2.20	14,4	24,2	33.6	13,2	22,7	33,6	12,4	21,7	33,6
	4.2.24	20.3	33,9	44,0	18,8	32,0	44,0	17,8	30,8	44,0
	2.5.16	10,7	18,4	27,0	9,8	17,3	27,0	9,2	16,4	27,0
	2.5.20	20,9	33,6	43,9	19,2	31,9	43,9	18,3	30,6	43,9
	2.5.24	29,5	46,7	57,8	27.4	44,6	57,8	26,1	43,0	57,8
	6.2.16	14,6	24.4	33,6	13,5	23,0	33,6	12,7	21,9	33,6
	6.2.20	28,3	43,5	54,0	26,3	41,5	54,0	24,9	40,1	54,0

6.6.3.3-3


1
2
s
A
A
$\frac{l_a}{2}$
$\frac{l_a}{2}$
s
k
R^*
k
r
a
t
A
$a = s + \frac{l_a}{2} - t - r$
$l_a = \frac{R^*}{\sigma_u \, e} - k$
e
k
DETALLE A
SECCION A - A

[6.53]



[6.54]

6.6.3.4. *Unión de asiento no rigidizado* [1].

Es una unión flexible. Generalmente está constituida por un casquillo de angular que es el apoyo propiamente dicho, completado por otro casquillo de sujeción lateral. Este puede colocarse en cualquiera de las dos posiciones 1 ó 2, que se indican en [6.53], y debe ser de espesor delgado para que no coaccione el giro de la viga.

Debe comprobarse a flexión el ala horizontal del angular de apoyo. La sección que se comprueba es la correspondiente a la iniciación de la sección uniforme, sección A-A, [6.53]. La única dificultad consiste en fijar la posición de la reacción R*, posición que depende de la rigidez relativa de viga y del casquillo. Las Normas AISC suponen que la reacción se distribuye uniformemente en el alma de la viga, en la longitud necesaria (l_a) contada desde el extremo de la viga, para no rebasar las tensiones límites de compresión [6.53].

La longitud de ala del angular debe ser, por lo menos, $s + l_a$

El momento solicitante es $M^* = R^* a$.

Los elementos de unión del ala vertical del angular suelen calcularse a cortante, despreciando la tracción producida por el momento solicitante. En la práctica la unión del casquillo a la columna se realiza, con gran frecuencia en taller, por medio de cordones de soldadura.

El dimensionado de los mismos figura en el capítulo 7, «Uniones soldadas».

6.6.3.5. *Unión de asiento rigidizado.*

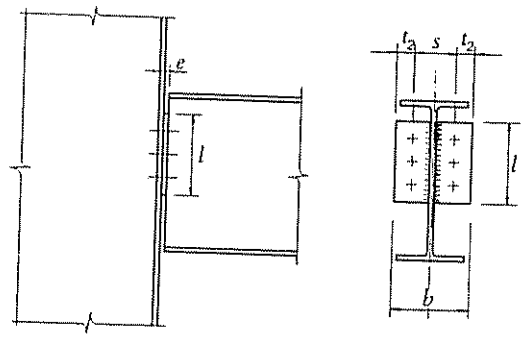
Es una unión flexible [6.54]. El empleo de los apoyos no rigidizados está limitado, tanto por la flexión del ala del angular como por el número de elementos de unión que se pueden disponer en el ala vertical y que nunca es superior a dos filas. Por ello es preciso utilizar otro tipo de apoyos, que pueden estar constituidos por casquillos de angular rigidizados o formados con medios perfiles I o sencillamente con chapas soldadas.

Al igual que en 6.6.3.3, es más frecuente la ejecución con cordones de soldadura, por ello al tratar de uniones soldadas se estudia con más extensión este tema.

Para fijar la posición de la resultante pueden también utilizarse las recomendaciones de la Norma AISC, descritas al tratar de apoyos no rigidizados. En la práctica los elementos de fijación se calculan exclusivamente a cortadura, no teniendo en cuenta el momento que produce la excentricidad de la reacción resultante.

---

[1] Para el cálculo de los angulares, ver los ábacos que se incluyen para este mismo tipo de apoyo en el capítulo 7, «Uniones soldadas».



Unión de vigas.
Unión flexible con placa frontal.

Número de tornillos por columna	Tipo de tornillo	Diámetro del tornillo mm															
		ø 16				ø 20				ø 22				ø 24			
		Q* t	e mm	l mm	Δa	Q* t	e mm	l mm	Δa	Q* t	e mm	l mm	Δa	Q* t	e mm	l mm	Δa
1	T 4.6	6,24	7	64	2,5	9,76	10	80	3,5	11,78	10	88	3,5	14,00	12	96	4,0
	TC 5.6	9,60	7	64	4,0	15,04	10	80	5,0	18,16	10	88	5,5	21,64	12	96	6,0
	TR 10.9	11,46	7	64	4,5	18,02	10	80	6,0	22,46	10	88	6,5	24,92	12	96	7,0
2	T 4.9	12,48	7	120	3,0	19,52	10	150	3,5	23,56	10	165	4,0	28,00	12	180	4,0
	TC 5.6	19,20	7	120	4,5	30,08	10	150	5,5	36,32	10	165	6,0	43,28	12	180	6,5
	TR 10.9	22,92	7	120	5,0	36,04	10	150	6,5	44,92	10	165	7,0	49,84	12	180	7,0
3	T 4.6	18,72	7	176	3,0	29,28	10	220	3,5	35,34	10	242	4,0	42,00	12	264	4,0
	TC 5.6	28,80	7	176	4,5	45,12	10	220	5,5	54,48	10	242	6,0	64,92	12	264	6,5
	TR 10.9	34,38	7	176	5,0	54,06	10	220	6,5	67,38	10	242	7,0	74,76	12	264	7,5
4	T 4.6	24,96	7	232	3,0	39,04	10	290	3,5	47,12	10	319	4,0	56,00	12	348	4,5
	TC 5.6	38,40	7	232	4,5	60,16	10	290	5,5	72,64	10	319	6,0	86,56	12	348	6,5
	TR 10.9	45,84	7	232	5,0	72,08	10	290	6,5	89,84	10	319	7,0	99,68	12	348	7,5
5	T 4.6	31,20	7	288	3,0	48,80	10	360	3,5	58,90	10	396	4,0	70,00	12	432	4,5
	TC 5.6	48,00	7	288	4,5	75,20	10	360	5,5	90,80	10	396	6,0	108,20	12	432	6,0
	TR 10.9	57,30	7	288	5,5	90,10	10	360	6,5	112,30	10	396	7,0	124,60	12	432	7,5

6.6.3.6

Ejemplo de notación

Clase	Tipo	Filas	Tornillo
F[1] —	P[2] —	3 —	T 24

[1] Unión flexible.
[2] Placa frontal.

Dimensiones complementarias de la placa, en mm.

ø 16			ø 20			ø 22			ø 24		
s	t_3	b	s	t_3	b	s	t_3	b	s	t_3	b
90	30	150	100	30	160	110	35	180	120	35	190

6.6.3.6. *Unión flexible con chapa frontal sin rigidizar.*

Este tipo de unión consiste en una chapa soldada al alma de la viga, perpendicularmente a su eje longitudinal. Comparada esta unión con la formada por dos angulares, ofrece una capacidad de rotación y una resistencia análoga para el mismo espesor, línea de gramil y longitud *l*, de chapa o de angular.

La realización de esta unión requiere unas tolerancias más estrictas, tanto en la longitud de la viga como en la perpendicularidad de la chapa frontal.

Para que la unión pueda considerarse flexible es preciso limitar el espesor de la chapa frontal. Espesores entre 7 y 12 mm son los que se aconsejan.

En **6.6.3.6** se expresan los valores de la máxima reacción ponderada de la viga, que son capaces de absorber uniones de este tipo con distinto número de elementos por fila.

6.6.3.7. *Unión flexible con chapa frontal rigidizada.*

En estructuras trianguladas de arriostramiento, pórticos contraviento y de frenado de puentes grúas, etc., es frecuente el caso de barras articuladas sometidas a esfuerzos axiles y cortantes. Las uniones de estas barras deben, por tanto, resistir esfuerzos N* y Q*, simultáneamente.

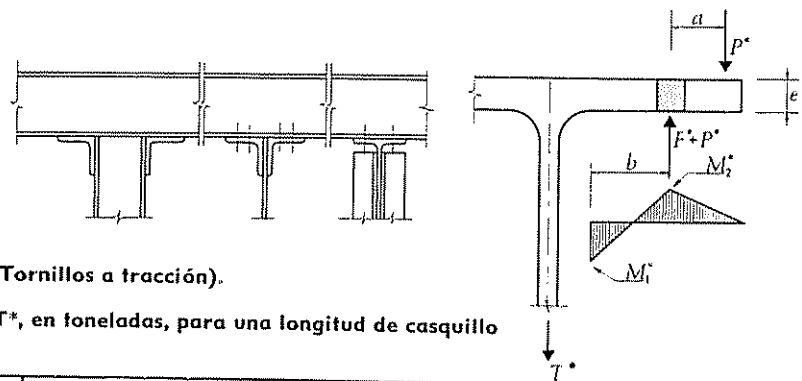
Para su cálculo se dividen los valores de N* y Q* por el número de tornillos (que no debe ser mayor de cuatro para que la unión pueda considerarse flexible) y se comprueba si los esfuerzos unitarios son menores que la solicitación de agotamiento a esfuerzos combinados del elemento de unión correspondiente, véanse **6.4.3, 6.4.5, 6.4.7** y **6.4.9.** Para que la unión sea flexible es necesario colocar los tornillos con una distancia mínima entre ellos.

6.6.3.8. *Unión de piezas a tracción (Tornillos a tracción).*

Dentro de este tipo de uniones se encuentran las correspondientes a péndolas, tirantes y, en general, las de los elementos sometidos a tracción en su unión con el elemento principal sustentante. Entre los sistemas más frecuentes para realizar la unión, se encuentran los representados en **6.6.3.8**: Uniones por medio de casquillos de IPE y uniones constituidas por dos ángulos.

Los elementos de unión son generalmente tornillos ordinarios. La tracción en cada tornillo es la total dividida por el número de ellos, incrementada o no por el efecto palanca.

En **6.6.3.8** se da la solicitación de agotamiento de uniones de este tipo para distintas dimensiones de casquillos de IPE o angulares de unión. Los valores de la tabla corres-



Unión de vigas.
Unión de piezas a tracción. (Tornillos a tracción).

Solicitación de agotamiento T*, en toneladas, para una longitud de casquillo $s = 3{,}5$ ø y dos tornillos T 4.6

Casquillo IPE				Casquillo 2L							
IPE	ø	Sin rigidizar	Rigidizado	L	ø	Sin rigidizar	Rigidizado	L	ø	Sin rigidizar	Rigidizado
140	10	1,97	2,22	35 · 3	10	0,40	2,22	70 · 8	20	2,34	9,40
160	10	2,71	3,22	35 · 4	10	0,78	2,22	80 · 8	22	2,18	11,62
180	12	2,69	3,22	40 · 4	10	0,59	2,22	80 · 10	22	3,68	11,62
200	12	3,35	3,22	40 · 5	10	1,00	2,22	90 · 8	24	2,06	13,54
220	16	4,10	6,02	45 · 4	12	0,59	3,22	90 · 10	24	3,45	13,54
240	16	4,53	6,02	45 · 5	12	1,00	3,22	100 · 8	24	2,56	13,54
270	20	4,94	9,40	45 · 6	12	1,56	3,22	100 · 10	24	4,35	13,54
300	22	4,91	11,62	50 · 4	12	0,44	3,22	120 · 10	24	3,70	13,54
330	24	6,37	13,54	50 · 5	12	0,72	3,22	120 · 12	24	5,76	13,54
360	24	7,01	13,54	50 · 6	12	1,10	3,22	150 · 12	27	7,33	17,62
400	27	9,19	17,62	60 · 5	16	0,77	6,02	150 · 15	27	13,26	17,62
450	27	9,82	17,62	60 · 6	16	1,17	6,02	180 · 15	27	9,33	17,62
500	27	9,92	17,62	60 · 8	16	2,29	6,02	200 · 16	27	11,03	17,62
550	27	11,85	17,62	70 · 6	20	1,21	9,40	200 · 18	27	15,12	17,62
600	27	13,48	17,62	70 · 7	20	2,43	9,40				

6.6 3 8

ponden a un par de tornillos, consecuentemente si se colocan dos o más filas de tornillos el valor de la tracción T* deberá multiplicarse por el número de parejas de tornillos utilizados. En la tabla figuran para cada perfil dos valores correspondientes al valor de T*, para unión sin rigidizar y para unión rigidizada, eliminando el efecto palanca.

6.6 3 9. *Unión rigida excéntrica.*

Es una unión [6.55] capaz de soportar una carga excéntrica. Las solicitaciones de cortadura que se producen en los tornillos que la constituyen, pueden calcularse fácilmente con auxilio de las tablas del artículo 6.5 1.

6.6 3 10. *Unión rígida con angulares o casquillos de medio* I.

Empleando angulares gruesos [1] y con el ala vertical corta, una unión del tipo de la representada en [6.56] puede considerarse como rígida. Con más seguridad se consigue la rigidez de la unión empleando angulares rigidizados. Para absorber el esfuerzo cortante pueden emplearse angulares de unión en el alma, de lo contrario en el cálculo del angular de apoyo debe tenerse en cuenta la reacción vertical. Generalmente no se tienen en cuenta los angulares de alma para la absorción del momento.

En la comprobación de los angulares puede suponerse que existe un punto de inflexión como se indica en el detalle A-A de [6.56].

Como variante de la anterior, y con ventajas sobre ella en cuanto una mejor distribución de los elementos necesarios para hacer la unión rígida, pueden utilizarse en lugar de angulares superior e inferior $\frac{1}{2}$ I, como se indica en [6.57].

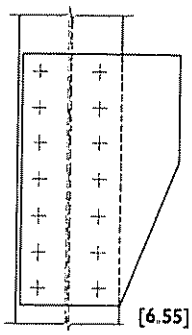
Para el cálculo de los angulares que absorben el esfuerzo cortante pueden utilizarse las tablas 6.6 3 1 y para los tornillos que unen los casquillos al pilar, las tablas 6.6 3 8, considerando la tracción correspondiente al momento solicitante $T^* = \frac{M^*}{h}$.

6.6 3 11. *Unión rígida con placa de testa.*

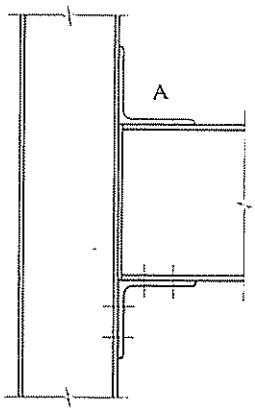
En 6.5 32 hemos descrito el método general de cálculo que recomienda la CECM, Convención Europea de la Construcción Metálica.

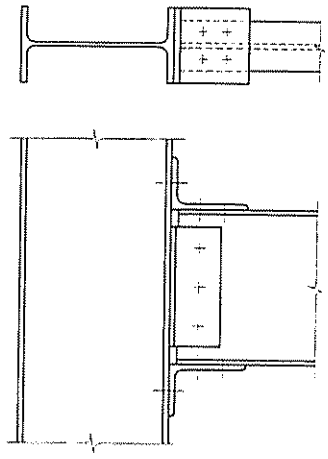
---

[1] Entendiendo por angulares gruesos aquellos en que la relación $\frac{e}{b}$ es mayor que 1/8. En las series españolas podrían emplearse: 80 · 12, 100 · 15, 120 · [illegible], 150 · 18, 180 · 20, 200 · 24.

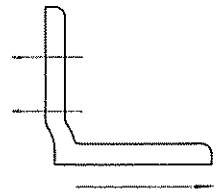


[6.55]

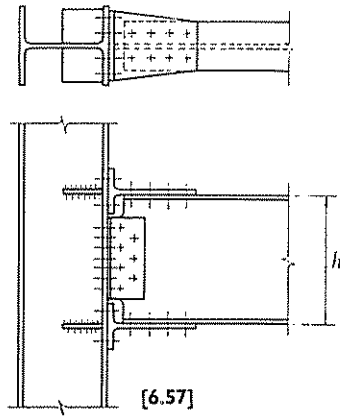




[6.56]



DETALLE A-A



[6.57]

Basándonos en este procedimiento se han calculado los ábacos **6.6 3 11** [1] que dan directamente todas las características y dimensiones de la unión de testa para las series de perfiles de caras paralelas que son los más adecuados para esta solución. Se ha considerado el caso más general de unión solicitada por esfuerzos longitudinales (N*), momento (M*) y esfuerzo cortante (Q*). De hecho, este tipo de solicitación es el que se produce normalmente en los pórticos rígidos de contraviento o frenado.

Para cada perfil se ha considerado además de la unión directa del mismo, la correspondiente al perfil suplementado con una cartela constituida por medio perfil, pues en el caso de fuertes solicitaciones la unión podría imponer un aumento del perfil no necesario en las secciones fuera de la unión.

Para la confección de las tablas se han tenido en cuenta los dos estados límites que permite el procedimiento de cálculo descrito en 6.5 3 1.

a) Unión con placa de testa rígida. El dimensionamiento de la chapa se hace con la condición de que el efecto palanca sea nulo, lo que permite el pleno aprovechamiento de los tornillos, aunque a veces conduce a chapas demasiado gruesas y, por tanto, antieconómicas.

b) Unión con placa de testa flexible. Se parte del dimensionamiento de la chapa para su aprovechamiento total y los tornillos se dimensionan teniendo en cuenta el efecto palanca correspondiente.

   Las soldaduras que figuran en las tablas que acompañan a los ábacos se han calculado con los siguientes criterios:

   Soldaduras de alas a placa de testa. Se dimensionan para el máximo esfuerzo de tracción en la platabanda. Estos cordones pueden sustituirse favorablemente por soldaduras a tope con preparación de borde. (No obstante se han calculado los cordones de ángulo por ser en general más económicos.) En algunos casos la soldadura a tope es imprescindible por ser los cordones de ángulo demasiado gruesos para la limitación de la norma o por obligar a una separación excesiva de los tornillos.

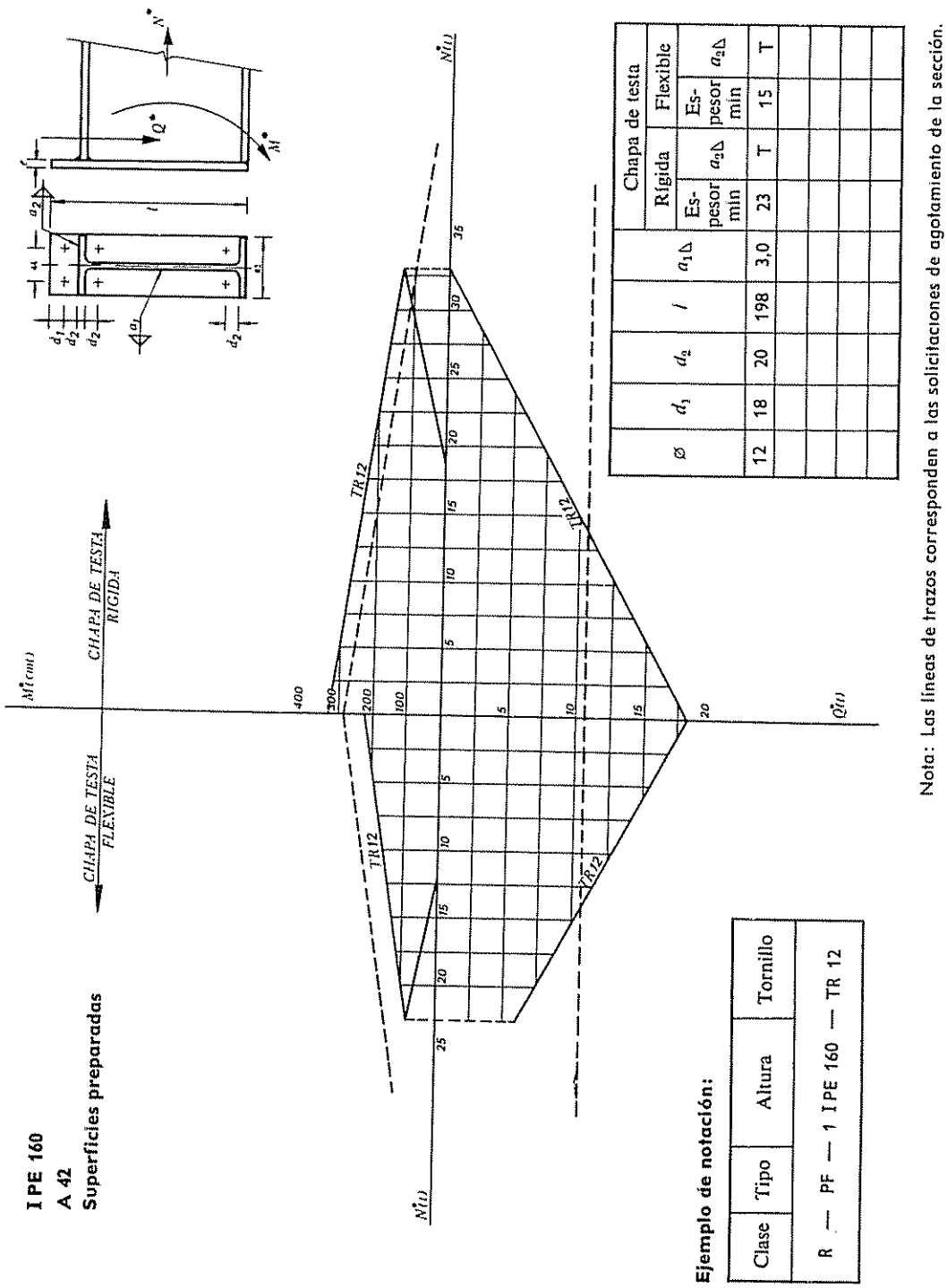
   Soldadura de alma a placa de testa. Se indican los cordones correspondientes al agotamiento del alma por esfuerzos cortantes.

---

[1] Designación: Una unión de este tipo queda fijada con los siguientes datos:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R	PF PR	1 perfil 1 $^{1}/_{2}$ perfil	TR ⌀

R unión rígida.
PF placa de testa flexible.
PR placa de testa rígida.



Chapa de testa															
						Rígida			Flexible						
Ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$							
12	18	20	198	3,0	23	T	15	T							

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

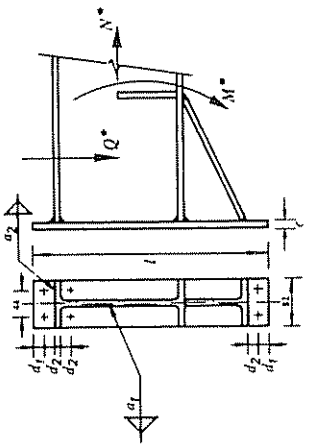
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

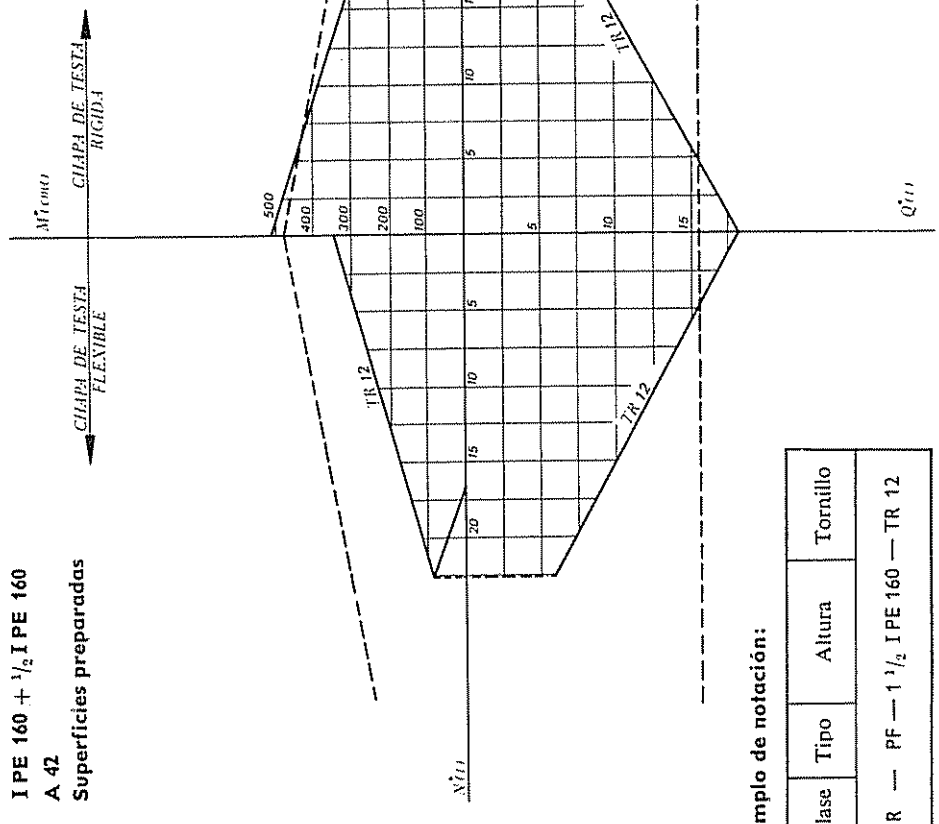
I PE 160
A 42
Superficies preparadas

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 160 —	TR 12

6.6.3 11-1





Chapa de testa										
						Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
12	18	20	316	3,0	23	T	15	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

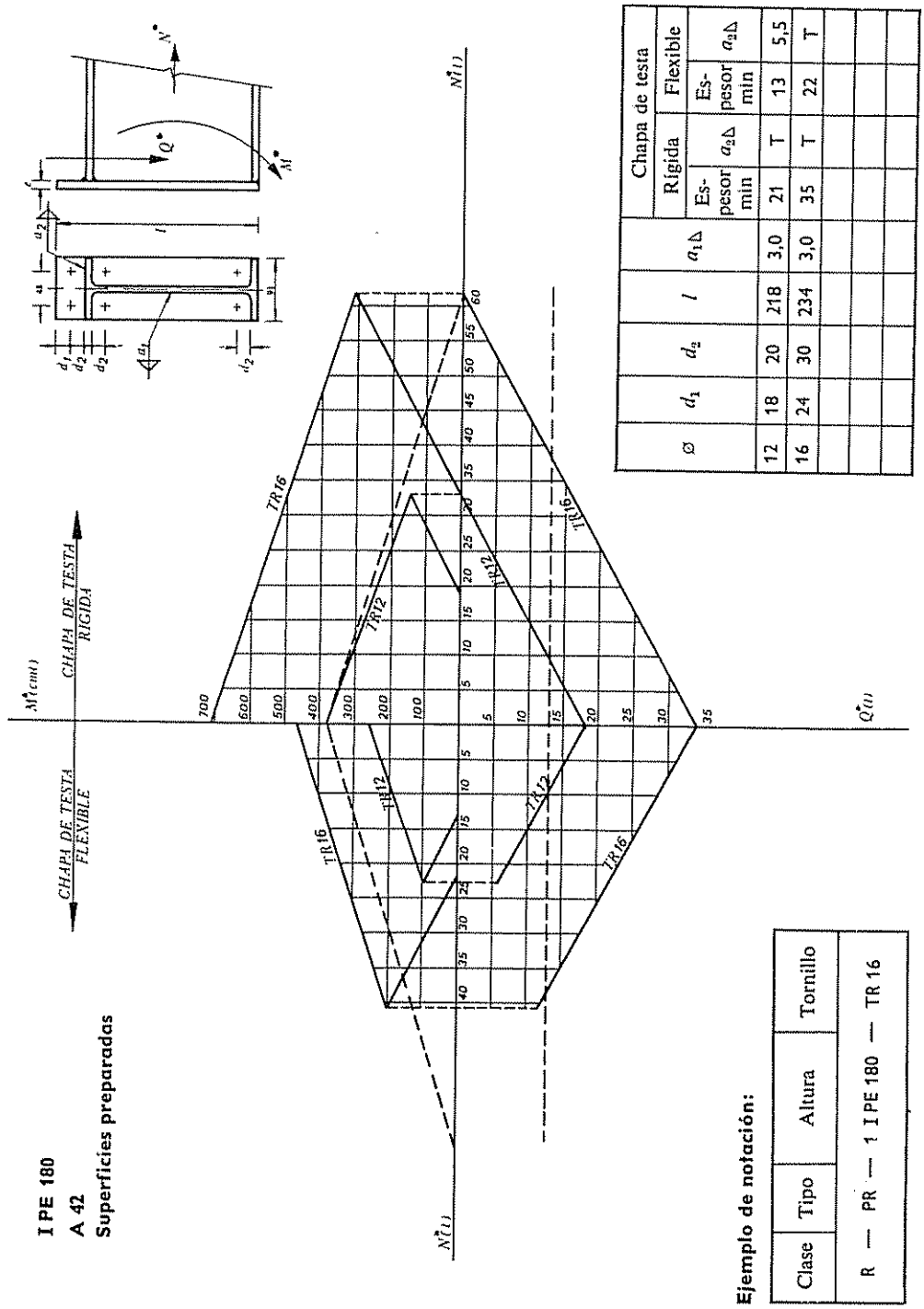
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 160 + 1/2 I PE 160
A 42
Superficies preparadas

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 1/2 I PE 160 —	TR 12

6.6.3.11-2



Chapa de testa									
					Rígida		Flexible		
∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
12	18	20	218	3,0	21	T	13	5,5
16	24	30	234	3,0	35	T	22	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

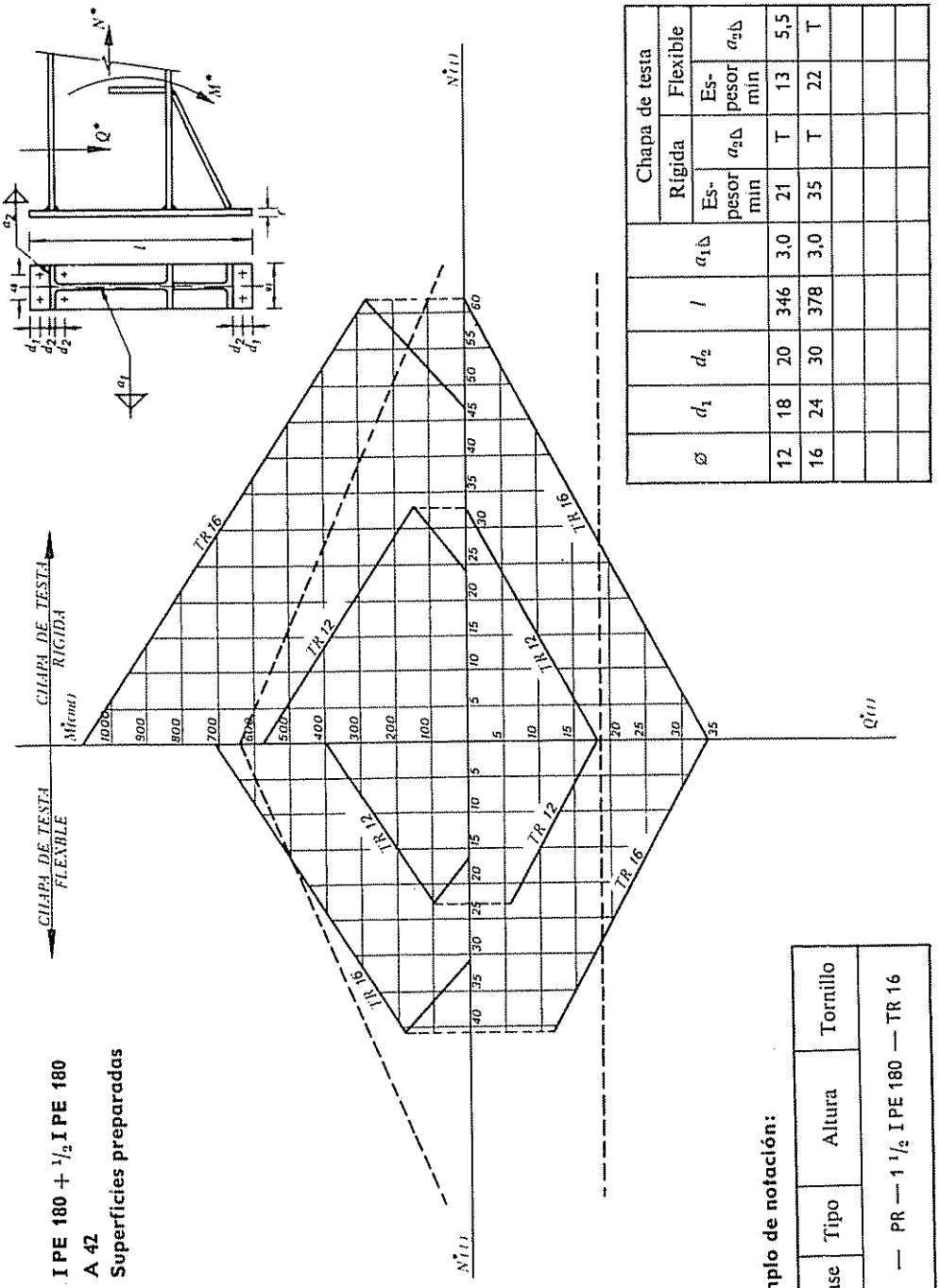
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 180
A 42
Superficies preparadas

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 I PE 180 —	TR 16

6.6 3 11-3



I PE 180 + 1/2 I PE 180
A 42
Superficies preparadas

Chapa de testa										
						Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
12	18	20	346	3,0	21	T	13	5,5
16	24	30	378	3,0	35	T	22	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

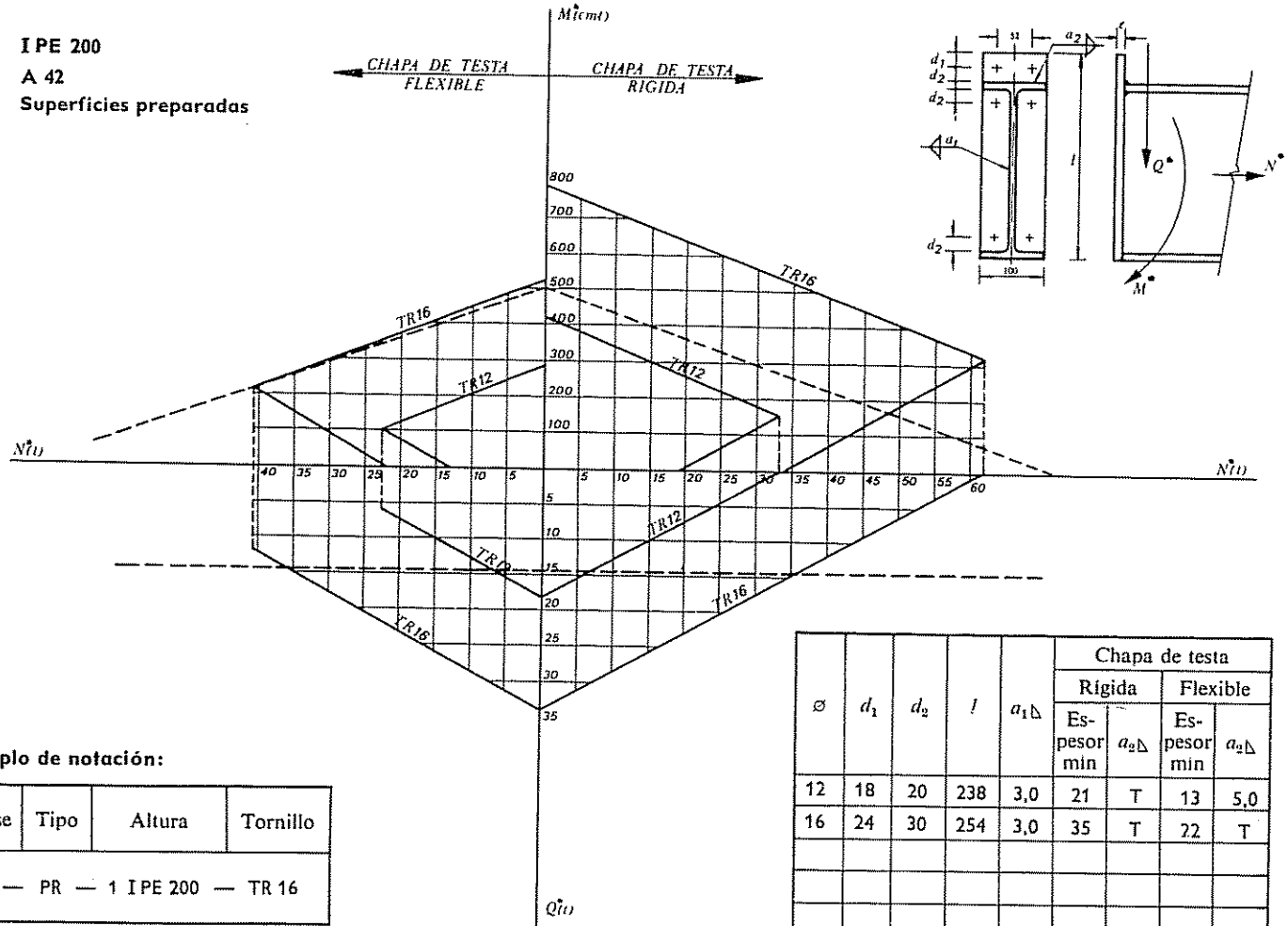
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R	— PR —	1 1/2 I PE 180	— TR 16

6.6.3 11-4

6.6.3.11-5

I PE 200
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

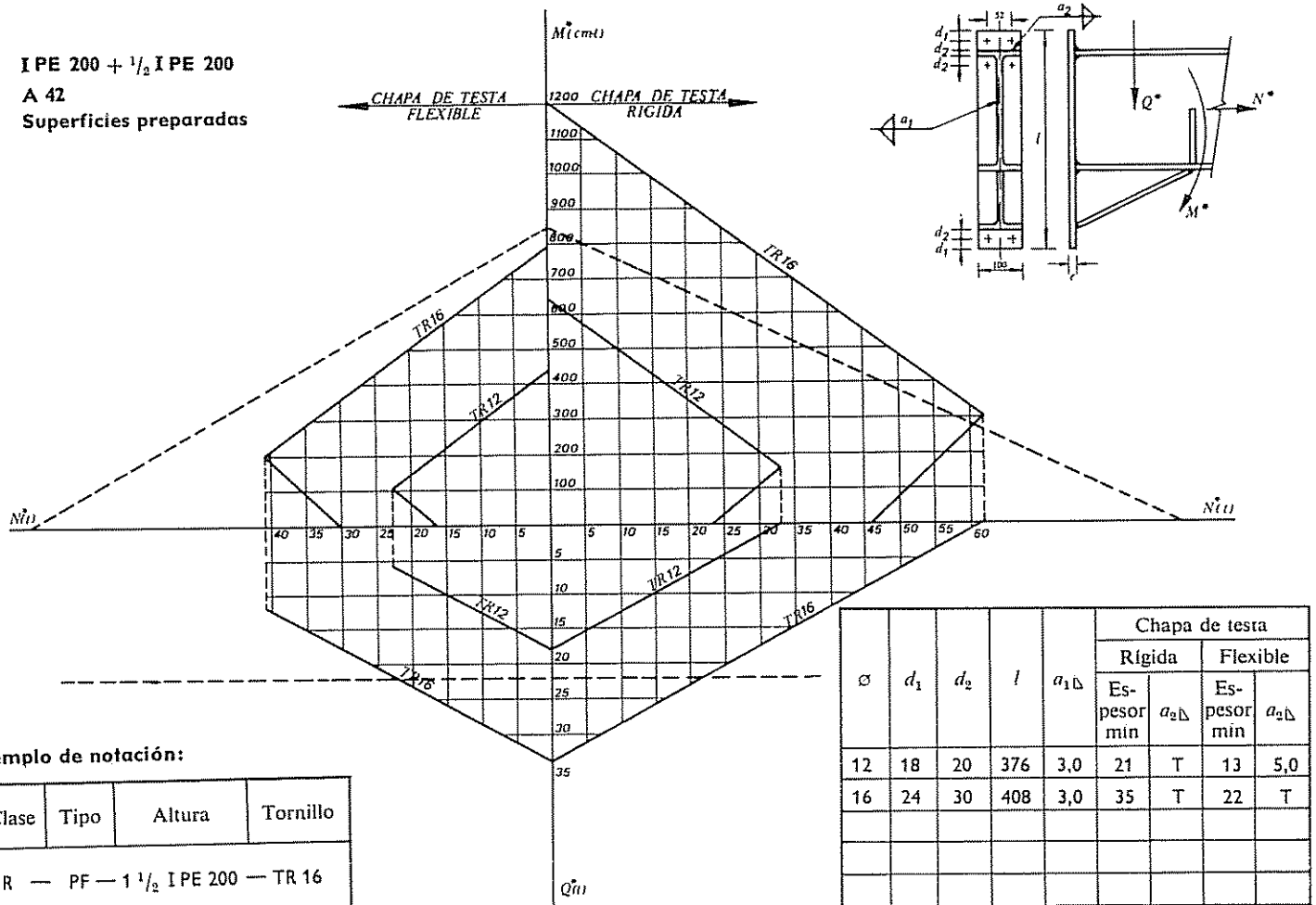
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 I PE 200 —	TR 16

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
12	18	20	238	3,0	21	T	13	5,0
16	24	30	254	3,0	35	T	22	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 200 + $^1/_2$ I PE 200
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	a_2△	Espesor mín	a_2△
12	18	20	376	3,0	21	T	13	5,0
16	24	30	408	3,0	35	T	22	T

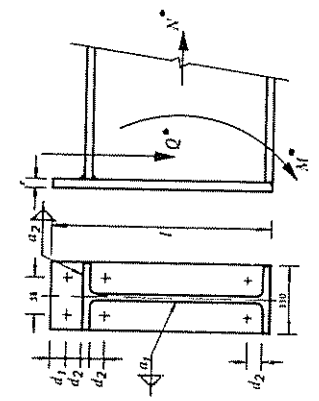
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ I PE 200 —	TR 16

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-6



Ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa				
					Rígida		Flexible		
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
12	18	20	258	3,0	20	7,0	13	4,0
16	24	30	274	3,0	34	T	21	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 220 —	TR 16

I PE 220
A 42
Superficies preparadas

6.6 3 11-7

Chapa de testa									
					Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
12	18	20	406	3,0	20	7,0	13	4,0
16	24	30	438	3,0	34	T	21	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 220 + 1/2 I PE 220
A 42
Superficies preparadas

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 1/2 I PE 220 —	TR 16

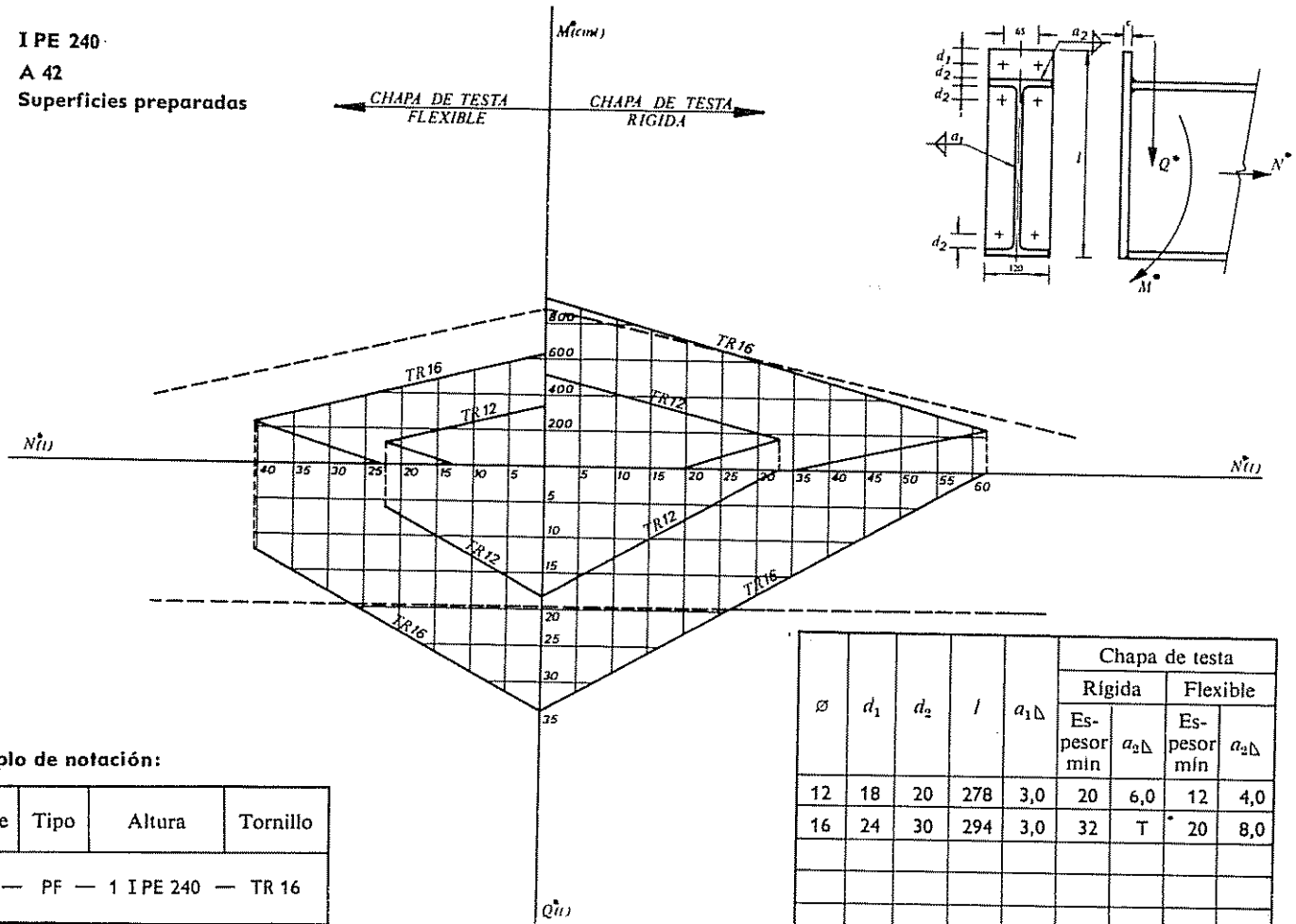
6.6.3.11-8

6.6.3.11-9

I PE 240

A 42

Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

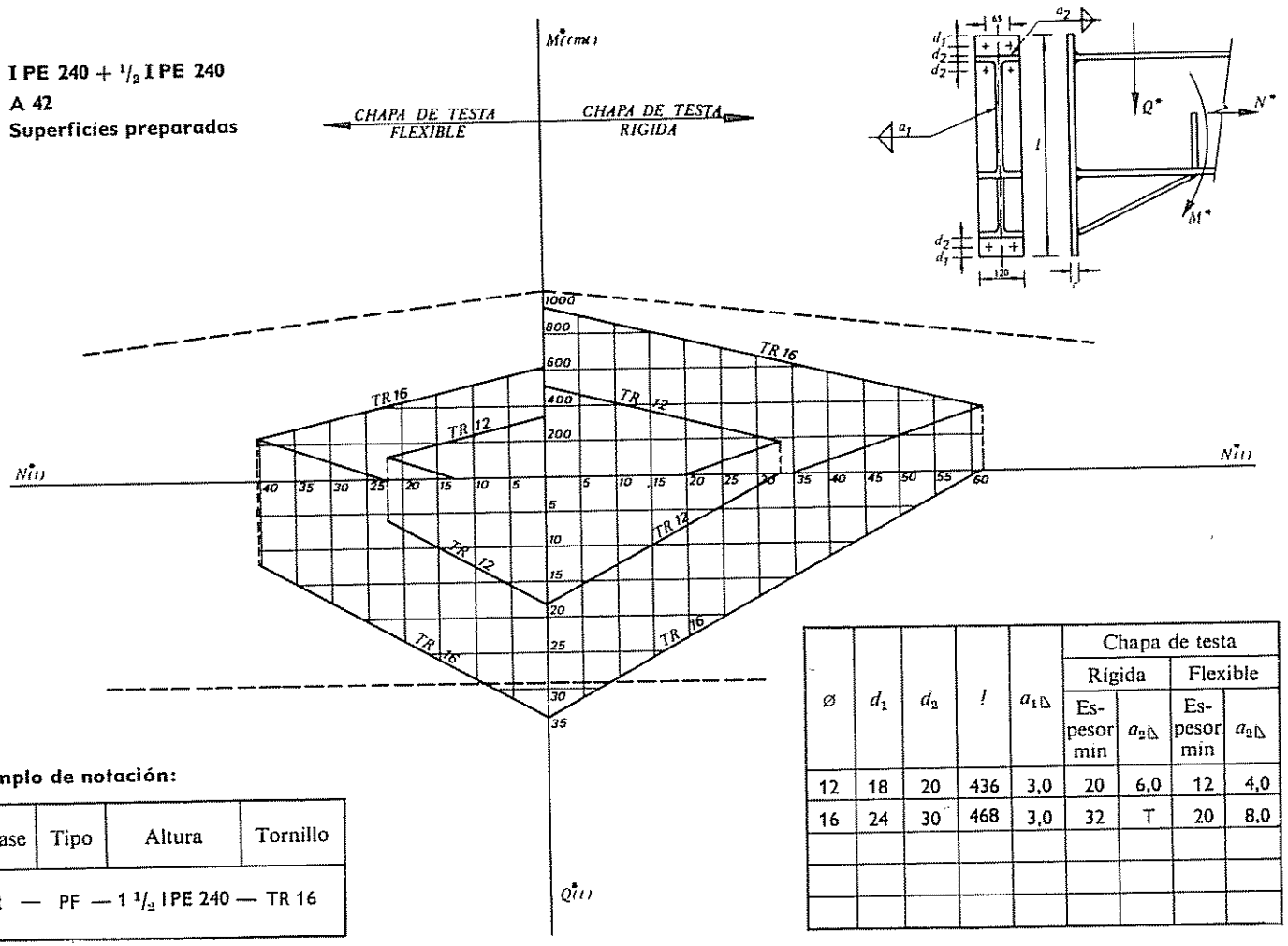
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 240 —	TR 16

Ø	d_1	d_2	l	a_1	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	a_2	Espesor mín	a_2
12	18	20	278	3,0	20	6,0	12	4,0
16	24	30	294	3,0	32	T	20	8,0

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 240 + ½ I PE 240
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Es-pesor min	$a_{2\triangle}$	Es-pesor min	$a_{2\triangle}$
12	18	20	436	3,0	20	6,0	12	4,0
16	24	30	468	3,0	32	T	20	8,0

Ejemplo de notación:

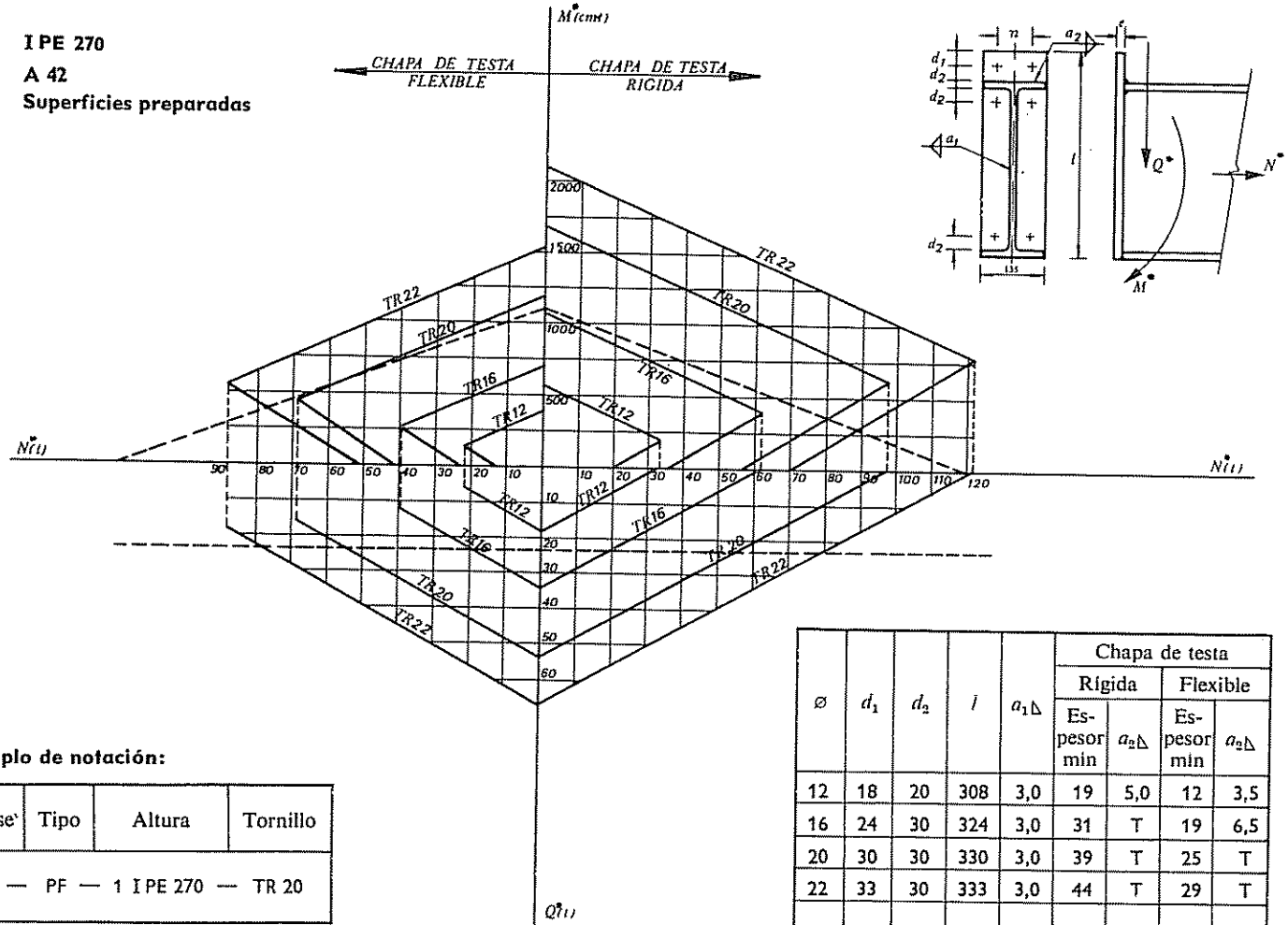
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 ½ I PE 240 —	TR 16

6.6.3.11-10

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 270
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

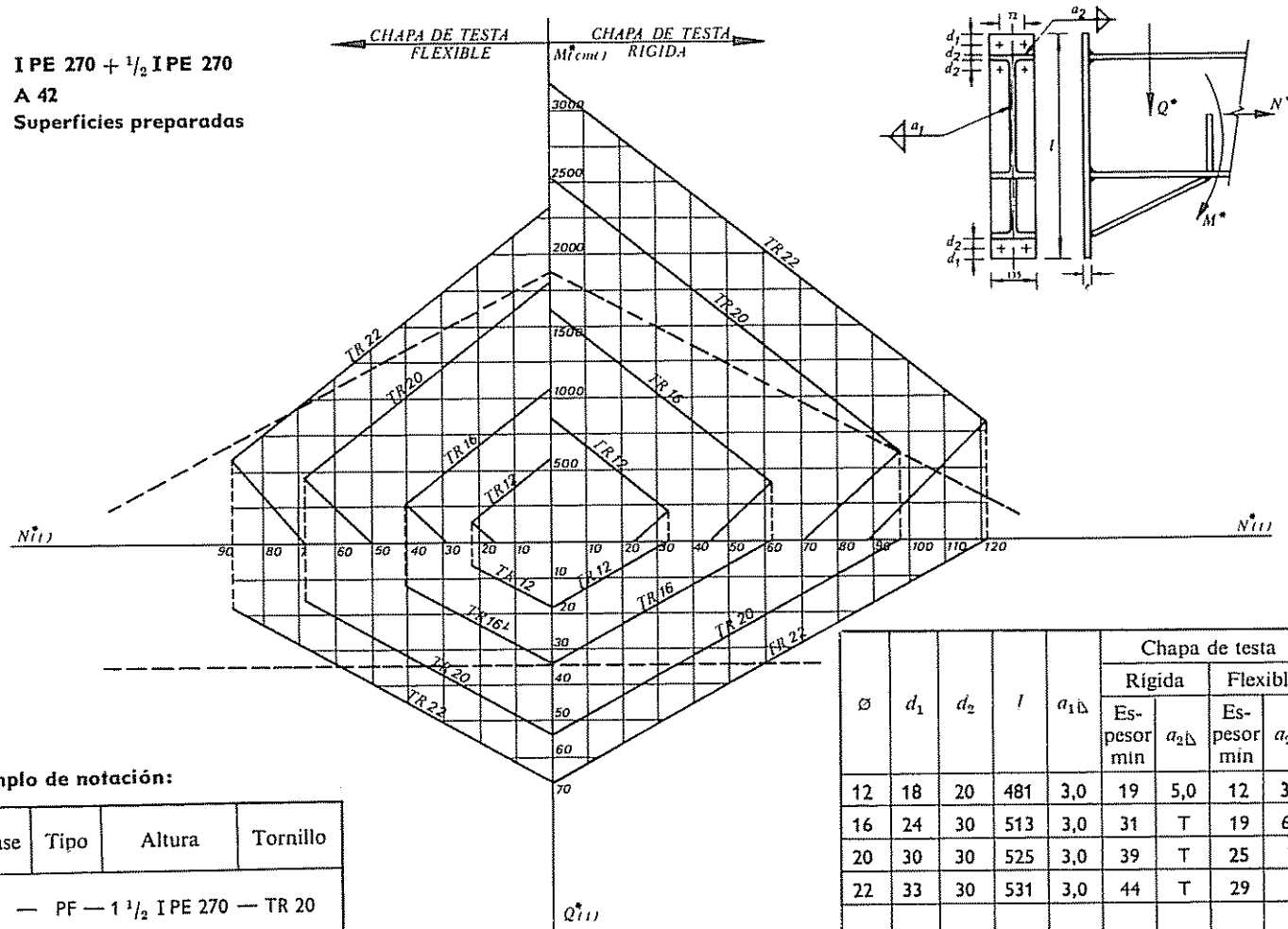
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 270 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
12	18	20	308	3,0	19	5,0	12	3,5
16	24	30	324	3,0	31	T	19	6,5
20	30	30	330	3,0	39	T	25	T
22	33	30	333	3,0	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 270 + $^1/_2$ I PE 270
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\triangle}$	Espesor mín	$a_{2\triangle}$
12	18	20	481	3,0	19	5,0	12	3,5
16	24	30	513	3,0	31	T	19	6,5
20	30	30	525	3,0	39	T	25	T
22	33	30	531	3,0	44	T	29	T

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF — 1 $^1/_2$ I PE 270 —		TR 20

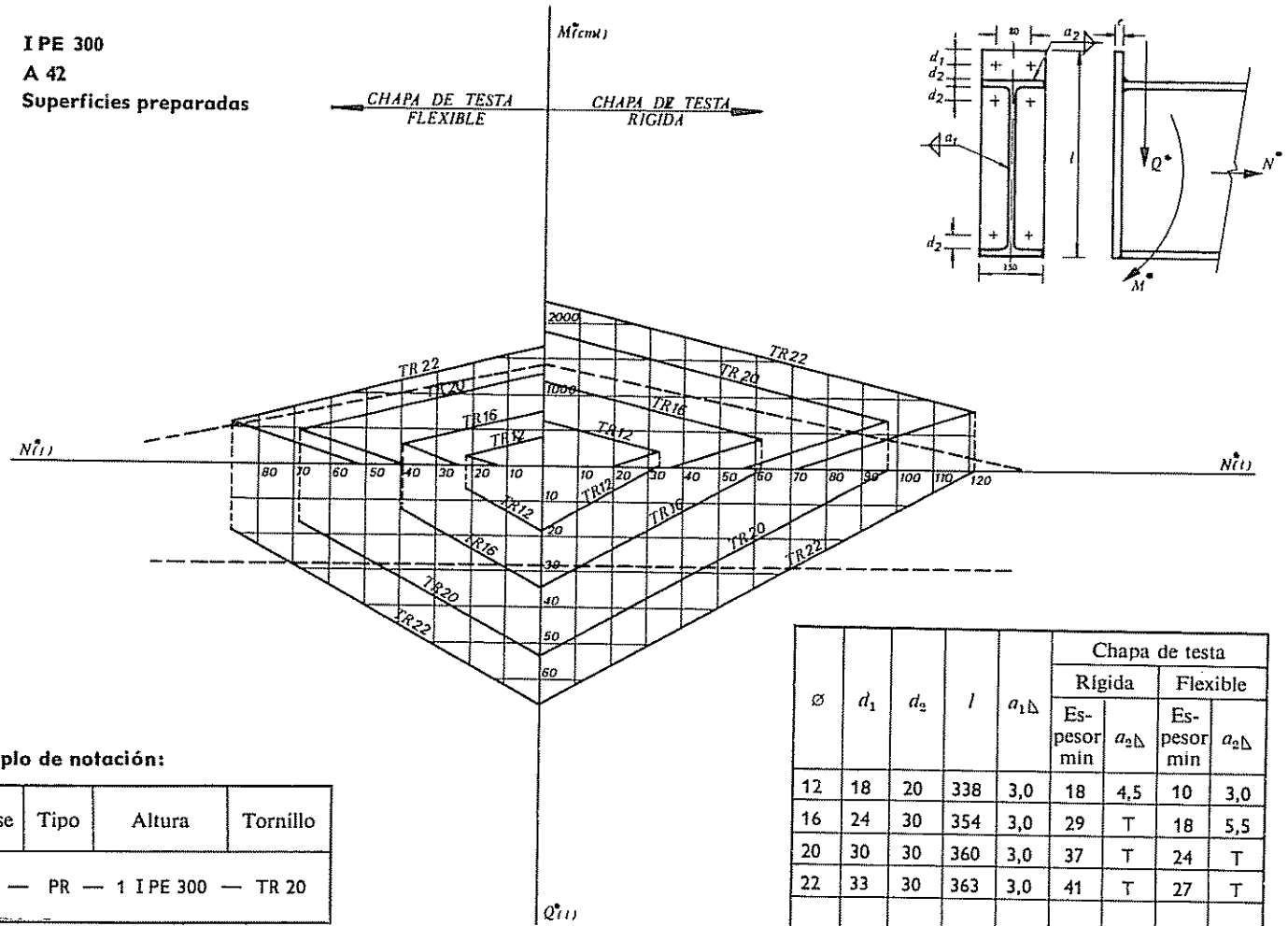
6.6.3 11-12

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-13

I PE 300
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

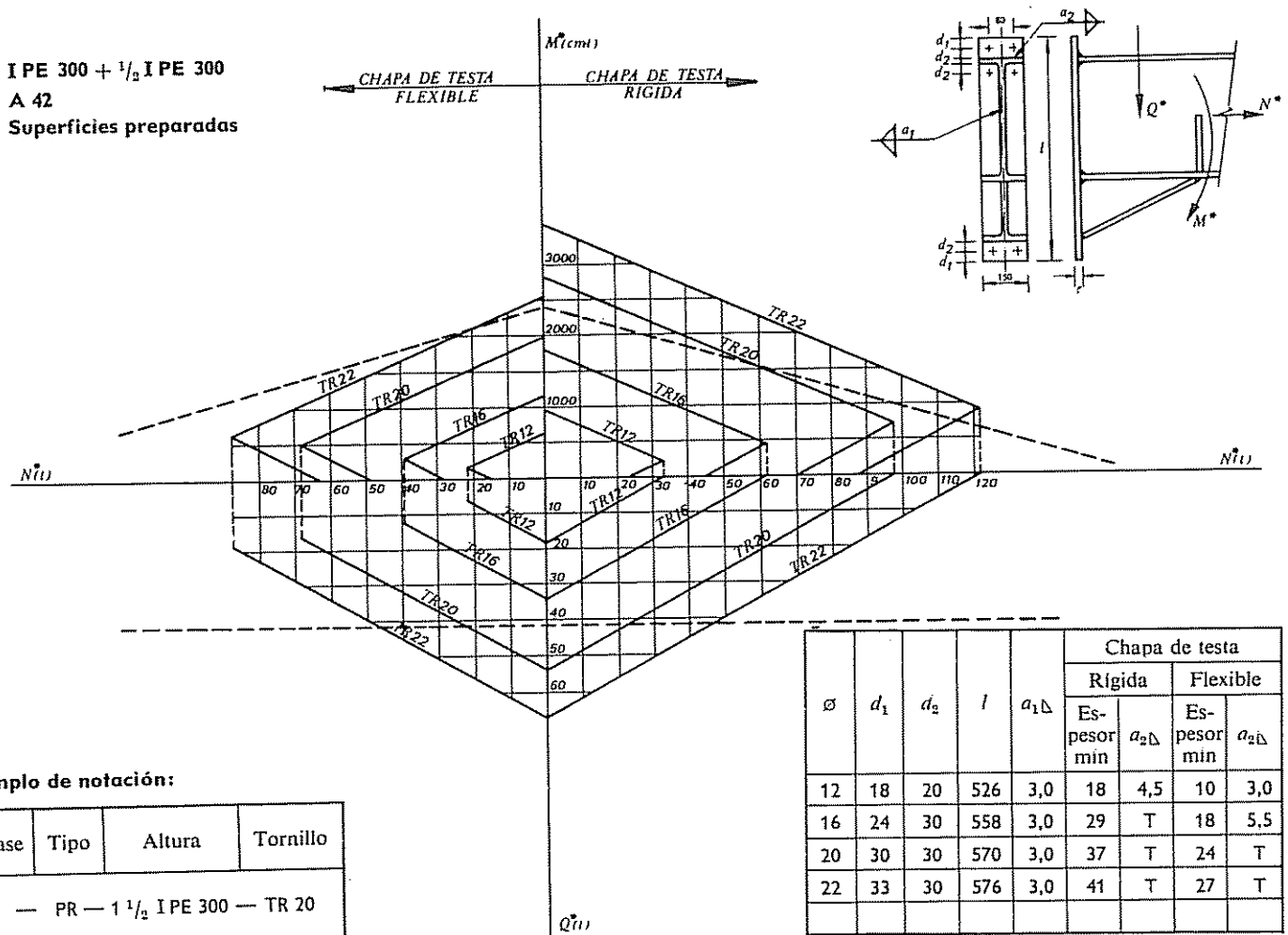
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 I PE 300 —	TR 20

∅	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
12	18	20	338	3,0	18	4,5	10	3,0
16	24	30	354	3,0	29	T	18	5,5
20	30	30	360	3,0	37	T	24	T
22	33	30	363	3,0	41	T	27	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 300 + $^1/_2$ I PE 300
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
12	18	20	526	3,0	18	4,5	10	3,0
16	24	30	558	3,0	29	T	18	5,5
20	30	30	570	3,0	37	T	24	T
22	33	30	576	3,0	41	T	27	T

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ I PE 300 —	TR 20

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

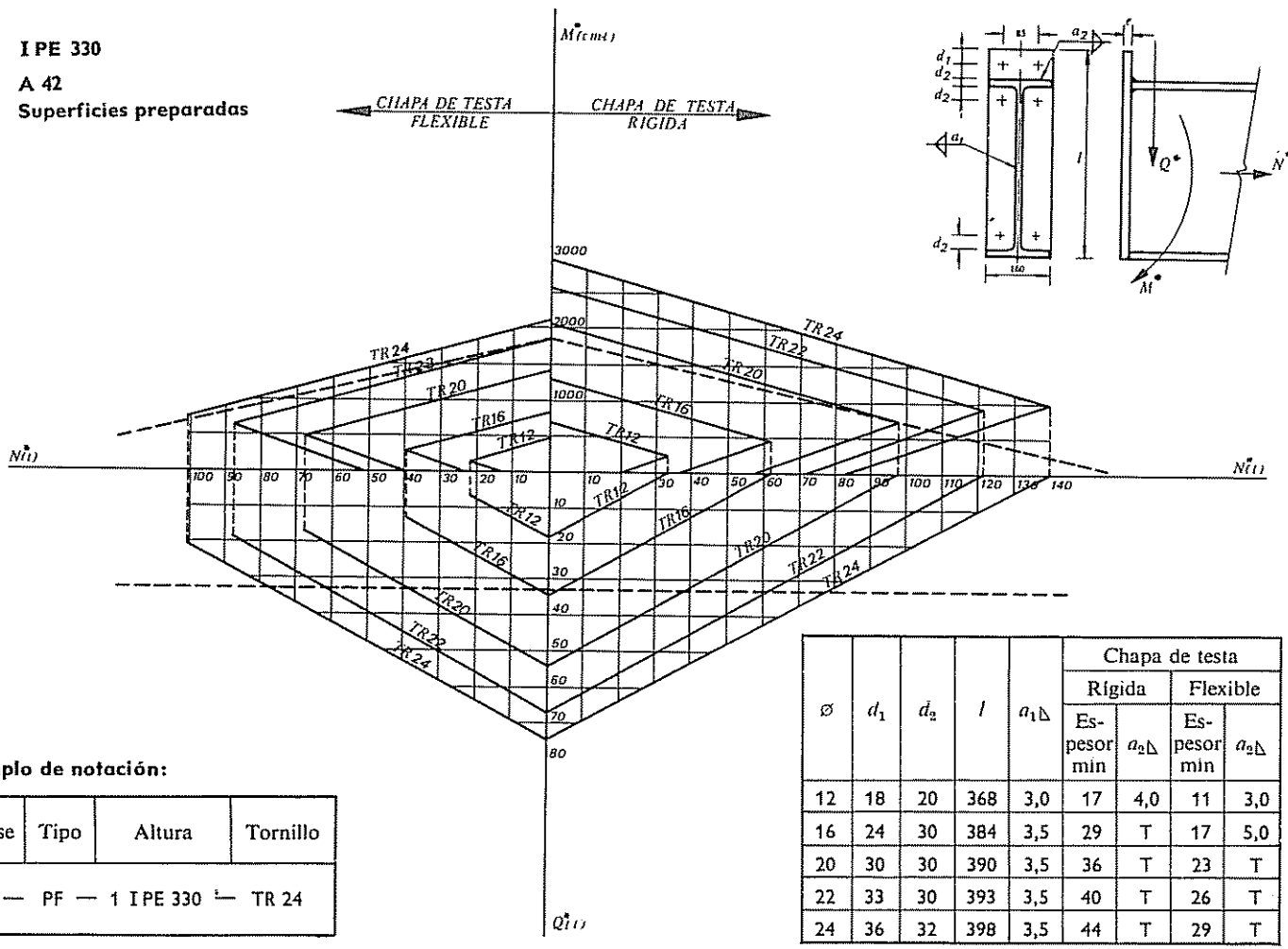
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-14

I PE 330

A 42

Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

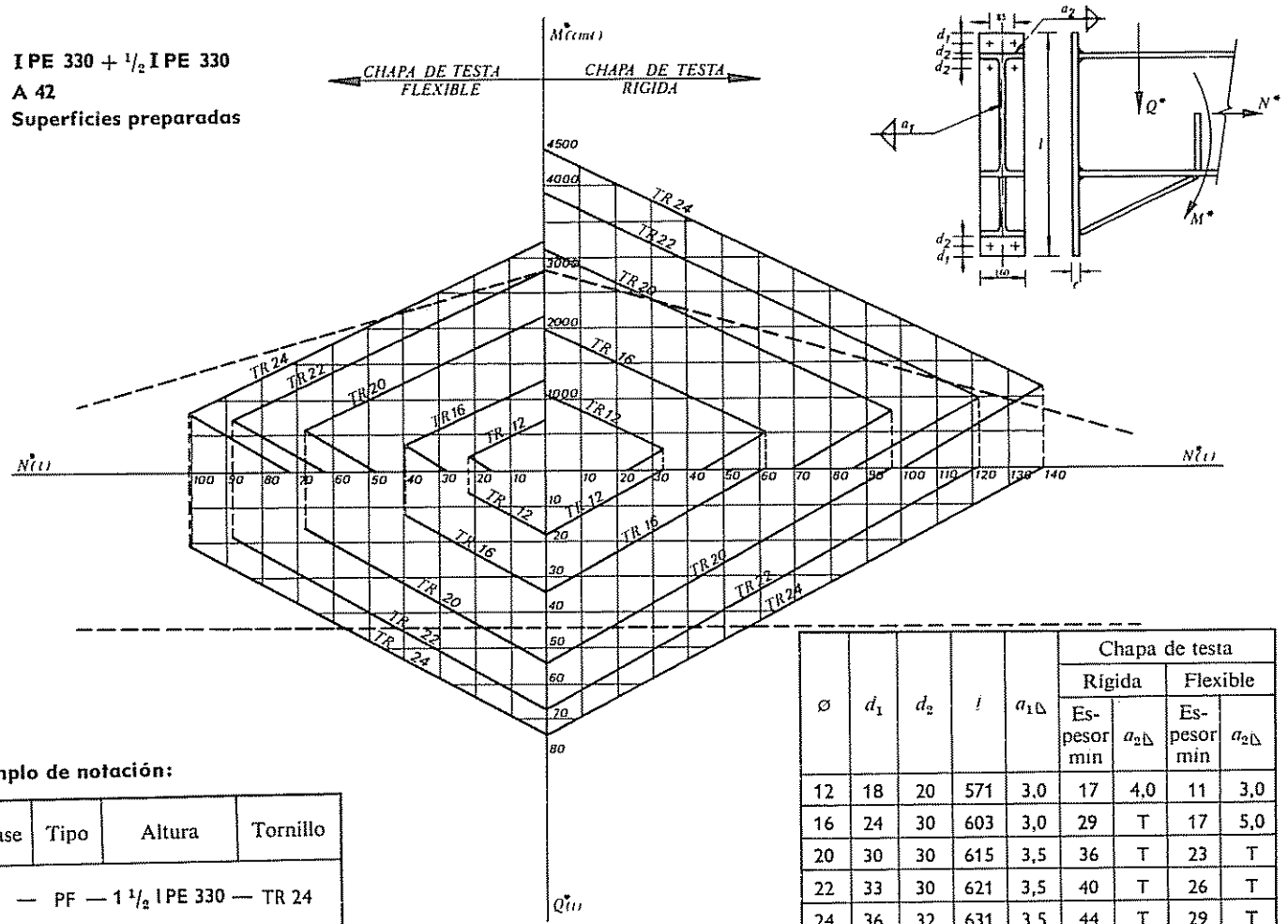
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 330 —	TR 24

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
12	18	20	368	3,0	17	4,0	11	3,0
16	24	30	384	3,5	29	T	17	5,0
20	30	30	390	3,5	36	T	23	T
22	33	30	393	3,5	40	T	26	T
24	36	32	398	3,5	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 330 + ½ I PE 330
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
12	18	20	571	3,0	17	4,0	11	3,0
16	24	30	603	3,0	29	T	17	5,0
20	30	30	615	3,5	36	T	23	T
22	33	30	621	3,5	40	T	26	T
24	36	32	631	3,5	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

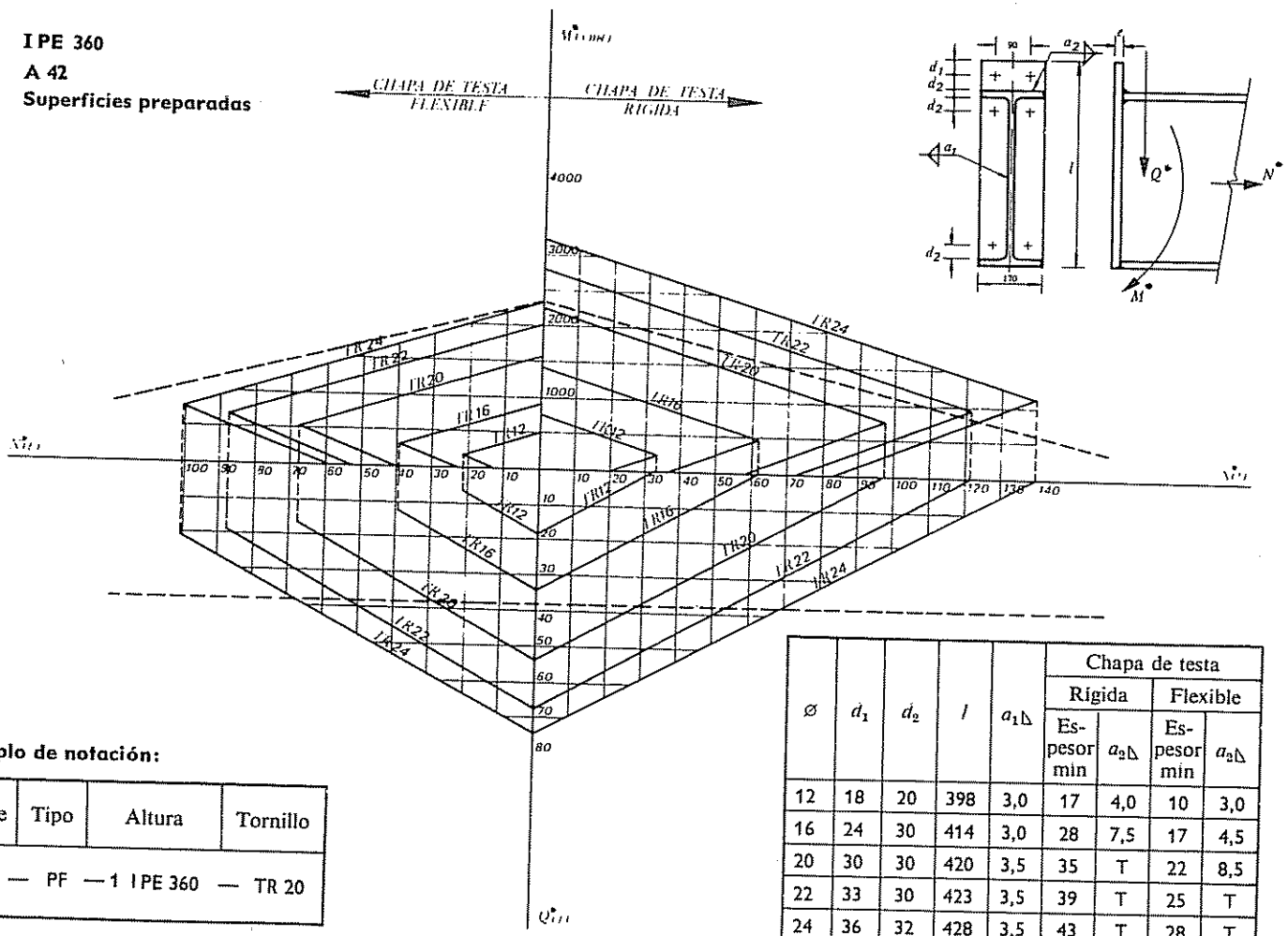
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R — PF — 1 ½ I PE 330 — TR 24			

6.6.3.11-16

6.6.3.11-17

I PE 360
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

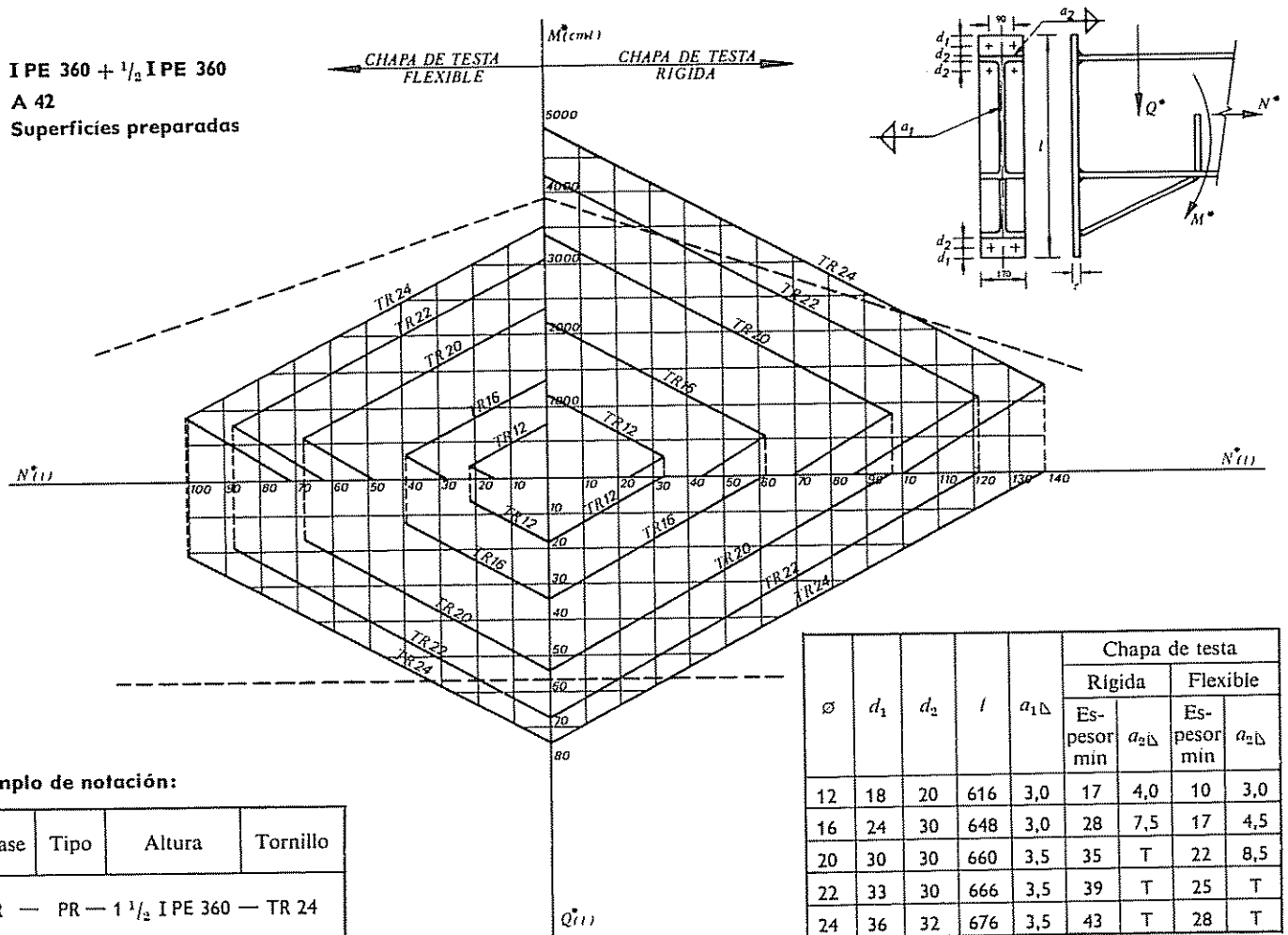
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 IPE 360 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	a_1	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2	Espesor min	a_2
12	18	20	398	3,0	17	4,0	10	3,0
16	24	30	414	3,0	28	7,5	17	4,5
20	30	30	420	3,5	35	T	22	8,5
22	33	30	423	3,5	39	T	25	T
24	36	32	428	3,5	43	T	28	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 360 + 1/2 I PE 360
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
12	18	20	616	3,0	17	4,0	10	3,0
16	24	30	648	3,0	28	7,5	17	4,5
20	30	30	660	3,5	35	T	22	8,5
22	33	30	666	3,5	39	T	25	T
24	36	32	676	3,5	43	T	28	T

Ejemplo de notación:

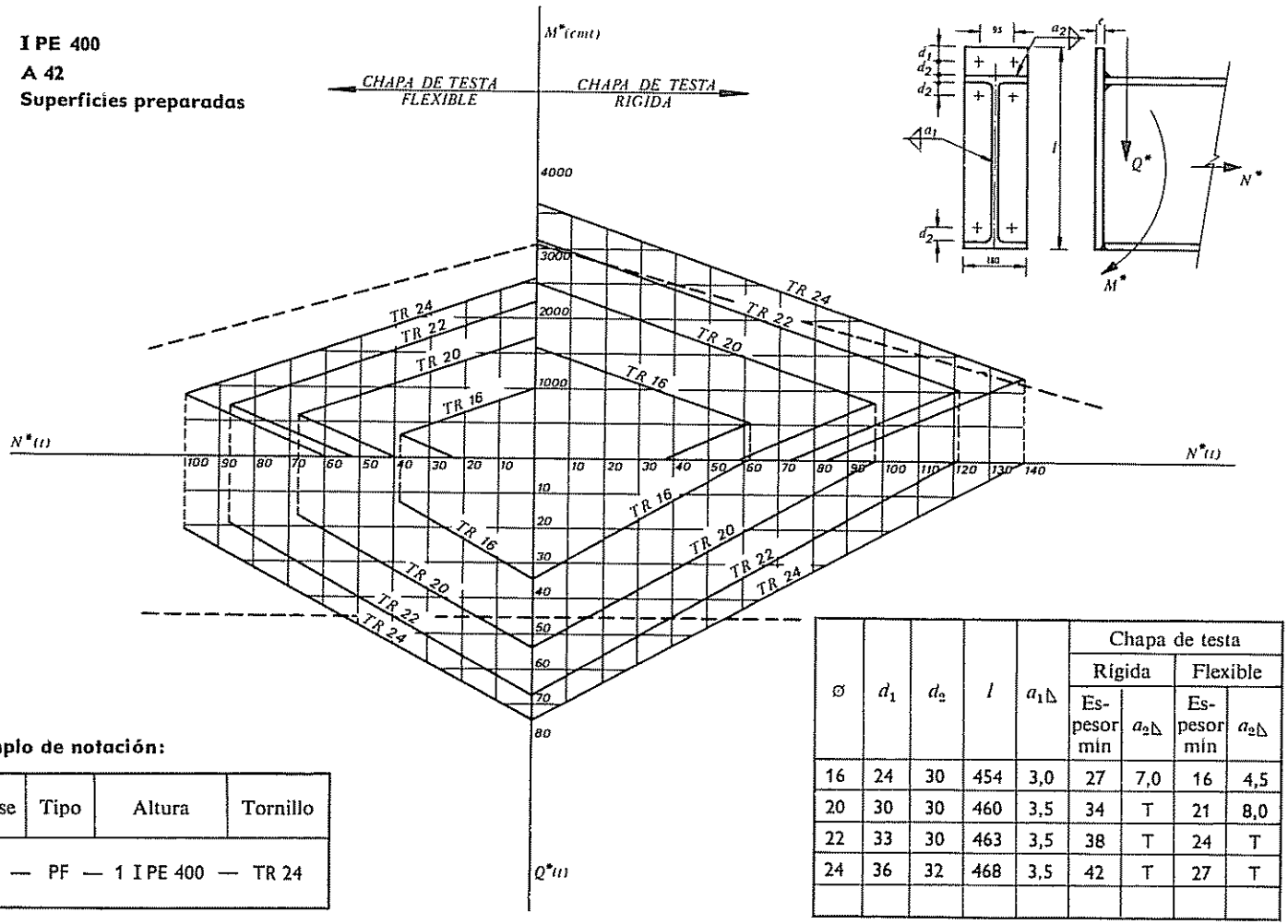
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 1/2 I PE 360 —	TR 24

6.6.3.11-18

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 400
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 400 —	TR 24

ø	d_1	d_2	l	a_1 Δ	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	a_2 Δ	Espesor mín	a_2 Δ
16	24	30	454	3,0	27	7,0	16	4,5
20	30	30	460	3,5	34	T	21	8,0
22	33	30	463	3,5	38	T	24	T
24	36	32	468	3,5	42	T	27	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

Chapa de testa									
					Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	a_1	Espesor min	a_2	Espesor min	a_2
16	24	30	708	3,0	27	7,0	16	4,5
20	30	30	720	3,0	34	T	21	8,0
22	33	30	726	3,5	38	T	24	T
24	36	32	736	3,5	42	T	27	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_z} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_z}{I_z e}$$

I PE 400 + 1/2 I PE 400

A 42

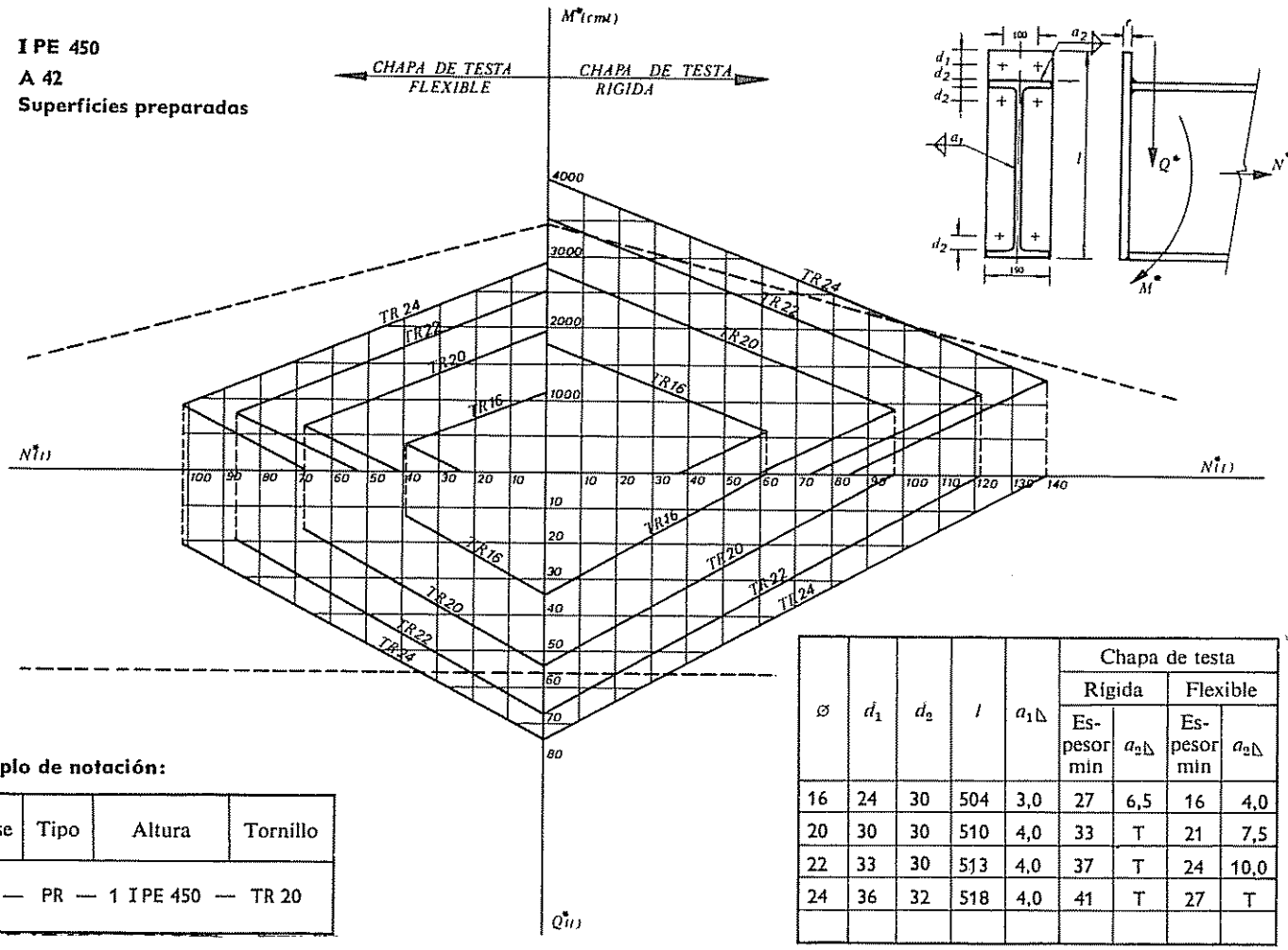
Superficies preparadas

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R	PF — 1 1/2 I PE 400		— TR 20

6.6 3 11-20

I PE 450
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 I PE 450 —	TR 20

∅	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\triangle}$	Espesor min	$a_{2\triangle}$
16	24	30	504	3,0	27	6,5	16	4,0
20	30	30	510	4,0	33	T	21	7,5
22	33	30	513	4,0	37	T	24	10,0
24	36	32	518	4,0	41	T	27	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 450 + 1/2 I PE 450
A 42
Superficies preparadas

Ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa				
					Rígida		Flexible		
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
16	24	30	783	3,0	27	6,5	16	4,0
20	30	30	795	3,0	33	T	21	7,5
22	33	30	801	3,0	37	T	24	10,0
24	36	32	811	3,5	41	T	27	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

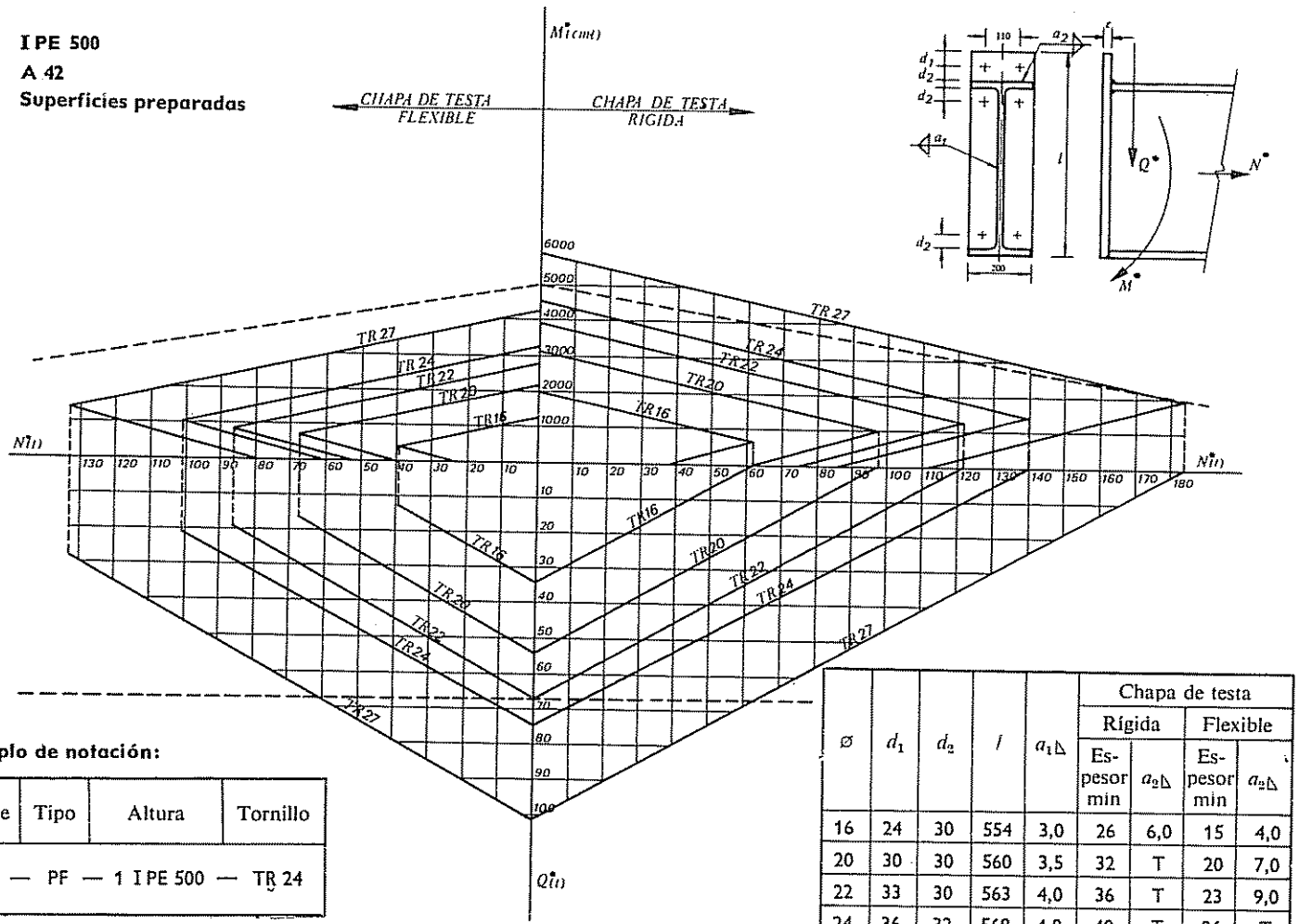
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_z} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_z}{I_z e}$$

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 1/2 I PE 450 —	TR 20

6.6 3 11-22

I PE 500
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

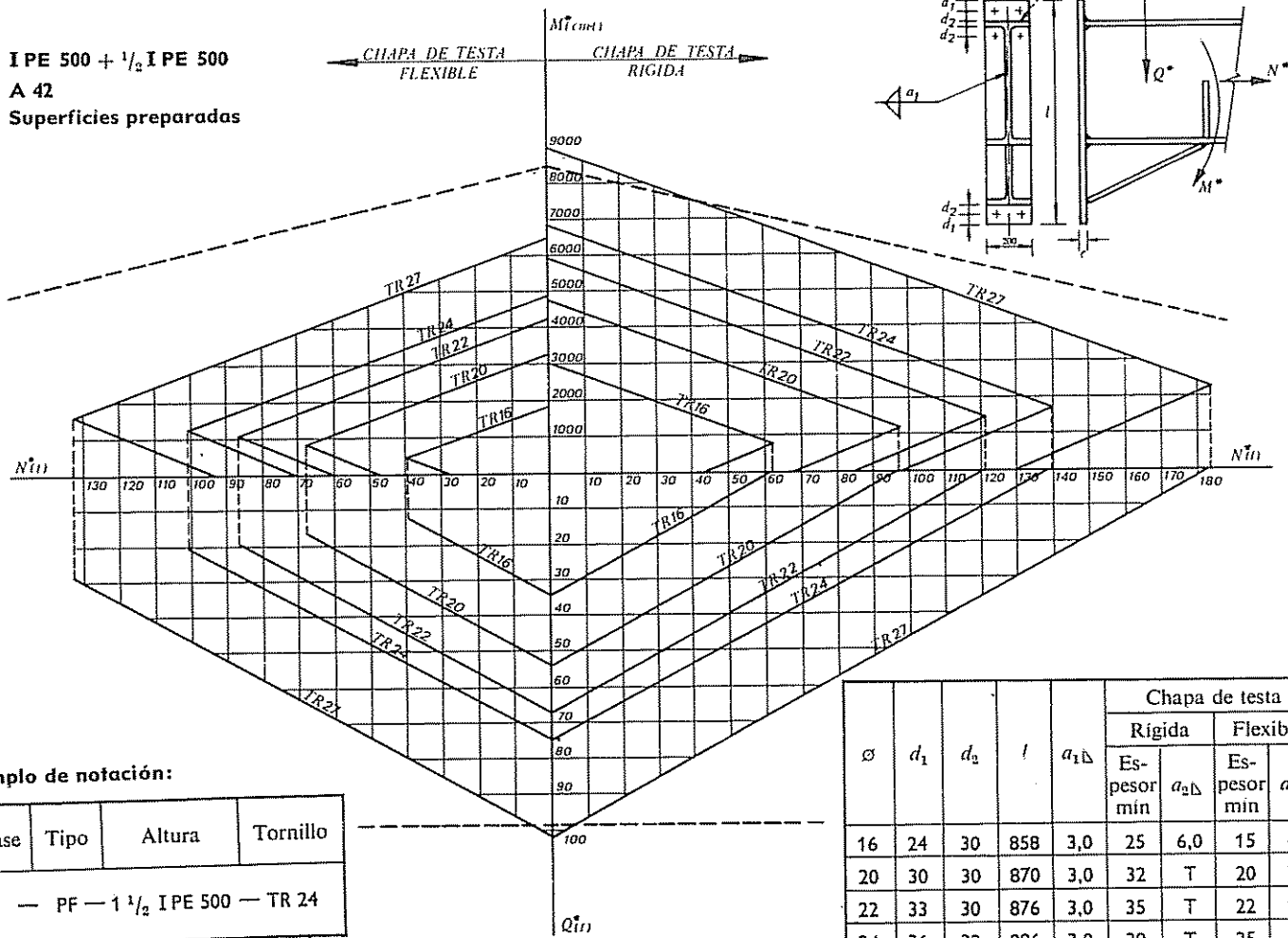
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 500 —	TR 24

ø	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	554	3,0	26	6,0	15	4,0
20	30	30	560	3,5	32	T	20	7,0
22	33	30	563	4,0	36	T	23	9,0
24	36	32	568	4,0	40	T	26	T
27	40	36	576	4,0	49	T	32	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 500 + $^1/_2$ I PE 500
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ I PE 500 —	TR 24

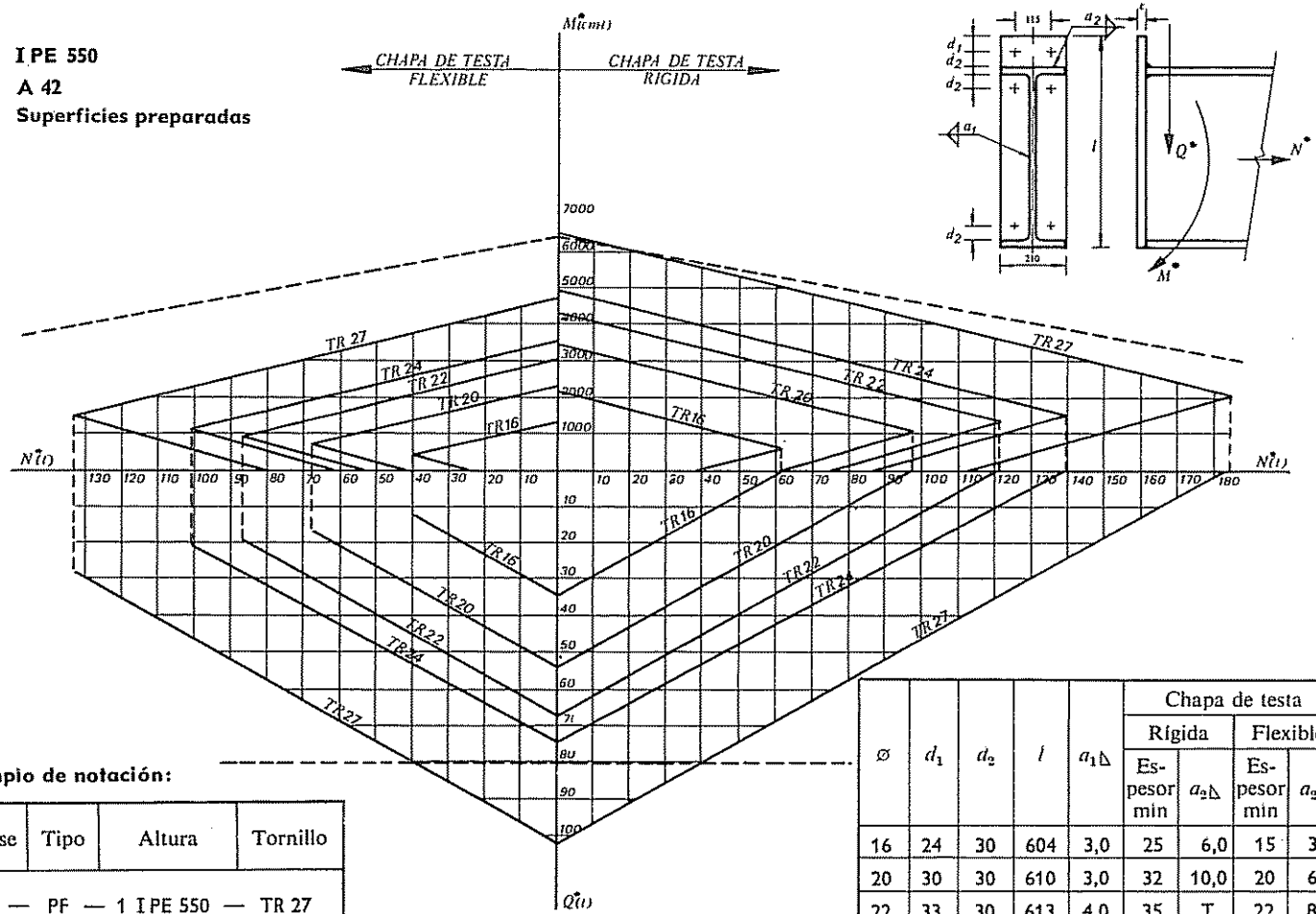
ø	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\triangle}$	Espesor mín	$a_{2\triangle}$
16	24	30	858	3,0	25	6,0	15	4,0
20	30	30	870	3,0	32	T	20	7,0
22	33	30	876	3,0	35	T	22	9,0
24	36	32	886	3,0	39	T	25	T
27	40	36	902	4,0	48	T	31	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-24

I PE 550
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

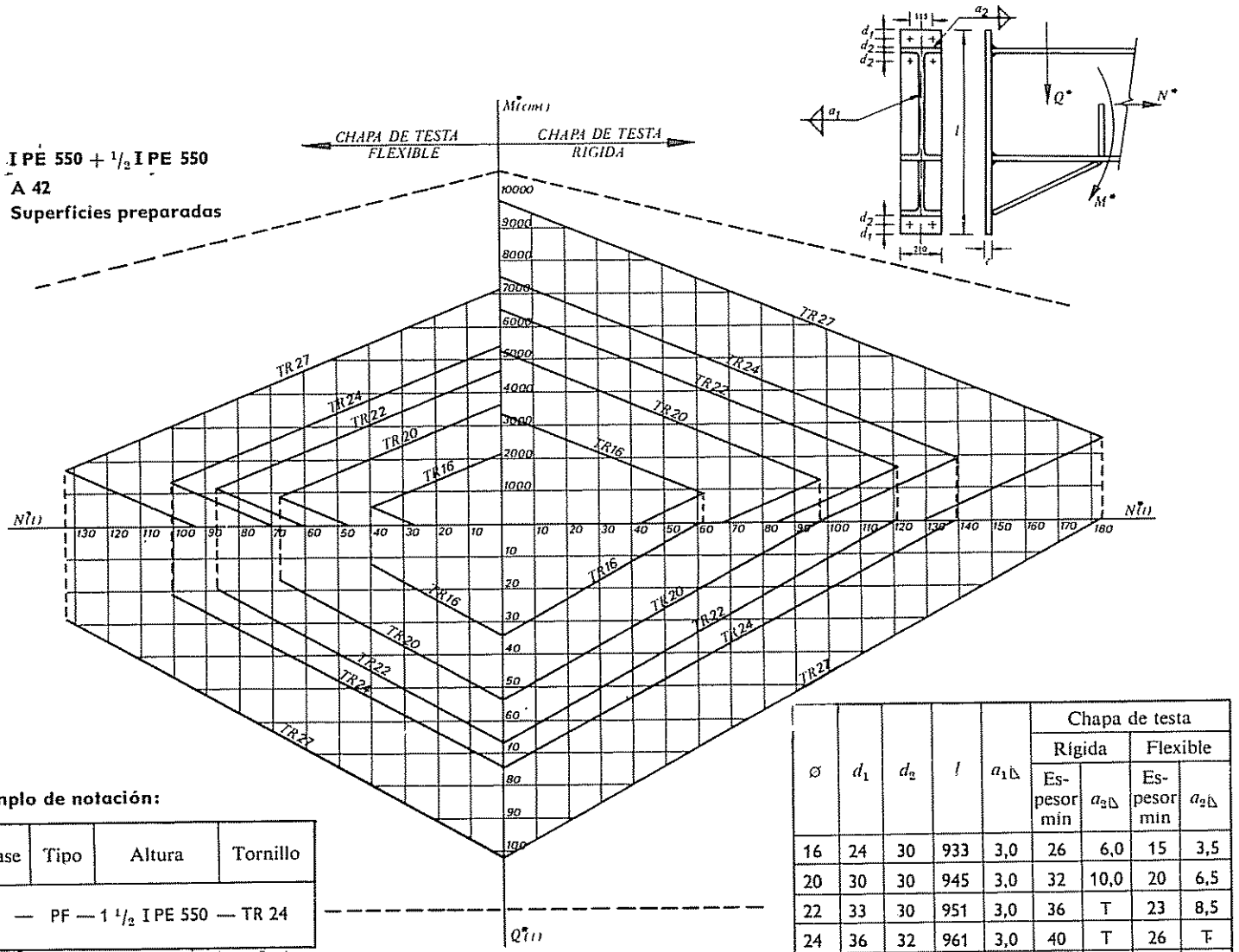
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 550 —	TR 27

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	604	3,0	25	6,0	15	3,5
20	30	30	610	3,0	32	10,0	20	6,5
22	33	30	613	4,0	35	T	22	8,5
24	36	32	618	4,5	39	T	25	T
27	40	36	626	4,5	48	T	31	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 550 + ½ I PE 550
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

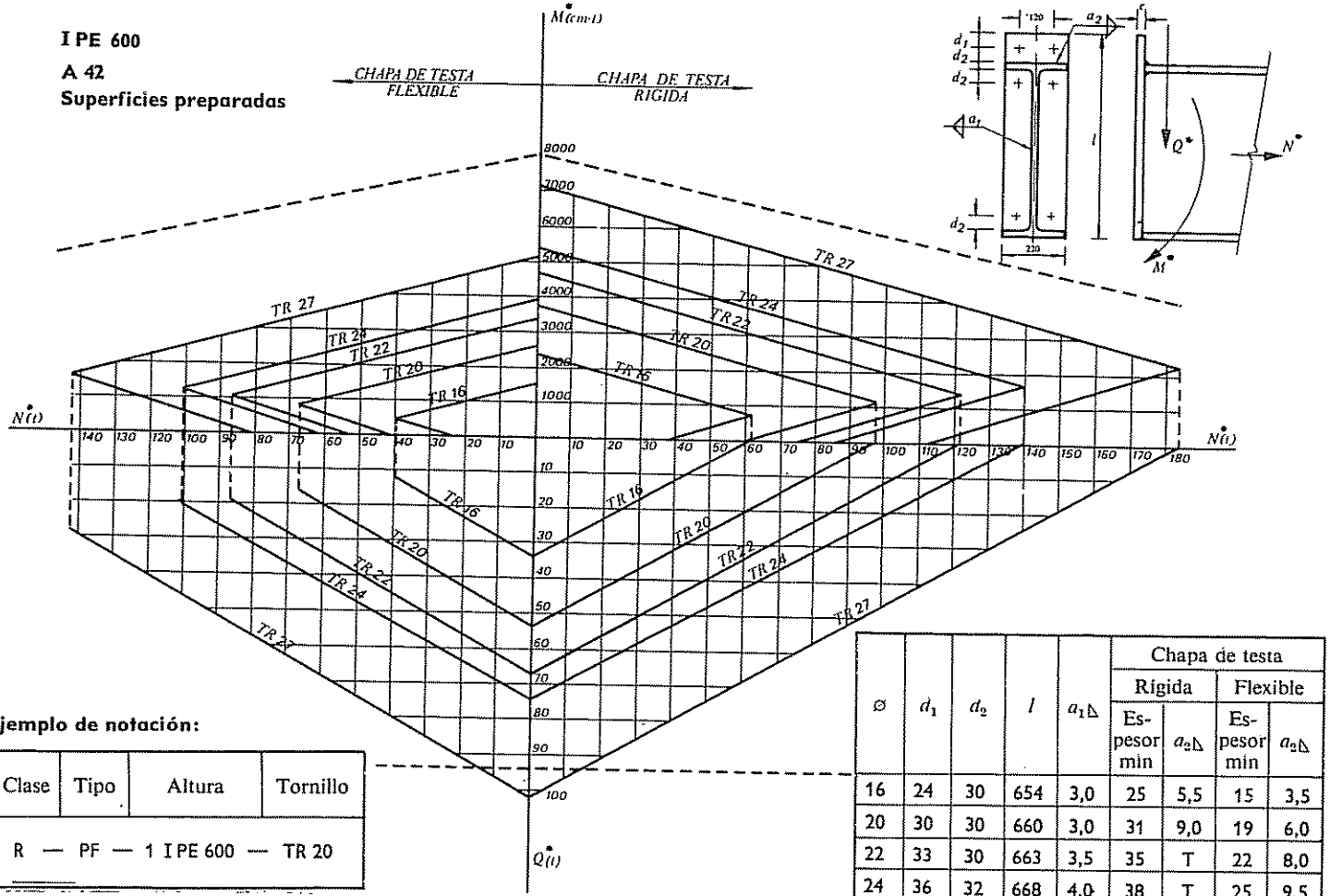
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 ½ I PE 550 —	TR 24

ø	d_1	d_2	l	$a_{1\min}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\min}$	Espesor min	$a_{2\min}$
16	24	30	933	3,0	26	6,0	15	3,5
20	30	30	945	3,0	32	10,0	20	6,5
22	33	30	951	3,0	36	T	23	8,5
24	36	32	961	3,0	40	T	26	T
27	40	36	977	4,0	49	T	32	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 600
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 I PE 600 —	TR 20

∅	d_1	d_2	l	a_1 Δ	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2 Δ	Espesor min	a_2 Δ
16	24	30	654	3,0	25	5,5	15	3,5
20	30	30	660	3,0	31	9,0	19	6,0
22	33	30	663	3,5	35	T	22	8,0
24	36	32	668	4,0	38	T	25	9,5
27	40	36	676	5,0	47	T	30	T

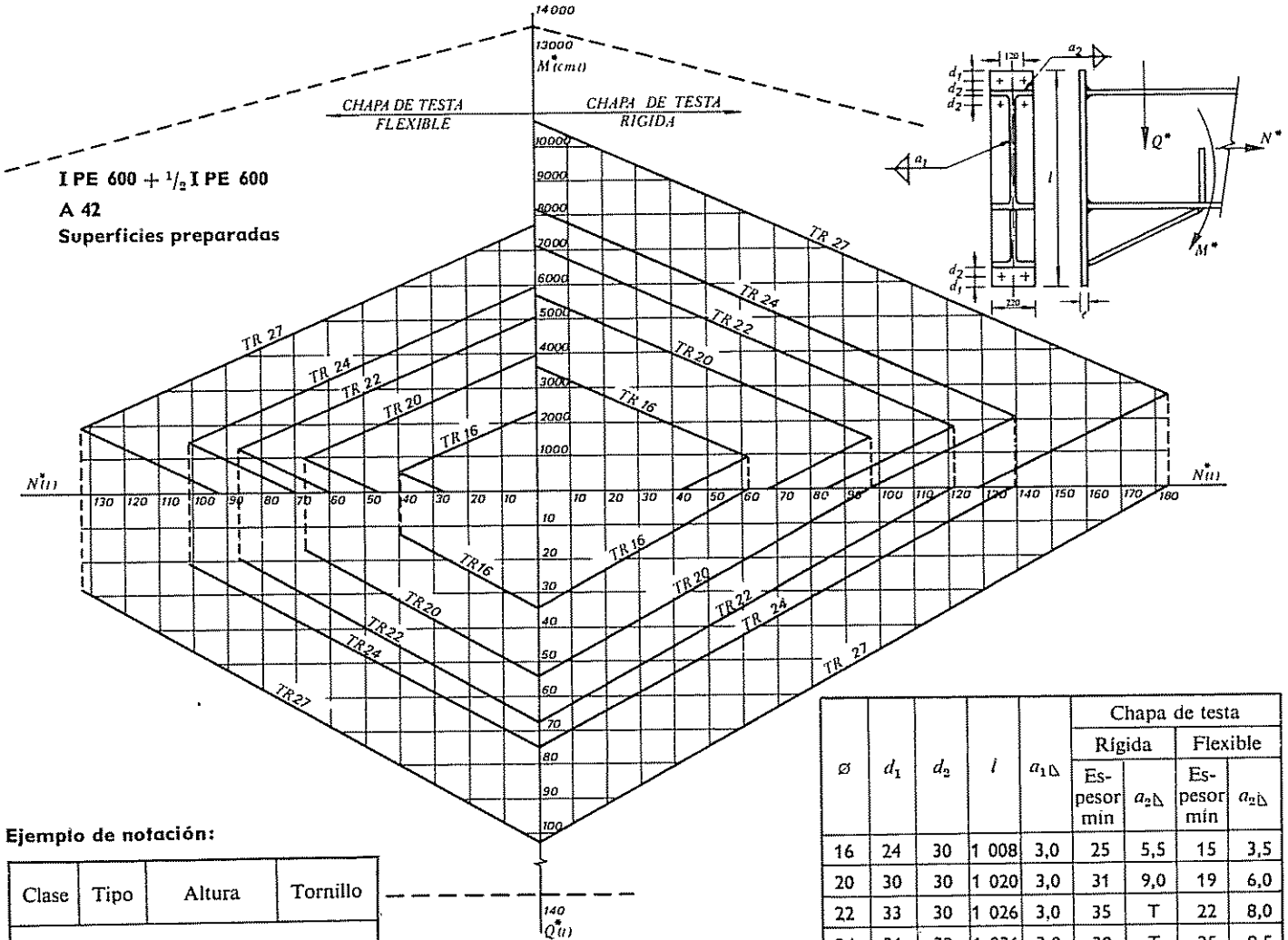
Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

I PE 600 + $^1/_2$ I PE 600

A 42

Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

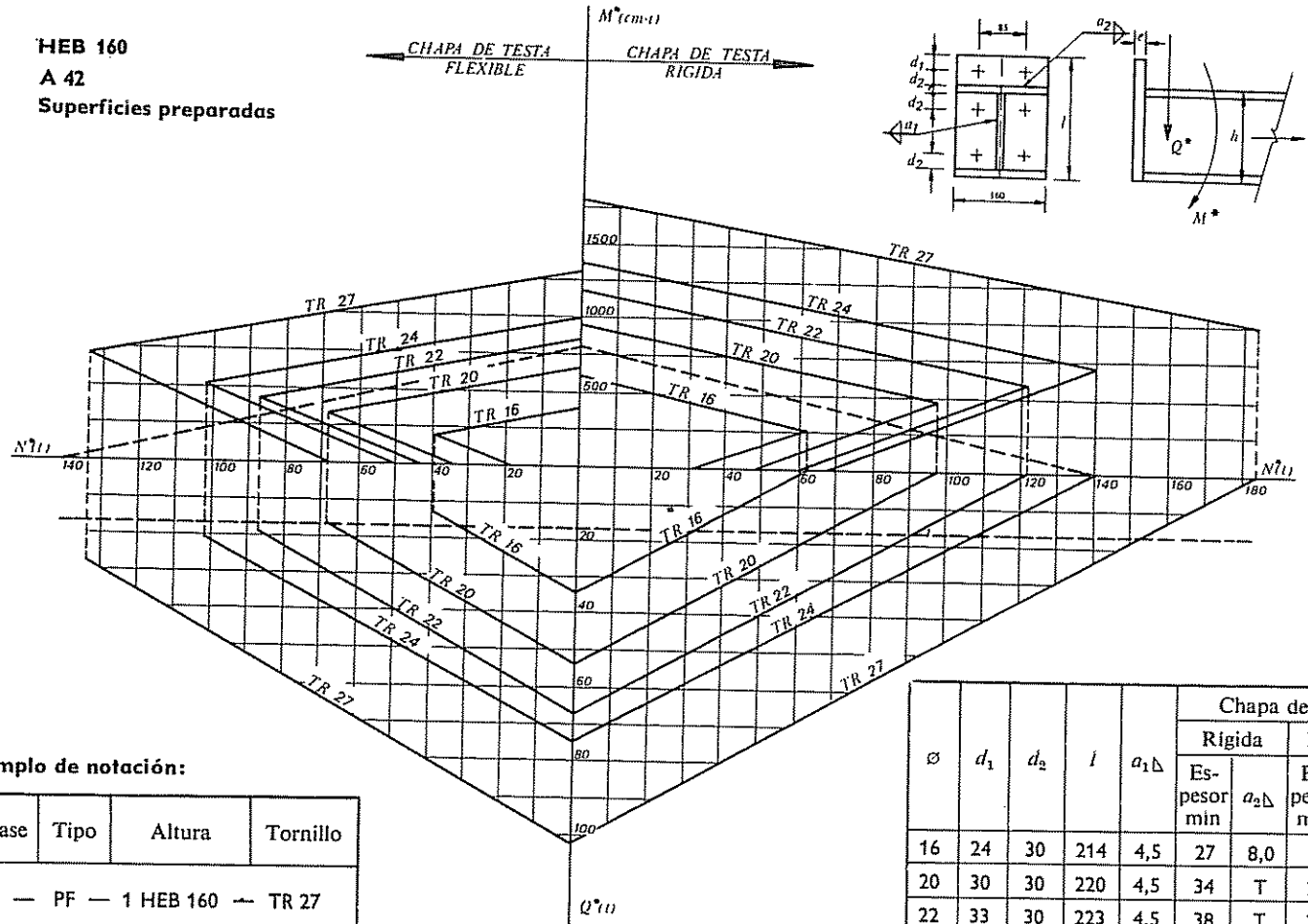
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R — PF — 1 $^1/_2$ I PE 600 — TR 24			

ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	1 008	3,0	25	5,5	15	3,5
20	30	30	1 020	3,0	31	9,0	19	6,0
22	33	30	1 026	3,0	35	T	22	8,0
24	36	32	1 036	3,0	38	T	25	9,5
27	40	36	1 052	3,5	47	T	30	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 160
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 160 —	TR 27

∅	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	214	4,5	27	8,0	16	5,0
20	30	30	220	4,5	34	T	21	9,0
22	33	30	223	4,5	38	T	24	T
24	36	32	228	4,5	42	T	27	T
27	40	36	236	4,5	51	T	33	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 160 + 1/2 HEB 160
A 42
Superficies preparadas

Chapa de testa										
						Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	348	4,5	29	8,0	16	5,0
20	30	30	360	4,5	36	T	21	9,0
22	33	30	366	4,5	40	T	24	T
24	36	32	376	4,5	43	T	27	T
27	40	36	392	4,5	49	T	33	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

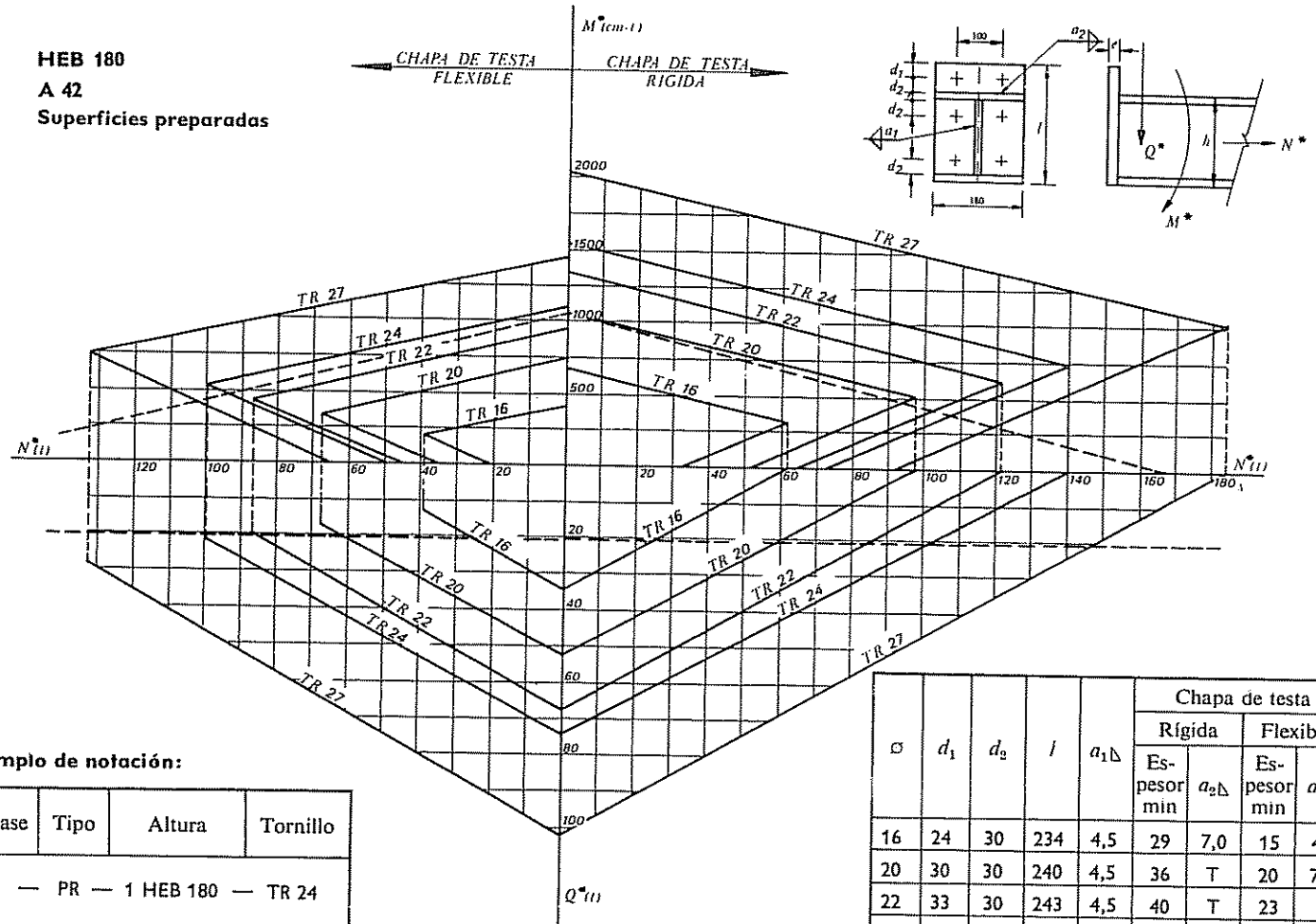
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF — 1 1/2 HEB 160 —		TR 20

6.6 3 11-30

6.6.3.11-31

HEB 180
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

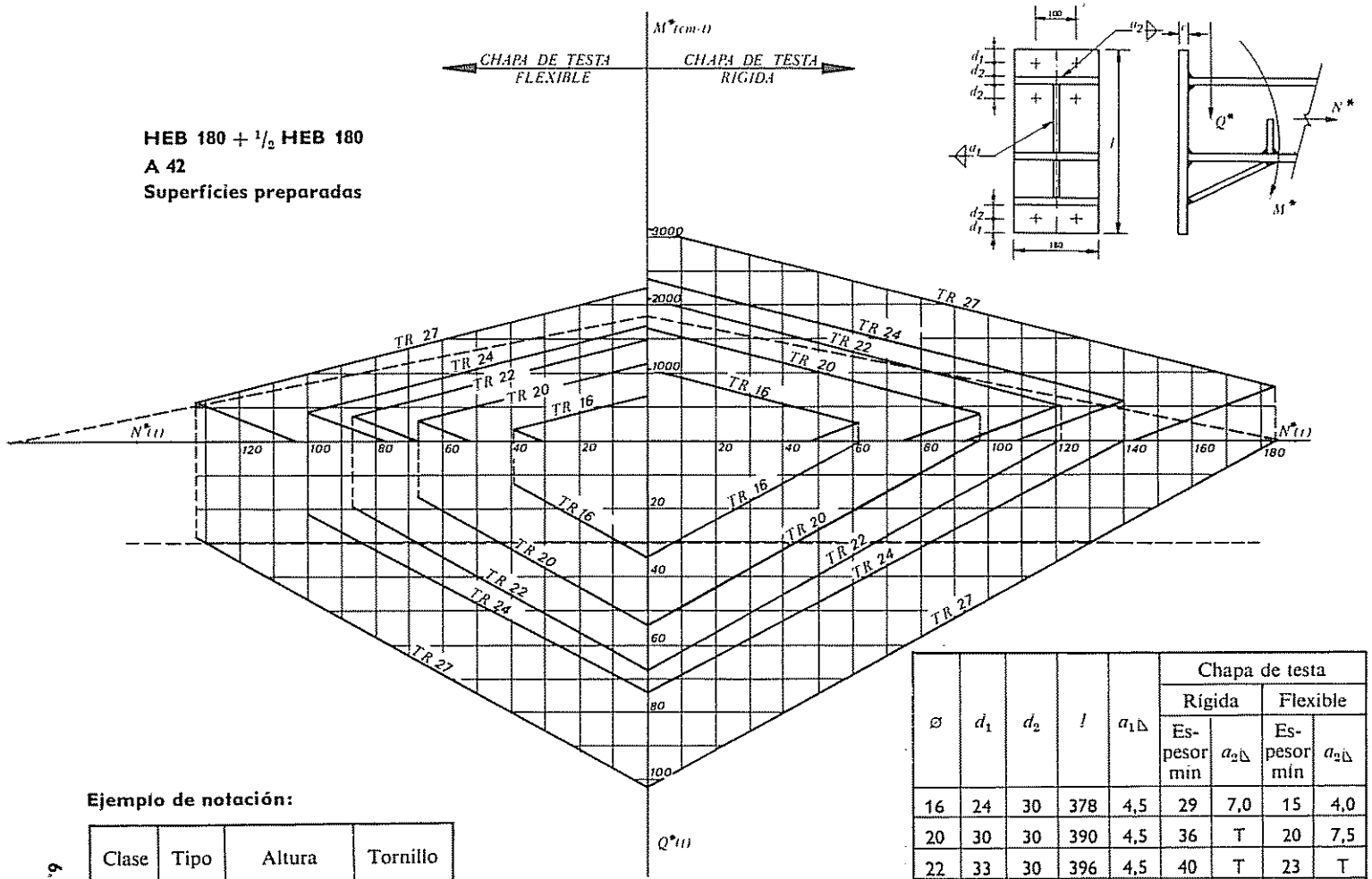
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 HEB 180 —	TR 24

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	234	4,5	29	7,0	15	4,0
20	30	30	240	4,5	36	T	20	7,5
22	33	30	243	4,5	40	T	23	T
24	36	32	248	4,5	43	T	26	T
27	40	36	256	4,5	49	T	32	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 180 + $^1/_2$ HEB 180
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 180 —	TR 24

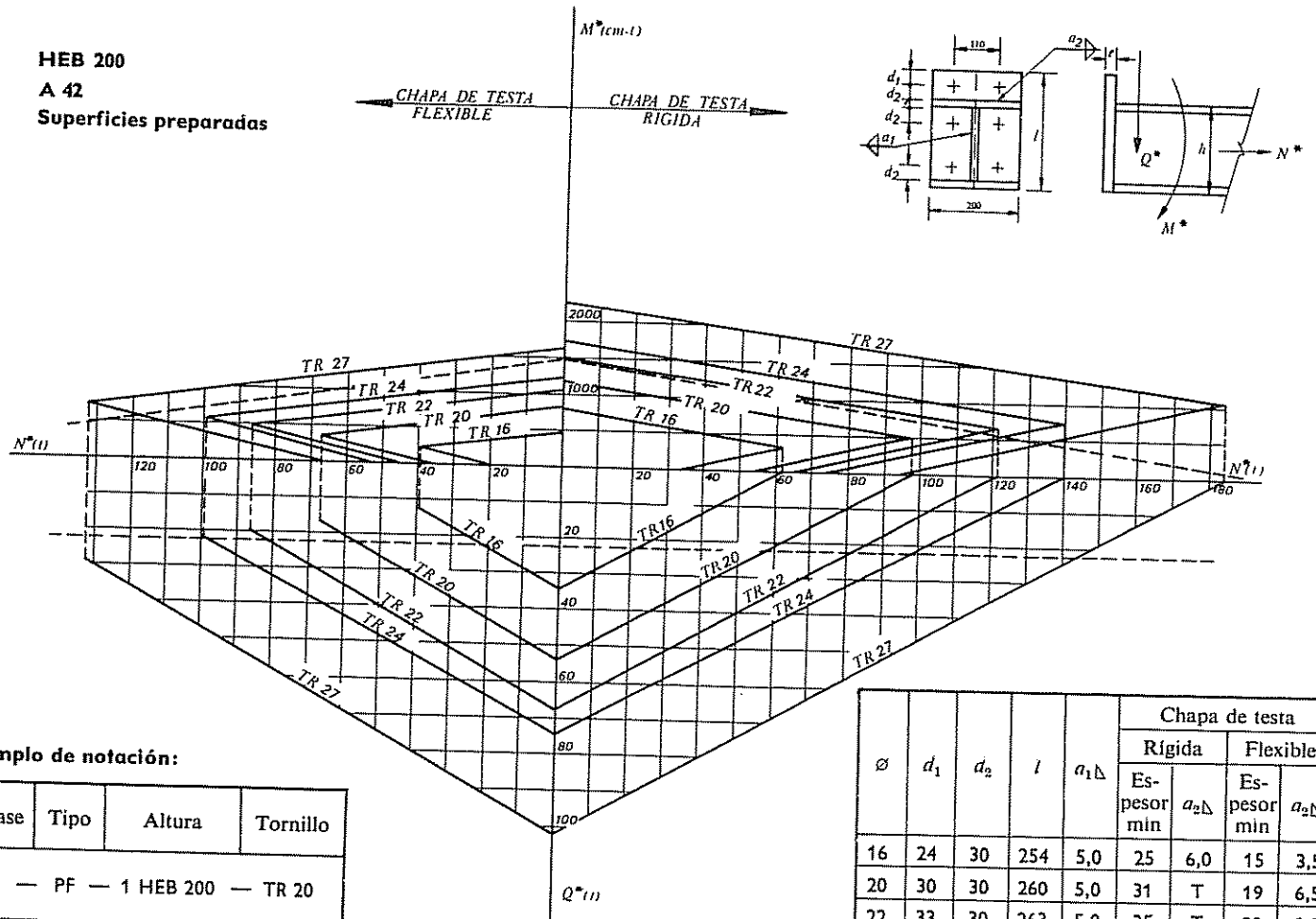
6.6.3.11-32

ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	378	4,5	29	7,0	15	4,0
20	30	30	390	4,5	36	T	20	7,5
22	33	30	396	4,5	40	T	23	T
24	36	32	406	4,5	43	T	26	T
27	40	36	422	4,5	49	T	32	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 200
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

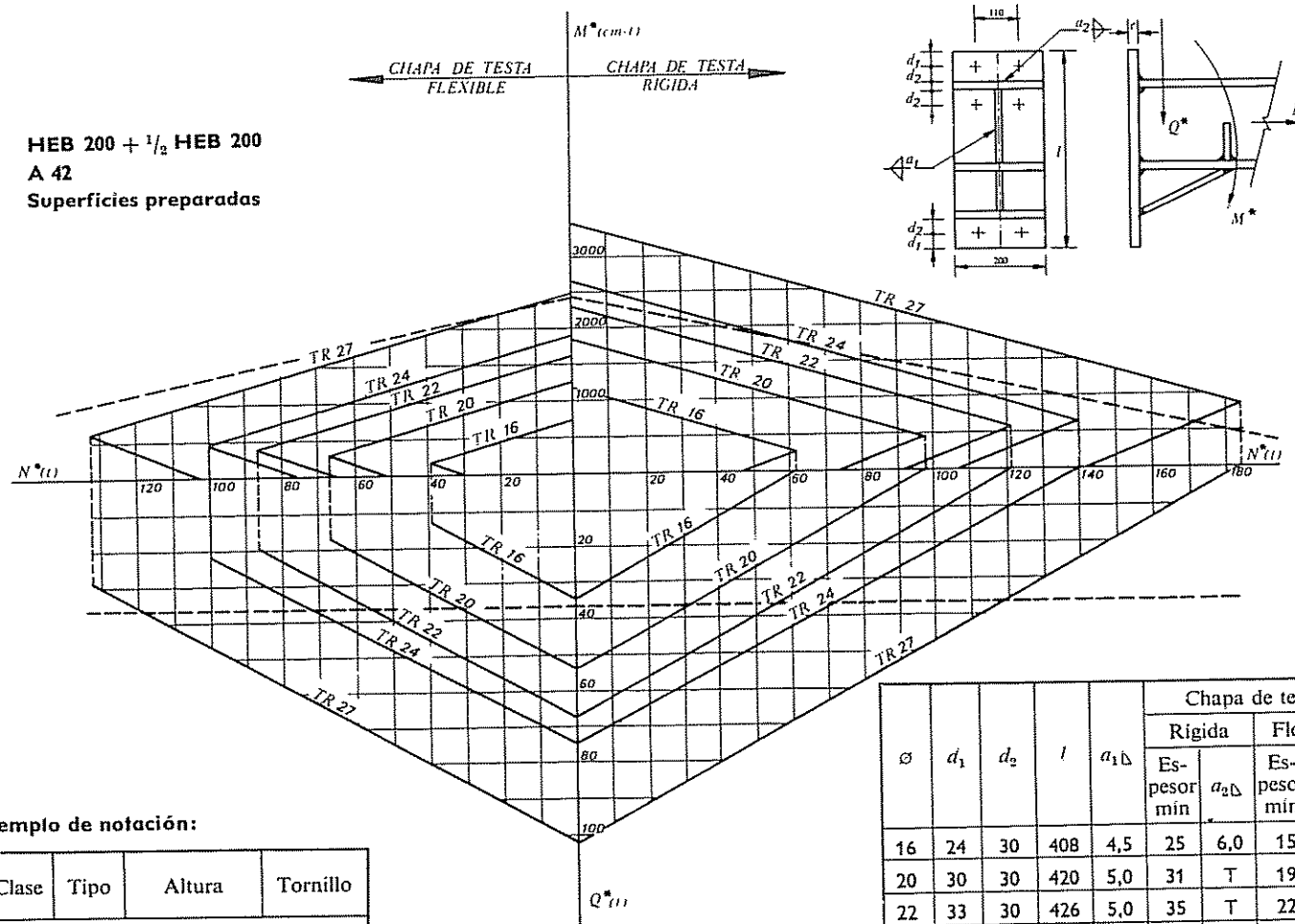
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 200 —	TR 20

∅	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	254	5,0	25	6,0	15	3,5
20	30	30	260	5,0	31	T	19	6,5
22	33	30	263	5,0	35	T	22	9,0
24	36	32	268	5,0	38	T	25	T
27	40	36	276	5,0	47	T	30	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 200 + $^1/_2$ HEB 200
A 42
Superficies preparadas



Ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	408	4,5	25	6,0	15	3,5
20	30	30	420	5,0	31	T	19	6,5
22	33	30	426	5,0	35	T	22	9,0
24	36	32	436	5,0	38	T	25	T
27	40	36	452	5,0	47	T	30	T

Ejemplo de notación:

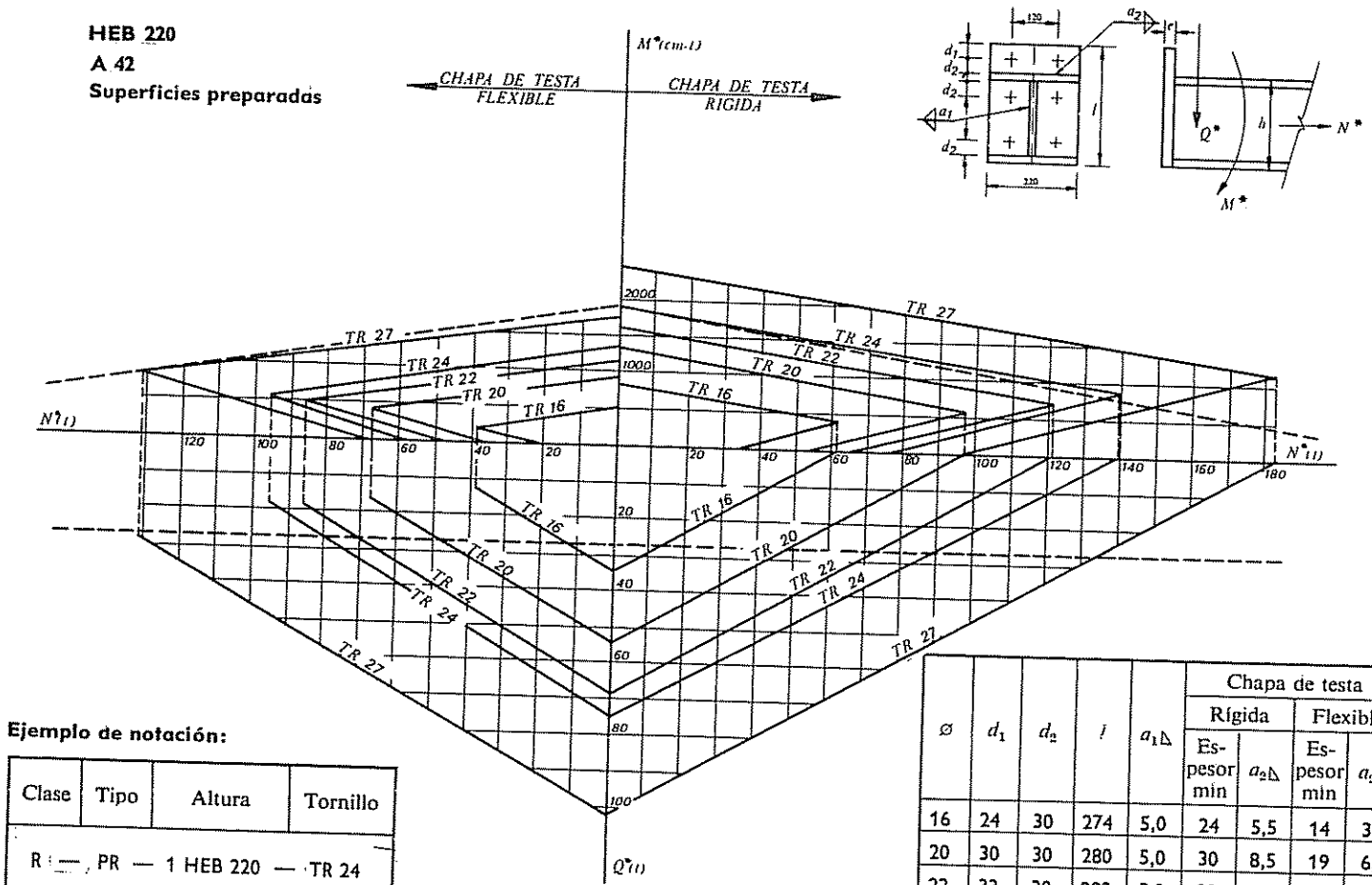
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 200 —	TR 24

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-34

HEB 220
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

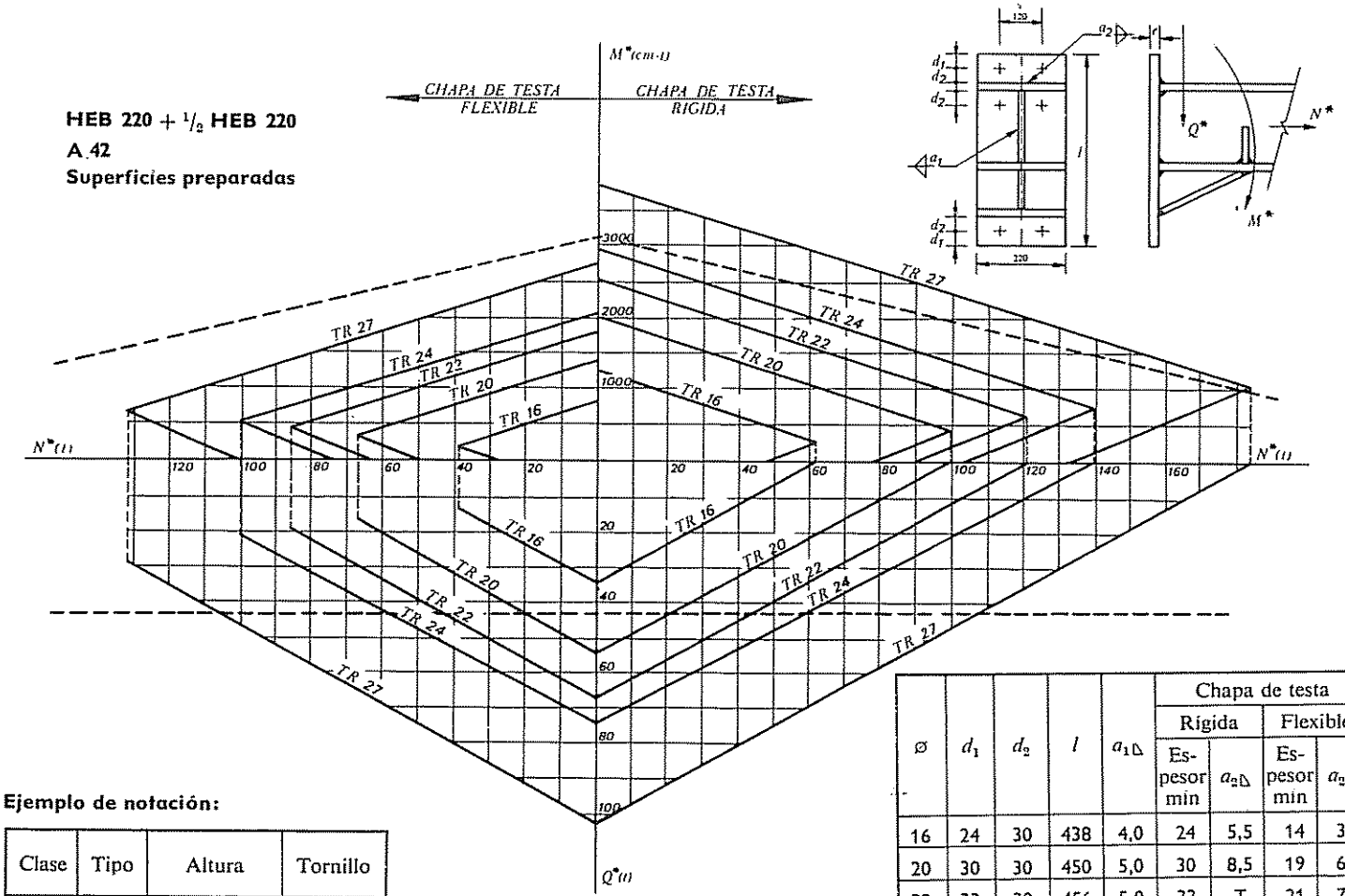
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R — , PR	— 1 HEB 220	—	TR 24

ø	d_1	d_2	l	a_1Δ	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2Δ	Espesor min	a_2Δ
16	24	30	274	5,0	24	5,5	14	3,5
20	30	30	280	5,0	30	8,5	19	6,0
22	33	30	283	5,0	33	T	21	7,5
24	36	32	288	5,0	37	T	23	9,0
27	40	36	296	5,0	45	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 220 + 1/2 HEB 220
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
16	24	30	438	4,0	24	5,5	14	3,5
20	30	30	450	5,0	30	8,5	19	6,0
22	33	30	456	5,0	33	T	21	7,5
24	36	32	466	5,0	37	T	23	9,0
27	40	36	482	5,0	45	T	29	T

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R	PF	1 1/2 HEB 220	TR 27

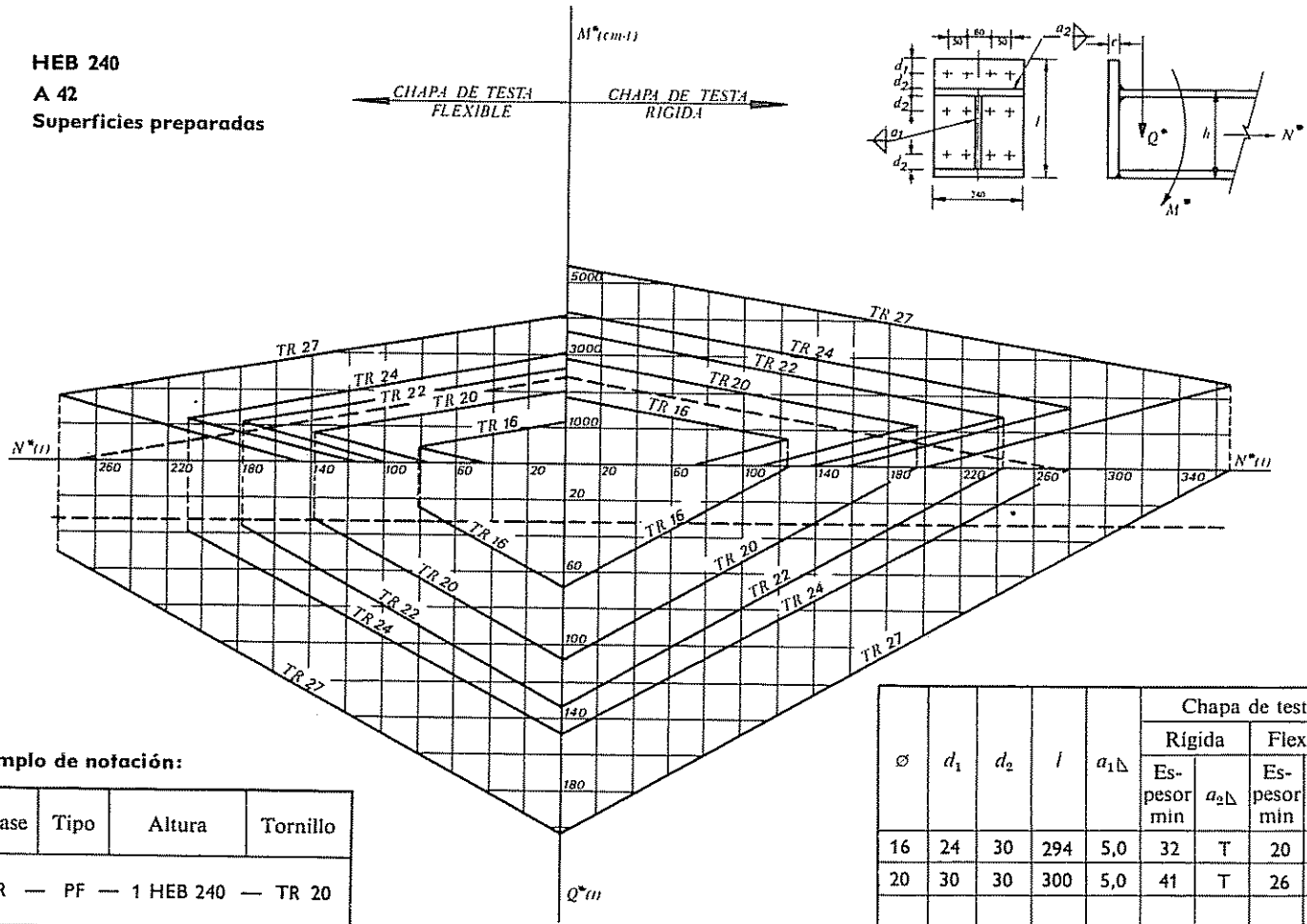
6.6.3 11-36

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-37

HEB 240
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 240 —	TR 20

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	294	5,0	32	T	20	6,5
20	30	30	300	5,0	41	T	26	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 240 + 1/2 HEB 240
A 42
Superficies preparadas

Chapa de testa									
					Rígida		Flexible		
Ø	d_1	d_2	l	a_1 ▷	Espesor min	a_2 ▷	Espesor min	a_2 ▷
16	24	30	468	5,0	32	T	20	6,5
20	30	30	480	5,0	41	T	26	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

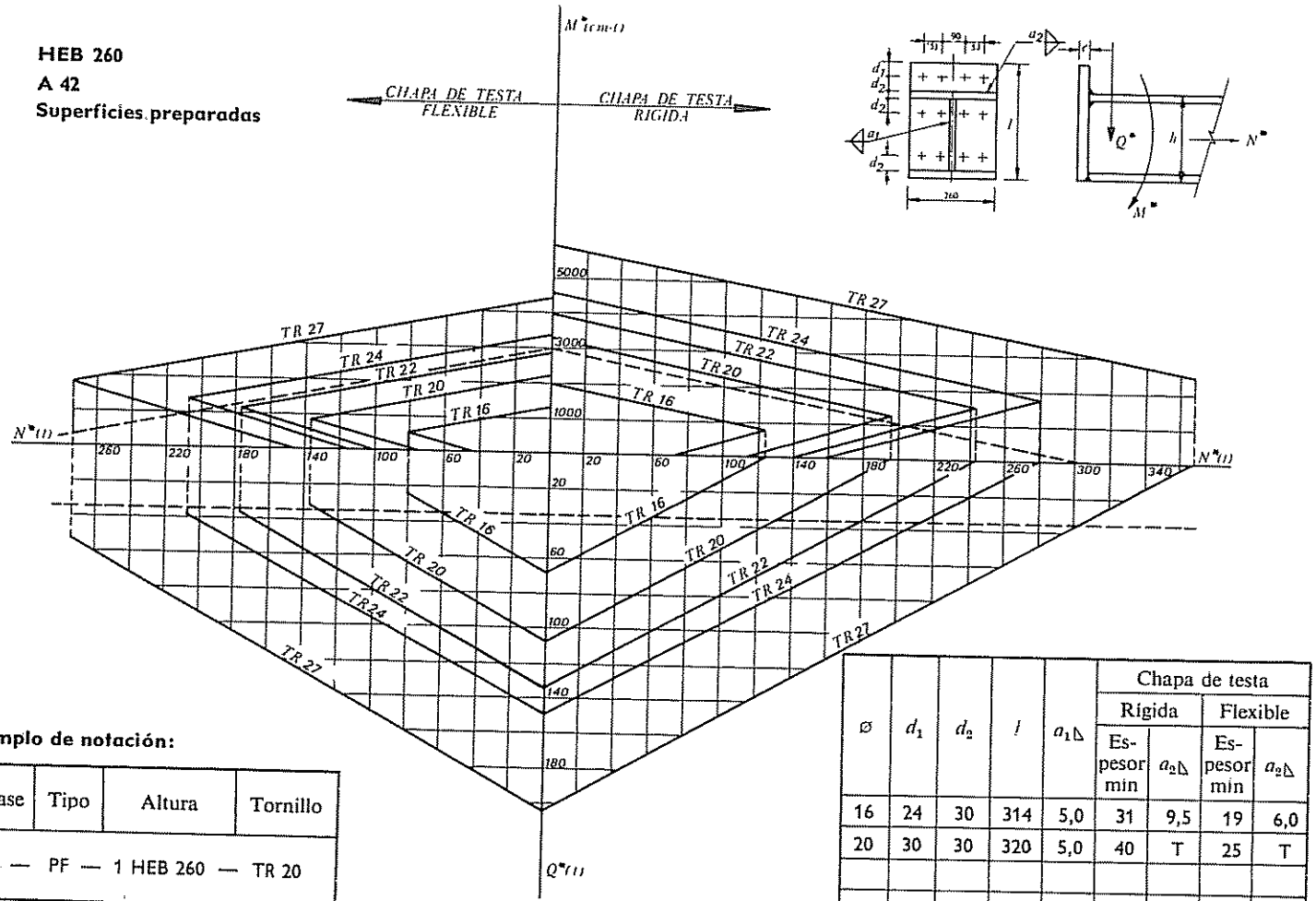
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 1/2 HEB 240 —	TR 20

6.6 3 11-38

HEB 260
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 260 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	314	5,0	31	9,5	19	6,0
20	30	30	320	5,0	40	T	25	T

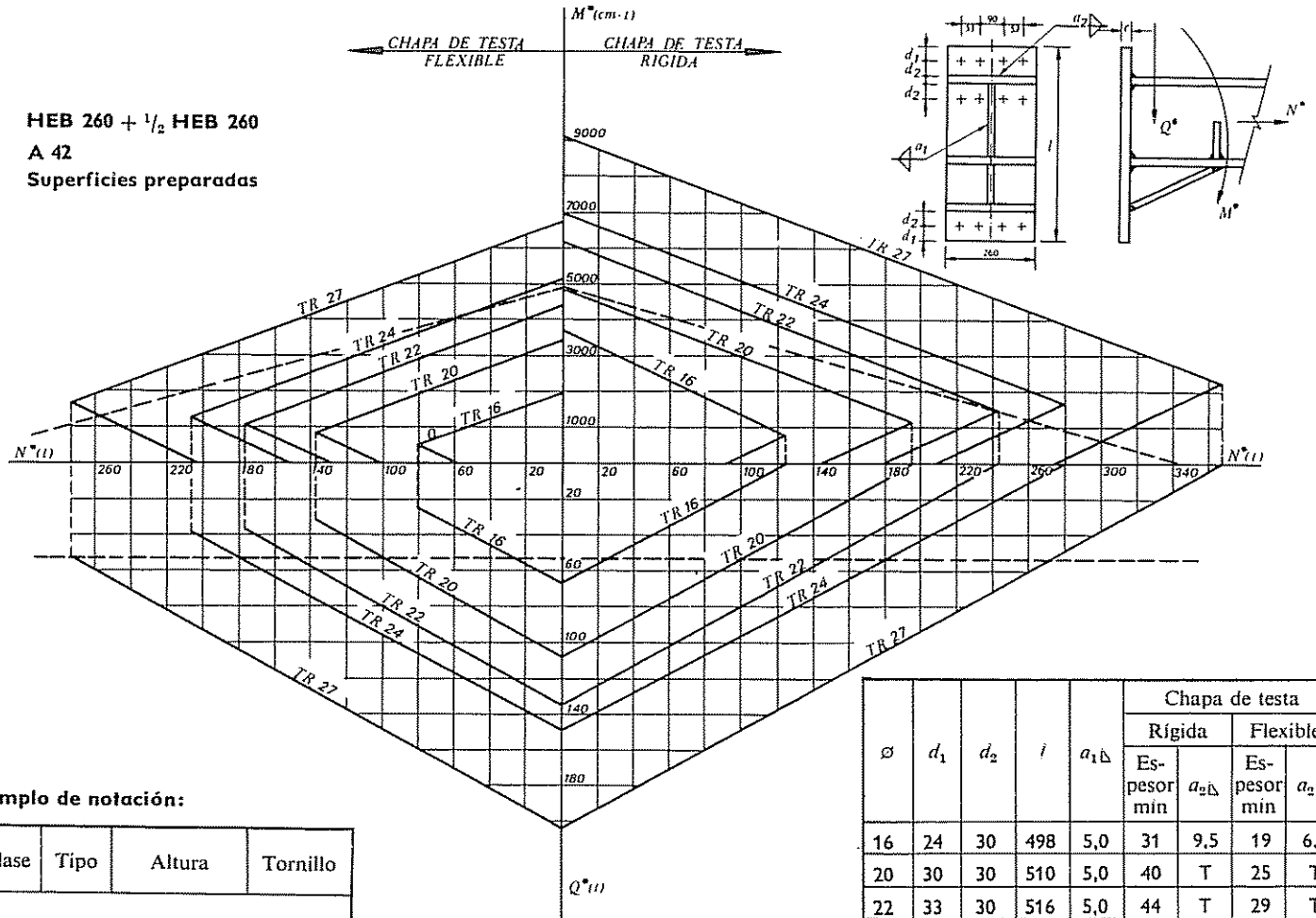
Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 260 + $^1/_2$ HEB 260

A 42

Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R .—	PR —	1 $^1/_2$ HEB 260 —	TR 20

6.6.3.11-40

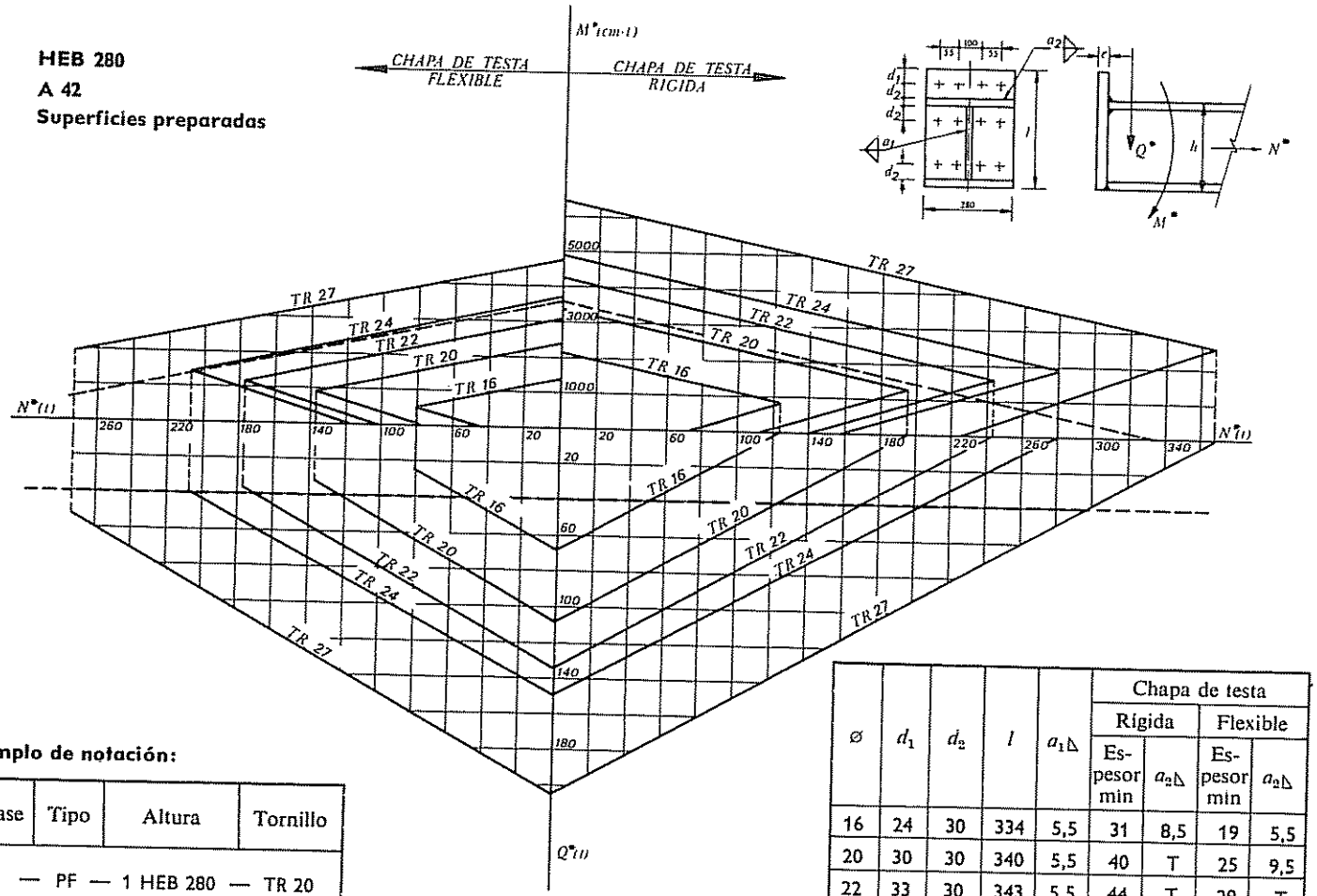
ø	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	a_2△	Espesor mín	a_2△
16	24	30	498	5,0	31	9,5	19	6,0
20	30	30	510	5,0	40	T	25	T
22	33	30	516	5,0	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-41

HEB 280
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

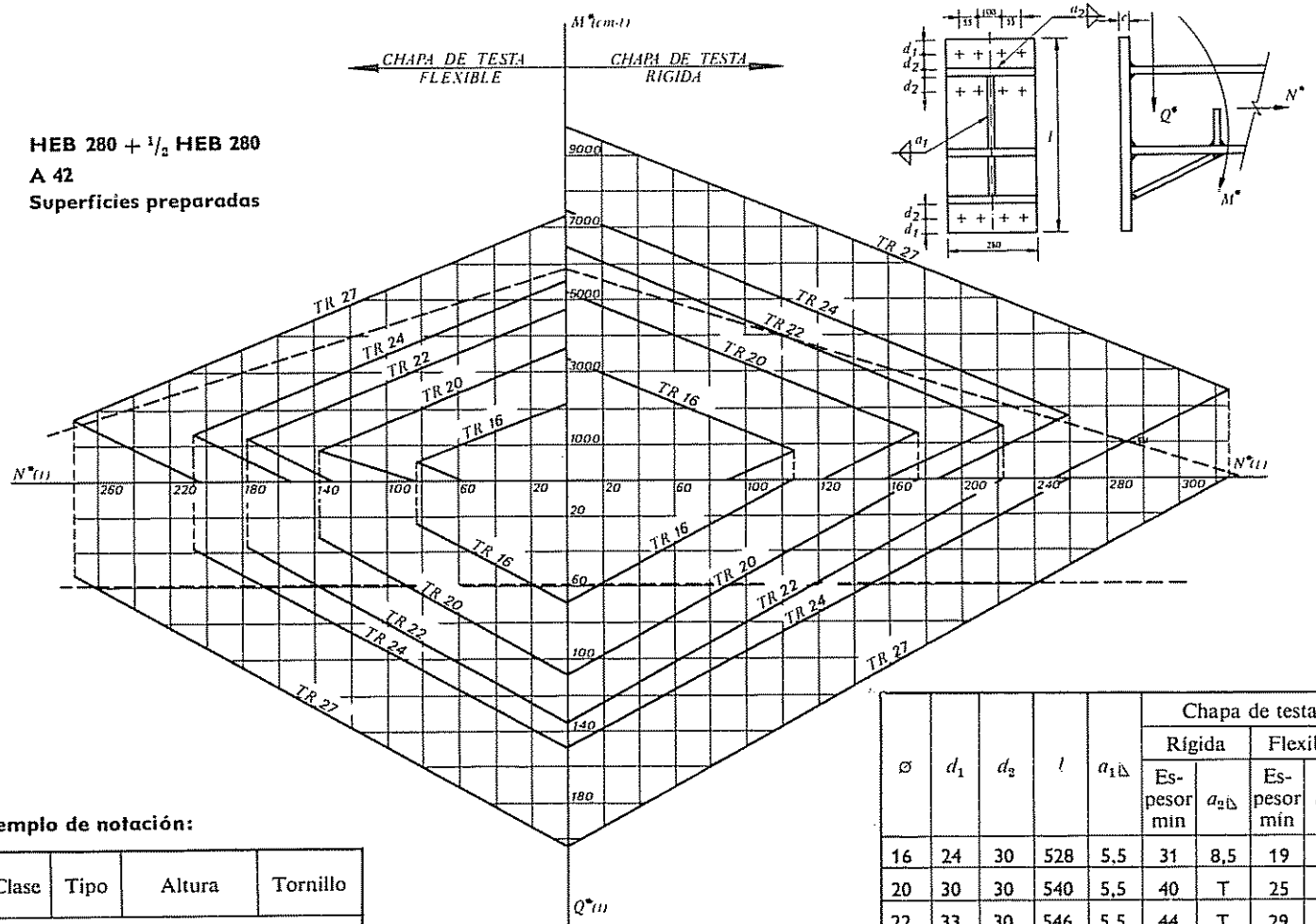
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 280 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	334	5,5	31	8,5	19	5,5
20	30	30	340	5,5	40	T	25	9,5
22	33	30	343	5,5	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 280 + $^1/_2$ HEB 280
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ HEB 280 —	TR 20

6.6.3.11-42

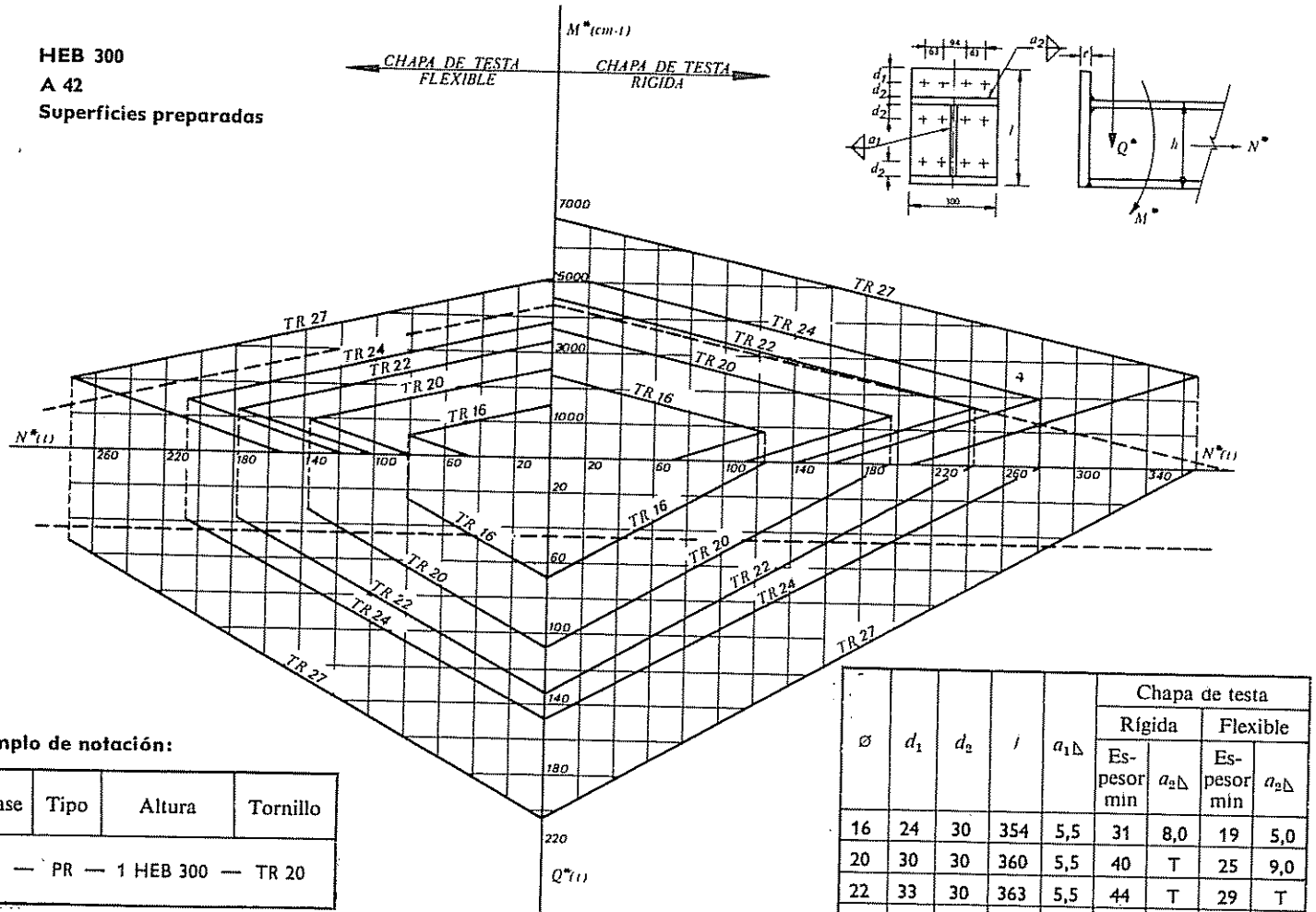
ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	528	5,5	31	8,5	19	5,5
20	30	30	540	5,5	40	T	25	9,5
22	33	30	546	5,5	44	T	29	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-43

HEB 300
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

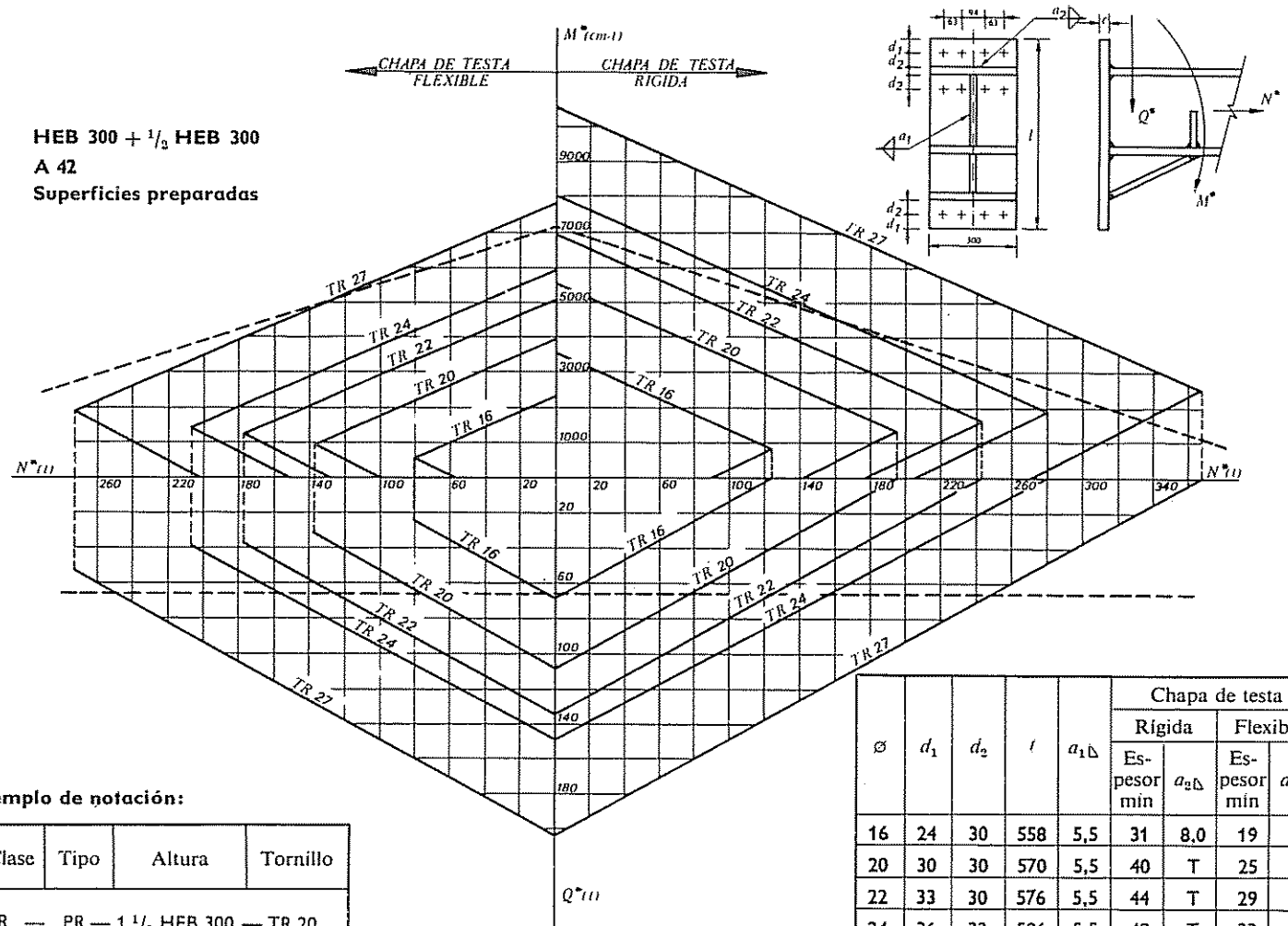
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 HEB 300 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	354	5,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	360	5,5	40	T	25	9,0
22	33	30	363	5,5	44	T	29	T
24	36	32	368	5,5	48	T	33	T
27	40	36	376	5,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^*\, S_x}{I_x\, e}$$

HEB 300 + $^1/_2$ HEB 300
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 300 —	TR 20

6.6.3.11-44

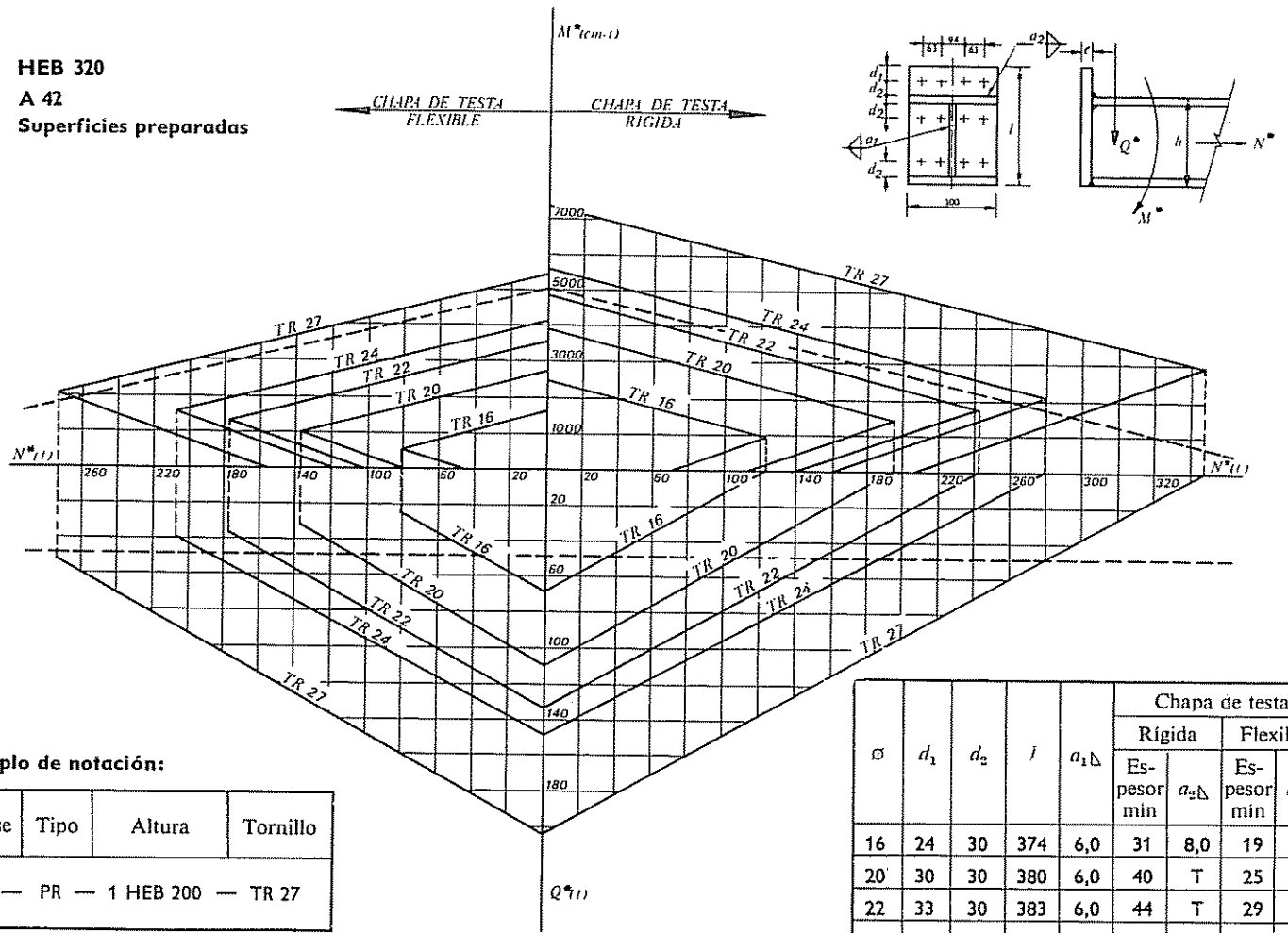
ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
16	24	30	558	5,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	570	5,5	40	T	25	9,0
22	33	30	576	5,5	44	T	29	T
24	36	32	586	5,5	48	T	33	T
27	40	36	602	5,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-45

HEB 320
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

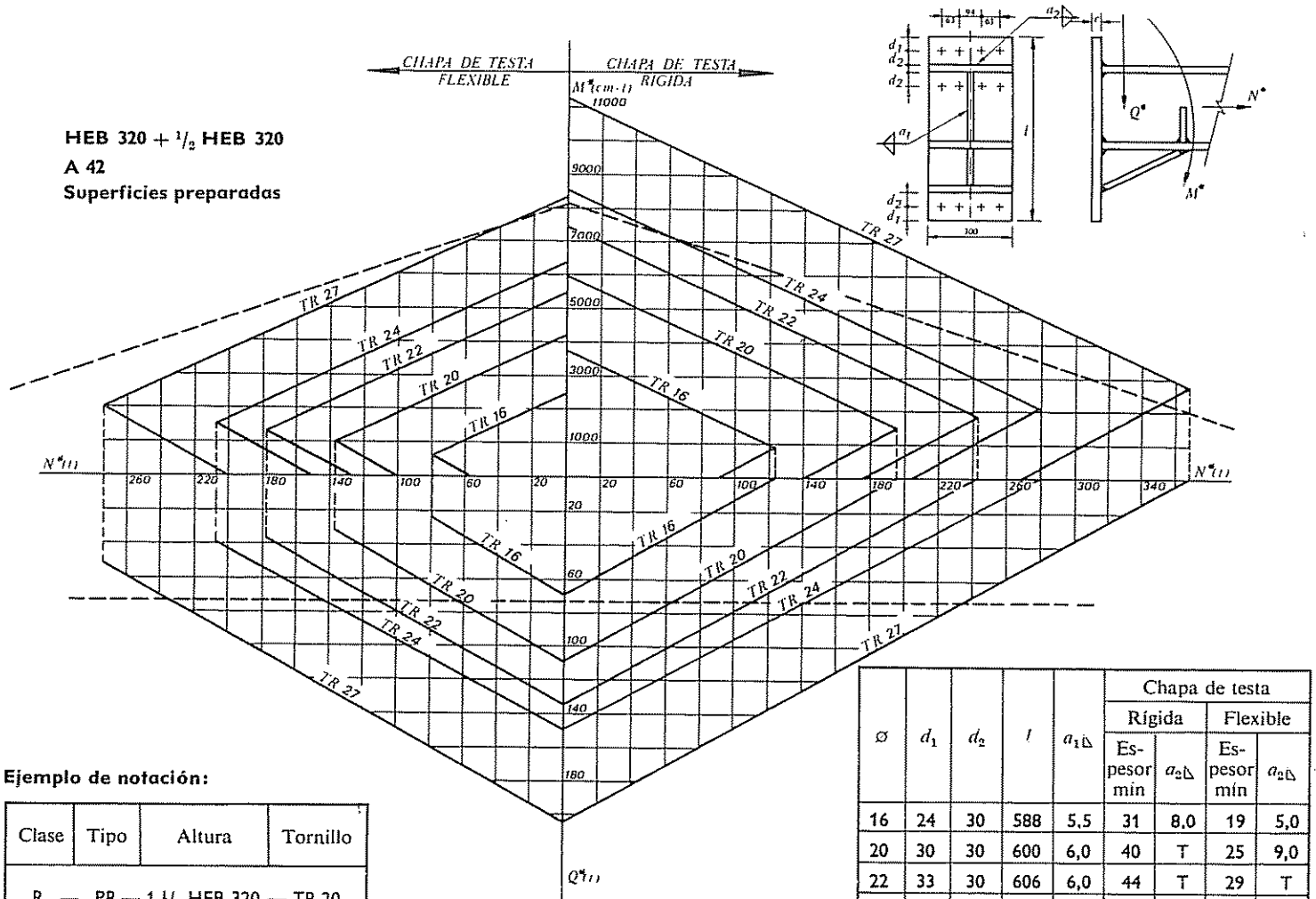
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 HEB 200 —	TR 27

ø	d_1	d_2	j	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
16	24	30	374	6,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	380	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	383	6,0	44	T	29	T
24	36	32	388	6,0	48	T	33	T
27	40	36	396	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 320 + $^1/_2$ HEB 320
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 320 —	TR 20

6.6.3 11-46

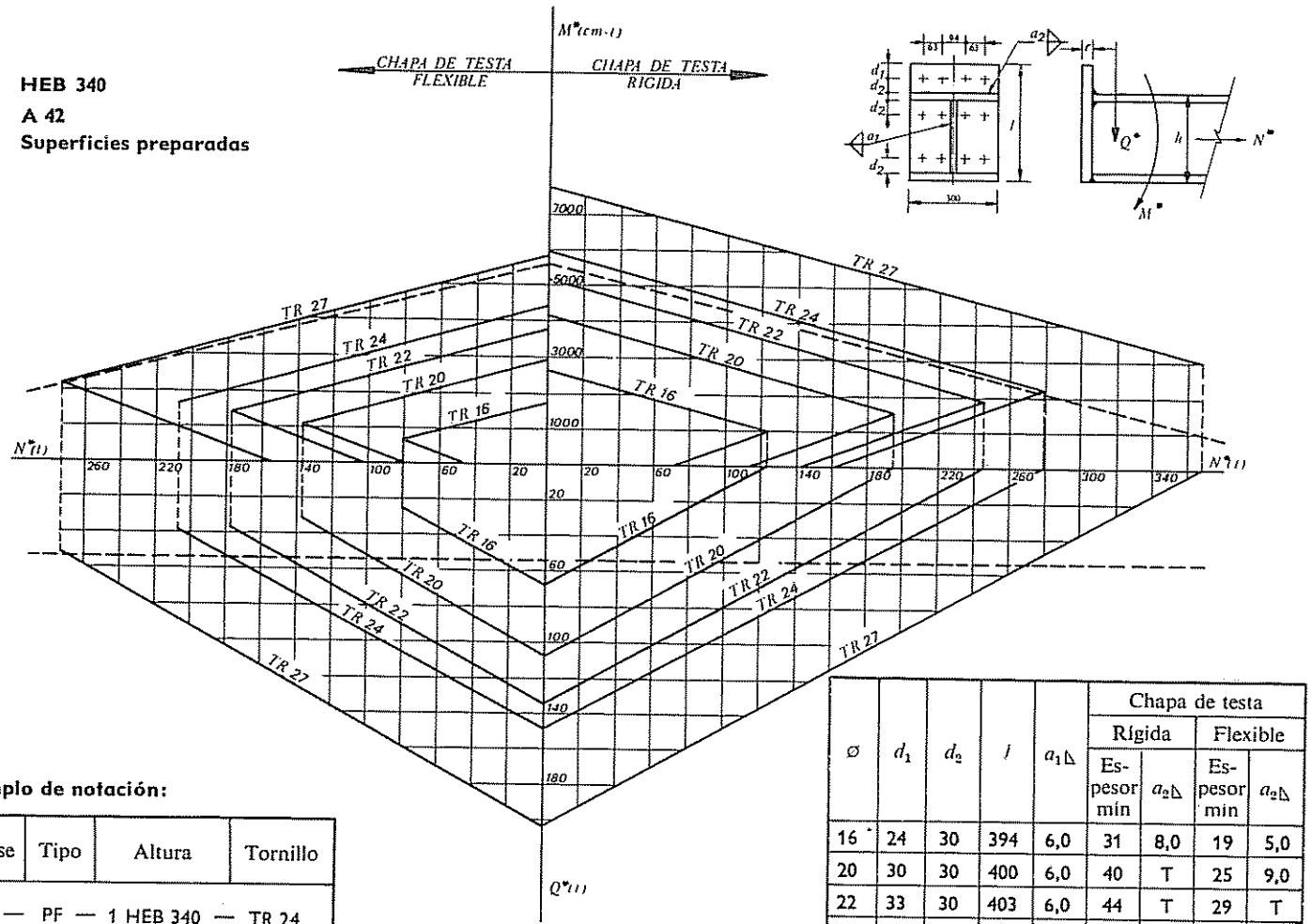
∅	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\triangle}$	Espesor mín	$a_{2\triangle}$
16	24	30	588	5,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	600	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	606	6,0	44	T	29	T
24	36	32	616	6,0	48	T	33	T
27	40	36	632	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-47

HEB 340
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

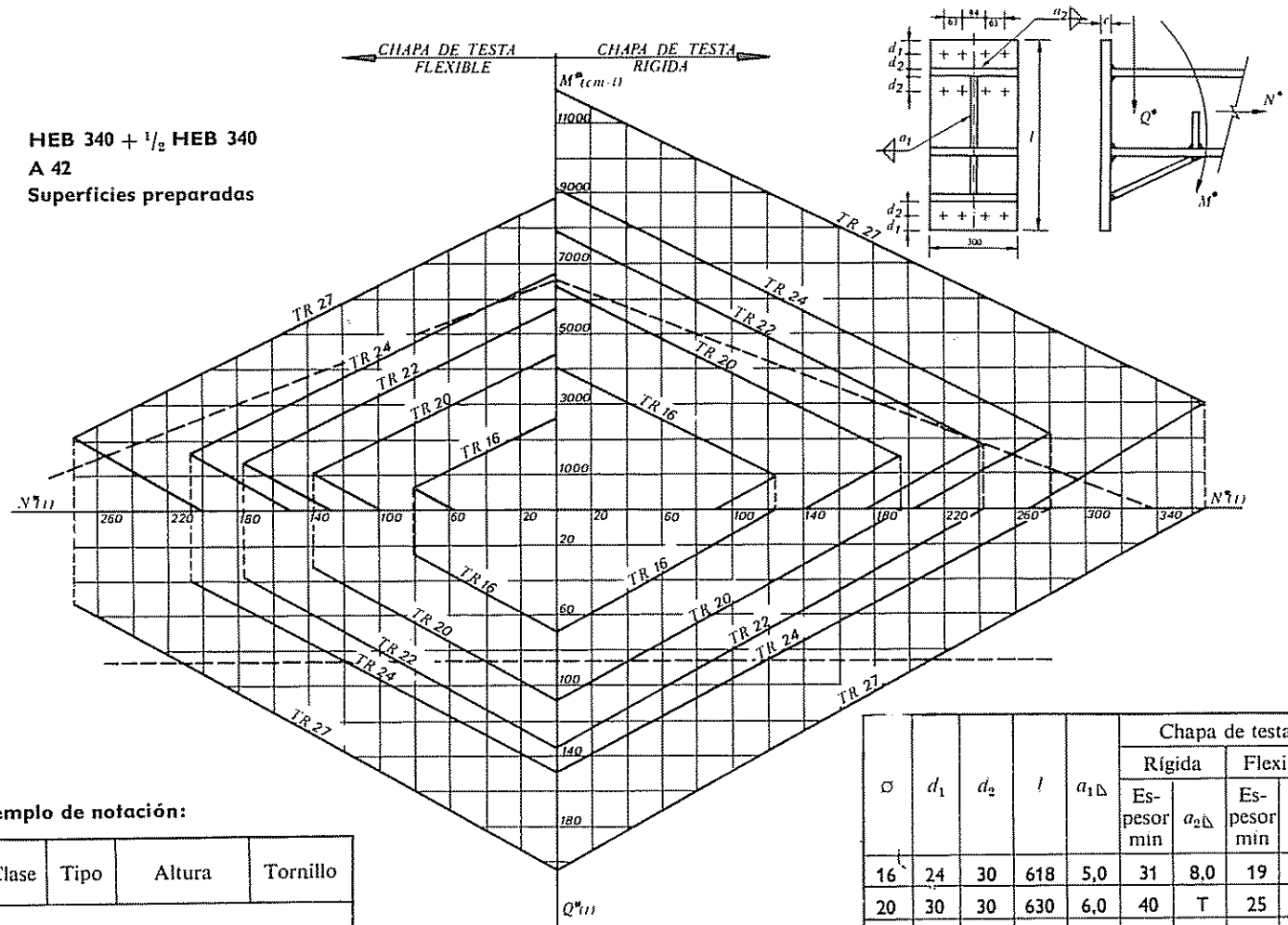
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 340 —	TR 24

∅	d_1	d_2	l	a_1	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	a_2	Espesor mín	a_2
16	24	30	394	6,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	400	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	403	6,0	44	T	29	T
24	36	32	408	6,0	48	T	33	T
27	40	36	416	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 340 + $^1/_2$ HEB 340
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ HEB 340 —	TR 24

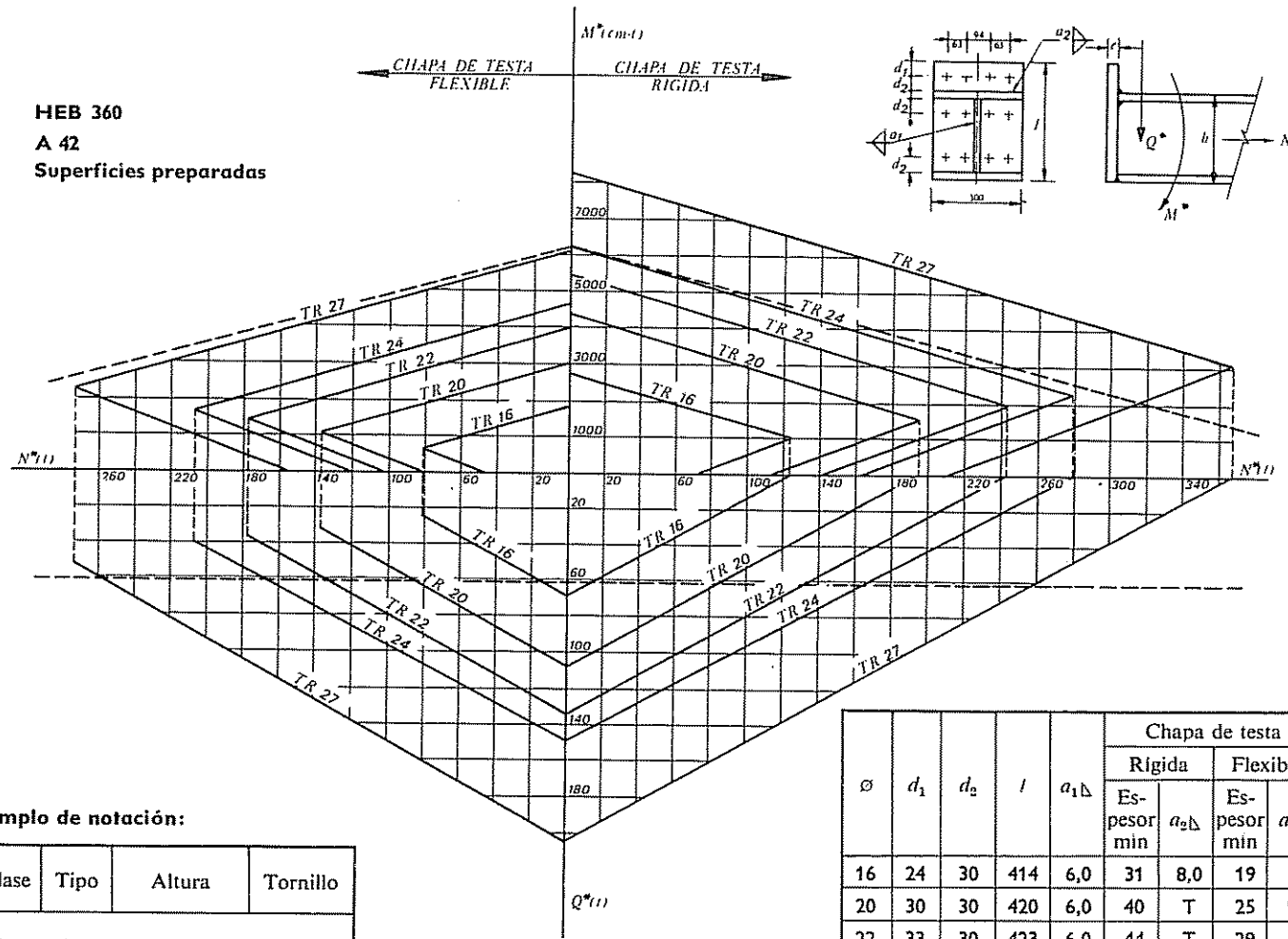
6.6.3.11-48

σ	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
16	24	30	618	5,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	630	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	636	6,0	44	T	29	T
24	36	32	646	6,0	48	T	33	T
27	40	36	662	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 360
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

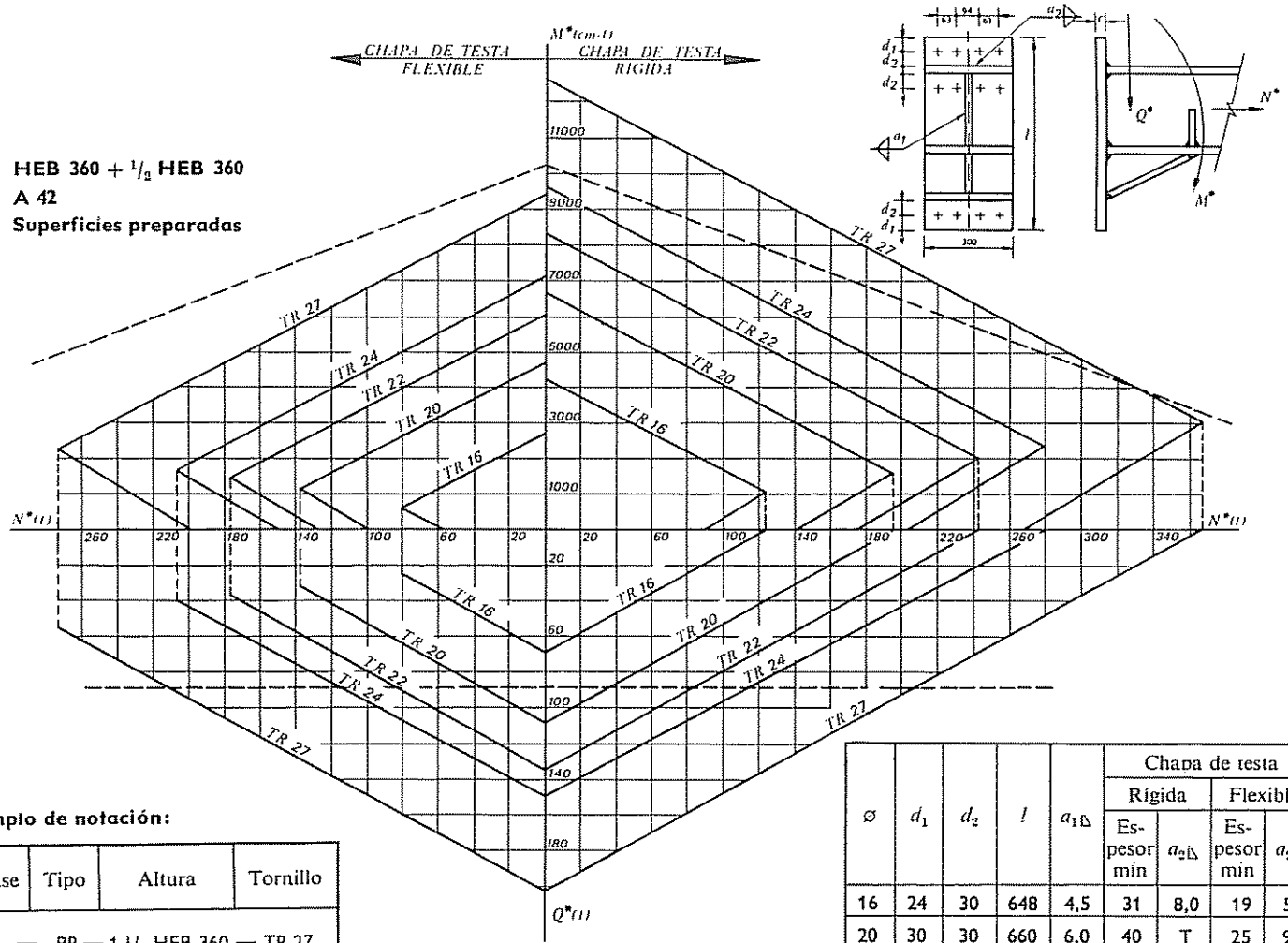
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 360 —	TR 27

∅	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	414	6,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	420	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	423	6,0	44	T	29	T
24	36	32	428	6,0	48	T	33	T
27	40	36	436	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 360 + $^1/_2$ HEB 360
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 360 —	TR 27

6.6.3.11-50

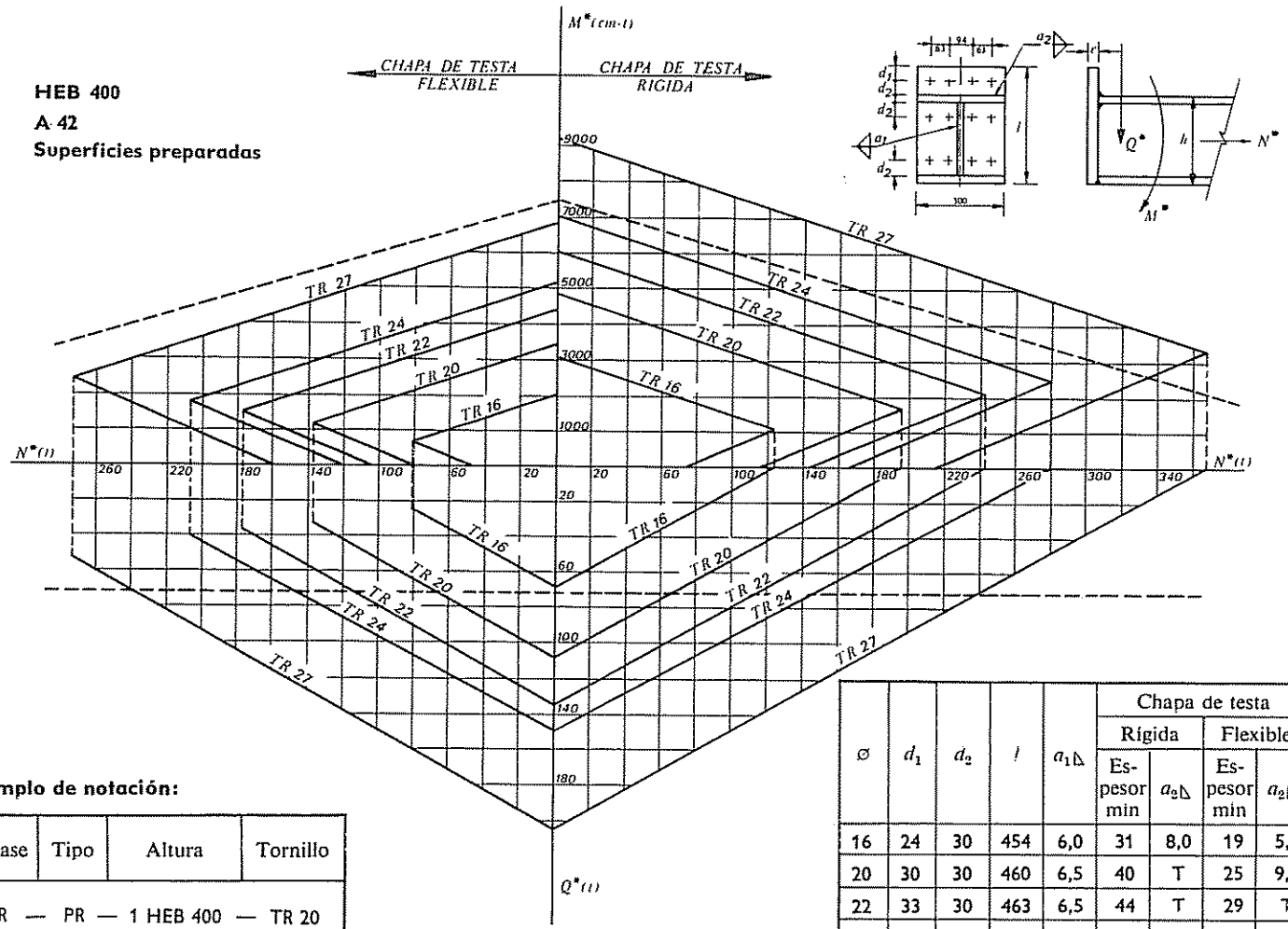
ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	648	4,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	660	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	666	6,0	44	T	29	T
24	36	32	676	6,0	48	T	33	T
27	40	36	692	6,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-51

HEB 400
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R — PR — 1 HEB 400 — TR 20			

ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	454	6,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	460	6,5	40	T	25	9,0
22	33	30	463	6,5	44	T	29	T
24	36	32	468	6,5	48	T	33	T
27	40	36	476	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

Ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
16	24	30	708	4,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	720	6,5	40	T	25	9,0
22	33	30	726	6,5	44	T	29	T
24	36	32	736	6,5	48	T	33	T
27	40	36	752	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

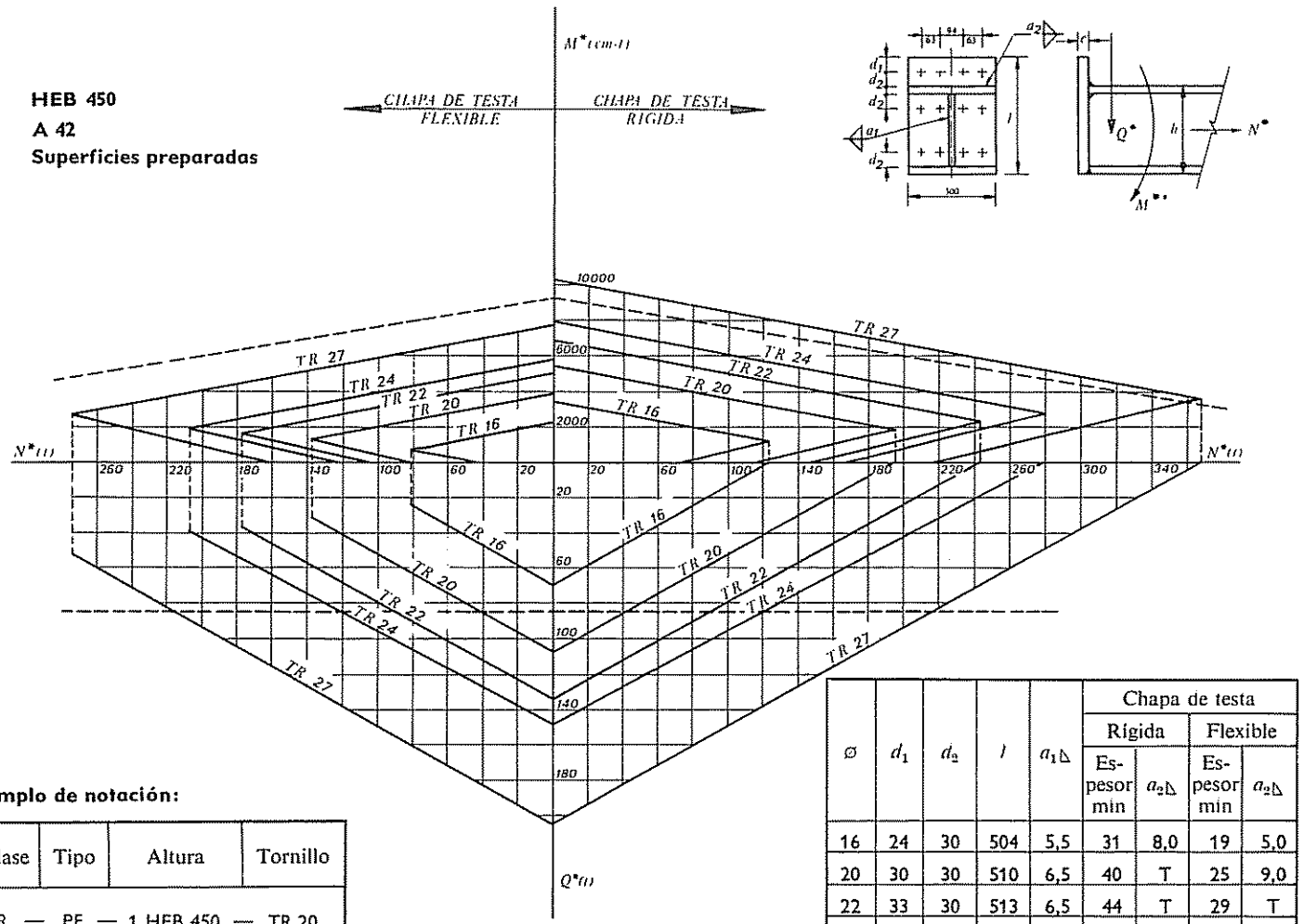
$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 1/2 HEB 400 —	TR 20

6.6 3 11-52

HEB 450
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

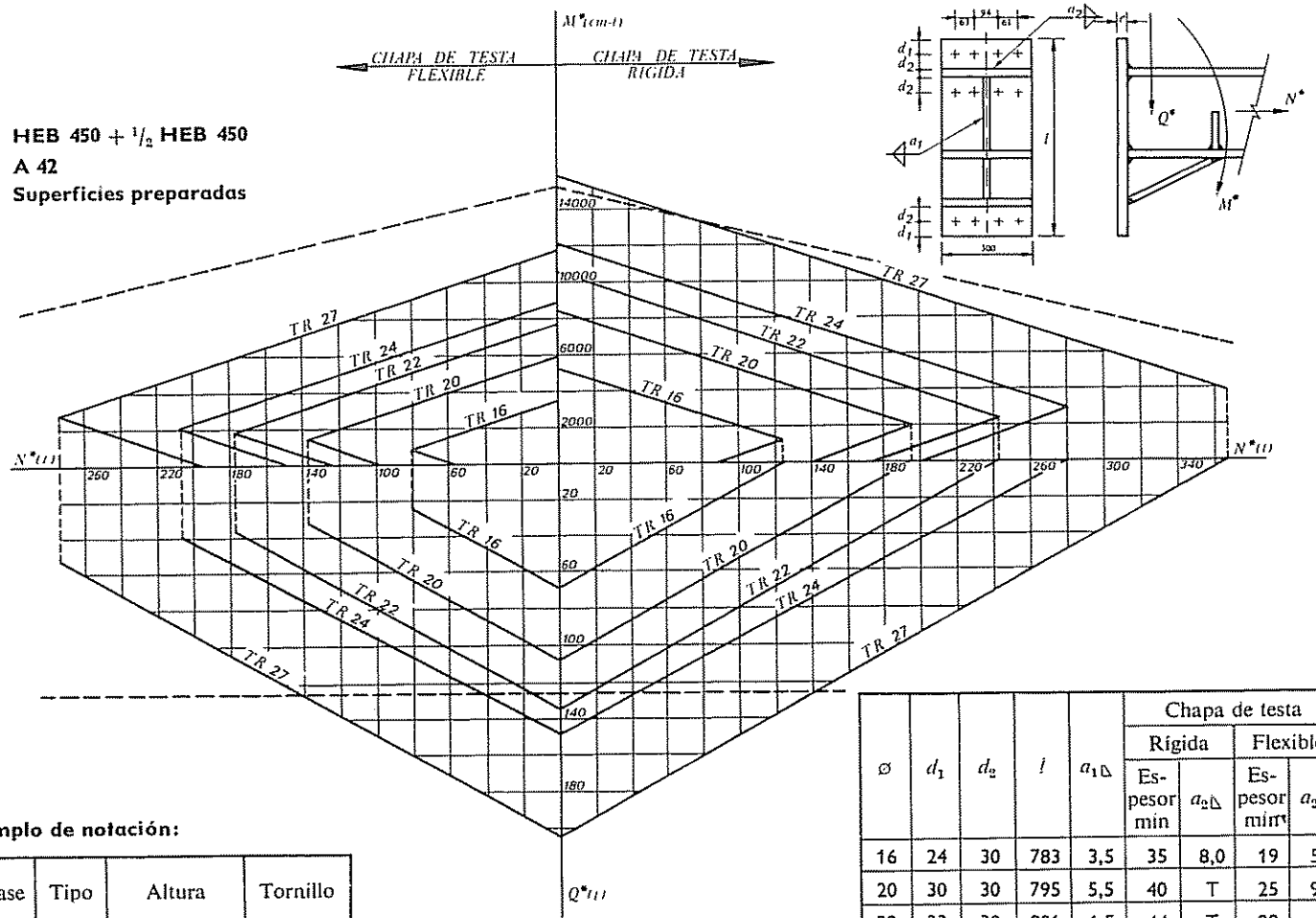
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R — PF — 1 HEB 450 — TR 20			

ø	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	504	5,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	510	6,5	40	T	25	9,0
22	33	30	513	6,5	44	T	29	T
24	36	32	518	6,5	48	T	33	T
27	40	36	526	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 450 + $^1/_2$ HEB 450
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ HEB 450 —	TR 20

ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\Delta}$	Espesor mín	$a_{2\Delta}$
16	24	30	783	3,5	35	8,0	19	5,0
20	30	30	795	5,5	40	T	25	9,0
22	33	30	801	6,5	44	T	29	T
24	36	32	811	6,5	48	T	33	T
27	40	36	827	6,5	59	T	40	T

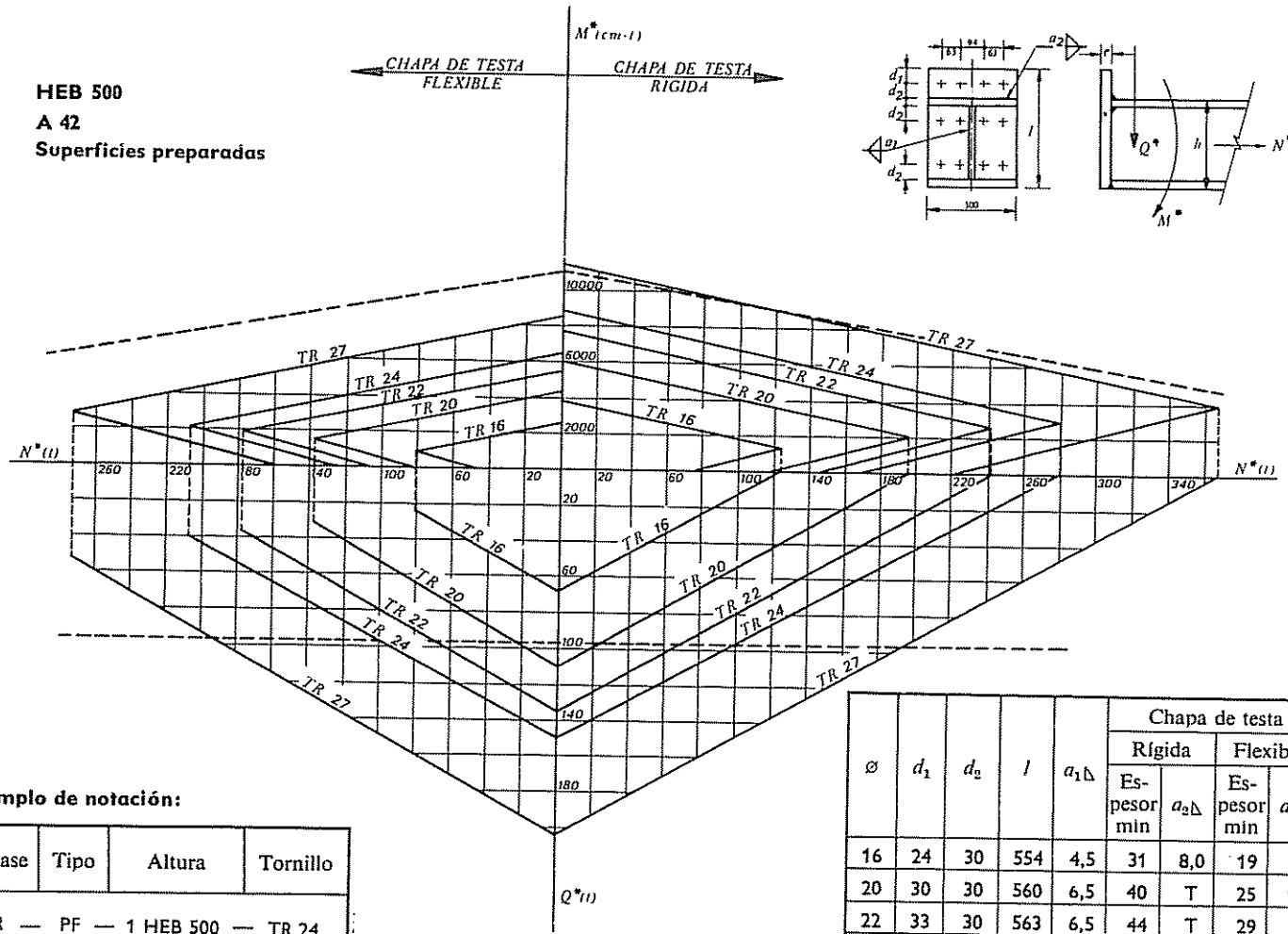
Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-54

6.6.3.11-55

HEB 500
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

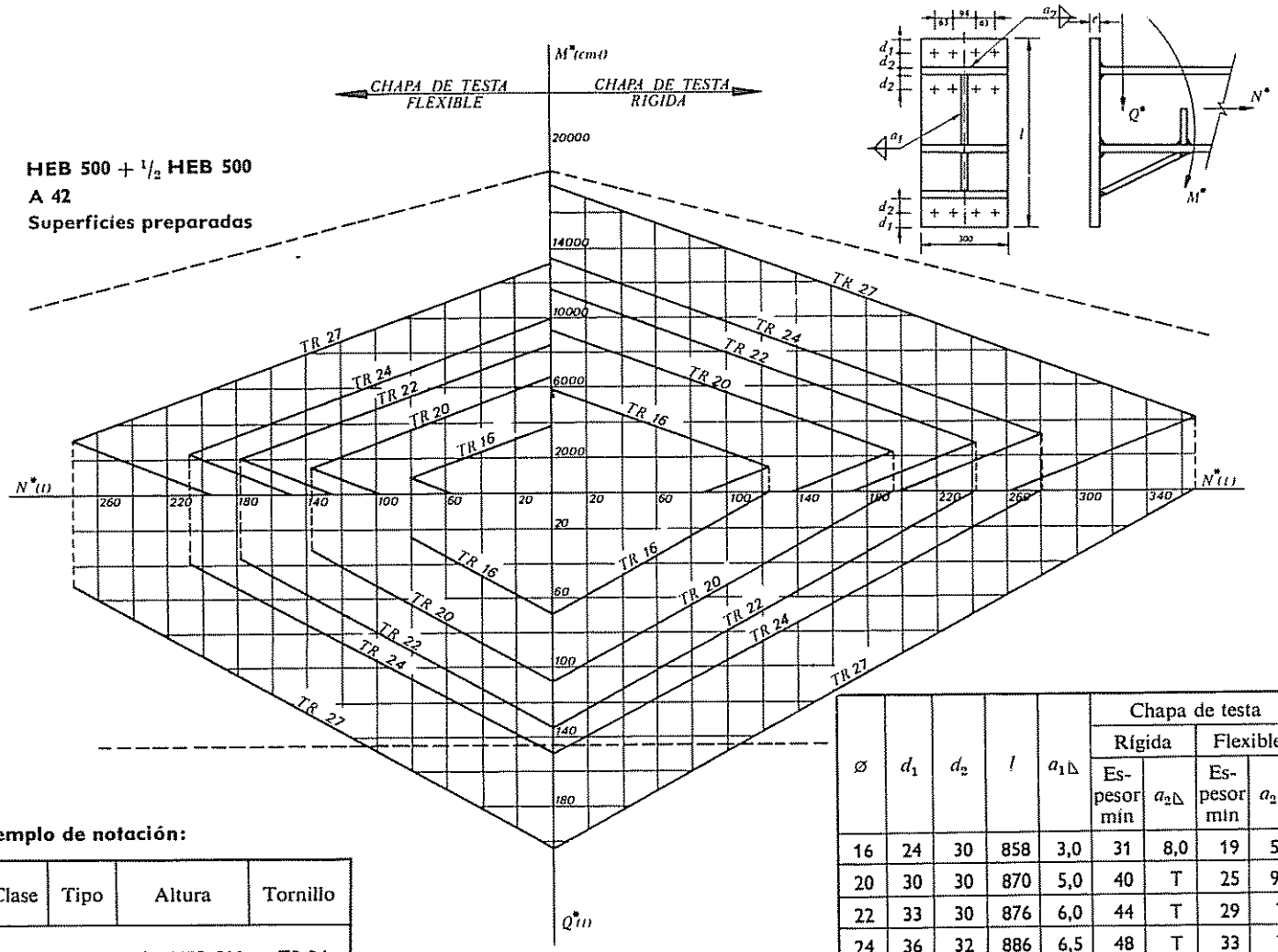
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 500 —	TR 24

ø	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_2\Delta$	Espesor mín	$a_2\Delta$
16	24	30	554	4,5	31	8,0	19	5,0
20	30	30	560	6,5	40	T	25	9,0
22	33	30	563	6,5	44	T	29	T
24	36	32	568	6,5	48	T	33	T
27	40	36	576	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 500 + $^1/_2$ HEB 500
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ HEB 500 —	TR 24

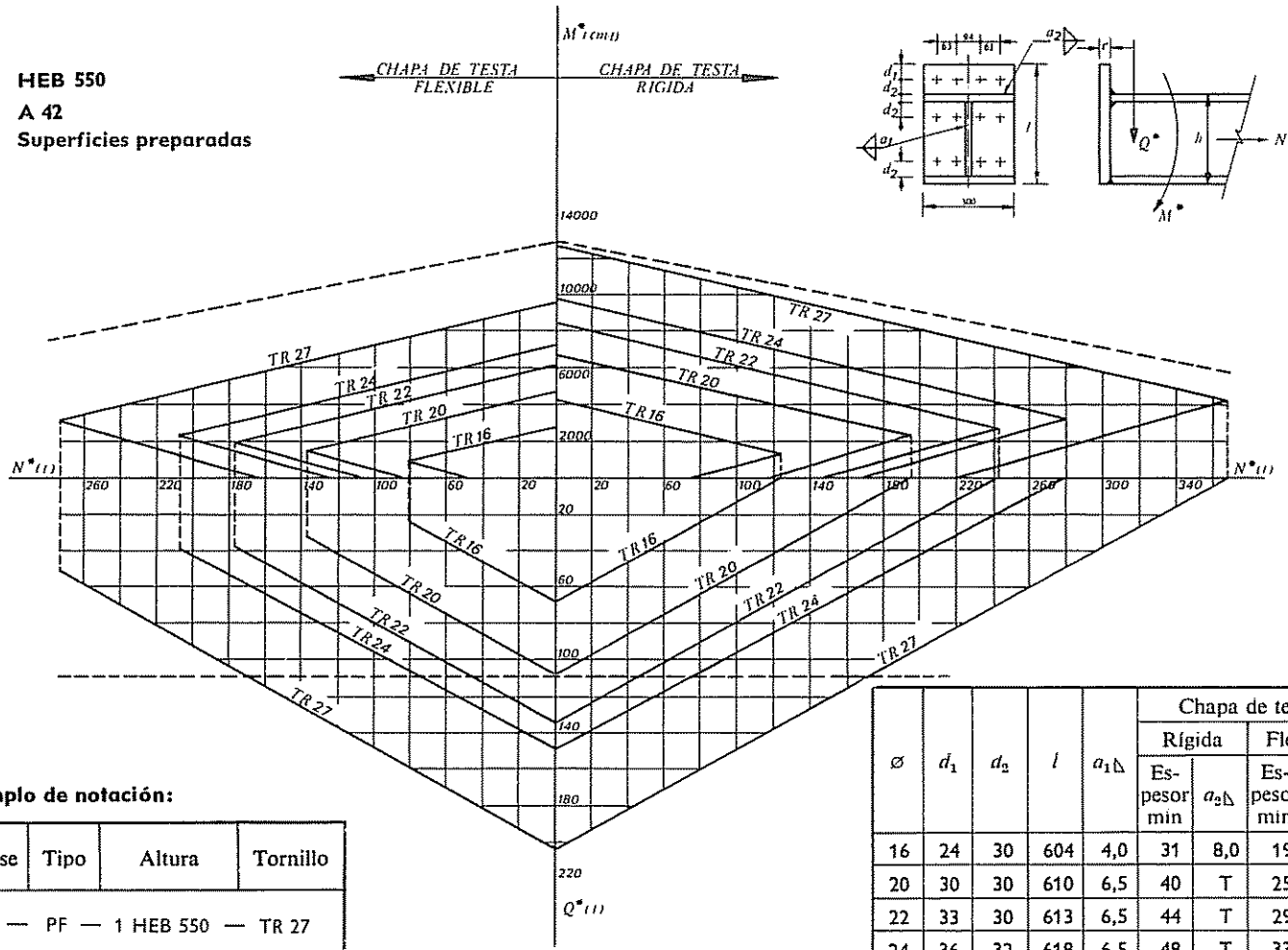
ø	d_1	d_2	l	$a_{1\Delta}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\Delta}$	Espesor min	$a_{2\Delta}$
16	24	30	858	3,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	870	5,0	40	T	25	9,0
22	33	30	876	6,0	44	T	29	T
24	36	32	886	6,5	48	T	33	T
27	40	36	902	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3.11-56

HEB 550
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

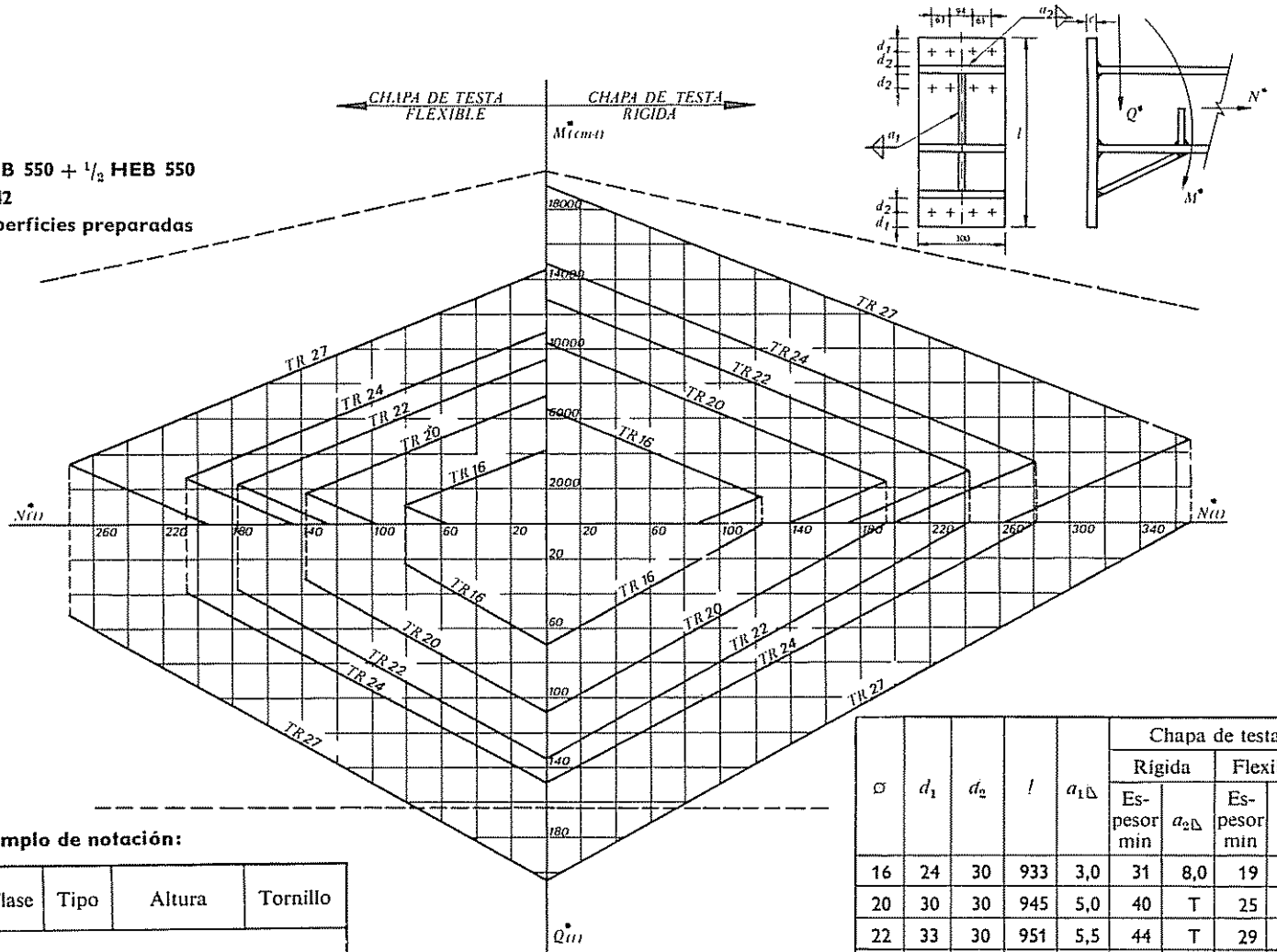
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 HEB 550 —	TR 27

∅	d_1	d_2	l	$a_1\Delta$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_2\Delta$	Espesor min	$a_2\Delta$
16	24	30	604	4,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	610	6,5	40	T	25	9,0
22	33	30	613	6,5	44	T	29	T
24	36	32	618	6,5	48	T	33	T
27	40	36	626	6,5	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 550 + $^1/_2$ HEB 550
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 $^1/_2$ HEB 550 —	TR 20

σ	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	$a_{2\triangle}$	Espesor min	$a_{2\triangle}$
16	24	30	933	3,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	945	5,0	40	T	25	9,0
22	33	30	951	5,5	44	T	29	T
24	36	32	961	6,0	48	T	33	T
27	40	36	977	6,5	59	T	40	T

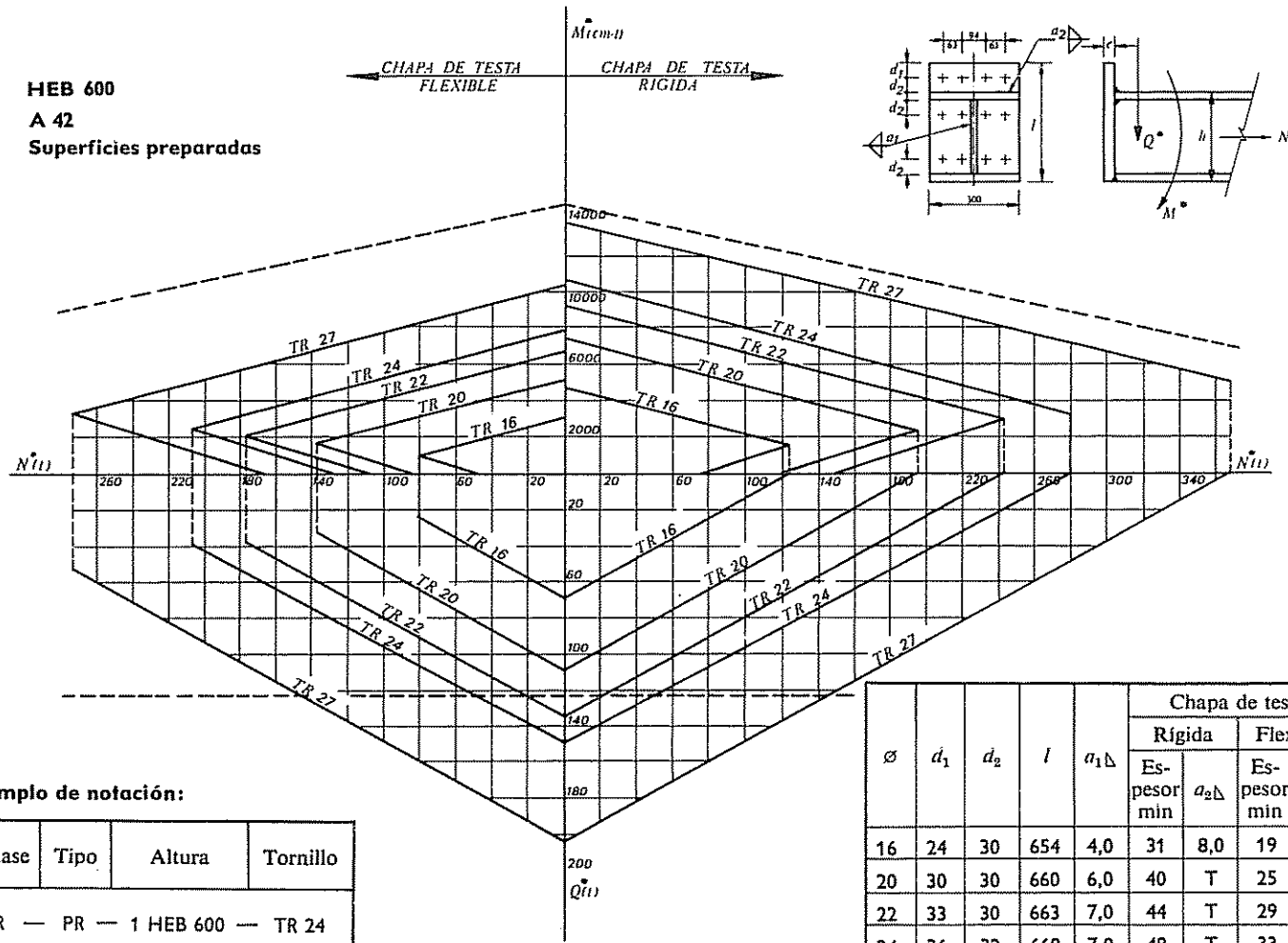
Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

6.6.3 11-58

6.6 3 11-59

HEB 600
A 42
Superficies preparadas



Ejemplo de notación:

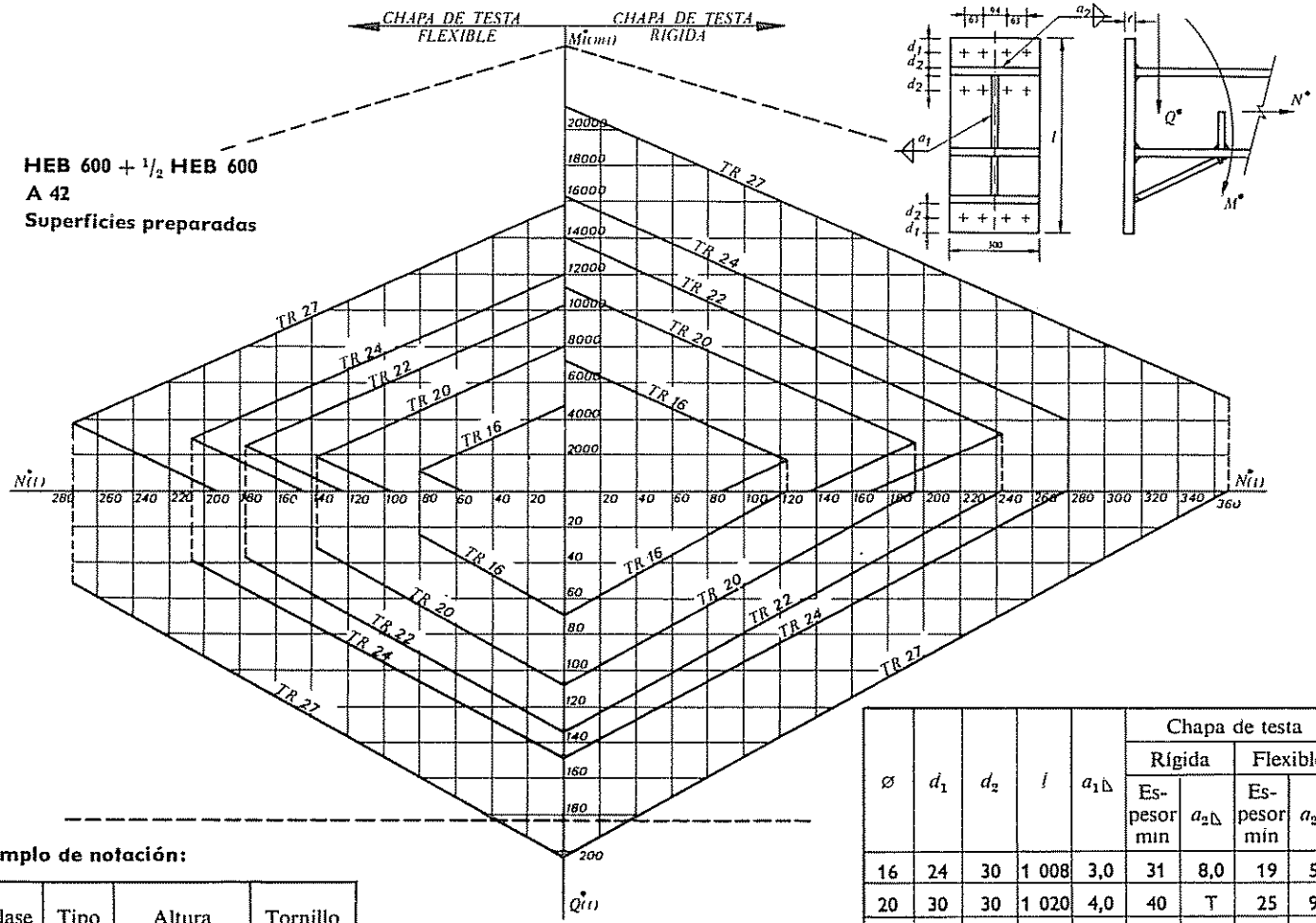
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PR —	1 HEB 600 —	TR 24

∅	d_1	d_2	l	a_1△	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor min	a_2△	Espesor min	a_2△
16	24	30	654	4,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	660	6,0	40	T	25	9,0
22	33	30	663	7,0	44	T	29	T
24	36	32	668	7,0	48	T	33	T
27	40	36	676	7,0	59	T	40	T

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$

HEB 600 + $^1/_2$ HEB 600
A 42
Superficies preparadas



ø	d_1	d_2	l	$a_{1\triangle}$	Chapa de testa			
					Rígida		Flexible	
					Espesor mín	$a_{2\triangle}$	Espesor mín	$a_{2\triangle}$
16	24	30	1 008	3,0	31	8,0	19	5,0
20	30	30	1 020	4,0	40	T	25	9,0
22	33	30	1 026	5,0	44	T	29	T
24	36	32	1 036	6,0	48	T	33	T
27	40	36	1 052	7,0	59	T	40	T

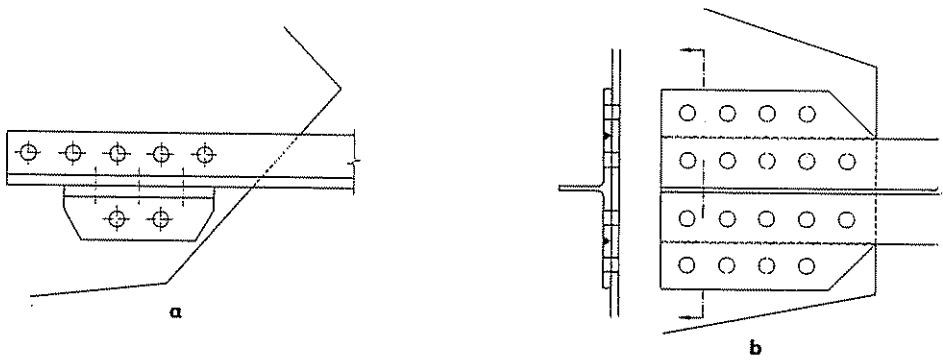
Ejemplo de notación:

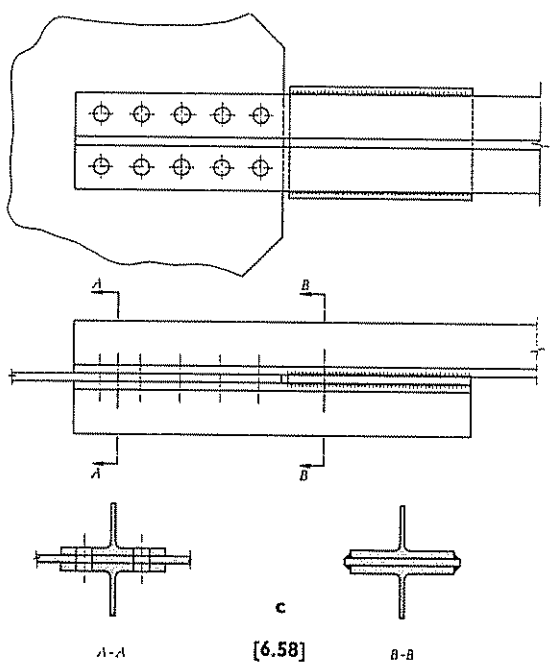
Clase	Tipo	Altura	Tornillo
R —	PF —	1 $^1/_2$ HEB 600 —	TR 24

6.6.3.11-60

Nota: Las líneas de trazos corresponden a las solicitaciones de agotamiento de la sección.

$$\sigma_u = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W_x} \qquad \tau_u = \frac{Q^* S_x}{I_x e}$$





[6.58]

6.6 3 12. *Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura.)*

En las uniones de piezas a tracción la limitación que impone la Norma Básica MV-103 al número máximo de elementos de unión en una misma fila, hace muchas veces necesario el adoptar disposiciones especiales para conseguir que la unión resista el mismo esfuerzo de tracción N* que la pieza. Algunos ejemplos de estas disposiciones se indican en [6.58]. A este respecto la Norma Básica MV-103, dice explícitamente [1]:

> 7.3 5. *No se considerará la colaboración simultánea de más de cinco roblones o tornillos en una misma fila paralela a la dirección del esfuerzo axil de la pieza, a menos que se adopten medidas constructivas especiales, que deben justificarse debidamente en el anejo de cálculo, indicando el reparto del esfuerzo resultante en los roblones o tornillos.*
>
> *El cumplimiento de la regla anterior puede llevar a la necesidad de disponer casquillos de angular en los extremos de la barra; la unión de estos casquillos a la barra se efectuará con el 150 % de los roblones, o tornillos, que serían teóricamente necesarios para transmitir la parte de esfuerzo correspondiente a los roblones o tornillos de unión del casquillo a la cartela (figura 7 2a).*

Sobre el número mínimo de tornillos el artículo 7.3 4 especifica:

> *En las estructuras roblonadas o atornilladas, todas las uniones de fuerza deben constar de un mínimo de dos roblones o tornillos.*
>
> *Se exceptúan de esta prescripción las barras formadas por un solo angular en las celosías ligeras y los elementos secundarios cuya misión sea únicamente de arriostramiento.*

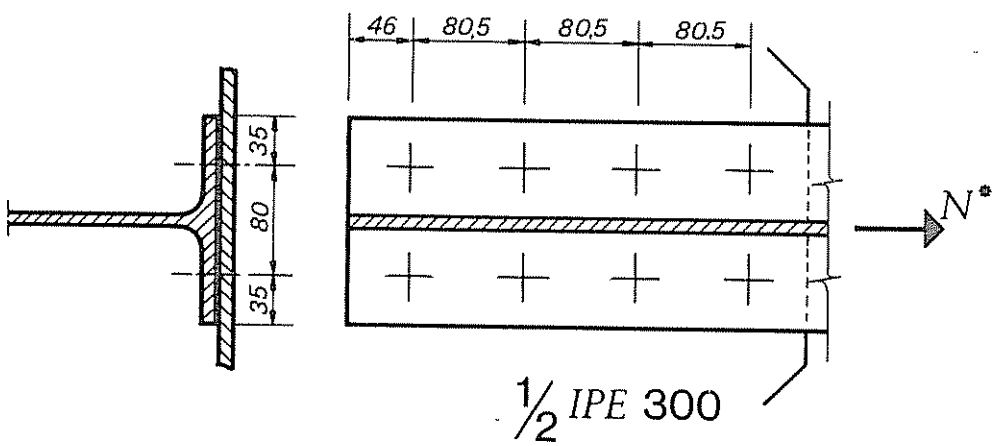
Se recogen en las tablas **6.6 3 12** los casos de unión de piezas a tracción para los siguientes perfiles 1/2 IPE, 1/2 HEB, 1/2 HEA, UPN y L. Las tablas están confeccionadas para dos tipos de elementos de unión, tornillos T y tornillos TR, y se ha reflejado en cada caso de unión la solicitación de agotamiento a tracción del perfil N^*_p y la solicitación de agotamiento de los tornillos que forman la unión N^*_T o N^*_{TR}. El valor de N^*_p depende del tornillo empleado. Para los tornillos T, la Norma Básica MV-103, en su artículo 4.4, dice:

---

[1] La figura citada en la Norma se representa en [6.58a]

6.6 3 1 2. EJEMPLO DE APLICACION

La barra de viga de celosía está sometida a una tracción mayorada de 40 t. Se quiere dimensionar un medio perfil IPE y su unión a la cartela por medio de tornillos ordinarios calidad A4.6. Calidad del acero: A 42.



La tablá **6.6 3 12-1** define la unión, que se realizará con ½ IPE 300, $N_p^* = 45{,}76$ t > 40 t, y con ocho tornillos T22, $N_p^* = 47{,}12$ t > 40 t, con la disposición adjunta.

CALCULO DE PIEZAS SOLICITADAS A TRACCION CENTRADA

En toda pieza simple o compuesta, solicitada a tracción centrada, se verificará:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A_n} \leqslant \sigma_u$$

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).*

y el valor de agotamiento del perfil será:

$$N^*_p = A_n \sigma_u$$

Para los tornillos TR, la Norma Básica MV-103, en su artículo 4.4.1, dice:

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:

$$\sigma^* = \frac{N^*}{A} \leqslant \sigma_u \qquad \sigma^* = \frac{N^* - 0{,}4\ F}{A_n} \leqslant \sigma_u$$

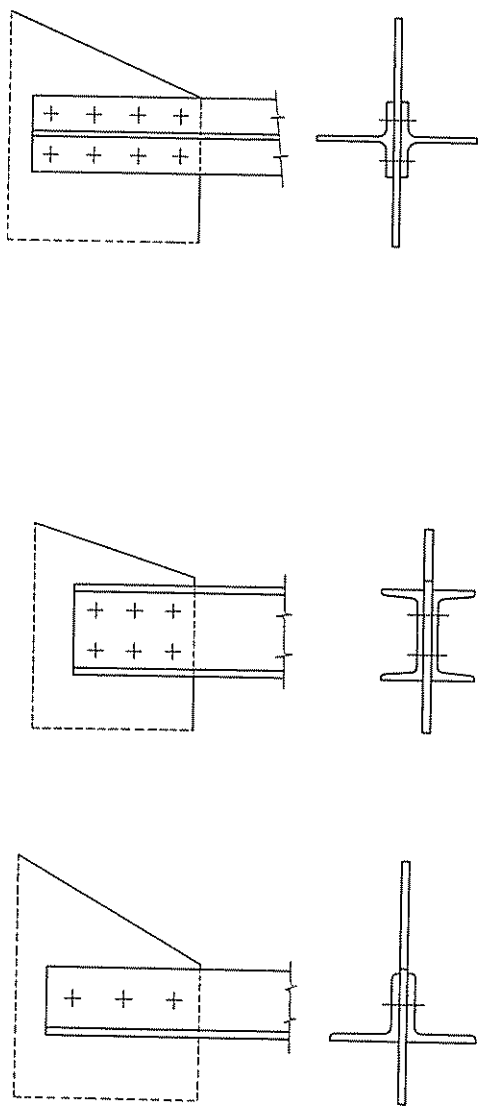
en cuyas expresiones son:

σ_u *Resistencia de cálculo del acero.*
N^* *Esfuerzo normal ponderado, en la sección considerada.*
A *Area de la sección bruta de la pieza.*
A_n *Area de la sección neta de la pieza.*
F *Suma de los esfuerzos que transmiten los tornillos situados en la sección neta que se comprueba.*

de donde se deducen los valores

$$N^*_p = A\sigma_u$$

$$N^*_p = A_n \sigma_u + 0{,}4\ F$$



[6.59]

La excentricidad producida en la unión la podemos tener en cuenta según el artículo 4.5.2 de la mencionada norma:

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:*

$$\sigma^* = \frac{1{,}25\ N^*}{A_n} \leqslant \sigma_u$$

Así, las fórmulas anteriores quedarán, definitivamente

$$N^*_p = \frac{A_n\ \sigma_u}{1{,}25} \qquad \text{para tornillos T}$$

$$\left.\begin{aligned} N^*_p &= \frac{A\ \sigma_u}{1{,}25} \\ N^*_p &= \frac{A_n\ \sigma_u + 0{,}4\ F}{1{,}25} \end{aligned}\right\} \text{para tornillos TR}$$

La separación s entre tornillos TR es igual a $3\ \varnothing$, siendo $\varnothing$ el diámetro del agujero, que es la distancia mínima fijada por la Convención Europea de la Construcción Metálica. Para los tornillos T se ha mantenido s igual a $3{,}5\ \varnothing$ (artículo 7.3.1 de la Norma Básica MV-103).

En el caso de que $N^* > N^*_T$, $N^* > N^*_{TR}$, deberá adoptarse alguna de las disposiciones especiales antes indicadas.

Cuando la pieza esté compuesta de dos elementos [6.59], los valores anteriores de agotamiento serán:

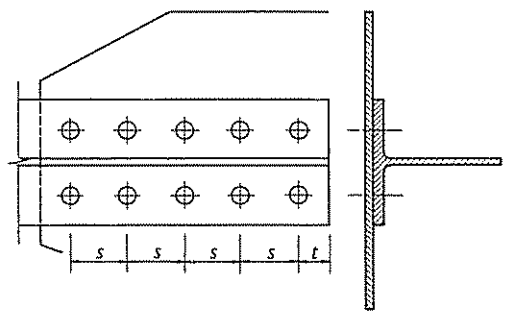
$$N^*_p = 2\ N^*_p\,(tabla) \times 1{,}25 = 2{,}50\ N^*_p\,(tabla)$$

$$N^*_T = 2\ N^*_T\,(tabla)$$

$$N^*_{TR} = 2\ N^*_{TR}\,(tabla)$$

Pueden extrapolarse los valores de la tabla, para mayor número de tornillos, siempre que se cumpla $n \not> 10$.

Ver ejemplo de aplicación en la página 208.



Acero A 42

Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura.)

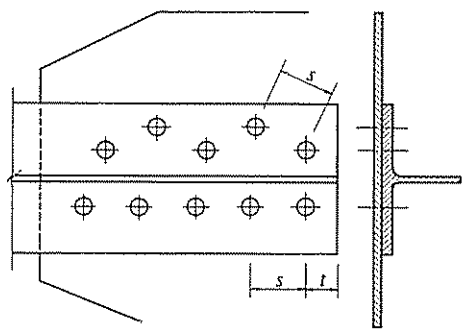
Medio perfil IPE a tracción

IPE	Tornillo ordinario						Tornillo de alta resistencia					
	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_T t	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_{TR} t
160	16,95	10	12	45,5	26,0	17,50	18,90	8	12	39,0	26,0	24,40
180	20,48	10	12	45,5	26,0	17,50	22,44	8	12	39,0	26,0	24,40
200	25,06	10	12	45,5	26,0	17,50	27,01	10	12	39,0	26,0	30,50
220	28,18	10	16	59,5	34,0	31,20	31,85	6	16	51,0	34,0	34,38
240	33,69	10	16	59,5	34,0	31,20	37,36	8	16	51,0	34,0	45,84
270	38,79	8	20	73,5	42,0	39,04	44,58	6	20	63,0	42,0	54,06
300	45,76	8	22	80,5	46,0	47,12	52,94	6	22	69,0	46,0	67,38
330	53,14	8	24	87,5	50,0	56,00	61,11	6	24	75,0	50,0	74,76
360	62,40	10	24	87,5	50,0	70,00	70,37	6	24	75,0	50,0	74,76
400	72,17	10	27	98,0	56,0	88,80	83,06	6	27	84,0	56,0	102,12
450	85,69	10	27	98,0	56,0	88,80	96,58	6	27	84,0	56,0	102,12
500	102,02	10	27	98,0	56,0	88,80	112,91	8	27	84,0	56,0	136,16
550	119,60	10	27	98,0	56,0	88,80	130,49	8	27	84,0	56,0	136,16
600	140,40	10	27	98,0	56,0	88,80	151,29	10	27	84,0	56,0	170,20

6.6 3 12-1

Ejemplo de notación:

Clase	Perfil	Tornillo
T — IPE 300 — TR		



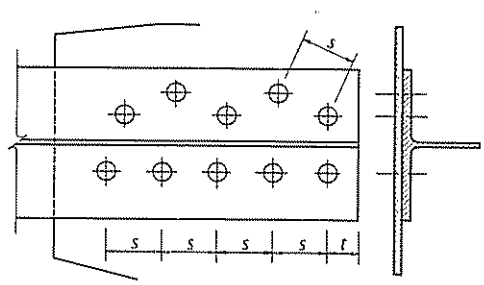
Acero A 42

Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura.)

Medio perfil HEB a tracción

HEB	Tornillo ordinario						Tornillo de alta resistencia					
	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_T t	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_{TR} t
120	27,56	10	16	59,5	34,0	31,20	31,22	6	16	51,0	34,0	34,38
140	34,21	8	20	73,5	42,0	39,04	39,98	6	20	63,0	42,0	54,06
160	43,99	8	22	80,5	46,0	47,12	51,17	6	22	69,0	46,0	67,38
180	53,16	8	24	87,5	50,0	56,00	61,32	6	24	75,0	50,0	74,76
200	65,62	10	24	87,5	50,0	70,00	73,59	6	24	75,0	50,0	74,76
220	78,00	10	24	87,5	50,0	70,00	85,97	8	24	75,0	50,0	99,68
240	92,56	14	24	87,5	50,0	98,00	100,53	8	24	75,0	50,0	99,68
260	105,04	16	24	87,5	50,0	112,00	113,01	10	24	75,0	50,0	124,60
280	117,52	18	24	87,5	50,0	126,00	125,49	10	24	75,0	50,0	124,60
300	135,20	20	24	87,5	50,0	140,00	143,17	12	24	75,0	50,0	149,52
320	146,64	20	24	87,5	50,0	140,00	154,61	14	24	75,0	50,0	174,44
340	156,00	20	24	87,5	50,0	140,00	163,97	14	24	75,0	50,0	174,44
360	165,36	20	24	87,5	50,0	140,00	173,33	14	24	75,0	50,0	174,44
400	180,96	20	24	87,5	50,0	140,00	188,93	16	24	75,0	50,0	199,36
450	199,68	20	24	87,5	50,0	140,00	207,65	18	24	75,0	50,0	224,28
500	216,32	20	27	98,0	56,0	177,60	227,21	14	27	84,0	56,0	238,28
550	230,88	20	27	98,0	56,0	177,60	241,77	16	27	84,0	56,0	272,32
600	245,44	20	27	98,0	56,0	177,60	256,33	16	27	84,0	56,0	272,32

6.6 3 12-2



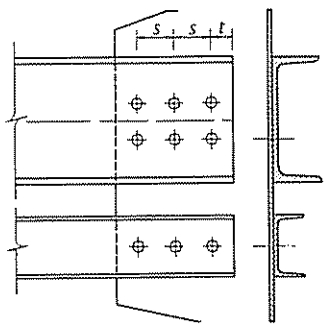
Acero A 42

Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura)

Medio perfil HEA a tracción

HEA	Tornillo ordinario						Tornillo de alta resistencia					
	N^*_P t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_T t	N^*_P t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_{TR} t
120	20,69	8	16	59,5	34,0	24,95	24,36	6	16	51,0	34,0	34,38
140	25,27	6	20	73,5	42,0	29,28	31,03	4	20	63,0	42,0	36,04
160	31,72	6	22	80,5	46,0	35,34	38,90	4	22	69,0	46,0	44,92
180	37,23	6	24	87,5	50,0	42,00	45,20	4	24	75,0	50,0	49,84
200	45,55	8	24	87,5	50,0	56,00	53,52	6	24	75,0	50,0	74,76
220	55,43	8	24	87,5	50,0	56,00	55,08	6	24	75,0	50,0	74,76
240	67,39	10	24	87,5	50,0	70,00	75,36	6	24	75,0	50,0	74,76
260	77,27	12	24	87,5	50,0	84,00	85,24	8	24	75,0	50,0	99,68
280	87,67	14	24	87,5	50,0	98,00	95,64	8	24	75,0	50,0	99,68
300	101,92	16	24	87,5	50,0	112,00	109,89	10	24	75,0	50,0	124,60
320	113,36	18	24	87,5	50,0	126,00	121,33	10	24	75,0	50,0	124,60
340	121,68	18	24	87,5	50,0	126,00	129,65	12	24	75,0	50,0	149,52
360	131,04	20	24	87,5	50,0	140,00	139,01	12	24	75,0	50,0	149,52
400	145,60	20	24	87,5	50,0	140,00	153,57	14	24	75,0	50,0	174,44
450	163,28	20	24	87,5	50,0	140,00	171,25	14	24	75,0	50,0	174,44
500	178,88	20	27	98,0	56,0	177,60	189,77	12	27	84,0	56,0	204,24
550	192,40	20	27	98,0	56,0	177,60	203,29	12	27	84,0	56,0	204,24
600	205,92	20	27	98,0	56,0	177,60	216,81	14	27	84,0	56,0	238,28

6.6 3 12-3

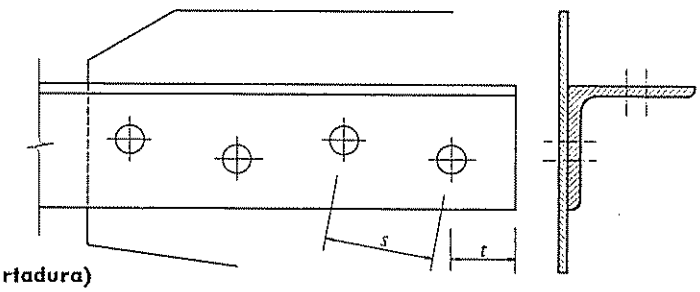


Acero A 42
Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura)

Un perfil UPN a tracción

UPN	Tornillo ordinario						Tornillo de alta resistencia.					
	N^*_p t	n	⌀ mm	s mm	t mm	N^*_T t	N^*_p t	n	⌀ mm	s mm	t mm	N^*_{TR} t
80	20,75	5	16	59,5	34,0	15,60	22,59	4	16	51,0	34,0	22,92
100	25,95	5	16	59,5	34,0	15,60	25,67	5	16	51,0	34,0	28,65
120	37,04	5	16	59,5	34,0	15,60	35,36	5	16	51,0	34,0	28,65
140	37,48	10	16	59,5	34,0	31,20	41,14	8	16	51,0	34,0	45,84
160	44,61	10	16	59,5	34,0	31,20	48,28	10	16	51,0	34,0	57,30
180	52,57	10	16	59,5	34,0	31,20	56,24	10	16	51,0	34,0	57,30
200	60,96	10	16	59,5	34,0	31,20	64,63	10	16	51,0	34,0	57,30
220	69,92	10	20	73,5	42,0	48,80	75,69	10	20	63,0	42,0	90,10
240	79,68	10	20	73,5	42,0	48,80	85,77	10	20	63,0	42,0	90,10
260	91,72	10	20	73,5	42,0	48,80	97,81	10	20	63,0	42,0	90,10
280	102,12	10	20	73,5	42,0	48,80	108,21	10	20	63,0	42,0	90,10
300	113,56	10	20	73,5	42,0	48,80	119,65	10	20	63,0	42,0	90,10

6.6 3 12-4



Acero A 42

Uniones a tracción. (Tornillos a cortadura)

Un perfil L a tracción

L	Tornillo ordinario						Tornillo de alta resistencia					
	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_T t	N^*_p t	n	ø mm	s mm	t mm	N^*_{TR} t
50 · 4	7,01	4	12	45,5	26,0	7,00	7,98	4	12	39,0	26,0	12,20
50 · 5	8,60	6	12	45,5	26,0	10,50	9,60	4	12	39,0	26,0	12,20
50 · 6	10,20	6	12	45,5	26,0	10,50	11,18	4	12	39,0	26,0	12,20
60 5	10,30	4	16	59,5	34,0	12,48	12,10	4	16	51,0	34,0	22,92
60 · 6	12,30	4	16	59,5	34,0	12,48	14,08	4	16	51,0	34,0	22,92
60 · 8	16,00	6	16	59,5	34,0	18,72	17,78	4	16	51,0	34,0	22,92
70 · 6	14,30	4	20	73,5	42,0	19,52	16,97	2	20	63,0	42,0	18,02
70 · 7	16,50	4	20	73,5	42,0	19,52	19,37	4	20	63,0	42,0	36,04
70 · 8	17,30	4	20	73,5	42,0	19,52	20,18	4	20	63,0	42,0	36,04
80 · 8	22,80	4	22	80,5	46,0	23,56	26,39	4	22	69,0	46,0	44,92
80 · 10	26,60	6	22	80,5	46,0	35,34	30,21	4	22	69,0	46,0	44,92
90 · 8	24,70	4	24	87,5	50,0	28,00	28,73	4	24	75,0	50,0	49,84
90 · 10	30,40	6	24	87,5	50,0	42,00	34,35	4	24	75,0	50,0	49,84
100 · 8	28,10	4	24	87,5	50,0	28,00	32,06	4	24	75,0	50,0	49,84
100 · 10	34,70	6	24	87,5	50,0	42,00	38,72	4	24	75,0	50,0	49,84
120 · 10	43,10	8	24	87,5	50,0	56,00	47,07	4	24	75,0	50,0	49,84
120 · 12	50,90	8	24	87,5	50,0	56,00	54,94	6	24	75,0	50,0	74,76
150 · 12	56,40	8	27	98,0	56,0	71,04	70,84	6	27	84,0	56,0	102,12
150 · 15	80,70	10	27	98,0	56,0	88,80	86,15	6	27	84,0	56,0	102,12
180 15	99,60	10	27	98,0	56,0	88,80	105,07	8	27	84,0	56,0	136,16
200 · 16	119,20	10	27	98,0	56,0	88,80	124,67	8	27	84,0	56,0	136,16
200 · 18	133,20	10	27	98,0	56,0	88,80	138,69	10	27	84,0	56,0	170,20

6.6 3 12-5

6.7. EMPALMES EN VIGAS Y PILARES

Cuando las piezas, vigas o columnas, son de gran longitud o cuando las necesidades del montaje lo imponen, es preciso realizar empalmes en obra.

Para el cálculo de estos empalmes existen dos criterios: según el primero, el empalme se calcula de manera que no constituya una zona débil dentro de la pieza, es decir, que pueda resistir los mismos esfuerzos que una sección de la pieza contigua a la zona del empalme. Según el segundo criterio, el empalme debe dimensionarse para resistir los esfuerzos reales a que está sometido o para unos esfuerzos tales que no puedan superarse en la vida de la estructura.

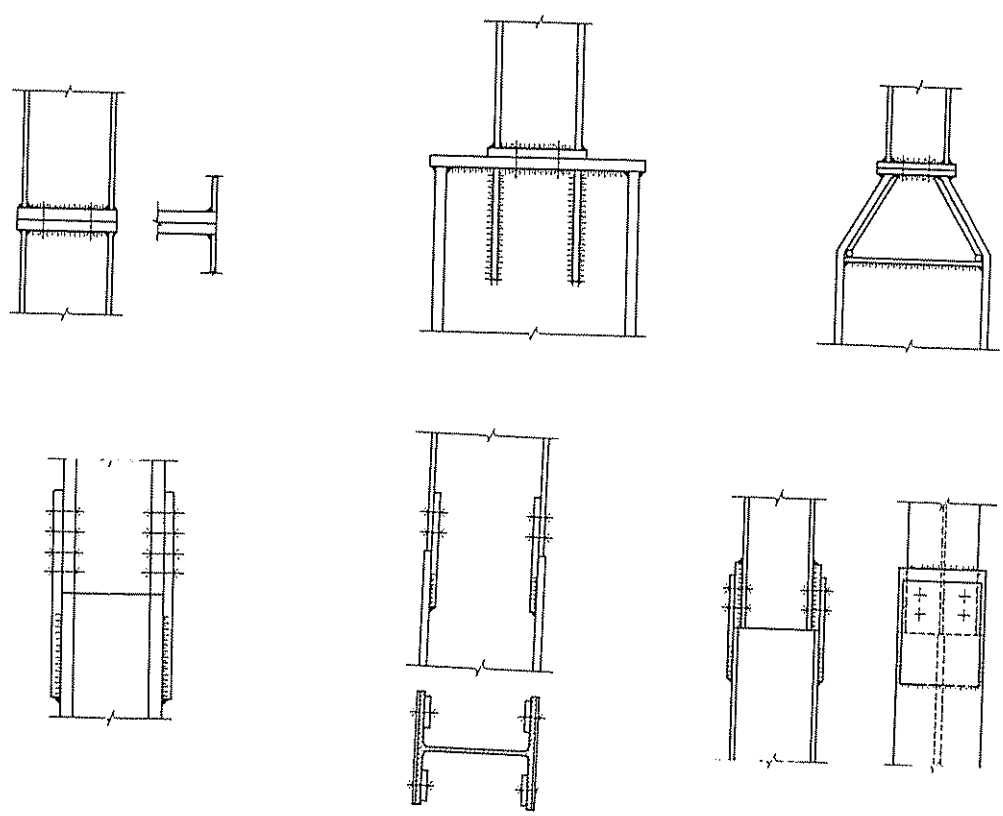
El primer criterio conduce a empalmes más robustos y caros que el segundo, pero debe emplearse cuando las condiciones de carga de la estructura puedan ser muy variables y no quiera limitarse por esta razón sus posibilidades resistentes.

En general, el segundo criterio es el utilizado, y los empalmes se realizan cuando es posible en zonas de la estructura de solicitaciones más reducidas. Sin embargo, las normas en general imponen restricciones a este criterio, estableciendo que el empalme con independencia de que los esfuerzos a que esté sometido sean reducidos, debe poder transmitir un determinado tanto por ciento de los esfuerzos (M^*, Q^*, N^*) que son capaces de absorber los elementos empalmados.

Así, por ejemplo, en la sección central de una viga simplemente apoyada y uniformemente cargada ($M^* = M^*_{máx}$, $Q^* = 0$), no se puede ejecutar un empalme, que transmita solamente el momento, realizado con cubrejuntas en las alas, no colocando cubrejuntas en el alma por no existir esfuerzo cortante o, por el contrario, en una viga con voladizos efectuar el empalme en el punto de momento nulo, dimensionando exclusivamente para la transmisión del esfuerzo cortante.

A este respecto, la Norma Básica MV-103 dice en su artículo 7.1 9:

> *Las uniones y empalmes deberán calcularse para los esfuerzos que los elementos unidos son capaces de transmitir, teniendo en cuenta sus dimensiones y su disposición.*
>
> *Se exceptúa el caso en que los esfuerzos actuantes hayan sido determinados con precisión y no pueden ser aumentados por la introducción de elementos nuevos en la construcción o por la presencia de elementos no considerados.*
>
> *Cuando los esfuerzos calculados sean de débil cuantía, es aconsejable realizar el empalme o unión*



[6.60]

de manera que pueda transmitir una tercera parte de cada una de las solicitaciones que son capaces de absorber las piezas unidas.

Cuando en los empalmes los cubrejuntas o elementos similares posean como mínimo los mismos valores del momento de inercia, del módulo resistente y del área de la sección, teniendo en cuenta las diferentes líneas de rotura posibles, que la pieza empalmada, no será necesaria su comprobación, aunque sí la de los correspondientes medios de unión.

6.7 1. **Empalmes de piezas sometidas a esfuerzos de tracción o compresión.**

En [6.60] se recogen diferentes disposiciones de empalmes, que esencialmente pueden agruparse en dos tipos fundamentales, empalmes a tope con placa de testa y empalmes con cubrejuntas.

6.7 1 1. *Empalmes con placa de testa.*

En el cálculo de los empalmes con placa de testa sometidos a tracción, si los elementos de unión están distribuidos simétricamente, es decir, su centro de gravedad coincide con el de las piezas unidas, los esfuerzos se distribuyen entre ellos proporcionalmente al área de cada tornillo (los roblones no se aconsejan) y en el caso normal de que todos sean del mismo diámetro, en partes iguales entre ellos.

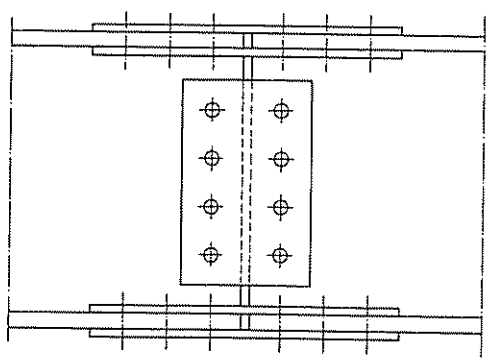
Es preciso para el dimensionamiento de la placa y los tornillos comprobar el efecto palanca (ver 6.5 2).

En el caso de compresión, el papel de los tornillos es exclusivamente el de elemento de fijación, transmitiéndose las compresiones directamente.

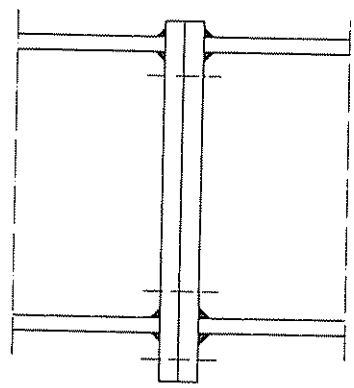
Si las solicitaciones del empalme son un esfuerzo axil y un momento, su cálculo se realiza análogamente al de las uniones con placa de testa **6.5 3 1**, pudiendo utilizarse los ábacos **6.6 3 11.**

6.7 1 2. *Empalmes con cubrejuntas.*

En las uniones a tracción con cubrejuntas, la sección neta de los cubrejuntas de alma y alas debe ser igual o mayor a las secciones netas del alma y alas de de la pieza empalmada cuya sección sea menor. Los tornillos de los cubrejuntas de alma trabajan



[6.61]



[6.62]

siempre a doble cortadura, mientras que los de las alas trabajarán a simple o doble cortadura, según se utilicen cubrejuntas simples o dobles. En general debe utilizarse doble cubrejunta para perfiles de ala estrecha, IPE IPN, a partir de 200 a 300 mm de canto y para los de ala ancha.

Los tornillos que unen los cubrejuntas del alma deberán absorber las tracciones que se canalizan por el alma y análogamente para los de las alas.

Para los empalmes que necesiten el uso de forros, y se utilicen roblones como elementos de unión, la Norma Básica MV-103 en su artículo 7.3 6 dice [1]:

> *Cuando un cubrejuntas no esté colocado directamente sobre la pieza a la que sirve, existiendo entre ambos forros u otros elementos (figura 7.2b) el número de roblones que sería necesario disponer, en el caso de contacto directo, se multiplicará por el factor:*
>
> $$1 + 0{,}3\ m$$
>
> *siendo:*
>
> m *el número de elementos intermedios.*

En los empalmes a compresión la Norma Básica MV-103 admite la transmisión del esfuerzo por contacto directo cuando se mecanicen las superficies correspondientes (artículo 7.18 de la Norma Básica MV-103). En este caso, aunque el papel de los tornillos o roblones es de mera sujeción, se aconseja dimensionarlos para la transmisión de la tercera parte de la compresión.

6.7 2. **Empalme de piezas sometidas a esfuerzos de flexión.**

Los dos tipos de empalmes más usuales son: empalme por medio de cubrejuntas de alas y alma [6.61], y empalme por medio de placa de testa [6.62].

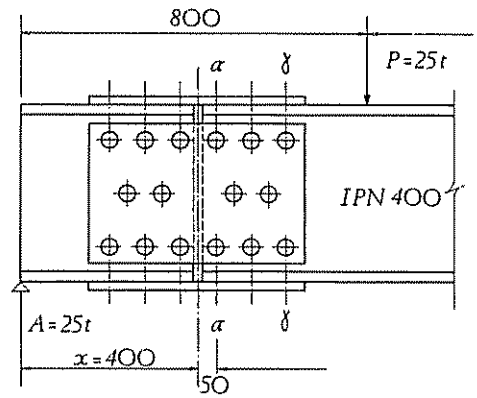
Ver ejemplo de aplicación en la página 226.

6.7 2 1. *Empalme con placa de testa.*

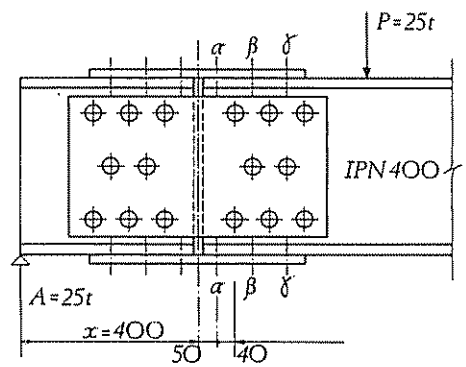
Para el cálculo de este tipo de empalme se tendrá en cuenta el artículo 6.5 3 2, pudiéndose utilizar los ábacos 6.6 3 11, tanto si la solicitación en el empalme es de flexión simple (M*, Q*), como en el caso más general de flexión compuesta (M*, Q*, N*).

---

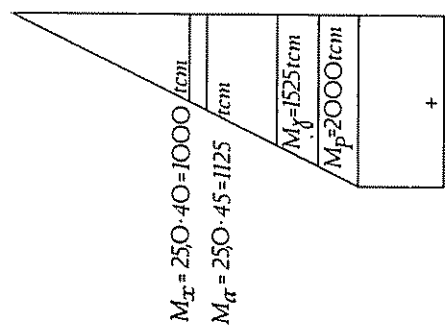
[1] La figura citada en la Norma se representa en [6.11].


800
α
γ
P=25t
IPN 400
A=25t
α
γ
x=400
50

a


P=25t
α
β
γ
IPN400
A=25t
α
β
γ
x=400
50
40

b


tcm
tcm
M_γ=1525tcm
M_p=2000tcm
+
M_x = 250·40=1000
M_α = 250·45=1125

c

[6.63]

6.7.2.2. *Empalme con cubrejuntas.*

En primer lugar, surge la cuestión de la determinación de las solicitaciones a que está sometido el empalme, caso de que se calcule para las solicitaciones a que realmente está sometido. Si bien en general, para mayor sencillez se supone como valor del momento solicitante el correspondiente a la junta, esta simplificación puede, en el caso de curvas de momentos muy pendientes, dar origen a errores de consideración.

Para precisar consideremos el caso representado en [6.63], con las dos disposiciones de empalme **a** y **b**.

En **a**, la sección α-α es la determinante para el cálculo de los cubrejuntas, tanto de alas como de alma, mientras que en **b** α-α es determinante para la sección del cubrejuntas de alas y β-β para la sección del cubrejuntas de alma. La sección determinante para el perfil es la γ-γ, donde se inicia la transmisión de los esfuerzos a los cubrejuntas.

La diferencia entre los distintos momentos en las diferentes secciones se pueden apreciar en el gráfico [6.63c]. Determinado el momento solicitante (si éste es mayor que la tercera parte del máximo admisible), es preciso dimensionar la sección de los cubrejuntas. Para el alma se utilizará siempre doble cubrejunta. En las alas se suele utilizar simple cubrejuntas en los perfiles IPN e IPE y doble cubrejuntas en los perfiles de las series HE.

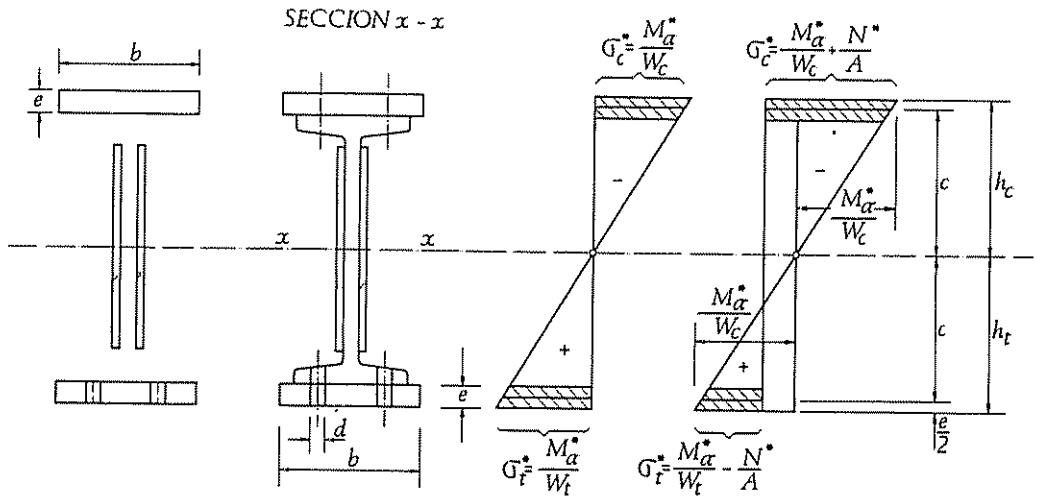
Para los cubrejuntas, tanto de las alas como del alma, suele seguirse el criterio de conservación de la capacidad resistente de la pieza en el empalme [1] y, por tanto, no es necesario su comprobación, así lo dice explícitamente la Norma Básica MV-103, en el artículo 7.1.9:

> *Cuando en los empalmes los cubrejuntas o elementos similares posean como mínimo los mismos valores del momento de inercia, del módulo resistente y del área de la sección, teniendo en cuenta las diferentes líneas de rotura posibles, que la pieza empalmada, no será necesaria su comprobación, aunque sí la de los correspondientes medios de unión.*

No obstante, si se adoptan valores menores, es preciso hacer la comprobación de los cubrejuntas, tanto de compresión como de tracción.

La comprobación del empalme puede hacerse de la siguiente forma [6.64]. Se parte de una disposición y dimensiones de los cubrejuntas y, por tanto, se conocen los valores de

[1] Los dimensiones de los cubrejuntas deben fijarse en consonancia con las dimensiones de las alas y de alma de la viga.


SECCION x - x
b
e
x
x
d
b
e
$\sigma_c^* = \frac{M_\alpha^*}{W_c}$
$\sigma_c^* = \frac{M_\alpha^*}{W_c} + \frac{N^*}{A}$
$\frac{M_\alpha^*}{W_c}$
$\frac{M_\alpha^*}{W_c}$
c
c
h_c
h_t
$\frac{e}{2}$
$\sigma_t^* = \frac{M_\alpha^*}{W_t}$
$\sigma_t^* = \frac{M_\alpha^*}{W_t} - \frac{N^*}{A}$

[6.64]

A_C, A_T, A_A área de los cubrejuntas de las alas comprimida, traccionada y del alma, respectivamente.

A_E, I_E, W_E área, momento de inercia y módulo resistente del conjunto de los cubrejuntas que constituyen el empalme. Todos estos valores referidos a la sección semineta.

La comprobación de los cubrejuntas de las alas implica que debe verificarse:

$$\sigma^*_c = \frac{M^*}{W_c} \leqslant \sigma_u$$

$$\sigma^*_T = \frac{M^*}{W_T} \leqslant \sigma_u$$

Para perfiles simétricos se toma $A_C = A_T$ y, por tanto, $W_C = W_T = W_E$.

Para el cálculo de los tornillos se supone que el esfuerzo cortante Q^* es íntegramente transmitido por el alma y el momento flector solicitante se distribuye proporcionalmente a las inercias de alas y alma. Es decir:

Momento transmitido por el alma

$$M^*_{alma} = \frac{I_{alma}}{I_{total}} M^*$$

y siguientes.

Momento transmitido por las alas $M^*_{alas} = M^* - M^*_{alma}$.

Los valores de I_{alma} e I_{total} están referidos a la sección bruta del perfil.

Los tornillos (o roblones) de los cubrejuntas de las alas deben resistir una fuerza cortante.

$$F^* = \frac{M^*_{alas}}{d_1}$$

siendo:

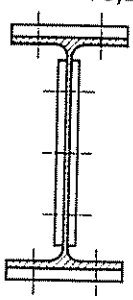
d_1 Distancia entre centros de gravedad de las alas superior e inferior.

El número de elementos de unión es:

$$n = \frac{F^*}{R_c}$$

6.7 2. EJEMPLO DE APLICACION

Empalme en un perfil IPE 300, en una sección donde las solicitaciones son $M^* = 10{,}25\ m \cdot t$ *y* $Q^* = 8{,}75\ t$.



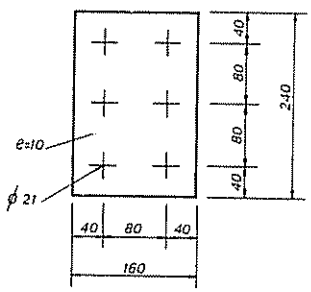
6.7 2 2-A clasifica las solicitaciones dadas dentro de la hipótesis III.

Los cubrejuntas son fijados por **6.7 2 2-B,** así como el tornillo adecuado.

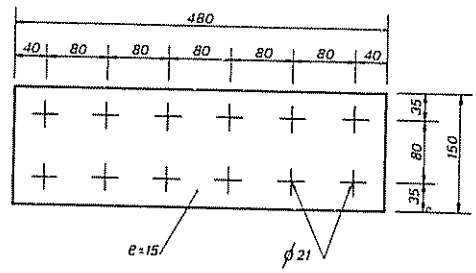
2 cubrejuntas de alma - 3.2.20
2 cubrejuntas de alas - S.6.20
30 tornillos TR20

El Apéndice III define los tipos de cubrejuntas:

TIPO 3.2.20



TIPO S.6.20



siendo R_c la solicitación de agotamiento a cortadura o a aplastamiento del elemento de unión que se emplee.

Los cubrejuntas del alma se dimensionan para resistir Q* y M^*_{alma}, debiendo verificarse

$$\sigma_{eo} = \sqrt{\sigma^* + 3\,\tau^{*2}} \leqslant \sigma_u$$

$$\sigma^* = \frac{M_{alma}}{W_{CA}} \qquad \tau^* = \frac{Q^*}{A_{alma}}$$

W_{CA} módulo resistente de los cubrejuntas de alma [6.64].

El cálculo de los elementos de unión de los cubrejuntas del alma solicitados por (M^*_{alma}, Q*) se hace de acuerdo con el artículo 6.5 1, pudiendo utilizarse las tablas incluidas en dicho artículo.

Considerando ahora el empalme en su conjunto, si además de las solicitaciones indicadas (M*, Q*) existiese una solicitación axil N*, el cálculo se realizaría en forma análoga, distribuyendo el esfuerzo N* entre alas y alma proporcionalmente a las áreas respectivas e introduciendo los valores obtenidos en la comprobación de las tensiones y de los elementos de unión.

Empalmes tipificados:

En **6.7 2 2** se recogen unos empalmes tipificados para las series de perfiles IPE y HEB en tres diferentes hipótesis de solicitaciones:

Hipótesis I	1/3 Q*	1/3 M*
Hipótesis II	Q*	1/3 M*
Hipótesis III	1/3 Q*	M*

dentro de las cuales pueden encajarse los casos más frecuentes.

En **6.7 2 2-A** se dan para dichas series IPE y HEB los valores absolutos de M* y Q*, que corresponden a cada una de las hipótesis anteriores, y en **6.7 2 2-B** se dan todas las dimensiones y características de cubrejuntas y tornillos, para las mismas series en las tres hipótesis.

Los empalmes dimensionados por el criterio primero, citado anteriormente en el texto (empalme que resiste las solicitaciones máximas M* y Q* del perfil), pueden realizarse adoptando para las alas los cubrejuntas y tornillos de la hipótesis III y para el alma, los correspondientes a la hipótesis II.

Los cubrejuntas tipificados a que se refieren las tablas se recogen en el Apéndice III de este capítulo.

Empalme de piezas sometidas a esfuerzos de flexión.
Empalme con cubrejuntas.

Hipótesis de solicitaciones de agotamiento

IPE	Hipótesis I		Hipótesis II		Hipótesis III	
	1/3 Q*	1/3 M*	Q*	1/3 M*	1/3 Q*	M*
160	3,51	0,94	10,54	0,94	3,51	2,83
180	4,21	1,27	12,64	1,27	4,21	3,80
200	4,95	1,68	14,84	1,68	4,95	5,04
220	5,73	2,18	17,18	2,18	5,73	6,55
240	6,60	2,81	19,81	2,81	6,60	8,42
270	7,91	3,72	23,73	3,72	7,91	11,15
300	9,47	4,83	28,41	4,83	9,47	14,48
330	11,00	6,18	33,00	6,18	11,00	18,54
360	12,79	7,83	38,36	7,83	12,79	23,50
400	15,24	10,05	45,71	10,05	15,24	30,16
450	18,67	13,00	56,01	13,00	18,67	39,00
500	22,39	16,72	67,17	16,72	22,39	50,18
550	26,85	21,15	80,55	21,15	26,85	63,44
600	31,41	26,60	94,24	26,60	31,41	79,82

6.7 2 2-A

Empalme de piezas sometidas a esfuerzos de flexión.
Empalme con cubrejuntas.

Hipótesis de solicitaciones de agotamiento

HEB	Hipótesis I		Hipótesis II		Hipótesis III	
	1/3 Q*	1/3 M*	Q*	1/3 M*	1/3 Q*	M*
160	5,64	2,70	16,91	2,70	5,64	8,09
180	6,77	3,69	20,30	3,69	6,77	11,08
200	8,01	4,94	24,02	4,94	8,01	14,82
220	9,30	6,38	27,90	6,38	9,30	19,14
240	10,70	8,13	32,11	8,13	10,70	24,39
260	11,66	9,97	34,98	9,97	11,66	29,90
280	13,22	11,96	39,65	11,96	13,22	35,88
300	14,85	14,56	44,55	14,56	14,85	43,68
320	16,59	16,73	49,78	16,73	16,59	50,18
340	18,37	18,72	55,10	18,72	18,37	56,16
360	20,18	20,80	60,55	20,80	20,18	62,40
400	24,08	24,96	72,24	24,96	24,08	74,88
450	28,16	30,77	84,47	30,77	28,16	92,30
500	32,31	37,18	96,93	37,18	32,31	111,54
550	36,68	43,07	110,05	43,07	36,68	129,22
600	41,36	49,40	124,09	49,40	41,36	148,20

6.7 2 2-A

Empalme de piezas sometidas a esfuerzos de flexión.
Empalme con cubrejuntas.

Cubrejuntas y tornillos

IPE	Hipótesis I				Hipótesis II			
	Alma		Alas		Alma		Alas	
	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos
160	2 · 2 · 12 2 · 2 · 12	T 12 TR 12	S 4 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12	2 · 4 · 12 2 · 4 · 12	T 12 TR 12	S 4 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12
180	3 · 2 · 12 3 · 2 · 12	T 12 TR 12	S 6 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12	3 · 4 · 12 3 · 2 · 12	T 12 TR 12	S 6 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12
200	3 · 2 · 12 3 · 2 · 12	T 12 TR 12	S 6 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12	3 · 4 · 12 3 · 2 · 12	T 12 TR 12	S 6 · 12 S 4 · 12	T 12 TR 12
220	2 · 2 · 16 2 · 2 · 16	T 16 TR 16	S 4 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16	2 · 4 · 16 2 · 4 · 16	T 16 TR 16	S 4 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16
240	3 · 2 · 16 3 · 2 · 16	T 16 TR 16	S 4 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16	3 · 4 · 16 3 · 2 · 16	T 16 TR 16	S 4 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16
270	3 · 2 · 16 3 · 2 · 16	T 16 TR 16	S 6 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16	3 · 4 · 16 3 · 4 · 16	T 16 TR 16	S 6 · 16 S 4 · 16	T 16 TR 16
300	3 · 2 · 20 3 · 2 · 20	T 20 TR 20	S 4 · 20 S 4 · 20	T 20 TR 20	3 · 4 · 20 3 · 2 · 20	T 20 TR 20	S 4 · 20 S 4 · 20	T 20 TR 20
330	3 · 2 · 22 3 · 2 · 22	T 22 TR 22	S 4 · 22 S 4 · 22	T 22 TR 22	3 · 4 · 22 3 · 2 · 22	T 22 TR 22	S 4 · 22 S 4 · 22	T 22 TR 22
360	3 · 2 · 24 3 · 2 · 24	T 24 TR 24	S 4 · 24 S 4 · 24	T 24 TR 24	3 · 4 · 24 3 · 2 · 24	T 24 TR 24	S 4 · 24 S 4 · 24	T 24 TR 24
400	3 · 2 · 27 4 · 2 · 22	T 27 TR 22	S 4 · 27 S 4 · 22	T 27 TR 22	3 · 2 · 27 4 · 2 · 22	T 27 TR 22	S 4 · 27 S 4 · 22	T 27 TR 22
450	3 · 2 · 27 4 · 2 · 24	T 27 TR 24	S 4 · 27 S 4 · 24	T 27 TR 24	3 · 4 · 27 4 · 2 · 24	T 27 TR 24	S 4 · 27 S 4 · 24	T 27 TR 24
500	4 · 2 · 27 5 · 2 · 22	T 27 TR 22	S 4 · 27 S 4 · 22	T 27 TR 22	4 · 4 · 27 5 · 2 · 22	T 27 TR 22	S 4 · 27 S 4 · 22	T 27 TR 22
550	4 · 2 · 27 5 · 2 · 24	T 27 TR 24	S 6 · 27 S 4 · 24	T 27 TR 24	4 · 4 · 27 5 · 2 · 24	T 27 TR 24	S 6 · 27 S 4 · 24	T 27 TR 24
600	5 · 2 · 27 5 · 2 · 27	T 27 TR 27	S 6 · 27 S 4 · 27	T 27 TR 27	5 · 4 · 27 5 · 2 · 27	T 27 TR 27	S 6 · 27 S 4 · 27	T 27 TR 27

6.7 2 2-B

Hipótesis III				S_b	t_a	IPE
Alma		Alas				
Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos			
— 2 · 4 · 12	— TR 12	— S 6 · 12	— TR 12	44	19	160
— 3 · 2 · 12	— TR 12	— S 8 · 12	— TR 12	48	21,5	180
— 3 · 2 · 12	— TR 12	— S 10 · 12	— TR 12	52	24	200
2 · 4 · 16 2 · 4 · 16	T 16 TR 16	S 10 · 16 S 6 · 16	T 16 TR 16	58	26	220
— 3 · 2 · 16	— TR 16	— S 8 · 16	— TR 16	65	27,5	240
— 3 4 · 16	— TR 16	— S 8 · 16	— TR 16	72	31,5	270
3 · 4 · 20 3 · 2 · 20	T 20 TR 20	S 10 · 20 S 6 · 20	T 20 TR 20	80	35	300
3 · 4 · 22 3 · 2 · 22	T 22 TR 22	S 10 · 22 S 6 · 22	T 22 TR 22	85	37,5	330
3 · 4 · 24 3 · 2 · 24	T 24 TR 24	S 10 · 24 S 6 · 24	T 24 TR 24	90	40	360
3 · 4 · 27 3 · 2 · 22	T 27 TR 22	S 10 · 27 S 8 · 22	T 27 TR 22	95	42,5	400
3 · 4 · 27 4 · 2 · 24	T 27 TR 24	S 10 · 27 S 8 · 24	T 27 TR 24	100	45	450
— 5 · 2 · 22	— TR 22	— S 10 · 22	— TR 22	110	45	500
— 5 · 2 · 24	— TR 24	— S 10 · 24	— TR 24	115	47,5	550
— 5 · 2 · 27	— TR 27	— S 8 · 27	— TR 27	120	50	600

Ejemplo de notación: **6.7 2 2-B**

Clase	Tipo	Cubrejuntas de alma	Cubrejuntas de alas	Tornillo
E[1] —	C[2] —	3 · 2 · 20 —	S · 4 · 20 —	T

[1] Empalme.
[2] Cubrejuntas.

Empalme de piezas sometidas a esfuerzos de flexión.
Empalme con cubrejuntas.

Cubrejuntas y tornillos

HEB	Hipótesis I				Hipótesis II			
	Alma		Alas		Alma		Alas	
	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos
180	2 · 2 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16	2 · 2 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16
200	2 · 2 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16	2 · 4 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16
220	2 · 2 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16	2 · 4 · 16	TR 16	D 4 · 16	TR 16
240	2 · 2 · 20	TR 20	D 4 · 20	TR 20	2 · 4 · 20	TR 20	D 4 · 20	TR 20
260	2 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22	2 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22
280	2 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24	2 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24
300	2 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24	2 · 4 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24
320	2 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24	2 · 4 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24
340	3 · 2 · 20	TR 20	D 4 · 20	TR 20	3 · 4 · 20	TR 20	D 4 · 20	TR 20
360	3 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22	3 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22
400	3 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24	3 · 4 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24
450	4 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22	4 · 2 · 22	TR 22	D 4 · 22	TR 22
500	4 · 2 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24	4 · 4 · 24	TR 24	D 4 · 24	TR 24
550	4 · 2 · 27	TR 27	D 4 · 27	TR 27	4 · 2 · 27	TR 27	D 4 · 27	TR 27
600	5 · 2 · 27	TR 27	D 4 · 27	TR 27	5 · 2 · 27	TR 27	D 4 · 27	TR 27

6.7 2 2-B

Hipótesis III				S_b	t_2	HEB
Alma		Alas				
Cubrejuntas	Tornillos	Cubrejuntas	Tornillos			
2 · 2 · 16	TR 16	D 6 · 16	TR 16	110	35	180
2 · 2 · 16	TR 16	D 8 · 16	TR 16	130	35	200
2 · 2 · 16	TR 16	D 10 · 16	TR 16	140	40	220
2 · 2 · 20	TR 20	D 8 · 20	TR 20	150	45	240
2 · 2 · 22	TR 22	D 6 · 22	TR 22	160	50	260
2 · 2 · 24	TR 24	D 6 · 24	TR 24	170	55	280
2 · 2 · 24	TR 24	D 8 · 24	TR 24	190	55	300
2 · 2 · 24	TR 24	D 8 · 24	TR 24	190	55	320
3 · 2 · 20	TR 20	D 10 · 20	TR 20	190	55	340
3 · 2 · 22	TR 22	D 10 · 22	TR 22	190	55	360
3 · 2 · 24	TR 24	D 8 · 24	TR 24	190	55	400
4 · 2 · 22	TR 22	D 10 · 22	TR 22	190	55	450
4 · 4 · 24	TR 24	D 10 · 24	TR 24	190	55	500
4 · 2 · 27	TR 27	D 8 · 27	TR 27	190	55	550
5 · 2 · 27	TR 27	D 8 · 27	TR 27	190	55	600

6.7 2 2-B

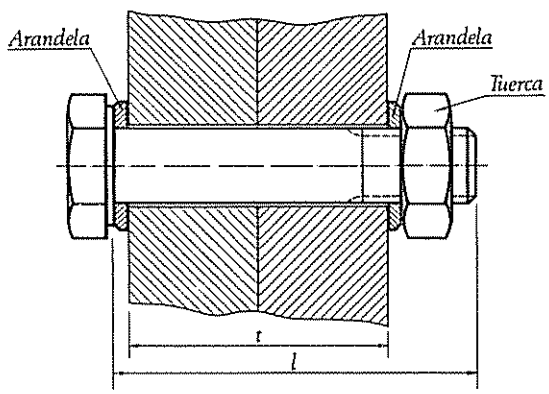
Apéndice I

Longitud de vástago
Longitud de apretadura
Peso de los tornillos

Las longitudes usuales con que se suministra cada tipo de tornillos ordinarios y las correspondientes longitudes de la caña *c*, [6.3a] y [6.3b], se indican en **A I.1**, tomada de la norma MV-106.

Los límites de la longitud de apretadura *t*, [6.3a] y [6.3b], es decir, de la suma de los espesores de las piezas a unir, con que puede utilizarse cada tipo de tornillo ordinario, en función de la longitud *l* de su vástago, se dan en **A I.2**. Estos límites se han determinado para que la rosca y su salida, con excepción de las tolerancias, no penetren en la longitud de apretadura.

El peso de 1 000 tornillos con tuerca, de cada tipo, en función de la longitud de su vástago, con un peso específico del acero de 7,85 kg/dm³, se da en **A I.3.**



[6.65]

Las longitudes usuales con las que se suministran los distintos tipos de tornillos de alta resistencia [6.5], así como su peso por cada 1 000 piezas, con un peso específico del acero de 7,85 kg/dm³, se indican en **A I.4**, tomada de la norma MV-107.

Los límites de la longitud de apretadura *t* [6.65], es decir, de la suma de los espesores de las piezas a unir, recomendados para cada tipo de tornillo de alta resistencia, en función de la longitud *l* de su vástago, se dan en **A I.5.**

Longitud de los tornillos ordinarios y calibrados

Longitud del vástago *l* mm	Longitud, *c*, de la caña mm									
	T 10	T 12	T 16	T 20	T 22	T 24	T 27	T 30	T 33	T 36
	TC 10	TC 12	TC 16	TC 20	TC 22	TC 24	TC 27	TC 30	TC 33	TC 36
30	10	8	—	—	—	—	—	—	—	—
35	15	13	9	—	—	—	—	—	—	—
40	20	18	14	10	8	—	—	—	—	—
45	25	23	19	15	13	11	—	—	—	—
50	30	28	24	20	18	16	—	—	—	—
55	35	33	29	25	23	21	—	—	—	—
60	40	38	34	30	28	26	23	—	—	—
65	45	43	39	35	33	31	28	—	—	—
70	50	48	44	40	38	36	33	—	—	—
75	55	53	49	45	43	41	38	—	—	—
80	—	58	54	50	48	46	43	40	—	—
85	—	63	59	55	53	51	48	45	—	—
90	—	68	64	60	58	56	53	50	—	—
95	—	73	69	65	63	61	58	55	—	—
100	—	78	74	70	68	66	63	60	57	54
105	—	83	79	75	73	71	68	65	62	59
110	—	88	84	80	78	76	73	70	67	64
115	—	93	89	85	83	81	78	75	72	69
120	—	98	94	90	88	86	83	80	77	74
125	—	—	99	95	93	91	88	85	82	79
130	—	—	104	100	98	96	93	90	87	84
135	—	—	109	105	103	101	98	95	92	89
140	—	—	114	110	108	106	103	100	97	94
145	—	—	119	115	113	111	108	105	102	99
150	—	—	124	120	118	116	113	110	107	104
155	—	—	—	125	123	121	118	115	112	109
160	—	—	—	130	128	126	123	120	117	114
165	—	—	—	135	133	131	128	125	122	119
170	—	—	—	140	138	136	133	130	127	124
175	—	—	—	145	143	141	138	135	132	129
180	—	—	—	—	148	146	143	140	137	134
185	—	—	—	—	153	151	148	145	142	139
190	—	—	—	—	158	156	153	150	147	144
195	—	—	—	—	163	161	158	155	152	149
200	—	—	—	—	168	166	163	160	157	154

A I.1

Longitud de apretadura de los tornillos ordinarios y calibrados

Longitud del vástago *l* mm	Límite, *t*, de la longitud de apretadura mm									
	T 10	T 12	T 16	T 20	T 22	T 24	T 27	T 30	T 33	T 36
	TC 10	TC 12	TC 16	TC 20	TC 22	TC 24	TC 27	TC 30	TC 33	TC 36
30	6 a 10	4 a 8	—	—	—	—	—	—	—	—
35	11 a 15	9 a 13	5 a 9	—	—	—	—	—	—	—
40	16 a 20	14 a 18	10 a 14	6 a 10	5 a 9	—	—	—	—	—
45	21 a 25	19 a 23	15 a 19	11 a 15	10 a 14	8 a 12	—	—	—	—
50	26 a 30	24 a 28	20 a 24	16 a 20	15 a 19	13 a 17	—	—	—	—
55	31 a 35	29 a 33	25 a 29	21 a 25	20 a 24	18 a 22	—	—	—	—
60	36 a 40	34 a 38	30 a 34	26 a 30	25 a 29	23 a 27	20 a 24	—	—	—
65	41 a 45	39 a 43	35 a 39	31 a 35	30 a 34	28 a 32	25 a 29	—	—	—
70	46 a 50	44 a 48	40 a 44	36 a 40	35 a 39	33 a 37	30 a 34	—	—	—
75	51 a 55	49 a 53	45 a 49	41 a 45	40 a 44	38 a 42	35 a 39	—	—	—
80	—	54 a 58	50 a 54	46 a 50	45 a 49	43 a 47	40 a 44	38 a 42	—	—
85	—	59 a 63	55 a 59	51 a 55	50 a 54	48 a 52	45 a 49	43 a 47	—	—
90	—	64 a 68	60 a 64	56 a 60	55 a 59	53 a 57	50 a 54	48 a 52	—	—
95	—	69 a 73	65 a 69	61 a 65	60 a 64	58 a 62	55 a 59	53 a 57	—	—
100	—	74 a 78	70 a 74	66 a 70	65 a 69	63 a 67	60 a 64	58 a 62	55 a 59	52 a 56
105	—	79 a 83	75 a 79	71 a 75	70 a 74	68 a 72	65 a 69	63 a 67	60 a 64	57 a 61
110	—	84 a 88	80 a 84	76 a 80	75 a 79	73 a 77	70 a 74	68 a 72	65 a 69	62 a 66
115	—	89 a 93	85 a 89	81 a 85	80 a 84	78 a 82	75 a 79	73 a 77	70 a 74	67 a 71
120	—	94 a 98	90 a 94	86 a 90	85 a 89	83 a 87	80 a 84	78 a 82	75 a 79	72 a 76
125	—	—	95 a 99	91 a 95	90 a 94	88 a 92	85 a 89	83 a 87	80 a 84	77 a 81
130	—	—	100 a 104	96 a 100	95 a 99	93 a 97	90 a 94	88 a 92	85 a 89	82 a 86
135	—	—	105 a 109	101 a 105	100 a 104	98 a 102	95 a 99	93 a 97	90 a 94	87 a 91
140	—	—	110 a 114	106 a 110	105 a 109	103 a 107	100 a 104	98 a 102	95 a 99	92 a 96
145	—	—	115 a 119	111 a 115	110 a 114	108 a 112	105 a 109	103 a 107	100 a 104	97 a 101
150	—	—	120 a 124	116 a 120	115 a 119	113 a 117	110 a 114	108 a 112	105 a 109	102 a 106
155	—	—	—	121 a 125	120 a 124	118 a 122	115 a 119	113 a 117	110 a 114	107 a 111
160	—	—	—	126 a 130	125 a 129	123 a 127	120 a 124	118 a 122	115 a 119	112 a 116
165	—	—	—	131 a 135	130 a 134	128 a 132	125 a 129	123 a 127	120 a 124	117 a 121
170	—	—	—	136 a 140	135 a 139	133 a 137	130 a 134	128 a 132	125 a 129	122 a 126
175	—	—	—	141 a 145	140 a 144	138 a 142	135 a 139	133 a 137	130 a 134	127 a 131
180	—	—	—	—	145 a 149	143 a 147	140 a 144	138 a 142	135 a 139	132 a 136
185	—	—	—	—	150 a 154	148 a 152	145 a 149	143 a 147	140 a 144	137 a 141
190	—	—	—	—	155 a 159	153 a 157	150 a 154	148 a 152	145 a 149	142 a 146
195	—	—	—	—	160 a 164	158 a 162	155 a 159	153 a 157	150 a 154	147 a 151
200	—	—	—	—	165 a 169	163 a 167	160 a 164	158 a 162	155 a 159	152 a 156

A 1.2

Peso de los tornillos ordinarios y calibrados

Longitud del vástago *l* mm	Peso de 1 000 tornillos con tuerca kg									
	T 10	T 12	T 16	T 20	T 22	T 24	T 27	T 30	T 33	T 36
	TC 10	TC 12	TC 16	TC 20	TC 22	TC 24	TC 27	TC 30	TC 33	TC 36
30	40,4	57,5	—	—	—	—	—	—	—	—
35	43,5	62,0	117	—	—	—	—	—	—	—
40	46,6	66,4	125	222	281	—	—	—	—	—
45	49,7	70,8	133	234	296	369	—	—	—	—
50	52,8	75,3	141	247	311	387	—	—	—	—
55	55,9	79,7	149	259	326	405	—	—	—	—
60	58,9	84,2	157	272	341	423	585	—	—	—
65	62,0	88,6	164	284	356	440	607	—	—	—
70	65,1	93,0	172	296	370	458	630	—	—	—
75	68,2	97,5	180	309	385	476	652	—	—	—
80	—	102	188	321	400	494	675	899	—	—
85	—	107	196	334	415	511	697	917	—	—
90	—	111	204	346	430	529	720	945	—	—
95	—	116	212	358	445	547	742	972	—	—
100	—	120	220	371	460	565	765	1 000	1 250	1 560
105	—	124	228	383	475	582	787	1 030	1 280	1 600
110	—	129	236	395	490	600	810	1 060	1 310	1 640
115	—	134	244	407	504	618	832	1 090	1 350	1 680
120	—	138	252	420	519	636	855	1 110	1 380	1 720
125	—	—	260	432	543	653	877	1 140	1 410	1 760
130	—	—	367	445	549	671	900	1 170	1 450	1 800
135	—	—	275	457	564	689	922	1 200	1 480	1 840
140	—	—	283	469	579	707	945	1 220	1 510	1 880
145	—	—	291	482	594	724	967	1 250	1 550	1 920
150	—	—	299	494	608	742	990	1 280	1 580	1 960
155	—	—	—	506	623	760	1 010	1 310	1 610	2 000
160	—	—	—	519	638	778	1 030	1 340	1 650	2 040
165	—	—	—	531	653	795	1 050	1 360	1 680	2 080
170	—	—	—	543	660	813	1 080	1 390	1 710	2 120
175	—	—	—	556	683	831	1 100	1 420	1 750	2 160
180	—	—	—	—	698	849	1 120	1 450	1 780	2 200
185	—	—	—	—	713	866	1 140	1 470	1 820	2 240
190	—	—	—	—	718	884	1 170	1 500	1 850	2 280
195	—	—	—	—	743	902	1 190	1 530	1 880	2 320
200	—	—	—	—	758	920	1 210	1 560	1 920	2 360
Peso de la tuerca kg/1 000 piezas	10,9	15,9	30,8	60,3	80,2	103	154	216	271	369

A 1.3

Peso de tornillos de alta resistencia

Longitud del vástago *l* mm	Peso de 1 000 tornillos sin tuerca kg					
	TR 12	TR 16	TR 20	TR 22	TR 24	TR 27
30	42,0	—	—	—	—	—
35	52,0	—	—	—	—	—
40	56,0	105	—	—	—	—
45	59,0	113	—	—	—	—
50	64,0	121	194	—	—	—
55	68,0	129	207	264	—	—
60	72,0	137	219	279	353	—
65	77,0	145	232	294	371	—
70	81,0	153	244	309	389	519
75	—	157	257	324	407	542
80	—	165	269	339	425	564
85	—	173	282	354	443	587
90	—	181	288	363	449	609
95	—	189	301	378	467	632
100	—	197	313	393	485	645
105	—	205	326	408	503	666
110	—	—	338	423	521	687
115	—	—	351	438	539	708
120	—	—	363	453	557	729
125	—	—	376	468	575	750
130	—	—	388	483	593	771
135	—	—	—	—	611	792
140	—	—	—	—	629	813
145	—	—	—	—	647	834
150	—	—	—	—	665	855
155	—	—	—	—	—	876
160	—	—	—	—	—	897
Peso de la tuerca kg / 1 000 piezas	23,3	44,8	73,9	104	155	224

A 1.4

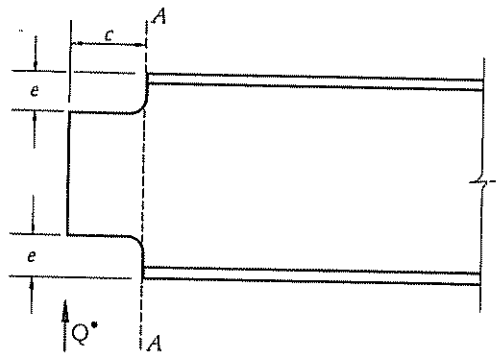
Longitud de apretadura de tornillos de alta resistencia

Longitud del vástago l mm	Límite, t, de la longitud de apretadura mm					
	TR 12	TR 16	TR 20	TR 22	TR 24	TR 27
30	6-10	—	—	—	—	—
35	11-14	—	—	—	—	—
40	15-19	10-14	—	—	—	—
45	20-24	15-19	—	—	—	—
50	25-29	20-23	15-19	—	—	—
55	30-34	24-28	20-24	19-23	—	—
60	35-38	29-33	25-29	24-28	22-26	—
65	39-43	34-38	30-34	29-33	27-31	—
70	44-48	39-43	35-39	34-37	32-36	27-31
75	—	44-48	40-44	38-42	37-41	32-36
80	—	49-52	45-49	43-47	42-46	37-41
85	—	53-57	50-53	48-52	47-50	42-46
90	—	58-62	54-58	53-57	51-55	47-51
95	—	63-67	59-63	58-62	56-60	52-56
100	—	68-72	64-68	63-67	61-65	57-61
105	—	73-77	69-73	68-72	66-70	62-66
110	—	—	74-78	73-77	71-75	67-71
115	—	—	79-83	78-82	76-80	72-76
120	—	—	84-88	83-86	81-85	77-80
125	—	—	89-92	87-91	86-89	81-85
130	—	—	93-97	92-96	90-94	86-90
135	—	—	—	—	95-99	91-95
140	—	—	—	—	100-104	96-100
145	—	—	—	—	105-109	101-105
150	—	—	—	—	110-114	106-110
155	—	—	—	—	—	111-115
160	—	—	—	—	—	116-120

A I.5

Apéndice II

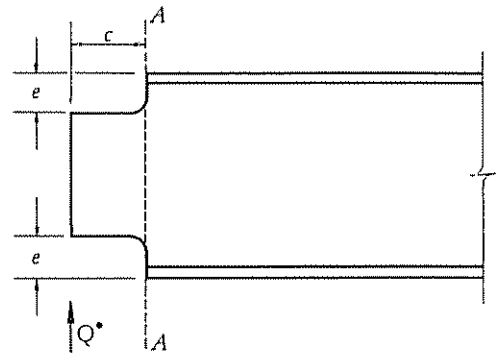
Resistencia de vigas con despalmillado de una o dos alas



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPN	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
80	15	0,99	0,68	0,51	0,41	0,33	0,28
	25	0,36	0,24	0,18	0,15	0,12	0,10
100	15	2,13	1,50	1,15	0,93	0,75	0,63
	25	1,14	0,78	0,59	0,48	0,38	0,32
120	15	3,75	2,73	2,12	1,73	1,40	1,17
	25	2,41	1,70	1,31	1,06	0,85	0,71
140	15	5,85	4,40	3,47	2,84	2,31	1,94
	25	4,19	3,05	2,37	1,93	1,56	1,34
	35	2,69	1,91	1,46	1,18	0,95	0,79
160	20	7,42	5,67	4,50	3,71	3,03	2,55
	30	5,53	4,10	3,21	2,62	2,12	1,78
	40	3,78	2,71	2,09	1,70	1,37	1,15
	50	2,25	1,57	1,20	0,96	0,77	0,65
180	20	10,30	8,10	6,53	5,43	4,46	3,77
	30	8,13	6,21	4,93	4,06	3,31	2,79
	40	6,06	4,49	3,51	2,87	2,33	1,95
	50	4,14	2,97	2,29	1,86	1,50	1,26
200	20	13,61	10,98	9,00	7,55	6,24	5,30
	30	11,20	8,80	7,10	5,90	4,84	4,10
	40	8,84	6,75	5,36	4,42	3,60	3,04
	50	6,58	4,88	3,82	3,12	2,53	2,12
	60	4,50	3,23	2,49	2,02	1,63	1,37
220	30	14,70	11,86	9,72	8,15	6,74	5,72
	40	12,09	9,51	7,67	6,37	5,23	4,42
	50	9,55	7,29	5,79	4,77	3,89	3,28
	60	7,11	5,27	4,12	3,37	2,73	2,29
	70	4,86	3,49	2,69	2,18	1,76	1,48
240	30	18,62	15,38	12,80	10,83	9,02	7,69
	40	15,79	12,74	10,44	8,46	7,24	6,14
	50	12,99	10,21	8,24	6,85	5,62	4,75
	60	10,25	7,83	6,22	5,13	4,18	3,52
	70	7,64	5,66	4,43	3,62	2,93	2,46

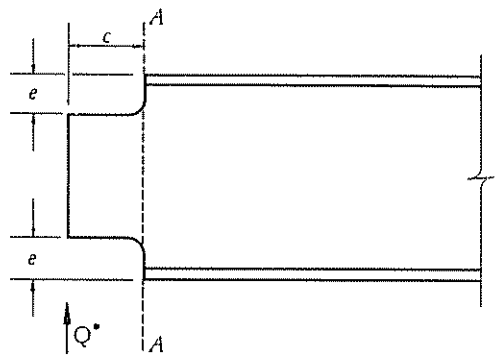
A II.1



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPN	e mm	c mín 40	60	80	100	125	150
260	30	23,19	19,56	16,51	14,10	11,83	10,13
	40	20,12	16,62	13,83	11,71	9,74	8,31
	50	17,06	13,77	11,28	9,46	7,82	6,64
	60	14,03	11,03	8,90	7.40	6,07	5,13
	70	11,08	8,46	6,72	5,54	4,52	3,81
280	30	28,22	24,24	20,73	17,83	15,10	13,00
	40	24,92	21,02	17,74	15,16	12,71	10.89
	50	21,62	17,86	14,86	12,58	10,47	8,93
	60	18,33	14,79	12,12	10,17	8,40	7,13
	70	15,08	11,85	9,57	7,95	6,52	5,52
300	30	33,69	29,41	25,47	22,15	18.86	16,31
	40	30,17	25,92	22,17	19,12	16,15	13,90
	50	26,65	22,48	18,97	16,21	13,59	11.64
	60	23,12	19,10	15,89	13,45	11,20	9,55
	70	19,60	15,82	12,97	10.87	8,99	7,63
320	35	37,74	33,18	28,90	25,25	21,57	18,71
	45	34,00	29,45	25,35	21,96	18,62	16,07
	55	30,25	25.76	21,89	18,79	15,81	13,58
	65	26.50	22,13	18,54	15,77	13.17	11,26
	75	22,74	18,57	15,34	12,92	10,72	9,12
340	35	43,99	39,18	34,50	30.39	26,16	22,79
	45	40,04	35,20	30,66	26,79	22.89	19.84
	55	36,07	31,25	26.90	23,29	19,75	17,04
	65	32,10	27,33	23,22	19.93	16,78	14,41
	75	28.11	23,47	19,67	16,73	13,98	11,94
360	35	51,06	45,99	40,91	36,32	31,49	27,57
	45	46,87	41,75	36,76	32,39	27,87	24,29
	55	42,67	37,51	32,67	28,54	24,39	21,15
	65	38,44	33,30	28,66	24,82	21,05	18,16
	75	34,20	29,12	24,75	21.24	17,88	15,35

A II.1



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

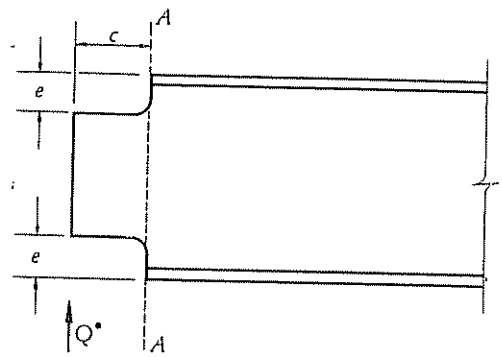
IPN	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
380	40	56,01	50,71	45,31	40,38	35,13	30,84
	50	51,60	46,23	40,92	36,19	31,26	27,31
	60	47,18	41,76	36,58	32,09	27,52	23,92
	70	42,74	37,31	32,31	28,10	23,92	20,69
	80	38,28	32,88	28,13	24,25	20,49	17,63
400	40	63,47	58,00	52,28	46,93	41,11	36,27
	50	58,87	53,30	47,63	42,45	36,93	32,42
	60	54,24	48,59	43,01	38,04	32,86	28,71
	70	49,59	43,89	38,45	33,73	28,93	25,14
	80	44,92	39,21	33,96	29,54	25,14	21,75
450	40	84,26	78,44	72,01	65,68	58,45	52,19
	50	79,13	73,18	66,72	60,49	53,50	47,54
	60	73,99	67,90	61,45	55,35	48,64	43,02
	70	68,82	62,61	56,20	50,27	43,88	38,62
	80	63,63	57,32	50,98	45,26	39,24	34,36
500	50	102,12	95,90	88,84	81,70	73,33	65,92
	60	96,46	90,08	82,95	75,87	67,72	60,61
	70	90,78	84,24	77,07	70,09	62,18	55,39
	80	85,07	78,38	71,21	64,35	56,73	50,30
	90	79,34	72,51	65,36	58,67	51,38	45,34
	100	73,59	66,63	57,54	53,06	46,16	40,53
550	55	119,69	113,47	106,18	98,60	89,44	81,09
	65	113,75	107,36	99,98	92,41	83,40	75,30
	75	107,79	101,23	93,77	86,23	77,41	69,59
	85	101,32	95,08	87,56	80,09	71,48	63,97
	95	95,82	88,92	81,36	73,98	65,64	58,47
	105	89,80	82,73	75,16	67,92	59,83	53,09
600	60	149,52	142,82	134,78	126,20	115,56	105,60
	70	142,81	135,92	127,75	119,14	108,60	98,86
	80	136,07	128,99	120,71	112,09	101,68	92,19
	90	129,32	122,05	113,66	105,05	94,81	85,60
	100	122,55	115,08	106,60	98,04	88,00	79,11

A II.1

Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPE	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
80	15	0,96	0,66	0,50	0,40	0,32	0,27
	25	0,36	0,24	0,18	0,14	0,11	0,09
100	15	1,93	1,37	1,05	0,85	0,67	0,57
	25	1,04	0,71	0,54	0,43	0,35	0,29
120	15	3,23	2,36	1,83	1,49	1,21	1,01
	25	2,08	1,47	1,13	0,91	0,73	0,61
140	15	4,82	3,62	2,86	2,34	1,90	1,60
	25	3,45	2,52	1,96	1,59	1,29	1,08
	35	2,22	1,57	1,20	0,97	0,78	0,65
160	20	5,89	4,50	3,57	2,94	2,40	2,02
	30	4,39	3,25	2,54	2,08	1,68	1,41
	40	3,00	2,15	1,66	1,35	1,09	0,91
	50	1,78	1,24	0,95	0,76	0,61	0,51
180	20	6,25	4,77	3,79	3,12	2,55	2,14
	30	4,65	3,44	2,70	2,20	1,79	1,50
	40	3,18	2,28	1,76	1,43	1,15	0,96
	50	1,89	1,32	1,01	0,81	0,65	0,54
200	25	9,26	7,37	6,00	5,01	4,12	3,49
	40	6,60	5,04	4,00	3,30	2,69	2,27
	50	4,91	3,64	2,85	2,33	1,89	1,58
	60	3,36	2,41	1,86	1,51	1,22	1,02
220	25	11,66	9,53	7,87	6,63	5,50	4,68
	40	8,81	6,92	5,59	4,64	3,81	3,22
	50	6,95	5,31	4,22	3,47	2,83	2,39
	60	5,18	3,83	3,00	2,45	1,99	1,67
	70	3,54	2,54	1,96	1,59	1,28	1,07
240	25	14,28	11,93	9,99	8,50	7,10	6,07
	40	11,25	9,08	7,44	6,24	5,16	4,38
	50	9.26	7,27	5,87	4,88	4,00	3,38
	60	7,31	5,58	4,43	3,65	2,98	2,51
	70	5,44	4,03	3,15	2,58	2,09	1,75
270	25	18,44	15,84	13,55	11,68	9,87	8,49
	40	15,20	12,70	10,64	9,05	7,56	6,46
	50	13,05	10,66	8,80	7,42	6,15	5,23
	60	10,91	8,69	7,07	5,90	4,86	4,12
	70	8,81	6,83	5,47	4,52	3,70	3,12

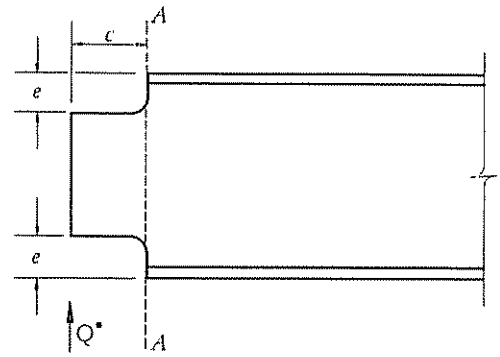
A II.2



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPE	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	30	22,15	19,33	16,74	14,56	12,40	10,72
	40	19,84	17,04	14,57	12,57	10,62	9,14
	50	17,52	14,77	12,47	10,65	8,93	7,65
	60	15,20	12,55	10,45	8,84	7,36	6,28
	70	12,89	10,40	8,52	7,15	5,91	5,01
330	30	27,04	24,08	21,21	18,68	16,08	14,01
	40	24,61	21,64	18,85	16,47	14,07	12,20
	50	22,18	19,21	16,53	14,32	12,14	10,48
	60	19,73	16,80	14,27	12,25	10,31	8,85
	70	17,28	14,43	12,09	10,28	8,59	7,34
360	35	31,42	28,30	25,17	22,35	19,37	16,97
	45	28,84	25,69	22,62	19,93	17,15	14,95
	55	26,25	23,08	20,10	17,56	15,01	13,01
	65	23,65	20,49	17,63	15,27	12,95	11,17
	75	21,04	17,92	15,23	13,07	11,00	9,44
400	35	39,27	36,04	32,62	29,38	25,82	22,83
	45	36,53	33,24	29,83	26,68	23,29	20,50
	55	33,78	30,42	27,06	24,03	20,83	18,24
	65	31,01	27,62	24,32	21,42	18,44	16,07
	75	28,22	24,81	21,61	18,88	16,13	13,99
450	35	50,37	47,04	43,32	39,62	35,36	31,65
	45	47,40	43,99	40,25	36,60	32,47	28,92
	55	44,42	40,93	37,18	33,60	29,62	26,26
	65	41,43	37,86	34,13	30,63	26,23	23,67
	75	38,43	34,79	31,09	27,71	24,10	21,16
500	40	61,07	57,63	53,67	49,61	44,77	40,42
	50	57,87	54,34	50,34	46,29	41,55	37,35
	60	54,66	51,04	47,01	42,99	38,37	34,34
	70	51,44	47,73	43,67	39,71	35,23	31,39
	80	48,20	44,41	40,35	36,46	32,15	28,50
	100	41,70	37,55	33,74	30,07	26,15	22,96
550	40	75,11	71,62	67,45	63,04	57,59	52,53
	50	71,66	68,07	63,84	59,41	54,02	49,08
	60	68,19	64,50	60,22	55,79	50,48	45,67
	70	64,71	60,93	56,59	52,18	46,97	42,31
	80	61,23	57,34	52,97	48,58	43,48	39,00
	100	54,22	50,14	45,72	41,44	36,65	32,58
600	40	90,51	86,97	82,66	77,95	71,98	66,25
	50	86,79	83,16	78,77	74,03	68,08	62,45
	60	83,07	79,34	74,88	70,11	64,20	58,67
	70	79,34	75,51	70,97	66,19	60,33	54,92
	80	75,59	71,66	67,06	62,27	56,49	51,21
	100	68,08	63,93	59,22	54,46	48,89	43,95

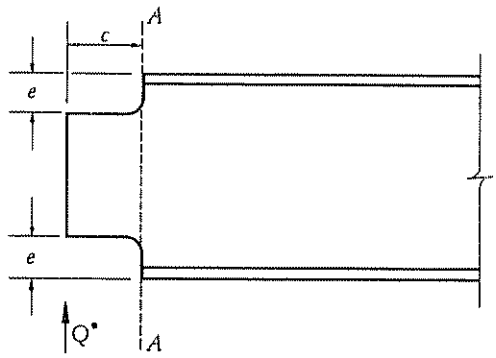
A 11.2



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEB	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
120	25	3,07	2,17	1,67	1,35	1,08	0,91
	30	2,32	1,62	1,23	0,99	0,80	0,67
140	25	5,15	3,75	2,92	2,37	1,92	1,61
	35	3,31	2,34	1,79	1,45	1,17	0,98
160	30	7,02	5,20	4,07	3,33	2,70	2.26
	40	4.80	3,45	2,66	2,16	1,74	1.46
	50	2,86	1,99	1,52	1.23	0.98	0,82
180	30	10,02	6.75	6,08	5.01	4,08	3,44
	40	7,46	5,53	4,32	3.53	2,87	2.41
	50	5,10	3,66	2.82	2,29	1,85	1,55
200	35	12,01	9.31	7,45	6,17	5,05	4,26
	45	9,24	6,96	5,48	4.49	3,65	3,07
	60	5,40	3,88	2,99	2.43	1,96	1.64
220	40	14,18	11,15	9.00	7.48	6.14	5,19
	50	11,20	8,55	6,80	5,60	4,57	3,85
	60	8,34	6.18	4,83	3,95	3,20	2.69
	70	5.70	4,09	3.16	2,56	2,07	1,73
240	40	18,15	14,64	12.00	10.07	8,32	7,06
	50	14,93	11,73	9,47	7,87	6,46	5.46
	60	11,79	9,00	7,15	5.89	4,81	4.05
	70	8,78	6,50	5.09	4.16	3,37	2,83
260	45	19.77	16,15	13.34	11,24	9.32	7,93
	55	16,54	13,17	10,71	8,94	7,37	6.24
	65	13,35	10.34	8,28	6.85	5.61	4.73
	75	10.26	7,72	6,09	4,99	4.06	3,41
280	45	24,19	20,20	16,93	14.40	12,03	10.28
	55	20,76	16,96	14.01	11,80	9,79	8.33
	65	17,36	13,83	11,25	9,39	7,73	6,55
	75	14.01	10.86	8,70	7.19	5.89	4.97

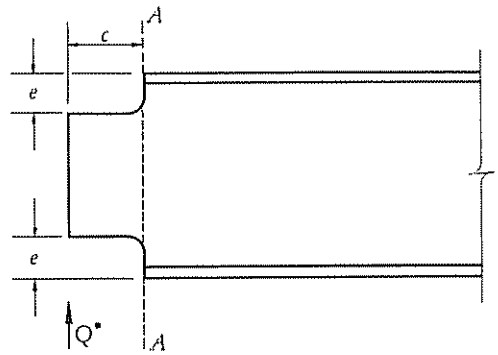
A II.3



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEB	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	50	27,44	22,89	19,32	16,51	13,84	11,86
	60	23,55	19,45	16,19	13,70	11,40	9,72
	75	18,19	14,49	11,79	9,84	8,10	6,86
320	50	32,13	27,60	23,61	20,35	17,20	14,80
	60	28,37	23,93	20,20	17,26	14,47	12,40
	75	22,74	18,57	15,34	12,92	10,72	9,12
340	50	37,44	32,68	28,30	24,62	20,95	18,12
	60	33,53	28,80	24,64	21,24	17,95	15,45
	75	27,65	23,09	19,35	16,45	13,75	11,75
360	50	43,05	38,10	33,38	29,28	25,11	21,83
	60	39,00	34,04	29,48	25,64	21,83	18,88
	75	32,88	28,00	23,79	20,42	17,19	14,76
400	55	53,02	47,76	42,48	37,72	32,70	28,64
	65	48,67	43,35	38,18	33,63	28,95	25,82
	75	44,31	38,95	33,93	29,64	25,33	21,96
450	55	66,16	60,96	55,38	50,05	44,12	39,12
	65	61,71	56,39	50,83	45,63	39,96	35,26
	75	57,23	51,82	46,31	41,27	35,90	31,52
500	55	79,98	74,91	69,19	63,46	56,81	50,95
	65	75,41	70,21	64,45	58,79	52,31	46,71
	75	70,83	65,50	59,72	54,14	47,88	42,95
550	60	92,15	87,17	81,38	75,39	68,22	61,72
	70	37,45	82,34	76,48	70,51	63,47	57,18
	80	82,74	77,49	71,58	65,65	58,76	52,71
600	60	107,30	102,48	96,72	90,56	82,92	75,78
	70	102,48	97,53	91,67	85,49	77,93	70,94
	80	97,64	92,56	86,62	80,43	72,96	66,15
	90	92,80	87,58	81,56	75,38	68,03	61,43

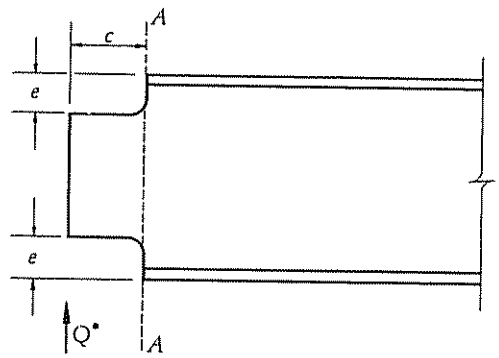
A 11.3



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEA	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
120	20	2,61	1,86	1,43	1,15	0,93	0,78
	25	2,01	1,41	1,08	0.87	0,70	0,58
140	20	4,27	3,13	2,44	1,98	1,61	1,35
	25	3.51	2,53	1.96	1,59	1,28	1,08
	35	2.14	1,50	1,15	0,92	0,74	0.62
160	25	5,44	4,04	3,17	2,59	2.10	1.76
	30	4,58	3,35	2,61	2,12	1,72	1.44
	40	2,98	2.12	1,62	1,31	1,06	0,88
180	25	7,16	5.48	4,36	3,59	2.93	2,47
	40	4.49	3,28	2,55	2.08	1,68	1,41
	50	2,91	2,06	1.58	1,28	1,03	0.86
200	30	8,67	6,72	5,38	4.45	3.64	3,07
	40	6.67	5,01	3.95	3,24	2.64	2,22
	50	4,78	3,48	2,71	2,20	1,78	1.49
	60	3,07	2.17	1,67	1,35	1,08	0.91
220	30	11,57	9.22	7,50	6.26	5,15	4,37
	40	9,34	7,24	5,80	4.79	3.92	3,31
	55	6.14	4,55	3,56	2,91	2,36	1,98
	70	3,31	2,34	1,79	1,45	1,17	0,98
240	35	13,61	10,98	9,00	7,55	6,24	5,30
	45	11,20	8.80	7,10	5,90	4.84	4,10
	55	8,84	6,75	5.36	4,42	3,60	3.04
	70	5,51	4,02	3,12	8,54	2,06	1,72
260	40	14,83	12.11	10,00	8,43	6,99	5,95
	50	12,40	9.88	8,03	6,70	5.52	4,68
	60	10.01	7,76	6.21	5,14	4,20	3,55
	70	7,69	5,79	4,56	3,74	2,04	2,56
280	45	17.12	14,15	11.77	9,96	8,29	7,07
	55	14,11	11.24	9,14	7,63	6,28	5,32
	65	11,94	9.39	7,58	6.29	5.17	4.37
	75	9.43	7,20	5.72	4.71	3,84	3.24

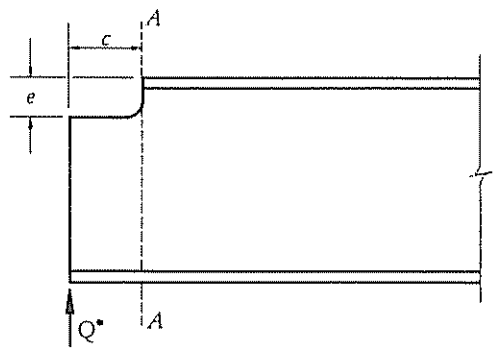
A 11.4



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEA	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	45	20,97	17,69	14,93	12,75	10,69	9,16
	55	18,19	15,03	12,51	10,59	8,81	7,51
	65	15,43	12,45	10,20	8,55	7,07	6,00
	75	12,69	9,97	8,05	6,69	5,49	4,64
320	45	25,14	21,60	18,48	15,93	13,46	11,58
	55	22,21	18,73	15,81	13,51	11,33	9,70
	65	19,37	15,92	13,24	11,21	9,33	7,96
	75	16,24	13,18	10,80	9,06	7,49	6,36
340	45	29,64	25,87	22,40	19,49	16,59	14,35
	55	26,54	22,80	19,50	16,81	14,21	12,23
	65	23,44	19,77	16,69	14,26	11,95	10,24
	75	20,34	16,80	13,98	11,83	9,85	8,40
360	45	34,44	30,48	26,70	23,42	20,09	17,46
	55	31,20	27,23	23,58	20,51	17,46	15,10
	65	27,94	24,00	20,53	17,70	14,95	12,87
	75	24,67	20,81	17,56	15,01	12,58	10,78
400	50	43,20	38,92	34,61	30,73	26,64	23,33
	60	39,66	35,32	31,11	27,40	23,58	20,55
	75	34,32	29,95	25,94	22,56	19,21	16,61
450	50	54,35	50,07	45,49	41,11	36,24	32,13
	60	50,69	46,32	41,75	37,48	32,83	28,96
	75	45,17	40,69	36,19	32,13	27,85	24,39
500	50	66,19	61,99	57,26	52,52	47,01	42,17
	60	62,41	58,10	53,34	48,65	43,29	38,65
	75	56,71	52,25	47,47	42,90	37,82	33,53
550	55	76,79	72,64	67,82	62,83	56,85	51,43
	65	72,88	68,61	63,73	58,76	52,89	47,65
	75	68,95	64,58	59,65	54,71	48,97	43,92
600	55	89,99	85,95	81,12	75,95	69,55	63,55
	65	85,95	81,80	76,89	71,70	65,36	59,50
	75	81,89	77,63	72,65	67,46	61,19	55,48
	90	75,79	71,36	66,28	61,11	55,01	49,56

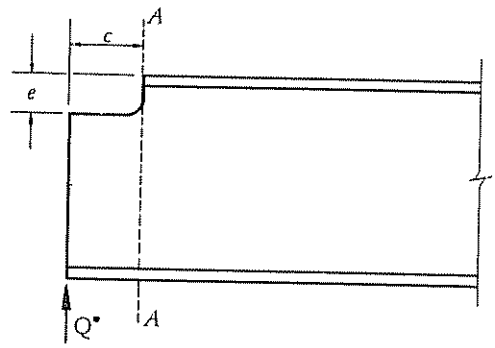
A II.4



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPN	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
80	15	2,12	1,59	1,26	1,03	0,84	0.70
	25	1,61	1,18	0,92	0,75	0,61	0,51
	35	1,13	0,81	0,63	0,51	0.41	0,34
100	15	3.73	2,93	2.36	1,96	1.61	1,36
	25	3,08	2.37	1,89	1.56	1,28	1,08
	35	2,44	1.84	1,46	1,19	0,97	0,82
120	15	5,75	4.72	3.91	3.29	2,74	2,33
	25	4,99	4,02	3.30	2,76	2,28	1,94
	40	3.86	3,03	2,44	2.03	1,67	1.41
	55	2,79	2.13	1,69	1.39	1,13	0.95
140	15	8.20	6,94	5,87	5,02	4,22	3,62
	25	7,31	6,10	5,10	4.34	3,62	3,10
	40	6,00	4,89	4.03	3,40	2.81	2.39
	55	4,73	3,75	3,04	2,53	2,09	1,77
	70	3,49	2.69	2,14	1,77	1,45	1,22
160	20	10,56	9.18	7,92	6.87	5,84	5,04
	30	9,60	8,26	7,08	6,11	5,16	4,45
	50	7.71	6,49	5,47	4,67	3,91	3,35
	70	5,90	4,84	4,01	3.39	2,81	2,40
180	20	13.80	12,17	10,63	9.30	7,96	6,91
	30	12,72	11.11	9,63	8,38	7,13	6.17
	50	10,57	9,02	7,68	6,60	5,57	4,78
	70	8,43	7,00	5,84	4,96	4,13	3,53
200	20	16,96	15,29	13,61	12,09	10,49	9.19
	30	15,75	14,06	12,41	10,95	9.44	8,24
	50	13,47	11,84	10.31	9.01	7,70	6,68
	70	11.15	9,59	8,21	7.09	5,99	5,16

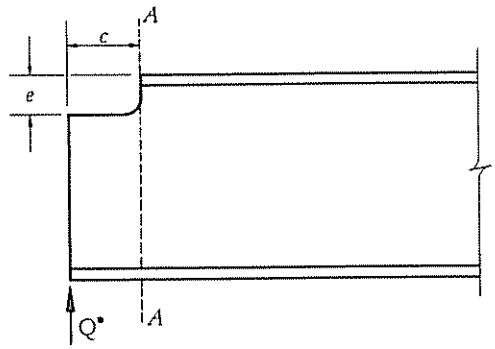
A 11.5



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPN	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
220	30	19,51	17,75	15,93	14,25	12,44	10,94
	50	17,01	15,26	13,53	11,98	10,36	9,06
	70	14,51	12,80	11,19	9,80	8,39	7,28
	90	12,02	10,39	8,93	7,72	6,54	5,64
240	30	23,60	21,75	19,76	17,86	15,74	13,96
	50	20,92	19,06	17,13	15,34	13,41	11,81
	70	18,23	16,39	14,55	12,90	11,17	9,77
	90	15,55	13,75	12,03	10,55	9,04	7,86
260	30	28,34	26,37	24,20	22,06	19,63	17,52
	50	25,44	23,46	21,33	19,28	17,01	15,09
	70	22,54	20,55	18,48	16,56	14,48	12,75
	90	19,63	17,66	15,68	13,91	12,04	10,54
280	30	33,34	31,31	29,00	26,67	23,93	21,51
	50	30,24	28,17	25,89	23,63	21,05	18,81
	70	27,12	25,04	22,80	20,64	18,23	16,19
	90	24,01	21,92	19,74	17,71	15,50	13,67
300	30	38,92	36,81	34,35	31,82	28,78	26,03
	50	35,61	33,46	31,01	28,54	25,63	23,06
	70	32,29	30,11	27,69	25,30	22,55	20,16
	90	28,96	26,77	24,39	22,10	19,54	17,35
320	35	43,84	41,67	39,11	36,42	33,14	30,13
	50	41,19	38,99	36,43	33,78	30,59	27,70
	70	37,66	35,43	32,88	30,29	27,24	24,52
	90	34,13	31,87	29,34	26,84	23,95	21,43
340	35	50,10	47,88	45,20	42,34	38,80	35,47
	50	47,31	45,05	42,37	39,53	36,06	32,84
	70	43,57	41,27	38,59	35,80	32,44	29,39
	90	39,83	37,49	34,82	32,09	28,88	26,01

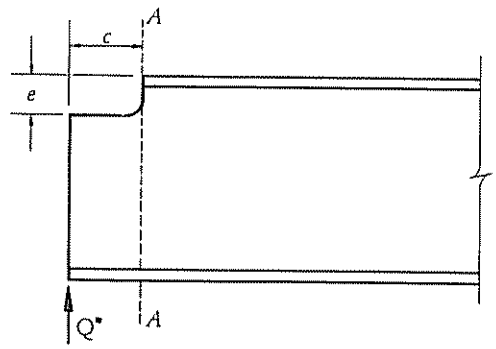
A 11.5



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

I PN	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
360	35	57.20	54,92	52,13	49,11	45,29	41,64
	50	54,22	51,91	49,11	46,10	42,34	38,79
	70	50,26	47,90	45,09	42,12	38,46	35,07
	90	46,29	43,89	41,09	38,17	34,64	31,41
380	40	63.16	60,82	57,95	54,79	50,74	46,83
	50	61.07	58,71	55,82	52,67	48,66	44,82
	70	56,87	54,45	51,53	48,38	44,44	40,72
	90	52,71	50.26	47,34	44,24	40,43	36,87
400	40	70,59	68,21	65,26	61,97	57.70	53,51
	50	68,40	66,00	63,03	59,74	55,50	51,36
	70	64,01	61,56	58,57	55,29	51,11	47,10
	90	59,62	57,12	54,10	50,84	46,75	42,88
450	45	90,43	87,92	84,73	81,09	76,25	71,36
	70	84,27	81,69	78,45	74,80	70,00	65,21
	90	79,34	76,71	73,43	69,77	65,01	60,33
500	50	111,97	109.41	106,10	102,25	97,00	91,57
	70	106,51	103,90	100,54	96,67	91.43	86,04
	90	101,05	98,39	94,98	91,09	85.86	80,55
550	55	130,03	127,58	124,37	120,57	115,29	109,68
	75	124,28	121.78	118,52	114,69	109,39	103.81
	100	117,08	114,53	111,21	107,34	102,03	96,50
600	60	161,91	159,26	155,76	151,58	145,67	139,32
	80	155,38	152,68	149,13	144,91	138,98	132,63
	100	148,85	146,10	142,50	138,24	132,28	125,95

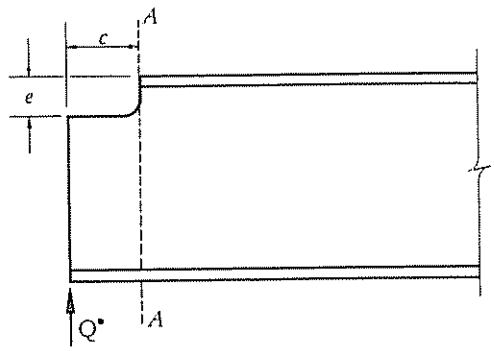
A 11.5



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPE	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
120	15	5,92	5,18	4,49	3,91	3,33	2,88
	25	5,09	4,30	3,64	3,11	2,61	2,24
	40	3,80	3,03	2,47	2,06	1,70	1,44
	55	2,62	1,97	1,56	1,28	1,04	0,87
140	15	7,07	5,94	5,01	4,27	3,58	3,06
	25	6,32	5,24	4,37	3,70	3,08	2,63
	40	5,22	4,22	3,46	2,90	2,40	2,04
	55	4,11	3,22	2,60	2,15	1,77	1,49
	70	3,05	2,31	1,83	1,51	1,23	1,03
160	20	8,80	7,56	6,47	5,58	4,71	4,06
	30	8,00	6,79	5,75	4,93	4,14	3,55
	50	6,36	5,22	4,32	3,65	3,03	2,58
	70	4,82	3,82	3,09	2,58	2,12	1,79
180	20	11,06	9,74	8,49	7,42	6,34	5,50
	30	10,22	8,90	7,70	6,69	5,69	4,91
	50	8,53	7,25	6,15	5,28	4,44	3,81
	70	6,83	5,63	4,68	3,96	3,29	2,81
200	25	13,23	11,79	10,39	9,15	7,88	6,87
	45	11,43	10,00	8,67	7,55	6,43	5,56
	70	9,17	7,77	6,58	5,63	4,73	4,06
220	25	15,82	14,35	12,85	11,47	9,99	8,78
	45	13,92	12,44	10,99	9,70	8,36	7,30
	70	11,54	10,07	8,71	7,58	6,45	5,58
240	25	18,87	17,32	15,67	14,12	12,40	10,97
	45	16,90	15,31	13,68	12,20	10,61	9,32
	70	14,41	12,78	11,21	9,85	8,46	7,36
	90	12,45	10,82	9,33	8,10	6,88	5,94
270	25	23,21	21,67	19,96	18,25	16,29	14,58
	45	21,11	19,52	17,79	16,13	14,26	12,67
	70	18,57	16,92	15,20	13,61	11,90	10,48
	90	16,42	14,75	13,09	11,60	10,03	8,78

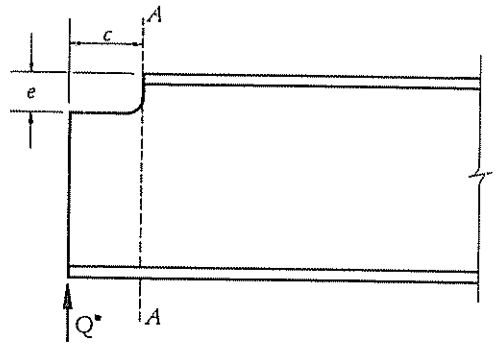
A II.6



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

IPE	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	30	27,58	26,03	24,23	22,40	20,21	18,25
	50	25,40	23,79	21,99	20,17	18.06	16,21
	70	23,14	21,49	19,67	17.90	15,89	14.16
	90	20,90	19,20	17,39	15,67	13,78	12,20
330	30	33,06	31,47	29,59	27,60	25,16	22,91
	50	30,73	29,09	27,17	25,19	22.80	20,64
	70	28,39	26,69	24,75	22,78	20,47	18,41
	90	26,04	24,28	22,32	20,38	18,16	16,23
360	35	38,21	36,63	34,71	32,64	30,03	27,56
	50	36.36	34,74	32,79	30,71	28,13	25,71
	70	33,88	32,20	30.22	28,14	25,60	23,27
	90	31,40	29,65	27,64	25,57	23.10	20,87
400	35	46,76	45,14	43,14	40,92	38,04	35,23
	50	44,76	43,11	41,07	38,83	35,97	33,20
	70	42,11	40,40	38,32	36,06	33,22	30,51
	90	39,45	37,68	35,55	33.28	30,47	27.84
450	35	57,96	56.37	54,35	52,04	48,96	45,85
	50	55,86	54,23	52,16	49,83	46,73	43,63
	70	52,98	51,30	49,19	46,83	43,73	40,67
	90	50,10	48,36	46,21	43,82	40,73	37,72
500	40	69,50	67,92	65,88	63,51	60,27	56,91
	70	64,84	63,20	61,09	58,67	55,40	52,06
	100	60,20	58,48	56.30	53,83	50,55	47.25
550	40	84,40	82,78	80,66	78,16	74,68	71.00
	70	79,34	77,65	75,46	72,90	69,37	65,68
	100	74,27	72,52	70,27	67,65	64,10	60,43
600	40	100,41	98.78	96,63	94,06	90,43	86,51
	70	94,95	93,26	91.04	88,40	84,71	80,76
	100	88,91	87,18	84,93	82,27	78,58	74.67

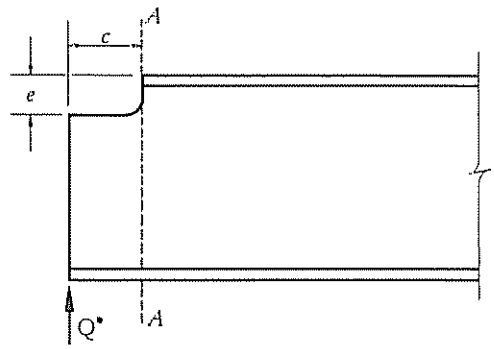
A 11.6



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEB	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
120	25	6,83	5,49	4,49	3,76	3,10	2,63
	35	5,79	4,55	3,67	3,05	2,50	2,12
	50	4,31	3,27	2,59	2,13	1,73	1,46
140	25	9,56	8,02	6,74	5,74	4,80	4,11
	35	8,44	6,95	5,77	4,88	4,06	3,46
	50	6,78	5,42	4,42	3,70	3,05	2,58
	70	4,61	3,51	2,79	2,30	1,87	1,58
160	30	13,04	11,15	9,50	8,17	6,89	5,92
	45	11,05	9,23	7,74	6,59	5,50	4,70
	70	7,81	6,21	5,05	4,21	3,47	2,94
180	30	16,44	14,48	12,63	11,05	9,45	8,19
	45	14,40	12,44	10,70	9,25	7,84	6,76
	70	10,98	9,13	7,63	6,48	5,40	4,61
200	35	19,95	17,79	15,68	13,83	11,91	10,38
	50	17,70	15,54	13,53	11,81	10,09	8,74
	70	14,77	12,63	10,77	9,27	7,82	6,72
220	40	23,17	21,00	18,79	16,76	14,59	12,81
	50	21,64	19,45	17,26	15,30	13,24	11,58
	70	18,55	16,33	14,24	12,45	10,65	9,24
240	40	27,95	25,65	23,22	20,91	18,38	16,25
	60	24,75	22,38	19,97	17,78	15,45	13,55
	90	19,90	17,45	15,18	13,24	11,30	9,79
260	45	31,01	28,71	26,20	23,78	21,05	18,72
	70	26,97	24,52	21,99	19,66	17,15	15,09
	90	23,73	21,20	18,72	16,53	14,25	12,44
280	45	35,72	33,40	30,81	28,22	25,22	22,60
	70	31,51	29,07	26,45	23,94	21,13	18,75
	90	28,16	25,62	23,00	20,57	17,96	15,80

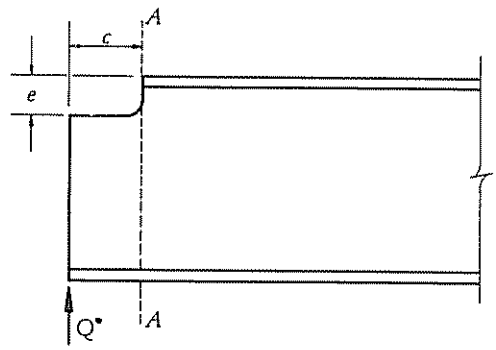
A II.7



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEB	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	50	40,48	38,07	35,33	32,54	29,25	26,33
	70	37,00	34,48	31,68	28,91	25,75	23,01
	90	33,55	30,89	28,05	25,34	22,33	19,79
320	50	45,56	43,21	40,46	37,58	34,11	30,94
	70	41,94	39,47	36,65	33,79	30,40	27,38
	90	38,30	35,73	32,86	30.02	26,76	23,92
340	50	50,91	48,60	45,84	42,90	39.25	35.85
	70	47,15	44,73	41,91	38,95	35,38	32,10
	90	43,39	40,87	37,98	35,03	31,54	28,43
360	50	57,10	54,76	51,92	48.85	44,98	41,30
	70	53,22	50,78	47,86	44,76	40,93	37,36
	90	48,58	46,13	43,24	40,22	36,55	33,19
400	55	67,76	65,51	62,70	59,57	55,50	51.50
	75	63,93	61,55	58,63	55,41	51,31	47.34
	100	57,88	55,47	52,56	49,42	45,47	41,72
450	55	80,35	78,26	75,60	72,55	68,44	64,26
	75	76,06	73,91	71,18	68,07	63,94	59,78
	100	70,12	67,92	65,15	62,05	57,98	53,95
500	55	94,38	92,39	89,81	86,79	82,62	78,26
	75	89,82	87,77	85,12	82,05	77,85	73,50
	100	83,76	81,66	78,97	75,87	71,69	67,41
550	60	107,09	105,20	102,72	99,78	95,64	91,22
	80	102,54	100,59	98,05	95,05	90,87	86,44
	100	97,40	95,44	92,87	89,86	85,69	81,31
600	60	122,37	120,53	118,10	115,18	111,02	106,49
	80	117,19	115,35	112,91	109,99	105,85	101,37
	100	112,48	110,57	108,06	105,07	100,85	96.33

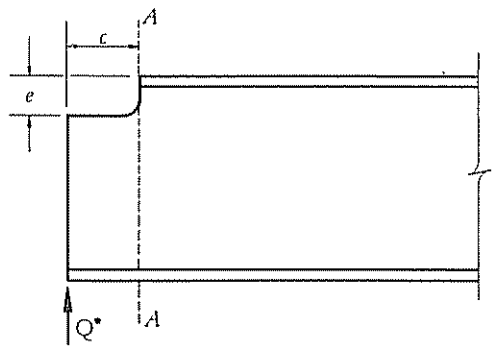
A II.7



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

HEA	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
120	20	5,91	4,78	3,92	3,29	2,72	2,31
	30	5,07	4,01	3,24	2,70	2,22	1,88
	50	3,45	2,60	2,05	1,68	1,37	1,15
140	20	8,45	7,16	6,06	5,19	4,36	3,74
	30	7,45	6,16	5,13	4,34	3,62	3,08
	50	5,59	4,43	3,59	2,99	2,46	2,08
	70	3,82	2,88	2,28	1,87	1,52	1,28
160	25	10,76	9,22	7,88	6,78	5,73	4,93
	45	8,73	7,23	6,03	5,11	4,26	3,63
	70	6,21	4,88	3,94	3,28	2,69	2,28
180	25	12,92	11,49	10,10	8,89	7,64	6,66
	45	10,79	9,27	7,93	6,84	5,78	4,97
	70	8,26	6,79	5,63	4,76	3,96	3,37
200	30	15,82	14,14	12,49	11,03	9,51	8,30
	50	13,59	11,83	10,22	8,87	7,54	6,52
	70	11,40	9,64	8,16	6,98	5,86	5,02
220	30	19,11	17,39	15,61	13,96	12,19	10,73
	50	16,80	15,00	13,24	11,68	10,06	8,78
	70	14,45	12,63	10,95	9,53	8,11	7,02
240	35	22,72	20,92	19,00	17,17	15,13	13,41
	50	20,81	18,90	16,93	15,11	13,17	11,58
	70	18,32	16,30	14,35	12,64	10,87	9,47
	90	15,79	13,74	11,87	10,31	8,76	7,57
260	40	25,11	23,22	21,17	19,19	16,97	15,08
	70	21,40	19,33	17,24	15,33	13.32	11,68
	90	18,90	16,75	14,69	12,89	11,06	9,62
280	45	28,43	26,51	24,37	22,25	19,83	17,72
	70	25,21	23,15	20,97	18,90	16,62	14,70
	90	22,60	20,45	18,26	16,26	14,14	12,41

A II.8



Valor del esfuerzo cortante Q*, en t, que agota la sección A-A

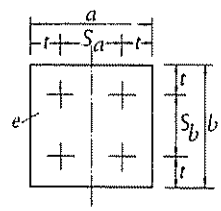
HEA	e mm	c mm					
		40	60	80	100	125	150
300	45	33,62	31,64	29,38	27,08	24,37	21,95
	70	30,14	27,95	25,56	23,23	20,60	18,34
	90	27,37	25,07	22,64	20,35	17,85	15,77
320	45	37,89	35,95	33,66	31,28	28,40	25,77
	70	34,28	32,15	29,75	27,33	24,50	22,00
	90	31,40	29,16	26,71	24,30	21,58	19,23
340	45	42,74	40,90	38,69	36,31	33,34	30.54
	70	38,91	36,85	34,45	31,96	28,96	26,23
	90	35,87	33,67	31,18	28,66	25,71	23,11
360	45	47,65	45,72	43,38	40,83	37,62	34,57
	70	43.09	41,12	38,77	36,27	33,18	30,29
	90	40,61	38,45	35,93	33,32	30,18	27,33
400	50	57,73	55,93	53,68	51,16	47,83	44.53
	70	54,26	52,31	49,90	47,24	43,82	40,51
	100	49,09	46,94	44,36	41,59	38,15	34,91
450	50	68,73	67,04	64,88	62,38	59,00	55,52
	70	65,15	63,33	61,03	58,40	54,91	51,38
	100	59,81	57.83	55.37	52,63	49,05	45,53
500	50	79,95	78,29	76,14	73,61	70,12	66.46
	70	76,29	74,57	72,35	69,77	66,24	62,57
	100	70,52	68.73	66,44	63,82	60,27	56,64
550	55	91,21	89.65	87,60	85,16	81,73	78,05
	75	87,40	85,79	83,68	81,18	77,68	73,97
	100	82,62	80,93	78,72	76.14	72,56	68,80
600	55	105,09	103,58	101,57	99.15	95,69	91.92
	75	101,12	99,53	97,43	94,91	91,34	87,48
	100	96,17	94.51	92.32	89,71	86,05	82,13

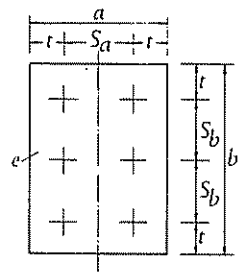
A II.8

Apéndice III

Cubrejuntas normalizados para uniones y empalmes

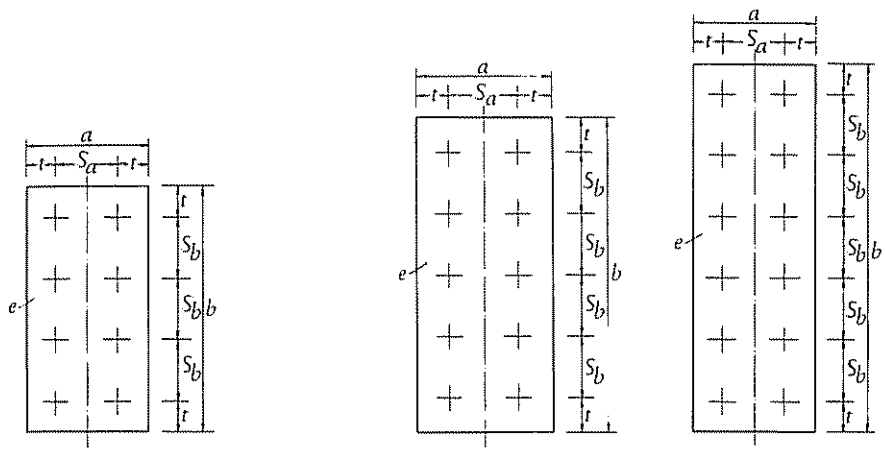
Cubrejuntas tipificados de alma





		Nomenclatura					Nomenclatura					
		2 · 2-12	2 · 2-16	2 · 2-20	2 · 2-22	2 · 2-24	3 · 2-12	3 · 2-16	3 · 2-20	3 · 2-22	3 · 2-24	3 · 2-27
Dimensiones mm	a	120	130	160	180	200	120	140	160	180	200	220
	b	120	130	160	170	200	150	190	240	250	280	300
	e	6	8	8	8	10	6	8	10	10	10	10
	S_a	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100	110
	S_b	60	70	80	80	100	45	60	80	80	90	95
	t	30	30	40	45	50	30	35	40	45	50	55
	ø	13	17	21	23	25	13	17	21	23	25	28

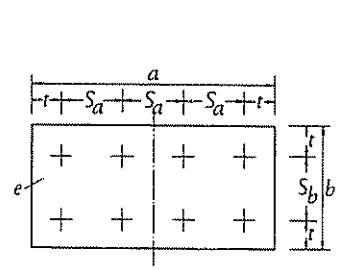
A III.1

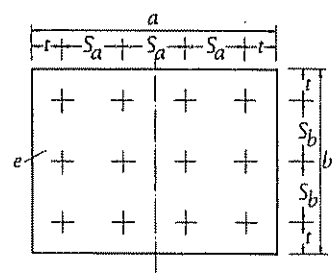


Nomenclatura						Nomenclatura					Nomenclatura				
4 · 2-12	4 · 2-16	4 · 2-20	4 · 2-22	4 · 2-24	4 · 2-27	5 · 2-16	5 · 2-20	5 · 2-22	5 · 2-24	5 · 2-27	6 · 2-16	6 · 2-20	6 · 2-24		
120	140	160	180	200	220	140	160	180	200	220	140	160	200	a	Dimensiones mm
195	250	320	330	370	410	310	400	410	460	490	370	480	550	b	
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	e	
60	70	80	90	100	110	70	80	90	100	110	70	80	100	S_a	
45	60	80	80	90	100	60	80	80	90	95	60	80	90	S_b	
30	35	40	45	50	55	35	40	45	50	55	35	40	50	t	
13	17	21	23	25	28	17	21	23	25	28	17	21	25	ø	

A III.1

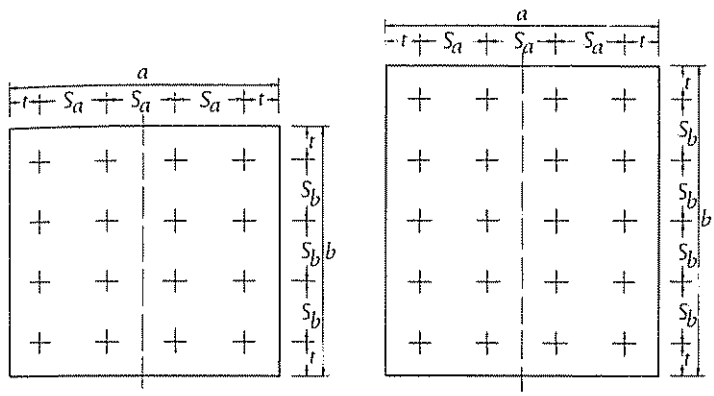
Cubrejuntas tipificados de alma





		Nomenclatura					Nomenclatura				
		2 · 4-12	2 · 4-16	2 · 4-20	2 · 4-22	2 · 4-24	3 · 4-12	3 · 4-16	3 · 4-20	3 · 4-22	3 · 4-24
Dimensiones mm	a	240	270	320	360	400	200	280	320	360	400
	b	120	130	160	170	200	150	190	240	250	280
	e	6	8	8	8	10	6	8	10	10	10
	S_a	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100
	S_b	60	70	80	80	90	45	60	80	80	90
	t	30	30	40	45	50	25	35	40	45	50
	ø	13	17	21	23	25	13	17	21	23	25

A III.1

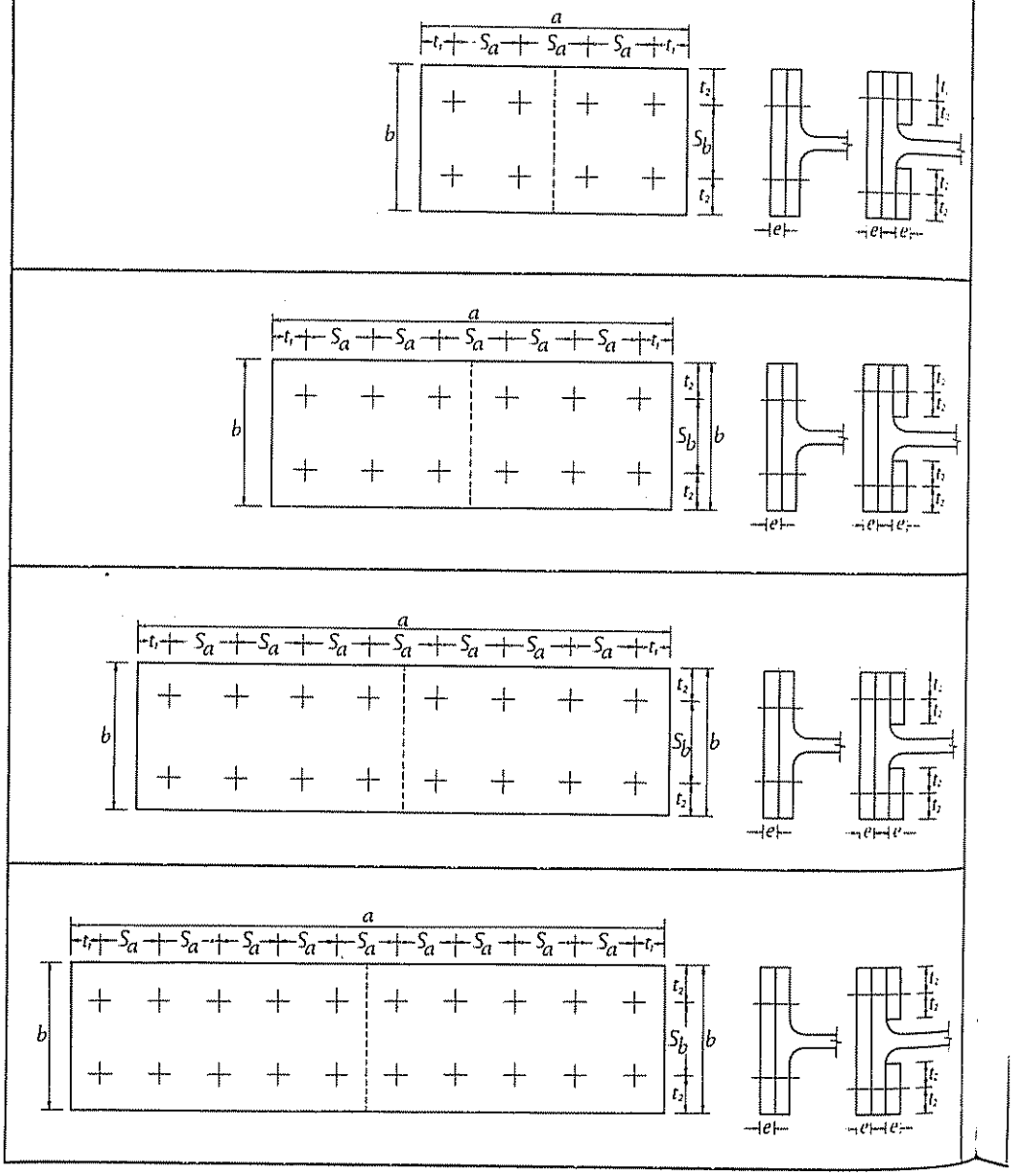


Nomenclatura				Nomenclatura					
4 · 4-20	4 · 4-22	4 · 4-24	4 · 4-27	5 · 4-20	5 · 4-22	5 · 4-24	5 · 4-27		
320	360	400	440	320	360	400	440	a	Dimensiones mm
320	330	370	410	400	410	460	490	b	
10	10	10	10	10	10	10	10	e	
80	90	100	110	80	90	100	110	S_a	
80	80	90	100	80	80	90	95	S_b	
40	45	50	55	40	45	50	55	t	
21	23	25	28	21	23	25	28	⌀	

A III.1

Cubrejuntas tipificados de alas

Disposición tipo



* Los valores de b, S_b y t_2 se encuentran en las tablas 1 1 del Tomo 2 de las Publicaciones ENSIDESA

A III.2

Nomenclatura	Dimensiones mm				
	a	e	S_a	t_1	ø
S 4 - 12 D 4 - 12	200	10 8	50	25	13
S 4 - 16 D 4 - 16	280	12 10	70	35	17
S 4 - 20 D 4 - 20	320	15 15	80	40	21
S 4 - 22 D 4 - 22	360	20 15	90	45	23
S 4 - 24 D 4 - 24	400	20 20	100	50	25
S 4 - 27 D 4 - 27	440	25 20	110	55	28
S 6 - 12 D 6 - 12	300	10 8	50	25	13
S 6 - 16 D 6 - 16	420	12 10	70	35	17
S 6 - 20 D 6 - 20	480	15 15	80	40	21
S 6 - 22 D 6 - 22	540	20 15	90	45	23
S 6 - 24 D 6 - 24	600	20 20	100	50	25
S 6 - 27 D 6 - 27	660	25 20	110	55	28
S 8 - 12 D 8 - 12	400	10 8	50	25	13
S 8 - 16 D 8 - 16	560	12 10	70	35	17
S 8 - 20 D 8 - 20	640	15 15	80	40	21
S 8 - 22 D 8 - 22	720	20 15	90	45	23
S 8 - 24 D 8 - 24	800	20 20	100	50	25
S 8 - 27 D 8 - 27	800	25 20	110	55	28
S 10 - 12 D 10 - 12	500	10 8	50	25	13
S 10 - 16 D 10 - 16	700	12 10	70	35	17
S 10 - 20 D 10 - 20	800	15 15	80	40	21
S 10 - 22 D 10 - 22	900	20 15	90	45	23
S 10 - 24 D 10 - 24	1.000	20 20	100	50	25
S 10 - 27 D 10 - 27	1.000	25 20	110	55	28

A III.2



7. Uniones soldadas

7.1. Procedimientos de soldeo

7.2. El proceso de soldeo

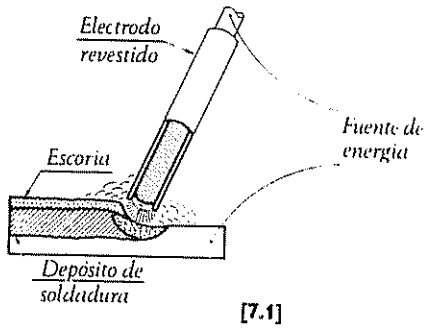
7.3. Clasificación, representación y calidad de las soldaduras

7.4. Control de calidad y defectos de las soldaduras

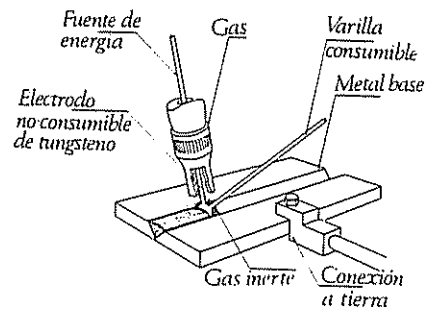
7.5. Resistencia de las soldaduras

7.6. Resistencia de un conjunto de cordones de soldadura

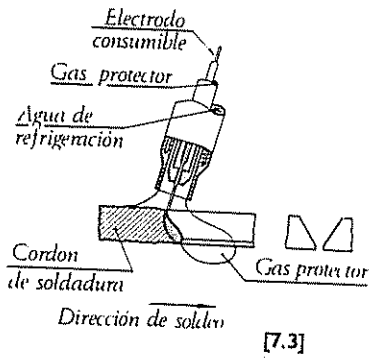
7.7. Uniones soldadas



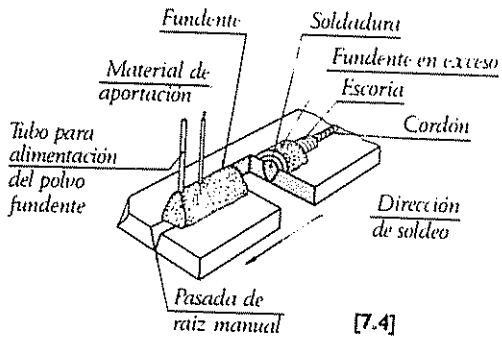
[7.1]



[7.2]

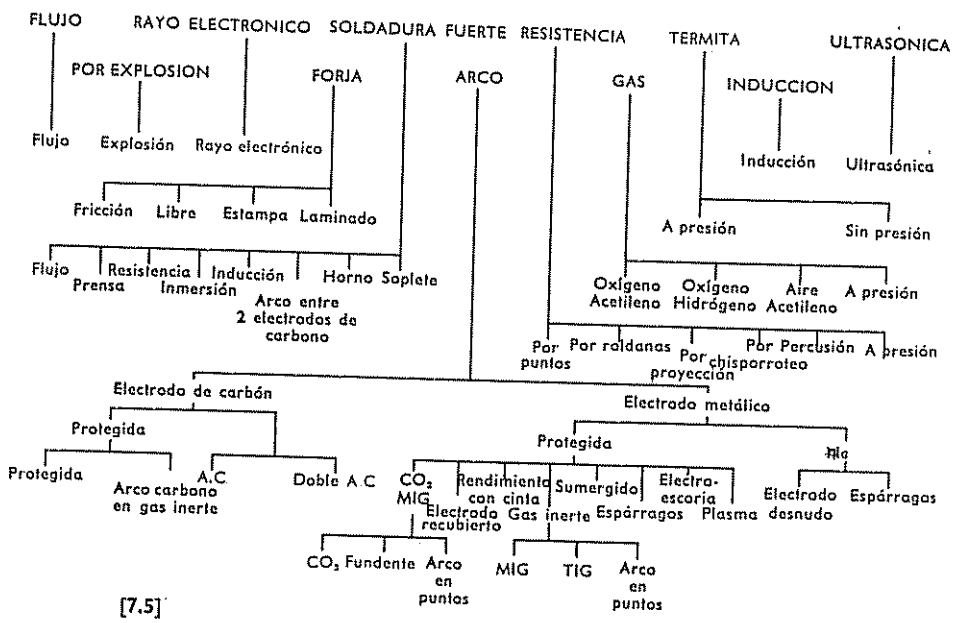


[7.3]



[7.4]

Procesos de soldeo



[7.5]

7. UNIONES SOLDADAS

El soldeo o soldadura es un procedimiento de unión de dos metales de igual o parecida composición por la aplicación del calor, con o sin presión entre ellos. Esta definición tan amplia comprende una gran variedad de procesos que abarcan desde la tradicional forja hasta los más modernos procedimientos de soldeo por plasma o por ondas de choque. Fundamentalmente cabe distinguir el soldeo por fusión y el soldeo por presión. En el soldeo por fusión se produce, por la acción del calor, una fusión localizada de las piezas, y éstas se unen sin o con aportación de otro material. En la soldadura por presión se calientan las piezas hasta alcanzar en la zona de unión una consistencia plástica y la unión se verifica por presión o mediante golpes (forja). El soldeo por fusión por arco eléctrico es el procedimiento más importante y casi exclusivamente utilizado para las estructuras metálicas, y de hecho, con alguna referencia al soldeo eléctrico por resistencia, es el único considerado en la Norma Básica MV-103 y en la mayor parte de las normas internacionales.

7.1. PROCEDIMIENTOS DE SOLDEO

Dentro del soldeo por arco eléctrico, la Norma MV-104 distingue tres procedimientos autorizados para la ejecución de las uniones de fuerza en las estructuras de edificación:

Procedimiento I: Soldeo eléctrico, manual, por arco descubierto con electrodo fusible revestido [7.1].

Procedimiento II: Soldeo eléctrico, semiautomático o automático, por arco en atmósfera gaseosa con alambre-electrodo fusible. Los gases más utilizados son fundamentalmente el dióxido de carbono y el argón, helio o sus mezclas.

Dentro de este procedimiento general existen dos subdivisiones importantes: los procedimientos TIG (tungsten-inert-gas) [7.2] con electrodo de tungsteno no consumible y varilla de metal de aportación y los procedimientos MIG (metal-inert-gas) [7.3] con electrodo consumible.

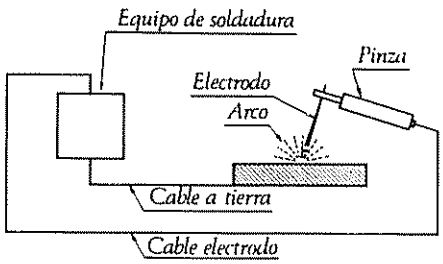
Procedimiento III: Soldeo eléctrico, automático, por arco sumergido, con alambre-electrodo desnudo [7.4].

Dentro de estos métodos generales existen muchas variantes. En [7.5] [1] se da una panorámica general de los procesos de soldeo y en [7.6] [2] algunas características y aplicaciones de los procesos de soldeo por fusión.

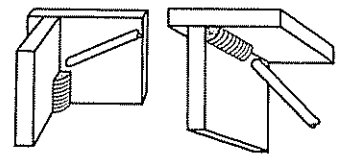
---

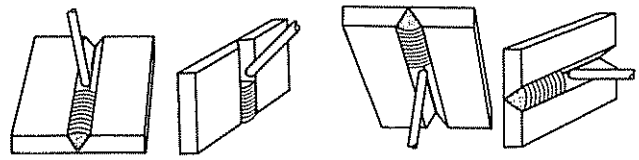
[1] *Metals and How to Weld Them*. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Ohio.

[2] J. F. LANCASTER, *Tratado de soldadura*. Editorial Tecnos, 1972.

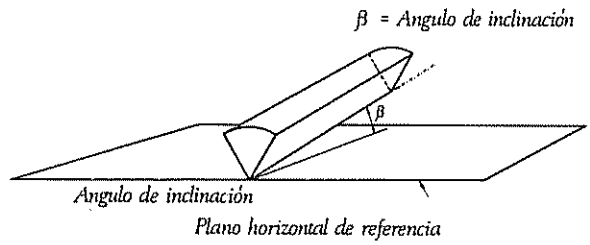

Equipo de soldadura
Pinza
Electrodo
Arco
Cable a tierra
Cable electrodo

[7.7]

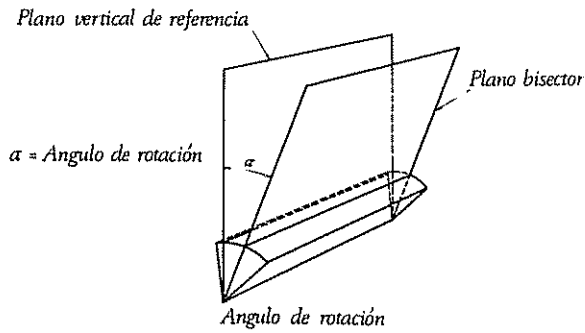

Vertical (V)
Techo (T)


Plana (P)
Vertical (V)
Techo (T)
Horizontal (H)

[7.8]


β = Angulo de inclinación
β
Angulo de inclinación
Plano horizontal de referencia

[7.9]


Plano vertical de referencia
Plano bisector
α = Angulo de rotación
α
Angulo de rotación

[7.10]

Procesos de soldadura. Soldadura por fusión

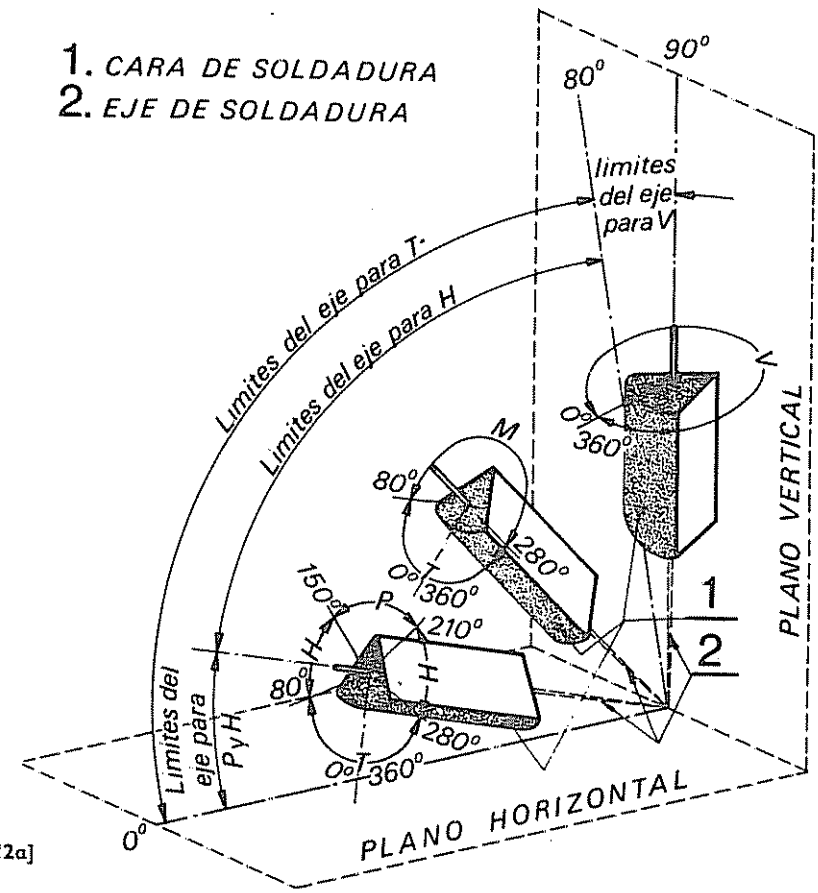
Proceso	Fuente de calor	Agente de recubrimiento	Aplicaciones típicas	
			Metales	Escala de espesores mm
Dióxido de carbono	Arco	Dióxido de carbono	Acero al carbono	1,2 en adelante
Electrodo revestido Manual	Arco	Hidrógeno, CO y CO_2 y/o escoria	Todos los metales de ingeniería, excepto los puros y metales preciosos	1,2 en adelante
Automático	Arco	Hidrógeno, CO y CO_2 y/o escoria	Acero de aleación alta, baja y al carbono	1,2 en adelante
Haz de electrones	Haz de electrones	Vacío (-10^{-4} mm Hg)	Todos los metales excepto en los que se produce vaporización y/o excesiva evolución de gas	Hasta cerca de 12 normalmente No hay límite inferior
Electroescoria	Calentamiento por resistencia de la escoria del líquido	Escoria	Aceros de aleación alta, baja y al carbono	1,2 en adelante
Gas	Llama oxiacetilénica o de oxihidrógeno	Envoltura exterior de llama	Acero al carbono, cobre, aluminio, zinc, etc.	1.2 a 6
Metal y gas inerte	Arco	Argón (o helio en Estados Unidos)	Acero inoxidable	1.2 en adelante
Por puntos de costura y de proyección	Calentamiento de resistencia en la arista interna de la unión a solape	Normalmente, ninguno. Agua para soldadura por resistencia Mo. Ta y W	Acero al carbono de alta y baja aleación	Metal de chapa de hasta 6
Espárrago	Arco	Ninguno	Acero al carbono de alta y baja aleación	Diámetro de espárrago hasta 25 aprox.
Arco sumergido	Arco	Fundente de mineral granulado	Acero al carbono de alta y baja aleación	1,2 en adelante (pero, generalmente, superior a 12)
Gas inerte de tungsteno	Arco	Argón (o helio en Estados Unidos)	Todos los metales de ingeniería, excepto Zn, Be y sus aleaciones	1,2 en adelante, normalmente hasta 6 aprox.

[7.6]

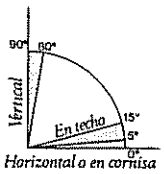
Símbolos de las posiciones de soldeo

Soldaduras a tope		Soldaduras de ángulo	
Término	Símbolo	Término	Símbolo
Horizontal		Acunada	
En cornisa		Horizontal	
En techo		En techo	
Vertical		Vertical	

[7.11]

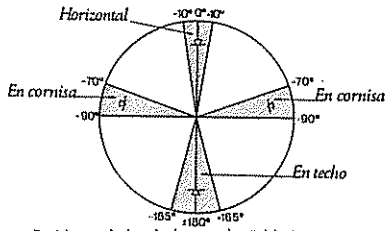


[7.12a]

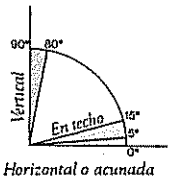


Horizontal o en cornisa

A- Límites del ángulo de inclinación
Soldaduras a tope



B- Límites de ángulo de rotación - Soldaduras a tope



Horizontal o acunada

A- Límites del ángulo de inclinación
Soldaduras de ángulo

[7.12b]

B- Límites de ángulo de rotación - Soldaduras de ángulo

7.2. EL PROCESO DE SOLDEO

En el soldeo por arco, la corriente que fluye a través del electrodo forma el arco entre éste y el metal base, y a través de él retorna a la fuente generadora [7.7]. En el proceso el arco produce el calor que funde el electrodo y el metal base y el campo electromagnético transporta el metal fundido del electrodo al metal base. Al mismo tiempo el electrodo es desplazado manual o automáticamente a lo largo de la unión con la velocidad adecuada para depositar la cantidad necesaria de metal de aportación. Se pueden distinguir cinco posiciones de soldeo: acunada o plana (P), horizontal (H), vertical (V), de techo (T) e inclinada (M) [7.8] y [7.12a].

Estas definiciones y sus límites respectivos, son una cuestión puramente convencional. La Norma UNE 14-404-75 «Posiciones fundamentales de soldeo» define éstas, en función de los dos parámetros que determinan la posición de una soldadura en el espacio: el ángulo de inclinación y el ángulo de rotación.

Angulo de inclinación es el ángulo formado por la línea de la raíz del cordón de soldadura respecto a un plano de referencia; está comprendido entre 0 y 90° [7.9].

Angulo de rotación es el ángulo formado por un plano vertical de referencia que contenga a la línea de raíz de la soldadura y el plano bisector de la misma [7.10].

Los términos y símbolos de las posiciones fundamentales se recogen en [7.11] y los límites de los ángulos de inclinación y rotación para los mismos en [7.12b][1].

Como puede comprobarse, las posiciones fundamentales no abarcan todas las posiciones que una soldadura puede tener en el espacio. Las posiciones de las soldaduras no comprendidas en las posiciones fundamentales, pueden denominarse genéricamente como de posición inclinada.

El soldeo vertical y de techo es posible porque el metal fundido es transportado hasta la unión por el campo electromagnético, no por gravedad. Los electrodos que se emplean en la soldadura por arco pueden ser electrodos desnudos o con diversos revestimientos. El revestimiento funde formando una escoria fluida y una atmósfera gaseosa que sirve tanto para estabilizar el arco como para protegerlo de los gases atmosféricos. La escoria fundida, de menor densidad que el metal, permanece en la superficie lo que origina un enfriamiento más lento del cordón, al mismo tiempo que lo protege de los gases atmosféricos. Por estas dos razones, con electrodos revestidos se obtiene una mejor calidad de soldadura que con electrodos desnudos y por ello, en la actualidad, son los que se emplean casi con absoluta exclusividad.

Este proceso aparentemente simple envuelve, sin embargo, auténticos y complicados procesos metalúrgicos y es necesario para asegurar una buena calidad de las uniones

---

[1] Estas posiciones de soldeo difieren ligeramente de los que fijaba la Norma UNE 14-009-56: **Signos convencionales en soldadura** [7.12a].

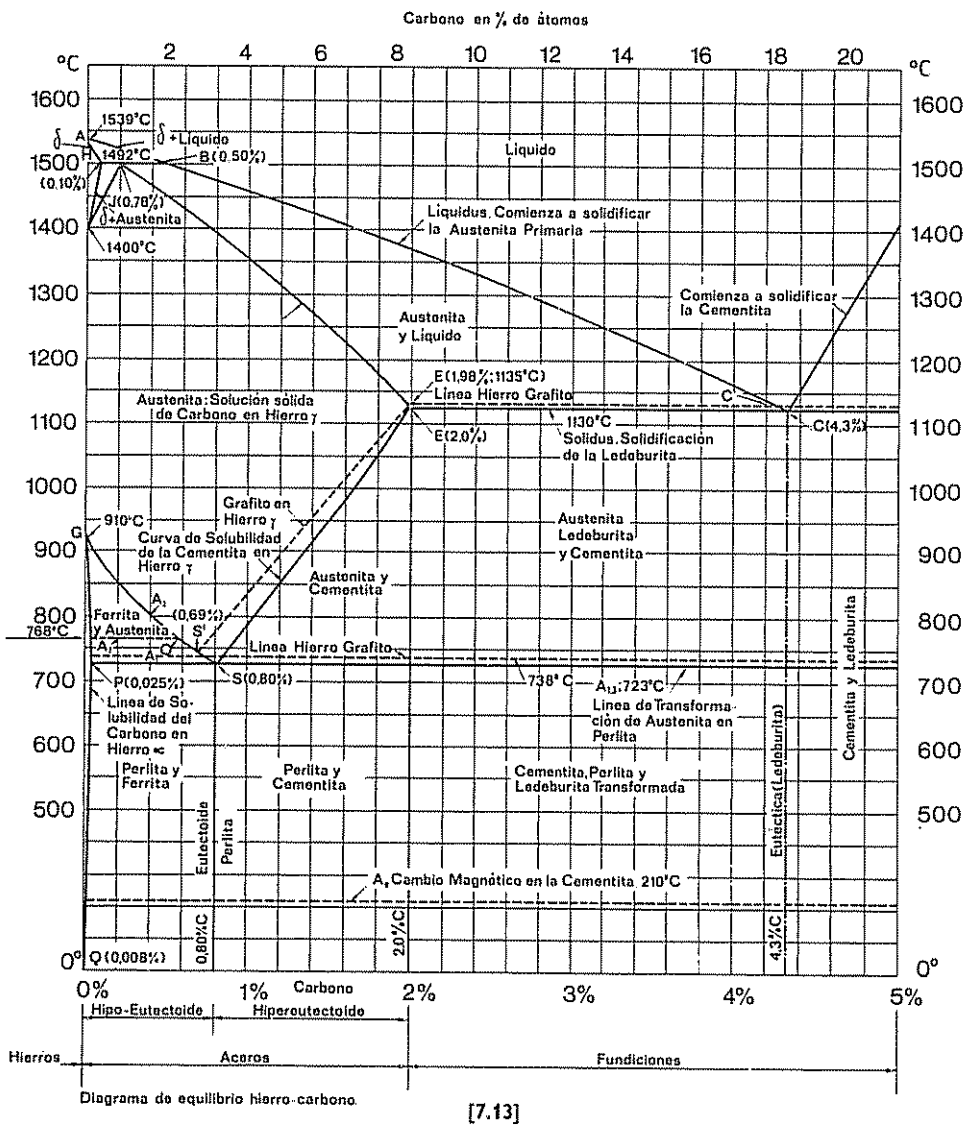


Diagrama de equilibrio hierro-carbono.

[7.13]

soldadas, un trabajo conjunto de proyectistas, supervisores y ejecutores. Al proyectista no puede exigírsele el ser un especialista en soldadura, pero sí debe tener algún conocimiento de los principios básicos de la metalurgia de la soldadura, de los efectos térmicos en el metal base y de las propiedades de los materiales y técnicas usadas en el proceso.

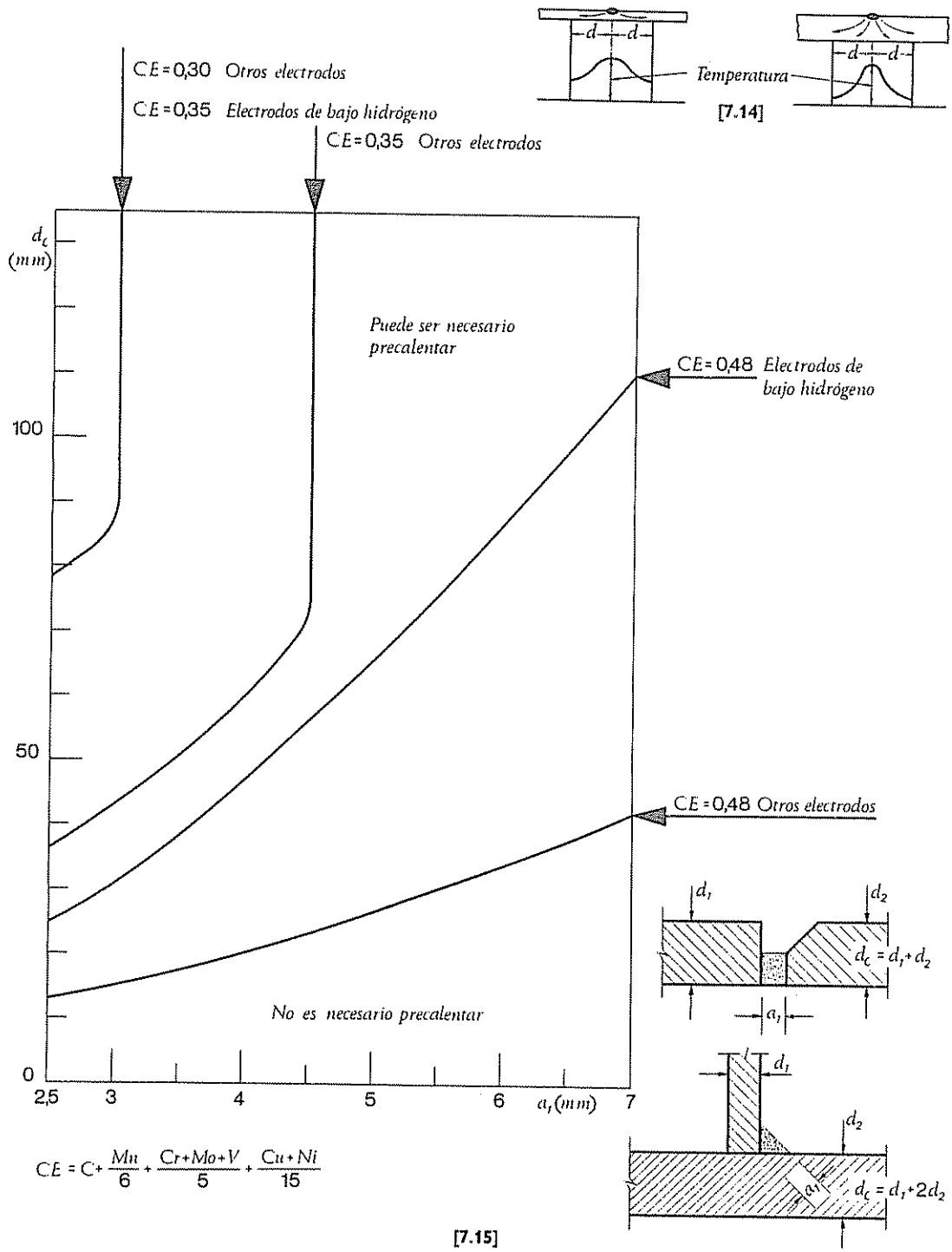
7.2.1. **Metalurgia.**

Tres conceptos metalúrgicos son interesantes en el proceso de soldeo: la estructura cristalina, la solubilidad gaseosa y la oxidación.

El acero empleado en la construcción metálica, por encima de una temperatura crítica de aproximadamente 850º, tiene una estructura cristalina casi uniforme (*austenita*, ver [7.13]). Cuando se enfría lentamente se transforma en un material dúctil llamado *perlita*. Si se enfría rápidamente, la austenita se transforma en un material frágil constituido principalmente por *martensita* y en menor proporción *perlita*. Las temperaturas críticas y la velocidad de enfriamiento que determinarán si un material será dúctil o frágil después del proceso de soldadura, depende de la composición del acero y en especial de su contenido de carbono. La composición química, tanto del metal base como del de aportación, es de gran importancia para la calidad de las soldaduras. Sin embargo, el factor fundamental es la *velocidad de enfriamiento*. Con un enfriamiento lento se obtiene generalmente un acero dúctil, mientras que un enfriamiento rápido o brusco origina un acero frágil.

Otro factor importante es la *solubilidad gaseosa*. El metal fundido, a alta temperatura, tiene una mayor capacidad de absorber gases disueltos que a temperaturas inferiores. Es, por tanto, muy importante durante el soldeo la protección del metal fundido de la absorción de gases de la atmósfera, puesto que estos gases pueden disolverse y producir cambios físicos y químicos durante el enfriamiento e incluso formar inclusiones de gas, dando origen a una soldadura porosa. Ya hemos indicado la acción protectora, que frente a estos efectos puede proporcionar un revestimiento apropiado de los electrodos.

Las reacciones de *oxidación* durante el proceso pueden producir óxidos sólidos o gaseosos que pueden originar inclusión de escoria o bolsas gaseosas, altamente perjudiciales para la calidad de la soldadura, aumentando su fragilidad y disminuyendo su resistencia.


d d
Temperatura
d d
[7.14]
CE = 0,30 Otros electrodos
CE = 0,35 Electrodos de bajo hidrógeno
CE = 0,35 Otros electrodos
d_c (mm)
Puede ser necesario precalentar
CE = 0,48 Electrodos de bajo hidrógeno
100
50
CE = 0,48 Otros electrodos
No es necesario precalentar
0
2,5
3
4
5
6
a_1 (mm)
7
$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$
d_1
d_2
$d_c = d_1 + d_2$
a_1
d_1
d_2
a_1
$d_c = d_1 + 2d_2$
[7.15]

7.2.2. **Efectos térmicos.**

La aportación de calor y el consiguiente aumento de temperatura, asociados al proceso de soldeo, puede influir en la calidad de las soldaduras bajo dos aspectos fundamentales: la primera es la dilatación y contracción de las piezas a unir y la segunda el posterior enfriamiento y la mayor o menor velocidad del mismo en las zonas afectadas.

Las dilataciones y contracciones pueden originar tensiones residuales y para disminuir las mismas es necesario permitir en lo posible los movimientos, reduciendo al mínimo las coacciones. Es de gran importancia, en piezas con varias soldaduras, estudiar la secuencia óptima para que las coacciones sean mínimas. Considerando este efecto es conveniente que la aportación de calor sea la menor posible.

Teniendo en cuenta el segundo aspecto, es deseable un enfriamiento lento por las consideraciones expresadas más arriba. Sobre la velocidad de enfriamiento influye sustancialmente el espesor de las piezas a unir.

Consideremos dos chapas, una gruesa y otra delgada, sobre las que se deposita una misma soldadura y, por tanto, se les aporta la misma cantidad de calor.

El calor, dada la mala conductibilidad del aire, se disipa con mayor facilidad en la chapa gruesa que en la delgada [7.14], originando, por tanto, una mayor velocidad de enfriamiento en aquélla. Para minimizar este efecto y la posible fragilización del material, sería deseable una mayor aportación de calor, en contradicción con lo que sería conveniente para disminuir las tensiones residuales.

El conflicto entre ambos requerimientos puede salvarse con el precalentamiento de las piezas a unir. Este puede ser deseable o necesario al unir espesores fuertes de chapas.

Una indicación de la necesidad de precalentamiento se representa en [7.15] [1], en función del tamaño de los cordones o pasadas, espesor del material y carbono equivalente. El diagrama no pretende más que dar una orientación al proyectista, siendo necesaria para la decisión final tener en cuenta otros factores locales y particulares.

Los fabricantes de material siderúrgico y de materiales de aportación, proporcionan habitualmente en su información técnica datos sobre esta cuestión.

---

[1] Convención Europea para la Construcción Metálica, **Recomendaciones para uniones soldadas,** marzo 74.

Características mecánicas de los aceros:

Clase de acero	Límite elástico σ_e			Resistencia a tracción σ_r (2)	Alargamiento de rotura δ				Doblado satisfactorio en espesor a, sobre mandril de diámetro		Resiliencia	
	Espesor ≤16 mm	Espesor >16 mm ≤40 mm	Espesor >40 mm ≤63 mm		En probeta longitudinal		En probeta transversal				Energía absorbida p	Temperatura de ensayo
					Espesor ≤40 mm	Espesor >40 mm ≤63 mm	Espesor ≤40 mm	Espesor >40 mm ≤63 mm	Probeta longitudinal	Probeta transversal		
	mín kg/mm²	mín kg/mm²	mín kg/mm²	mín-máx kg/mm²	mín %	mín %	mín %	mín %			mín kg · m	°C
A 42 *b*	26	25	24	42 - 53	24	23	22	21	2 *a*	2,5 *a*	2,8	+ 20°
A 42 *c*	26	25	24	42 - 50	24	23	22	21	2 *a*	2,5 *a*	2,8	0°
A 42 *d*	26	25	24	42 - 50	24	23	22	21	2 *a*	2,5 *a*	2,8	— 20°
A 52 *b*	36	(1) 35	(1) 34	52 - 62	(1) 22	(1) 21	20	19	2,5 *a*	3 *a*	2,8	+ 20°
A 52 *c*	36	35	34	52 - 62	22	21	20	19	2,5 *a*	3 *a*	2,8	0°
A 52 *d*	36	35	34	52 - 62	22	21	20	19	2,5 *a*	3 *a*	2,8	— 20°

(1) En los aceros de tipo A 52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.
(2) Salvo acuerdo en contrario, no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtiene 2 kg/mm² de menos. Tampoco si en los aceros de grados *c* y *d* se obtienen 2 kg/mm² de más.

[7.16a]

Composición química de los aceros:

Clase de acero	Estado de desoxidación (1)	Sobre colada							Sobre producto						
		C				P	S	N_2 (3)	C				P	S	N_2 (4)
		Para espesor ≤10 mm	Para espesor >10 mm ≤16 mm	Para espesor >16 mm ≤40 mm	Para espesor >40 mm				Espesor ≤10 mm	Espesor >10 mm ≤16 mm	Espesor >16 mm ≤40 mm	Espesor >40 mm			
		máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %	máx %
A 42 *b*	NE	0,22	0,22	0,24	0,24	0,050	0,050	0,009	0,25	0,25	0,27	0,27	0,060	0,060	0,010
A 42 *c*	NE	0,20	0,20	0,22	0,22	0,045	0,045	0,009	0,23	0,23	0,25	0,25	0,055	0,055	0,010
A 42 *d*	K	0,20	0,20	0,22	0,22	0,040	0,040	—	0,23	0,23	0,25	0,25	0,050	0,050	—
A 52 *b*	NE	0,22	0,24	0,24	0,24	0,050	0,050	0,009	0,25	0,27	0,27	0,27	0,060	0,060	0,010
A 52 *c*	NE	0,20	0,20	0,22	0,22	0,045	0,045	0,009	0,22	0,22	0,24	0,24	0,055	0,055	0,010
A 52 *d*	K	0,20	0,20	0,20 (2)	0,22	0,040	0,040	—	0,22	0,22	0,22 (2)	0,24	0,050	0,050	—

(1) NE No efervescente, sin elementos fijadores de N_2, K Calmado, para conseguir grano fino, mediante elementos fijadores de N_2 (por ejemplo: Al ≥ 0,020 %).

(2) Hasta espesor ≤ 30 mm. Para espesor > 30 mm: 0,22 % sobre colada; 0,24 % sobre producto.

(3) Puede admitirse máximo de N_2: 0,010 0,011 0,012
Si el máximo de P se reduce en: 0,005 0,010 0,015. En aceros fabricados en horno eléctrico el límite es 0,012 %.

(4) Puede admitirse máximo de N_2: 0,011 0,012
Si el máximo de P se reduce en: 0,005 0,010. En aceros fabricados en horno eléctrico el límite es 0,015 %.

(5) En los Aceros de tipo A 52 se exige además: Si máximo 0,55 %; Mn máximo 1,60 %.

[7.16b]

7.2 3. El material base.

En el proceso de soldeo se produce, en la parte del material base que ha sido fundida y en la zona de transición, una alteración del estado de equilibrio que no reproduce el estado original del material, al verificarse el enfriamiento más o menos brusco que se produce al terminar el proceso de soldeo. Este material alterado debe, no obstante, satisfacer determinadas características mecánicas: resistencia, plasticidad, seguridad contra la rotura frágil, entre otras. La comparación de estas características con las del material base no alterado constituye lo que podríamos definir como índice de soldabilidad. Un acero es soldable cuando las características del acero alterado son equiparables a las del material no alterado por el proceso de soldeo. La Norma UNE 14-051-74 (equivalente a la EN 45) define la soldabilidad de la siguiente forma:

> *Se considera que un material metálico es soldable en un grado dado para un proceso y para un tipo de aplicación determinados, cuando puede obtenerse una continuidad metálica por soldadura utilizando un procedimiento adecuado, de manera que las uniones soldadas cumplan con los requerimientos especificados con respecto a sus características locales y a su influencia sobre la construcción de la cual forma parte.*

En los aceros ordinarios los factores más importantes que determinan la soldabilidad o aptitud para el soldeo de un acero son: su composición química y su resiliencia.

7.2 3 1. *Elección del acero.*

Todos los aceros recogidos en la Norma MV-102-74 [7.16], en sus grados *b*, *c* y *d* son soldables. La elección del grado de acero está en función de la mayor o menor sensibilidad a la rotura frágil. En la probabilidad que se produzca la rotura frágil influyen, además de las características del acero, otras circunstancias independientes de él. Entre ellas las más importantes son: la temperatura mínima de servicio que deba soportar la construcción, el espesor de las piezas unidas, las deformaciones en frío que hayan sufrido las piezas, los posibles esfuerzos dinámicos y el estado tensional de las uniones.

Todas ellas se deben tener en cuenta para la elección del grado de acero, además de la importancia de la pieza dentro del conjunto de la estructura.

En [7.17] [1], según el tipo de solicitación: «tracción» o «compresión», el estado tensional, la importancia de la pieza y la temperatura de servicio, se atribuyen unos escalo-

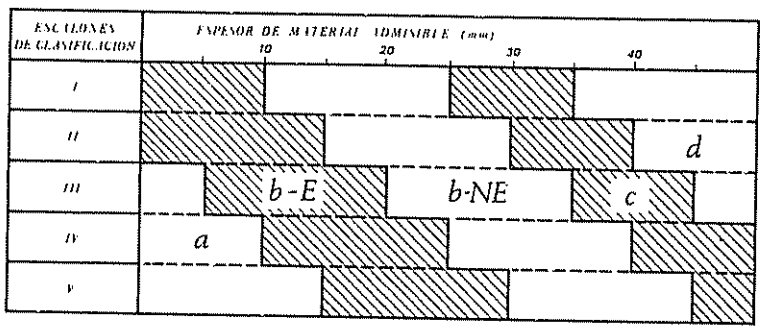
[1] [7.17], [7.18] y [7.19] están tomadas de las Recomendaciones de la Convención Europea. Se han preferido a las del Apéndice I de la Norma Básica MV-103, pues éste está inspirado en una versión anterior a las citadas Recomendaciones. La Norma UNE 76001 adopta los mismos criterios.

Determinación de los escalones de clasificación

Estado de tensiones	Importancia de la pieza	Compresión		Tracción	
		Temperatura			
		Hasta — 10°	Desde — 10° Hasta — 30°	Hasta — 10°	Desde — 10° Hasta — 30°
Elevado	1.° Orden 2.° Orden	IV V	III IV	II III	I II
Medio	1.° Orden 2.° Orden	V V	IV V	III IV	II III
Bajo	1.° Orden 2.° Orden	V V	V V	IV V	III IV

[7.17]

Determinación del grado de acero



Cuando exista el peligro de que lleguen a efectuarse zonas de segregación debe preferirse el grado *b*-NE al grado *b*-E.

[7.18]

Elección de clase de acero con deformación en frío

r/e	MAXIMO EN %	ESPESOR e ADMISIBLE EN mm	GRADOS
25	2	TODOS	TODAS
10	5	16	
		16	b) o d)
3,5	14	12	
1,5	25	8	b) o c)

Normalizado Térmico después de la deformación en frío, pero antes de soldar

r, radio de doblado de la curvatura interior

e, espesor de la chapa

[7.19]

nes de clasificación que varían de I hasta V. En el caso del escalón I se exigen los máximos requerimientos, y en el del escalón V, los más bajos. El grado del acero se determina, según [7.18], en función del escalón de clasificación y del espesor del material. En esta tabla se indican para los escalones de clasificación I hasta V los espesores límites correspondientes a los diferentes grados de acero, la tabla es válida para todos los tipos de acero relacionados en la MV-102 [1] y es independiente de la resistencia del acero de construcción.

En [7.19] debe comprobarse si el grado del acero elegido sigue siendo suficiente si se pretende soldar en el campo de zonas deformadas en frío.

Si debe contarse con una solicitación en forma de impacto, por ejemplo, en el caso de puentes de ferrocarril o de vigas carrileras con juntas en el carril, debe tomarse el escalón de clasificación inferior siguiente, o bien el grado de acero inmediatamente superior.

Cuando sea inevitable el soldeo en zonas de posibles segregaciones, debe evitarse el empleo de aceros efervescentes.

7.2.3.2. *Rotura frágil.*

El fenómeno de la rotura frágil, como el general de la rotura de los materiales, es sumamente complejo. Sin embargo, una representación del fenómeno y de los factores que influyen en el mismo se recoge, bastante aproximadamente, en la teoría simplificada que a continuación se expone:

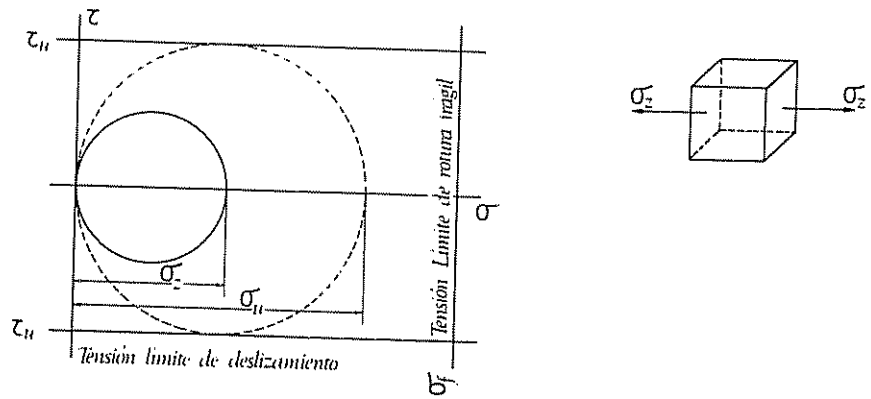
El acero se comporta plásticamente y fluye cuando se producen tensiones cortantes por deslizamiento, según determinados planos cristalográficos (rotura dúctil).

La rotura frágil tiene lugar por separación (descohesión) entre superficies cristalinas debido a tensiones normales al plano de rotura. Existe, pues, una tensión cortante de fluencia y un máximo de tensión principal, superado el cual se produce la rotura frágil. Este valor de la resistencia a la rotura frágil del acero es independiente de la temperatura, mientras que la resistencia a la fluencia tangencial aumenta cuando la temperatura disminuye. El comportamiento del acero puede ser frágil o dúctil, dependiendo del estado tensional y de la temperatura.

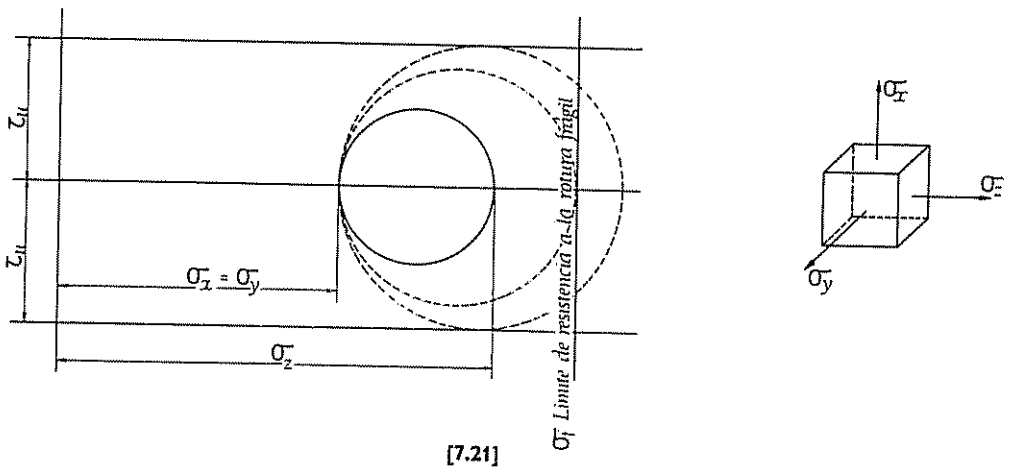
Consideramos primero la influencia del estado tensional. En [7.20] se representa el círculo de Mohr correspondiente a un punto de la sección transversal de una pieza sometida a tracción simple. En este caso $\sigma_x = \sigma_y = 0$. En este caso la rotura (fluencia) se produce cuando, para una orientación de planos en torno al punto, se alcanza una $\tau = \tau_u$ que corresponde a una $\sigma_z = 2\tau_u$.

---

[1] Una comparación entre los aceros incluidos en la MV-102 y en la Euronorma 25 (para los que están compuestas las tablas [7.17], [7.18] y [7.19]) solo presenta en algunos grados pequeñas diferencias en el valor de la resiliencia y en el contenido de carbono.


τ
τu
σ
σ=
σu
τu
Tensión límite de deslizamiento
Tensión Límite de rotura frágil
σf
σ=
σ=

[7.20]


τu
τu
σx = σy
σz
σf Límite de resistencia a la rotura frágil
σ1
σ1
σ1

[7.21]

Como para las condiciones normales de temperatura la resistencia a la rotura frágil es considerablemente mayor, no se produce la rotura frágil y la pieza se comporta como un elemento dúctil.

En el caso de tracción triaxial [7.21], en el que se ha considerado para mayor simplicidad $\sigma_x = \sigma_1$, vemos que la rotura dúctil se produciría para un valor de $\sigma_z = \sigma_x + 2\tau_u$ que vemos es considerablemente mayor que σ_f y, por tanto, la pieza rompe con rotura frágil cuando $\sigma_z = \sigma_f$. Por ejemplo, si $\sigma_x = \sigma_y = 2\tau_u$ la rotura dúctil se presentaría para $\sigma_z = 4\tau_u$ que puede ser mayor que σ_f.

Por tanto, cuando σ_x y σ_y son grandes puede producirse la rotura frágil y estos estados triaxiales pueden estar originados por tensiones residuales, aunque los esfuerzos de cálculo de la pieza sean solicitaciones simples.

La temperatura actúa en el sentido de que el aumento de la misma hace descender la tensión τ_u que fija el agotamiento por deslizamiento o rotura dúctil.

En [7.22] se representa la variación de las tensiones τ_u para los casos de solicitaciones estudiados anteriormente. De él se deduce que para un estado monoaxial de tensiones la pieza se comportará frágilmente para temperaturas inferiores a T_1 y dúctilmente para temperaturas superiores. T_1 es una temperatura crítica y análogamente sucede con T_2 para el estado triaxial de tensiones considerado.

7.2 4. El material de aportación.

7.2 4 1. *Electrodos.*

Refiriéndonos exclusivamente al soldeo manual puede afirmarse que, actualmente en la construcción metálica, se emplean casi exclusivamente electrodos revestidos. Ya se ha indicado la importancia del revestimiento en el proceso de soldeo. El revestimiento puede estar constituido por diversas sustancias, según como se quiera influir sobre el material de soldadura.

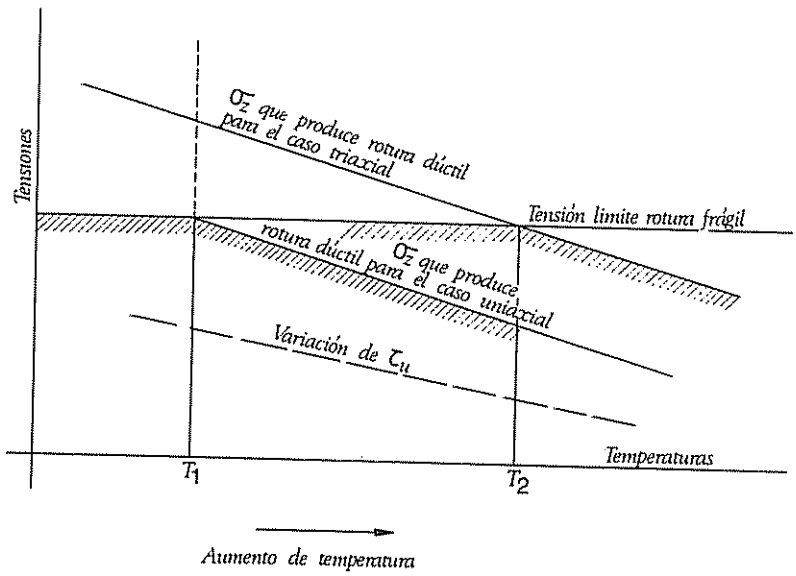
Refiriéndonos a la simbolización de la Norma UNE 14003, los electrodos que normalmente se utilizan en el soldeo manual por arco son:

E 43 1, E 43 2, E 43 3 y E 43 4 para los aceros A 37 y A 42.
E 51 1, E 51 2, E 51 3 y E 51 4 para los aceros A 44 y A 52.

La resistencia a tracción y la resiliencia del metal depositado deberán ser iguales o superiores a los valores correspondientes del metal base.

Según los casos y posiciones de soldeo se deben emplear electrodos con diversos tipos de revestimientos:

A Acido (óxido de hierro).
AR Acido de rutilo.
B Básico.
C Celulósico.
R Rutilo medio.
RR Rutilo grueso.


Tensiones
$\bar{\sigma}_z$ que produce rotura dúctil para el caso triaxial
Tensión límite rotura frágil
rotura dúctil para el caso uniaxial
$\bar{\sigma}_z$ que produce
Variación de τ_u
Temperaturas
T_1
T_2
Aumento de temperatura

[7.22]

Para el soldeo con aceros A 52, deben emplearse electrodos con recubrimiento básico. También debe utilizarse este tipo de electrodos para los aceros A 37, A 42 y A 44, con espesores de chapas superiores a 25 mm, en estructuras y uniones solicitadas por esfuerzos dinámicos, como pueden ser puentes, vigas carrileras, etc.

La elección del tipo de electrodo es, pues, fundamental para la calidad de las uniones soldadas, por tanto el proyectista debe fijar los tipos de electrodos y las características de los mismos en el pliego de condiciones.

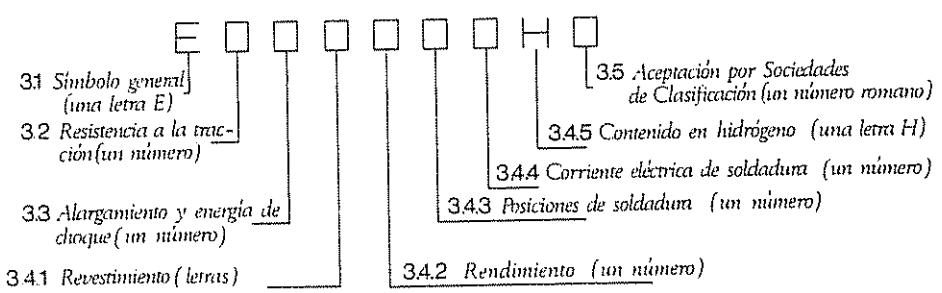
En el soldeo manual por arco pueden emplearse electrodos de alta penetración. Con este método de soldeo se aumenta el baño de fusión y si es correctamente efectuado pueden simplificarse la preparación de bordes y hasta, con espesores no muy grandes, suprimirse, permitiendo el soldeo a tope con bordes rectos a escuadra. En una soldadura de ángulo con este tipo de electrodos se obtiene una zona fundida profunda que favorece la transmisión de esfuerzos.

Su aplicación indiscriminada es peligrosa y requiere que se homologue previamente el procedimiento para determinar la penetración obtenida. Las condiciones para su aplicación vienen recogidas en la Propuesta UNE 14049.

Las características, simbolización y campo de aplicación de los electrodos revestidos para el soldeo manual se recogen en la UNE 14003, de la que a continuación incluimos un extracto:

3. *Simbolización.*

Los electrodos especificados en esta Norma se designarán por medio de las cinco clases de símbolos indicados en el siguiente esquema:



3.1 *Símbolo general. La letra E, situada al principio de la simbolización, tiene por objeto distinguir un electrodo para soldadura por arco manual, de cualquier otro producto de aportación.*

3.2. *Símbolo para la resistencia a la tracción. El símbolo se refiere a una de las dos categorías de la resistencia a tracción del metal depositado establecidas en la Tabla I. La determinación de la resistencia a la tracción se hará según la norma UNE 14022 1a. R.*

Tabla I

Resistencia a la tracción [1] del metal depositado		Símbolo
N/mm²	Kgf/mm²	
430-510	44-52	43
511-610	53-62	51

[1] Tolerancia en el límite superior: + 40 N/mm².

3.3. *Símbolos relativos al alargamiento y la energía de choque (resiliencia). La simbolización se hará de acuerdo con la Tabla II.*

Tabla II

Designación del electrodo	Resistencia a la tracción del metal depositado		Alargamiento L = 5 d Mínimo %	Temperatura correspondiente a una energía mínima de choque de 27,5 J (2,8 kgfm)
	N/mm²	kgf/mm²		
E 43 0	430-510	44-52	—	—
E 43 1	430-510	44-52	20	+ 20
E 43 2	430-510	44-52	22	0
E 43 3	430-510	44-52	24	— 20
E 43 4	430-510	44-52	24	— 30
E 51 0	511-610	53-62	—	—
E 51 1	511-610	53-62	18	+ 20
E 51 2	511-610	53-62	18	0
E 51 3	511-610	53-62	20	— 20
E 51 4	511-610	53-62	20	— 30

3.4. *Símbolos relativos a las condiciones de soldadura. Se simbolizarán en este grupo las características relativas a las condiciones de soldadura.*

3.4.1. *Tipos de revestimiento. Los tipos de revestimiento se simbolizarán por las letras siguientes:*

A *Acido (óxido de hierro).*
AR *Acido de rutilo.*
B *Básico.*
C *Celulósico.*
O *Oxidante.*
R *Rutilo medio.*
RR *Rutilo grueso.*
V *Otros tipos.*

4. *Símbolos obligados y opcionales.*

De los símbolos prescritos en el capítulo 3 serán obligatorios los de los apartados 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.1. Serán opcionales los símbolos prescritos en los apartados 3.4.2, 3.4.3, 3.4.4, 3.4.5 y 3.5.

5. *Designación.*

La designación de los electrodos se hará indicando los diferentes símbolos obligatorios que se indican en el capítulo 3, en el orden previsto, seguidos de la referencia de la presente Norma.

5.1. *Ejemplo de designación. Un electrodo revestido para soldadura por arco eléctrico manual, con un recubrimiento de rutilo de espesor medio, que cumple con las características de la clase I de las Reglas Unificadas de las Sociedades de Clasificación, de bajo contenido en hidrógeno, y que deposita el metal de soldadura con las siguientes características mecánicas mínimas:*

Resistencia a la tracción	*500 N/mm²*
Alargamiento	*23 %*
Energía de choque	*55 J a + 20° C;*
	32 J a 0° C;
	20 J a — 20° C
Rendimiento	*158 %.*

Puede emplearse para soldadura en todas las posiciones. Suelda satisfactoriamente con corriente alterna, de tensión en circuito abierto mínima de 50 V y corriente continua en polaridad positiva.

Se simbolizaría:

E 43 2 R 160 13 H1.

La simbolización obligada será:

E 43 2 R.

7.2.4.2. *Alambres macizos para el soldeo al arco eléctrico, en atmósfera protectora.*

El material de aportación utilizado en el procedimiento II, es objeto de la Norma UNE-14-204-74, «Simbolización para la identificación de alambres macizos para el soldeo al arco eléctrico, en atmósfera protectora, de aceros no aleados y débilmente aleados», de la cual extractamos los puntos más interesantes para el proyectista.

1. *Objeto.*

Esta Norma tiene por objeto establecer las reglas para identificar, mediante símbolos, los alambres macizos empleados como electrodo consumible, en la soldadura al arco eléctrico, en atmósfera protectora.

2. *Campo de aplicación.*

Esta Norma se refiere solamente a los alambres macizos, empleados como electrodo consumible, en la soldadura al arco en atmósfera protectora, de los aceros al carbono de resistencia normal y de los aceros de baja aleación cuya resistencia está comprendida entre 500 y 600 N/mm².

3. *Esquema general de la simbolización.*

Los alambres macizos especificados en esta Norma se designarán por medio de las tres clases de símbolos indicados a continuación:

3.1. *El primer símbolo se refiere al producto general a identificar: alambre macizo utilizado como electrodo consumible en la soldadura al arco eléctrico en atmósfera protectora.*

El símbolo general será PM *(*P *por soldadura al arco eléctrico;* M *representativo de la soldadura al arco en atmósfera protectora con alambre macizo empleado como electrodo consumible).*

3.2. *El segundo símbolo indica la composición química del alambre, de acuerdo con los requisitos contenidos en la Tabla I para cada tipo de alambre. Estas composiciones químicas garantizan una satisfactoria transferencia de metal en el arco y dan lugar a soldaduras sanas.*

Tabla I

Alambre número	Tipo	C %	Si %	Mn %	Otros %
1	Desoxidación baja	0,06-0,12	0,4-0,7	1,0-1,3	—
2	Desoxidación media	0,07-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	—
3	Desoxidación alta	0,07-0,14	0,9-1,2	1,6-1,9	—
4	Desoxidación múltiple	0,06-0,12	0,4-0,7	1,0-1,3	Al máx 0,4 Ti + Zr máx 0,2
5	Con Mo	0,07-0,14	0,5-0,8	1,6-2,0	Mo 0,4-0,6

Notas:

a) Ni, Cr, Mo, V, pueden estar presentes en estos alambres, pero no se añaden intencionadamente (salvo el Mo, en el n.º 5).

b) S y P 0,40 % máx cada elemento.

Los alambres tipo 1 con un contenido relativamente bajo en silicio se utilizan en general con mezclas de gases ricos en argón, cuyo potencial de oxidación es bajo.

Los tipos 2 y 3 suelen utilizarse con protección de gas CO_2.

El tipo 4 se recomienda en la soldadura de chapas oxidadas o con calamina. El porcentaje de aluminio evita la formación de porosidad, consecuente a la reacción del FeO y el C, especialmente cuando se emplee CO_2 como gas protector.

El tipo 5 se utiliza con frecuencia en la soldadura de tuberías; el contenido en molibdeno eleva la tensión superficial del metal fundido favoreciendo así la ejecución de uniones en posición continuamente variable como es el caso en la soldadura de oleoductos o gasoductos.

3.4. *No se simbolizan las propiedades mecánicas del metal depositado, ya que éstas son función del gas de protección que se emplee y del tipo de transferencia utilizado: transferencia en chorro, globular o por cortocircuitos.*

7.2.4.3. *Alambres y fundente para el soldeo por arco sumergido.*

No existe ningún documento o norma definitivos, que regule las características, simbolización y ensayos de estos materiales, los datos que damos a continuación están extractados del documento del Instituto Internacional de la Soldadura IIS/IIW-385-71, «Clasificación y simbolización de alambres y flux (fundente) para el soldeo por arco sumergido de aceros de construcción». Este documento tiene carácter provisional.

La proposición final contenida en el presente documento (XII-512-70), tiene por objeto suscitar la reacción de la industria y este documento será de nuevo revisado en un plazo de tres años considerando la experiencia adquirida en su utilización. El documento será transmitido al ISO.

En el soldeo con arco sumergido se mantiene un arco entre el extremo de un alambre electrodo y la pieza a soldar. El avance del alambre hacia el baño, a medida que se funde, está asegurado normalmente por medio de una bobina de funcionamiento continuo (rollo, llanta o tambor). El arco y el baño de fusión están constantemente rodeados y protegidos con una envolvente de flux fundido recubierta de una capa de flux no fundido en estado granular.

Esta clasificación trata de los alambres y de los tipos de flux para el soldeo por arco sumergido de aceros de construcción dulces y débilmente aleados de calidad de calderas o naval, y de aceros finos comprendidos entre un límite elástico de 270 a 490 N/mm² (28 a 50 kgf/mm²) y de resistencia a tracción entre 330 y 690 N/mm² (34 a 70 kgf/mm²).

2.1. *Clasificación de los alambres.*

La composición química es determinante para la clasificación de los alambres de soldadura. La designación se establecerá por el fabricante de acuerdo con la Tabla I; puede ser certificada por autoridades oficiales.

Todos los alambres de soldeo deben presentar un acabado regular, exento de defectos superficiales o de cuerpos extraños susceptibles de ejercer una influencia desfavorable sobre las propiedades de la soldadura o sobre el funcionamiento del metal de soldeo.

Los diámetros corrientes de los alambres son: 1,2; 1,5; 2,0; 2,4; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0, y 12,0 mm.

2.3. *Designación y bases para la elección del hilo.*

El prefijo P designa un alambre electrodo como en cualquier otra designación. La letra S indica que se trata de un alambre para el soldeo por arco sumergido. La cifra siguiente dividida por dos, da el contenido en manganeso del alambre; por ejemplo: PS2 *indica un contenido de manganeso de* $2 : 2 = 1\ \%$; PS4 *un contenido de* $4 : 2 = 2\ \%$ Mn, *etc.*

3. *Tipos de flux de soldeo.*

Los tipos de flux para el soldeo por arco sumergido están formados por contenidos variables de compuestos minerales granulares fusibles fabricados según diferentes procedimientos. Se llaman, se-

gún su modo de fabricación: fundidos, aglomerados o sinterizados, o mezclados mecánicamente. Los tipos de flux para arco sumergido tienen por finalidad transportar las intensidades de corriente elevadas, proteger el baño de fusión de la atmósfera cubriéndolo por una envolvente de metal fundida, purificar el metal fundido, modificar la composición química y actuar sobre la forma del cordón.

3.1. Designación de los tipos de flux.

La designación se compone de seis grupos de signos que caracterizan para cada flux:

a) método de fabricación
b) su capacidad electroconductora
c) la posibilidad de empleo en soldeo a gran velocidad con alambre único
d) la naturaleza de la corriente de soldeo utilizada
e) la tensión en vacio necesaria para el soldeo en corriente alterna
f) la influencia metalúrgica sobre el metal fundido.

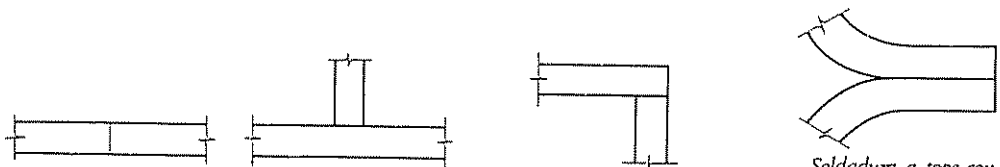
Las letras que designan los métodos de fabricación más usuales son:

F tipos de flux fundido
B tipos de flux aglomerados o sinterizados
M tipos de flux mezclados mecánicamente.

Los tipos de flux fundidos son mezclas de silicio y óxidos metálicos que contienen una pequeña cantidad de sal halógena y que al fundirse totalmente forman un silicato metálico.

Los tipos de flux aglomerados o sinterizados se componen de una mezcla de óxidos, finamente divididos, de metales alcalino-térreos, manganeso, aluminio, silicio, circonio, titanio y agentes calmantes o desoxidantes tales como Si-Mn, Fe-Mn, Fe-Si o aleacicnes análogas y pequeñas cantidades de sales halógenas. Estos compuestos se unen por medio de un ligante apropiado y se aglomeran o sinterizan formándose gránulos duros en los que los diferentes productos están uniformemente repartidos.

Los tipos de flux mezclados mecánicamente pueden ser o bien mezclas de diversos tipos de flux fundidos y aglomerados o sinterizados en diferentes proporciones, o bien mezclas obtenidas mecánicamente de minerales o desoxidantes metálicos finamente divididos.



Soldadura a tope — Soldadura a tope en T — Soldadura a tope en esquina — Soldadura a tope con bordes levantados

[7.23]

7.3. CLASIFICACION, REPRESENTACION Y CALIDAD DE LAS SOLDADURAS

7.3.1. Clasificación de las soldaduras.

Esencialmente las soldaduras pueden clasificarse en tres grupos: soldaduras a tope, soldaduras de ángulo y soldaduras especiales.

Dentro de las soldaduras a tope, por la posición relativa de las chapas a unir, pueden distinguirse: las soldaduras a tope propiamente dichas, soldaduras en T, de esquina y con bordes levantados [7.23].

Las soldaduras de ángulo, por su posición relativa a los esfuerzos solicitantes se clasifican principalmente en longitudinales y transversales.

Dentro de las soldaduras especiales, pueden incluirse las soldaduras de tapón, ranura, de recargue, etc.

Por la posición de soldeo, las soldaduras pueden clasificarse en: acunada o plana, horizontal, vertical, de techo e inclinada (artículo 7.2).

7.3.2. Representación simbólica de las soldaduras.

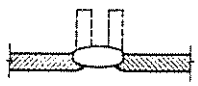
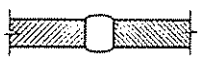
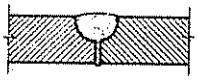
En dibujos de detalle a gran escala es posible representar la soldadura con sus medidas exactas, pero esto no es ni mucho menos el caso general. Normalmente el cordón se representa por una línea que determinará, al propio tiempo, el borde de las piezas que une. Si se quiere determinar las características de la soldadura es necesario recurrir a una representación simbólica.

En la Norma ISO 2553, «Soldadura.—Representación simbólica para el dibujo, 1974», se trata de este tema. Extractamos de ella, a continuación, los convenios de representación que consideramos más interesantes para el proyectista[1]:

> *La representación simbólica debe facilitar, sin equívoco, todas las indicaciones útiles sobre la soldadura que se ha de conseguir sin que por ello sea necesario sobrecargar el dibujo o representar una vista suplementaria.*
>
> *Dicha representación simbólica comprende un* símbolo elemental *que puede completarse con:*
>
> — *un símbolo suplementario*
> — *unas cotas convencionales*
> — *indicaciones complementarias (especialmente en los planos de taller).*

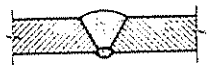
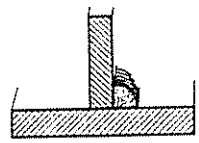
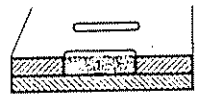
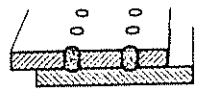
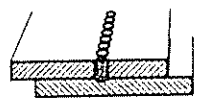
[1] La Norma UNE 14009, «Signos convencionales de la soldadura»; también trata de esta cuestión, aunque difiere de la ISO en algunos aspectos.

Símbolos recomendados.

Núm.	Designación	Ilustración	Símbolo
1	Soldaduras sobre bordes levantados (bordes levantados completamente fundidos) *		
2	Soldadura sobre bordes rectos		
3	Soldadura en V		
4	Soldadura en semi-V		
5	Soldadura en Y		
6	Soldadura en semi-Y		
7	Soldadura en U (o en tulipán)		

[7.24]

Símbolos recomendados.

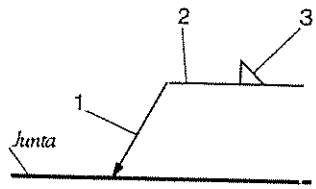
Núm.	Designación	Ilustración	Símbolo
8	Soldadura en semi-U (o en J)		
9	Repaso por el dorso		
10	Soldadura de ángulo		
11	Soldadura en entallas (o en tapones)		
12	Soldadura por puntos		
13	Soldadura en línea continua con recubrimiento		

* Las soldaduras sobre bordes rectos levantados (símbolo 1) sin penetrar completamente, se simbolizan como la soldadura sobre bordes rectos (símbolo 2) con indicación de la cota principal «s» (ver [7 31]).

[7.24]

Superficie exterior de la soldadura	Símbolo
Soldadura plana	
Soldadura convexa	
Soldadura cóncava	

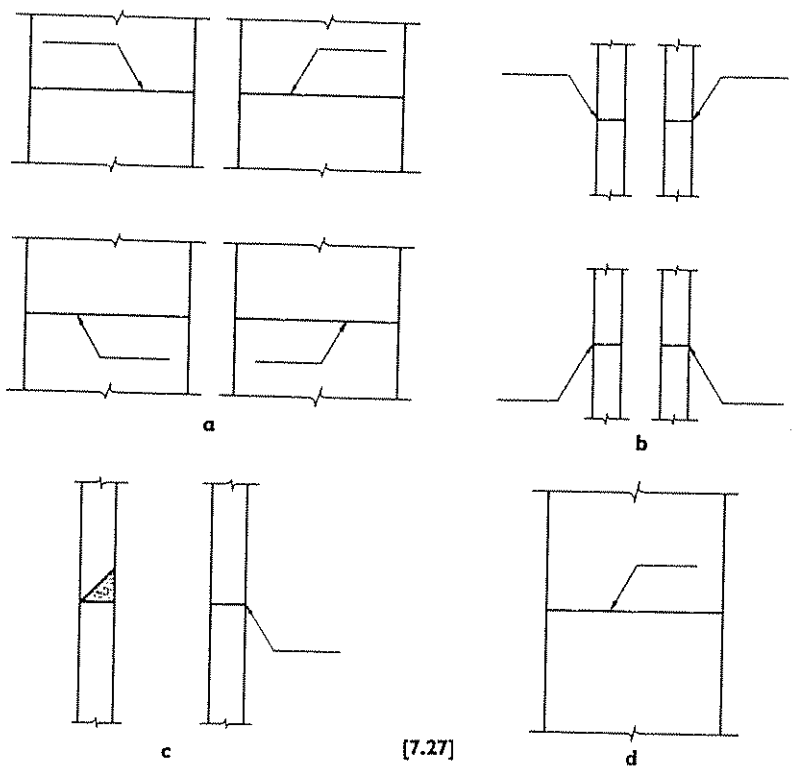
[7.25]



1 - *Línea de marca*

2 - *Línea de referencia*

[7.26] 3 - *Símbolo*



[7.27]

Símbolos elementales.

Las diferentes categorías de soldaduras se caracterizan por un símbolo que recuerda, en general, la forma de la soldadura realizada.

El símbolo no prejuzga el procedimiento de soldadura empleado.

Los símbolos recomendados se definen en [7.24]. *Si fuera necesario se utilizan combinaciones de signos elementales.*

Símbolos suplementarios.

Los símbolos elementales pueden completarse con un símbolo que caracterice la forma de la superficie exterior de la soldadura.

Los símbolos suplementarios recomendados se definen en [7.25].

Posición de los símbolos en los dibujos.

Aparte de los símbolos, el método de representación comprende [7.26].

— *una línea de marca*
— *una línea de referencia*
— *cierto número de cotas y signos convencionales.*

La posición de la línea de marca, con relación a la soldadura, puede ser cualquiera [7.27a] y [7.27b]. *No obstante, cuando una de las chapas está preparada y la otra no, la línea de marca debe apuntar a la chapa que está preparada* [7.27c] y [7.27d].

La línea de referencia es una recta preferentemente paralela al borde inferior del dibujo.

La posición del símbolo con relación a la línea de referencia se define en [7.28].

Dimensiones de las soldaduras y su inscripción.

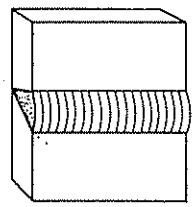
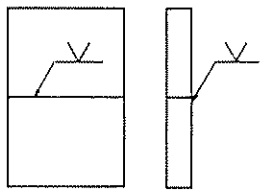
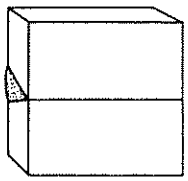
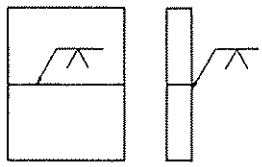
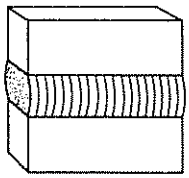
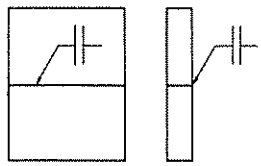
Cada símbolo de soldadura puede ir acompañado de cierto número de cotas. Se escribirá:

— *A la izquierda del símbolo, las cotas principales relativas a la sección transversal.*
— *A la derecha del símbolo, las cotas relativas a las dimensiones longitudinales.*

En el caso de soldaduras a tope, salvo indicaciones contrarias, las soldaduras son continuas a todo lo largo de la junta y la penetración es total. Se define el espesor del cordón «a» como el espesor de las partes a soldar, si son de igual espesor. Si tienen espesores distintos, el espesor del cordón «a» se considera igual al menor espesor del material [7.29].

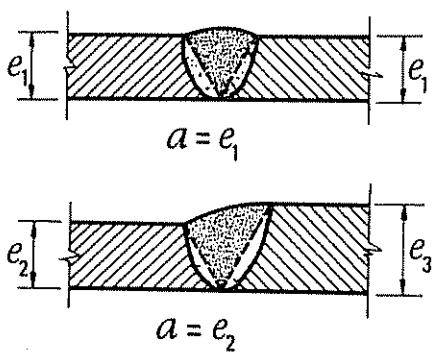
Es preciso tener en cuenta además que:

— *la ausencia de indicación a la derecha del símbolo significa que la soldadura es continua a todo lo largo de los elementos soldados;*
— *salvo indicación contraria, las soldaduras a tope son de penetración total;*
— *para las soldaduras de ángulo, la cota indicada es siempre la garganta «a». Se define la garganta de una soldadura de ángulo como la altura del máximo triángulo isósceles, cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir, inscribible en la sección transversal de la soldadura* [7.30];

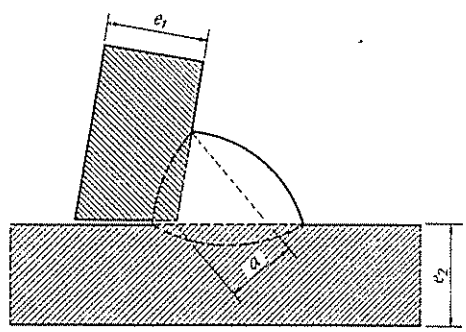
		Por encima de la línea de referencia si la superficie exterior de la soldadura está por el lado de la línea de marca de la junta.
		Por debajo de la línea de referencia si la superficie exterior de la soldadura está por el otro lado de la línea de marca de la junta.
		A caballo sobre la línea de referencia en el caso de soldaduras realizadas dentro del plano de la junta.

En el caso de soldadura por puntos hecha por saliente, la superficie que lleva el saliente se considera como superficie exterior de la soldadura.

[7.28]



[7.29]



[7.30]

— *en el caso de muescas con bordes achaflanados, la cota del fondo de la muesca es la que se tomará en consideración*

En [7 31] *se recogen distintos casos con las cotas principales que deben indicarse*

Indicaciones complementarias.

Pueden necesitarse algunas indicaciones complementarias, como por ejemplo, las que se recogen en [7.32]

En [7.33] *se recoge la posición relativa de todos los símbolos e indicaciones que se recogen en la representación simbólica.*

7.3 3. **Soldaduras a tope.**

En [7.34] se representan algunos tipos de soldaduras a tope. La adopción de uno u otro tipo está condicionada por diversos factores: por las dimensiones de las chapas a unir, por el procedimiento y posición de soldeo y por la posibilidad de acceso a ambas caras de la unión, entre otros.

El objetivo a cumplir es el de obtener una soldadura de penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados, para evitar o disminuir el efecto de entalla en la unión.

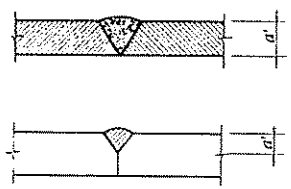
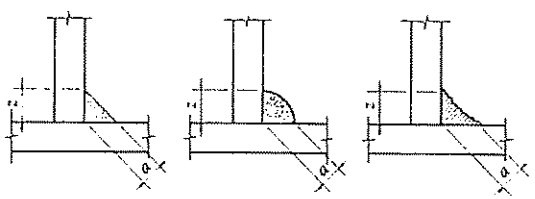
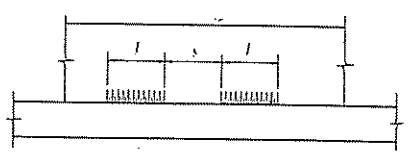
7.3 3 1. *Preparación de bordes.*

El objeto de la preparación de bordes es el de asegurar una buena penetración del metal de aportación y facilitar la ejecución, de manera que se obtenga una soldadura sana.

Para la elección del tipo de preparación, deben considerarse los siguientes factores:

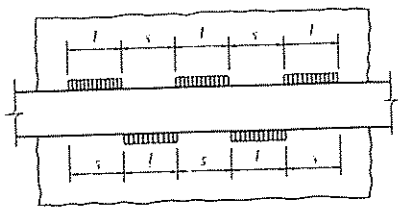
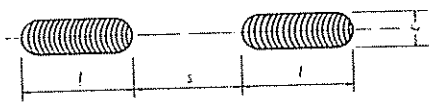
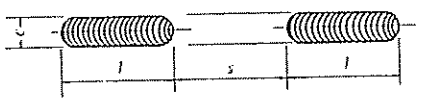
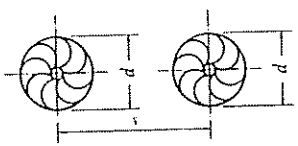
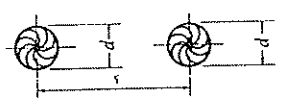
El procedimiento de soldeo.
La posición de soldeo.
El espesor del material y el tipo de junta.
La penetración necesaria.
La posibilidad de evitar o atenuar la deformación de las piezas.

Principales cotas que deben indicarse:

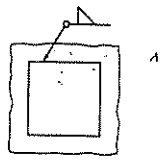
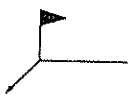
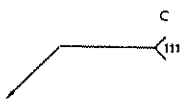
Designación de las soldaduras	Definición		Inscripción
1. Soldadura a tope		a': distancia mínima de la superficie de la chapa a la raíz del cordón, en ningún caso puede ser superior al espesor de la chapa más fina.	a' V a' Y
2. Soldadura sobre bordes levantados sin penetración completa.		a': distancia mínima de la superficie exterior de la soldadura a la raíz del cordón.	a'
3. Soldaduras de ángulos. Soldaduras continuas.		a: altura del ángulo mayor isósceles inscrito en la sección. z: lado del ángulo mayor isósceles inscrito en la sección. No es frecuente su uso en España.	a ◺ z ◺
4. Soldaduras discontinuas		l: longitud de la soldadura (sin los cráteres terminales). s: distancia de dos elementos de soldadura próximos. n: número de elementos de soldadura. $\begin{matrix} a \\ z \end{matrix}$ ver designación 3	a ◺ $n \cdot l\ (s)$ z ◺ $n \cdot l\ (s)$

[7.31]

Principales cotas que deben indicarse:

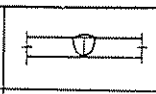
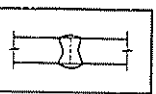
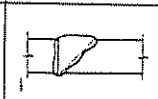
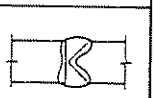
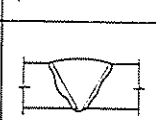
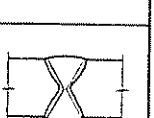
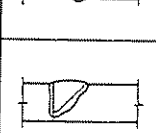
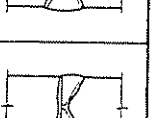
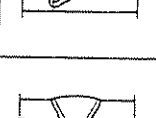
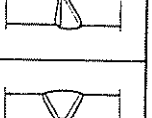
Designación de las soldaduras	Definición		Inscripción
5. Soldaduras discontinuas con elementos alternos		l, s, n } ver designación 4 a, z } ver designación 3	a $n \cdot l$ (s) / a $n \cdot l$ (s) z $n \cdot l$ (s) / z $n \cdot l$ (s)
6. Soldaduras en muesca		l, s, n } ver designación 4 c: anchura de las muescas	c $n \cdot l$ (s)
7. Soldaduras en línea		l, s, n } ver designación 4 c: anchura de la soldadura	c $n \cdot l$ (s)
8. Soldaduras en tapón		n: ver designación 4 s: entre-eje d: diámetro de la muesca	d n (s)
9. Soldaduras por puntos		n: ver designación 4 s: entre-eje d: diámetro de la junta	d n (s)

[7.31]

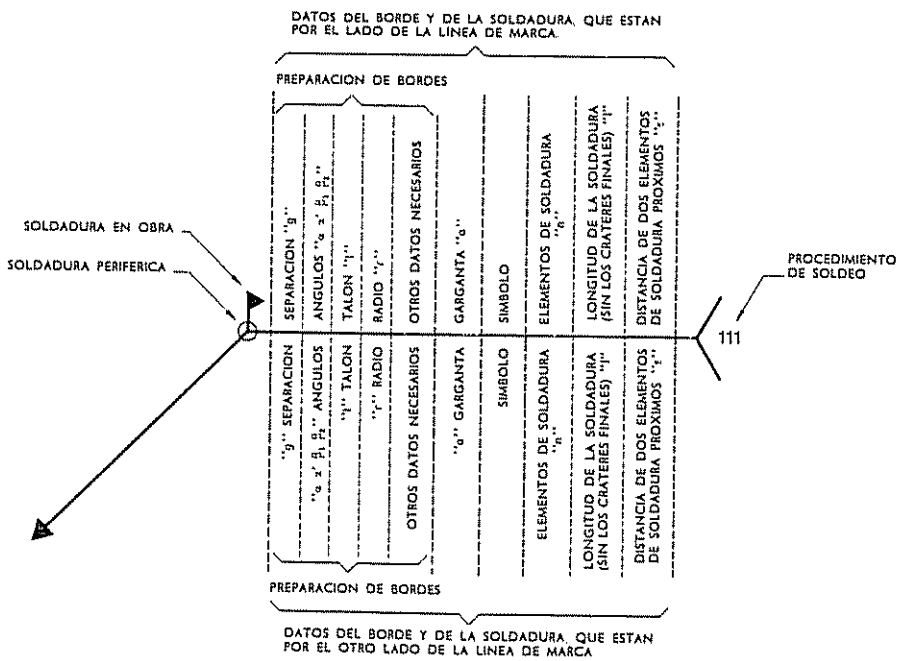
 A	**Soldaduras periféricas** Cuando la soldadura debe realizarse sobre todo el contorno de una pieza, el símbolo es una circunferencia.
 B	**Soldaduras realizadas en obra** Añadir una bandera.
 C 111	**Indicaciones del procedimiento de soldadura** Cuando sea necesario precisar el procedimiento de soldadura, éste se simboliza por medio de un número inscrito entre las dos ramas de una horquilla.

[7.32]

Tipos de soldadura

Bordes encuadrados		
V y X asimétricas		
V y X simétricas		
J y doble J		
U simétricas		

[7.34]



Nota: En el esquema se recogen todos los datos posibles, en los casos reales figurarán solo los utilizables. Cuando los datos a uno y otro lado de la línea de referencia sean iguales, se podrá colocar en un lado solo el símbolo.

[7.33]

La economía en la operación de preparación de bordes y en el consumo de metal de aportación.
La naturaleza del metal de base.

Definiciones y tipos de preparación [1].

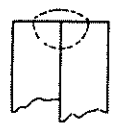
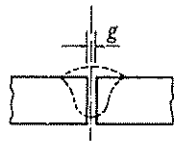
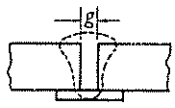
En [7.35] se esquematizan los tipos de preparación de bordes más empleados en la soldadura de fusión.

Asociadas a estas disposiciones existen algunos conceptos y magnitudes que definimos a continuación para su más correcta interpretación:

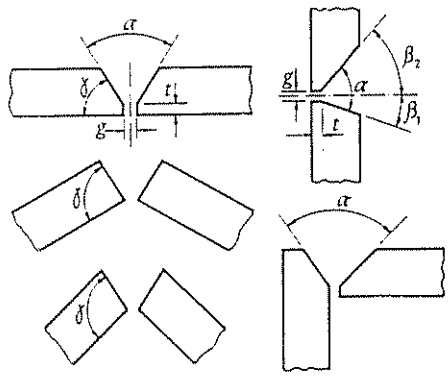
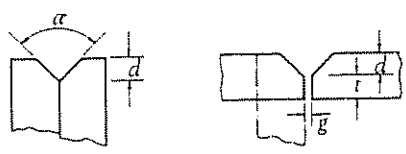
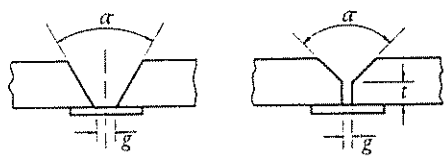
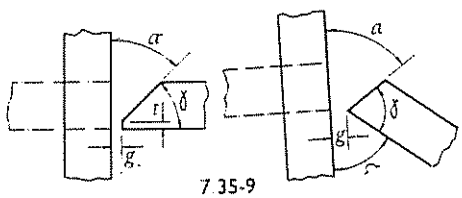
— Chaflán: Es el espacio que se deja entre dos piezas para rellenar con metal de aportación. Los bordes de las mismas pueden prepararse adecuadamente para el fin que se persigue y sus caras pueden ser planas o curvas.
— Perfil del chaflán: Es el de la sección recta del chaflán.
— Superficie de fusión: Es la parte de una superficie o de un borde que se funde al realizar una soldadura por fusión.
— Preparación de bordes: Es la operación de dar forma a los bordes para conseguir el perfil del chaflán que se desea obtener
— Achaflanado: Es la operación mediante la que se produce una superficie plana de fusión que forma un ángulo diferente de 90° con el plano de la superficie de las piezas.
— Ranurado: Es la operación mediante la que se producen superficies de fusión cóncavas.
— Preparación a bordes escuadrados: es la operación mediante la que se produce una superficie plana de fusión que forma un ángulo de 90° con el plano de la superficie de las piezas.
— Chaflán paralelo: Es aquél cuyas superficies de fusión son paralelas.
— Chaflán sencillo: Es aquél cuyas superficies de fusión se abren hacia un solo lado.
— Chaflán doble: Es aquél cuyas superficies de fusión se abren hacia los dos lados opuestos.
— Separación de bordes (en raíz): Es la distancia mínima entre las superficies de fusión en cualquier sección recta del chaflán. En [7.36] se indican valores recomendados para este valor de *g*, en el artículo mencionado.

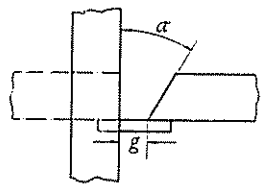
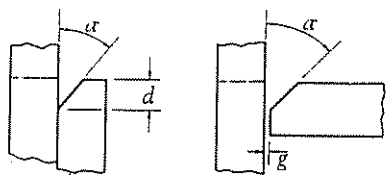
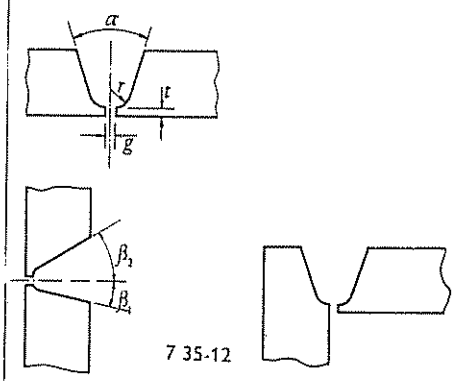
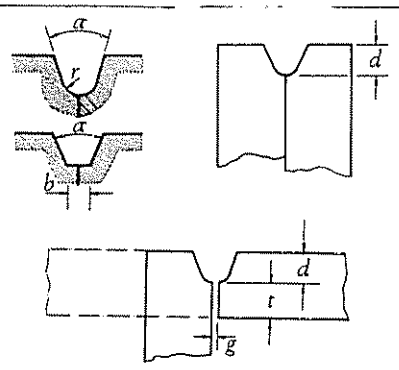
---

[1] J. BATANERO, R. HEREDIA y M. DE MIRO. *Ciencia y Técnica de la Soldadura*. «Preparación de bordes en las piezas de aceros de bajo contenido en carbono o débilmente aleados, para su soldeo por fusión, por procedimientos tanto manuales como automáticos, 1963».

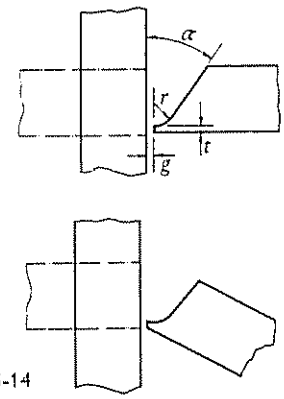
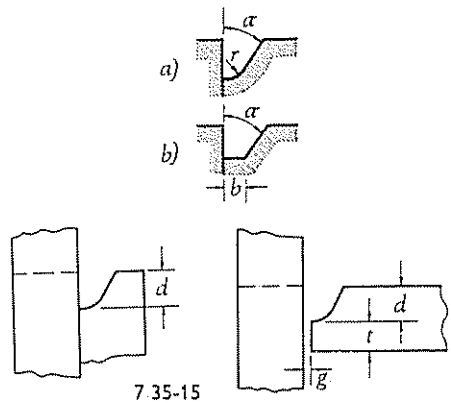
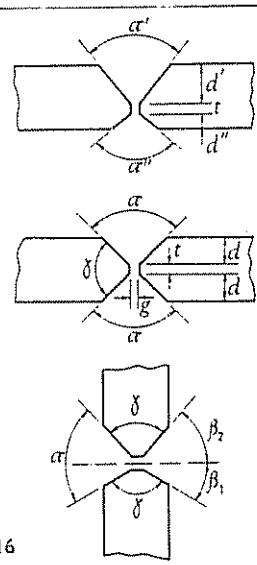
Preparación con bordes levantados: Es la que se forma levantando los bordes de las piezas a soldar. El cordón de soldadura se deposita a lo largo de estos bordes.	 7.35-1
Preparación con bordes escuadrados libres: Es aquella de bordes escuadrados en la que las superficies de éstos, en las dos piezas, están en el mismo plano. El cordón se deposita a lo largo de la arista común a dichos bordes.	 7.35-2
Preparación a tope con bordes escuadrados: Es aquella de bordes escuadrados en la que las superficies de fusión son paralelas.	 7.35-3
Preparación a tope con bordes escuadrados y chapa dorsal: Es igual a la descrita en la anterior, con mayor separación de bordes y chapa adosada a las superficies de las piezas por el lado de la raíz.	 7.35-4

[7.35]

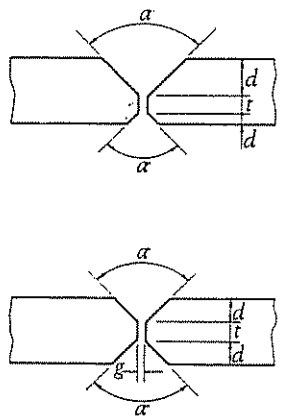
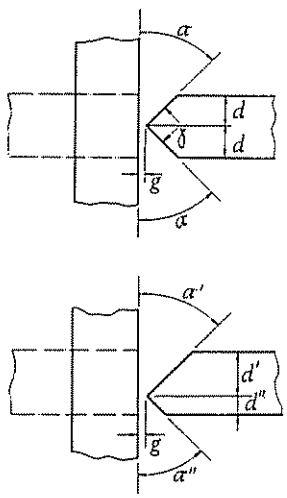
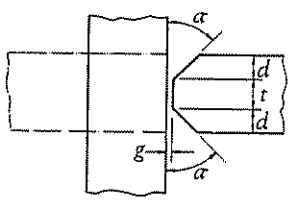
Preparación en V: Es aquella en la que la sección recta del chaflán tiene forma de «V». La «V» puede ser simétrica o asimétrica y tener o no talón, que en ningún caso será mayor de 3 mm. ni del cuarto del menor de los dos espesores de las piezas a unir.	 7 35-5
Preparación en Y (denominada también «en V con talón»): Es aquella en V en la que el talón es mayor de 3 mm y del cuarto del menor de los espesores de las piezas a unir. El talón puede quedar constituido por los dos bordes, por las superficies de las piezas o por un borde y la superficie de la otra pieza	 7 35-6
Preparación en V con chapa dorsal: Es igual a la descrita en «Preparación en V» con mayor separación de bordes y chapa adosada a las superficies de las piezas por el lado de la raíz. Preparación en Y con chapa dorsal: Es igual a la descrita en «Preparación en Y» con mayor separación de bordes y chapa adosada a las superficies de las piezas por el lado de la raíz.	 7.35-7
Preparación en V con bordes levantados: Es una preparación con bordes levantados en la que se deposita el cordón sobre las superficies convexas de las chapas plegadas.	 7 35-8
Preparación en V con simple chaflán: Es aquella, igual a la definida en «Preparación en V», en la que sólo se prepara uno de los bordes.	 7 35-9

Preparación en V con simple chaflán y chapa dorsal: Es igual a la descrita en la anterior, con mayor separación de bordes y chapa adosada a la superficie de las piezas.	 7.35-10
Preparación con simple chaflán parcial: Es aquella en la que sólo una de las piezas está preparada y el talón es mayor de 3 mm y del cuarto del menor de los dos espesores de las piezas a unir. El talón está formado por los bordes o las superficies de una o de las dos chapas.	 7.35-11
Preparación en U: Es aquella en la que la sección recta del chaflán tiene forma de «U».	 7.35-12
Preparación en U parcial: Es aquella en U en la que el talón es mayor de 3 mm.	 7.35-13

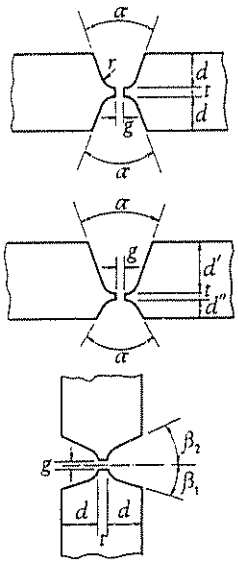
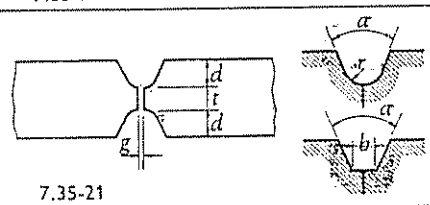
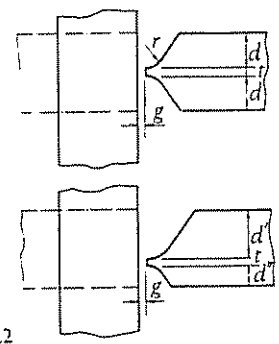
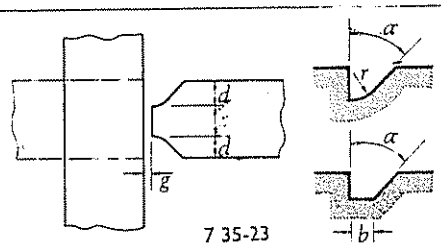
[7.35]

Preparación en J: Es aquella en la que sólo se labra una pieza de las componentes y su talón no excede de 3 mm.	 7.35-14
Preparación en J parcial: Es aquella en J en la que el talón es mayor de 3 mm.	 7.35-15
Preparación en X (también llamada doble «V»): Es aquella en la que la sección recta del chaflán tiene forma de dos «V» opuestas por sus vértices. Las dos «V» pueden ser iguales o desiguales, simétricas o asimétricas y con o sin talón; en todo caso el talón no será mayor de 3 mm.	 7.35-16

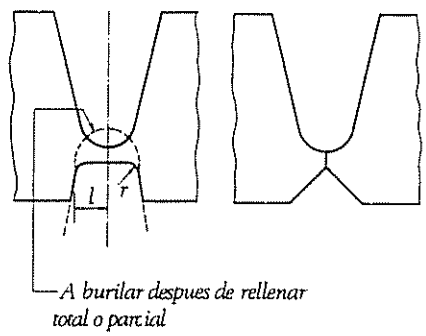
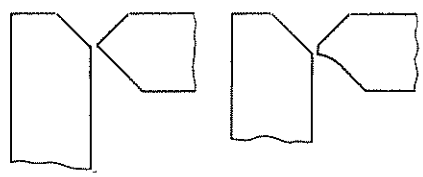
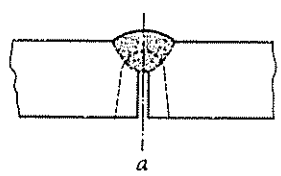
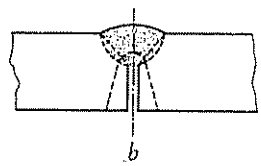
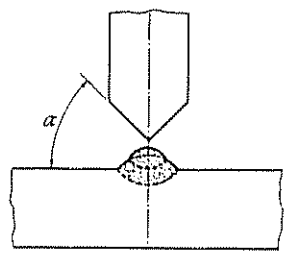
[7.35]

Preparación en doble Y: Es aquella en «X» en la que el talón es mayor de 3 mm. Puede ser regular, irregular, simétrica o asimétrica.	 7.35-17
Preparación en K: Es aquella en la que sólo se labra un borde, de forma que el perfil del chaflán toma forma de «K» La preparación puede ser regular, irregular, simétrica o asimétrica. Puede existir talón, pero su dimensión será del cuarto del menor espesor o de 3 mm como máximo.	 7.35-18
Preparación en K parcial: Es igual a la descrita en la anterior, con talón mayor del cuarto del menor espesor o de 3 mm.	 7.35-19

[7.35]

Preparación en doble U: Es aquella en que la sección recta del chaflán está formada por dos «U» opuestas. Puede existir talón, pero su dimensión será del cuarto del menor espesor o de 3 mm como máximo. La preparación puede ser regular, irregular, simétrica o asimétrica.	 7.35-20
Preparación en doble U parcial: Es igual a la descrita en la anterior con talón mayor de 3 mm.	 7.35-21
Preparación en doble J: Es aquella en la que sólo está labrado el borde de una de las piezas, y la sección recta del chaflán tiene forma de dos «J» opuestas. Puede existir talón, pero su dimensión será del cuarto del menor espesor o de 3 mm como máximo. La preparación puede ser regular, irregular, simétrica o asimétrica.	 7 35-22
Preparación en doble J parcial: Es igual a la descrita en la anterior con talón mayor de 3 mm.	 7 35-23

[7.35]

Preparación mixta: Cualquiera consistente en una combinación de los tipos anteriormente descritos.	  7.35-24
Preparación especial: Cualquiera que requiera operaciones diferentes del simple biselado o ranurado de los bordes.	   7.35-25

[7.35]

— Raíz de la soldadura: Es la zona de la primera pasada que queda más alejada del soldador.

— Talón (de la raíz): Es la parte paralela de las superficies de fusión de la raíz.

— Arista de raíz: Es la que se produce en la raíz cuando, al preparar, se elimina el talón.

— Espesor de la soldadura: Es la profundidad de un chaflán a un lado u otro del talón. Cuando se trata de un chaflán doble existen dos espesores.

— Angulo del chaflán: es el formado por los planos que contienen las superficies de fusión de las piezas a soldar o que son tangentes a dichas superficies en su generatriz exterior.

— Angulo sólido: Es el que, teniendo una arista en la raíz, está formado por la superficie de fusión del borde y la exterior del elemento, en los chaflanes sencillos; o por las dos superficies de fusión del borde en los chaflanes dobles. En las preparaciones en ranura se toma como cara del diedro el plano tangente a la superficie de fusión en su generatriz exterior.

— Angulo de la preparación: Es el que teniendo su arista en la raíz, está formado por la superficie de fusión del borde y el plano normal a la superficie del elemento. En las preparaciones en ranura se toma como cara del diedro el plano tangente a la superficie de fusión en su generatriz exterior.

— Radio de la raíz: Es el perfil de la raíz en un borde ranurado.

— Preparación simétrica: Es aquélla en la que el chaflán posee un plano longitudinal de simetría que no corta a las piezas a unir y que lo es también del metal de base adyacente.

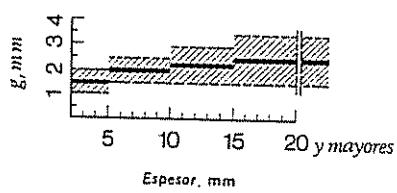
— Preparación asimétrica: Es la no simétrica.

— Preparación regular: Es aquélla en la que siendo doble el chaflán, posee un plano longitudinal de simetría que corte a las piezas unidas y que lo es también del metal de base adyacente.

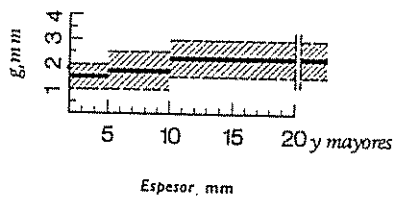
— Preparación irregular: Es la de chaflán doble no regular.

Preparaciones en V

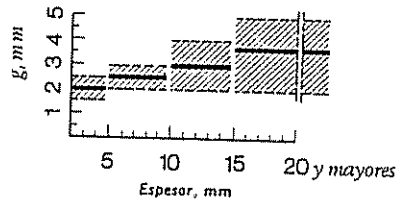
Posición horizontal



Posición de cornisa y sobre techo

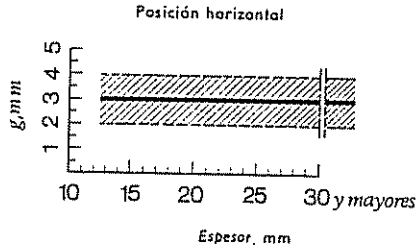


Posición vertical

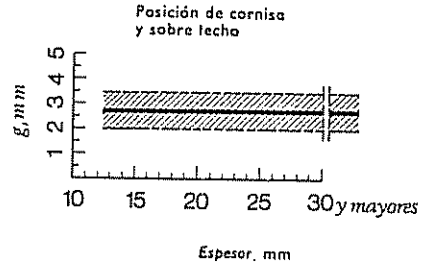


Preparaciones en X

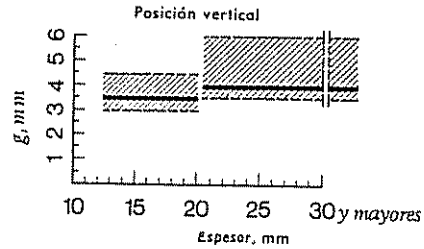
Posición horizontal



Posición de cornisa y sobre techo



Posición vertical



Las líneas de trazo lleno se refieren a la separación óptima. Las líneas de trazos dan el campo aproximado de tolerancias.

[7.36]

7.3.3.2. *Uniones a tope según la Norma MV-104.*

En [7.37] se recogen los tipos de uniones a tope recomendados en la Norma MV-104. En dicha tabla, en función de los espesores de las chapas a unir, la posición de soldeo y la accesibilidad de la soldadura para su ejecución se dan los valores recomendados, tanto para los que definen la preparación de bordes como para el tipo y diámetro de los electrodos a utilizar.

En la tabla que reproducimos se ha empleado la notación ISO que hemos descrito anteriormente y que difiere ligeramente de la adoptada en la Norma MV-104.

7.3.4. Soldaduras de ángulo. Comportamiento y disposiciones constructivas.

El esfuerzo que actúa sobre un cordón puede ser paralelo, perpendicular u oblicuo al eje del mismo. La distribución de tensiones varía con esta posición relativa y por consiguiente también varía la resistencia unitaria. Atendiendo a este criterio, los cordones pueden ser longitudinales, transversales o frontales y oblicuos.

La condición de agotamiento de un cordón lateral es, según la Norma Básica MV-103, $t_a = 0{,}75\ \sigma_u$, mientras que en un cordón frontal es $t_n = 0{,}85\ \sigma_u$ [7.38]. Los cordones longitudinales son, pues, menos resistentes por unidad de longitud que los frontales [1]. Para el cálculo de los cordones se admiten ciertas hipótesis simplificativas tales como el reparto uniforme de tensiones, infinita rigidez de las piezas unidas, etc., y para que estas hipótesis sean lícitas las normas imponen ciertos condicionamientos dimensionales.

En uniones de elementos planos el valor máximo de la garganta de una soldadura de ángulo es de $a \leqslant 0{,}7\ e_{min}$, siendo e_{min} el menor espesor de las piezas a unir. Se recomienda que el valor de «a» no sea mayor del necesario, respetando los mínimos que a título orientativo se dan en [7.39]. Estos valores máximos y mínimos son también aplicables a los perfiles de caras paralelas, tanto para las alas como para el alma. Los espesores máximos, en perfiles de caras inclinadas, figuran en [7.40] [2].

Para las longitudes de las soldaduras, la Norma MV-104 establece:

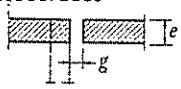
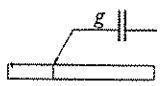
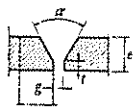
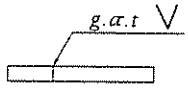
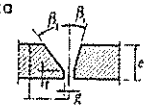
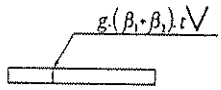
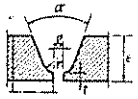
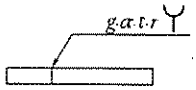
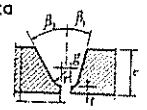
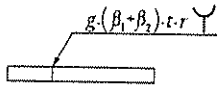
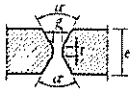
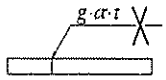
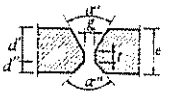
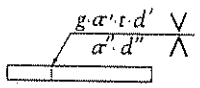
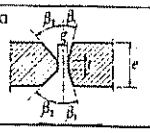
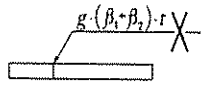
---

[1] Algunas instrucciones, como la americana, por razones de simplificación no establecen esta diferencia, fijando la misma resistencia unitaria independientemente de la dirección del esfuerzo. *Code for Welding in Building Construction*, American Welding Society, 1963.

[2] Ambas tablas de valores están tomadas de la Propuesta UNE 14-401-74, que coincide casi exactamente con la MV-104.

Uniones de fuerza con soldeo por arco a tope

I. Ambas caras accesibles. Se suelda por ambas caras al menos con un cordón de toma de raíz

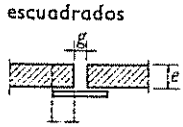
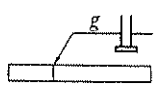
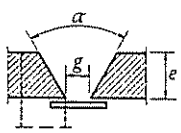
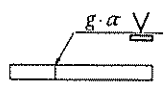
Tipo de preparación	Notación Dimensiones en mm o grados	Ambito de uso Posición (1) de soldeo	Espesor de la chapa mm	Electrodos N = normal G = de gran penetración
Bordes escuadrados 		P	4 — 5	N ⌀ 3,2
			> 5 — 6,5	N ⌀ 3,2 — 4
			6,5 — 10	G ⌀ 3,2 a 5
		H, V	4 — 5	N ⌀ 3,2
V simétrica 		P	5 — 10	N primer cordón: ⌀ 3,2 sucesivos: ⌀ 4 a 8
			> 10 — 15	
			> 15 — 20	
		H	5 — 10	
			> 10 — 20	
		V	5 — 10	
			> 10 — 15	
			> 15 — 20	
V asimétrica 		H	5 — 10	N primer cordón: ⌀ 3,2 sucesivos: ⌀ 4 a 8
			> 10 — 20	
U simétrica 		P	> 20 — 40	N primer cordón: ⌀ 4 a 6 sucesivos: ⌀ 6 a 8
		H	> 20 — 40	
		V	> 20 — 40	
U asimétrica 		H	> 20 — 40	N primer cordón: ⌀ 4 a 6 sucesivos: ⌀ 6 a 8
X simétrica 		P	> 15 — 40	N primer cordón: ⌀ 3,2 sucesivos: ⌀ 4 a 8
		H	> 15 — 40	
		V	> 15 — 20	
			> 20 — 40	
X irregular 		P H V	> 15 — 40	Recomendaciones como en X simétrica:
X asimétrica 		H	> 15 — 40	N primer cordón: ⌀ 3,2 sucesivos: ⌀ 4 a 8

1 Posiciones según [7.8] y [7.12a].
2 Cuando solo hay un chaflán α' se representa por α.
3 Para facilitar el saneado de raíz.

Recomendaciones para su ejecución								
Separación g mm			Talón t mm	Radio r mm	Angulos (2)			
mín	ópt	máx			delante α' grados	detrás α'' grados	superior β_2 grados	inferior β_1 grados
0	1	2,5	—	—	—	—	—	—
1,5	2	3						
0	1	2						
1,5	2	2,5						
1,5	2	2,5	0 — 3	—	60°	—	—	—
1,5	2	3						
1,5	2,5	3,5						
1	1,5	2,5	0 — 3	—	70°			
1,5	2	3						
2	2,5	3	0 — 3	—	60°			
2	3	4						
2	3,5	5						
1	1,5	2,5	1,5 — 2,5	—	55°	—	40° — 45°	15° — 10°
1,5	2	3						
—	0	3,5	2 — 3	6	20°	—	—	—
—	0	4	2 — 3	7	40°			
—	0	4	2 — 3	7	30°			
—	0	3,5	2 — 3	7	35°	—	25° — 30°	10° — 5°
2	3	4	0 — 3	—	60°	60°	—	—
2	2,5	3,5						
3	3,5	4,5						
3,5	4	6						
Para que el volumen de soldadura sea igual en ambas caras después del saneado de raíz:			$d' = \frac{e}{2} + 2$ $d'' = \frac{e}{2} - 2$		60°	60°	—	—
Para que el volumen de soldadura a realizar detrás sea menor, si su posición es desfavorable:			$d' = \frac{2}{3} e$ $d'' = \frac{1}{3} e$		60°	60° — 70° 90° (3)		
2	2,8	3,5	0 — 3	—	55°	55°	40° — 45°	15° — 10°

Uniones de fuerza con soldeo por arco a tope

II. Solo una cara accesible
Se realiza mediante chapa dorsal en la cara inaccesible

Tipo de preparación	Notación Dimensiones en mm o grados	Ambito de uso		
		Posición (1) de soldeo	Espesor de la chapa mm	Electrodos N = normal G = de gran penetración
Bordes escuadrados 		Todas	4 — 5	N ø 3,2
		P	> 5 — 8	N ø 3,2 a 5
		P	5 — 6,5	G ø 3,2
			> 6,5 — 8	G ø 3,2 a 5
V simétrica 		P	5 — 40	N ø 4 ± 1 1C
				N ø 4 ± 1 2C
		H	5 — 40	N ø 4 ± 1 1C
				N ø 4 ± 1 2C
La primera capa puede realizarse con un solo cordón (1C) o, en ciertos casos, con dos cordones contiguos (2C).		V	5 — 40	N ø 4 ± 1 1C
		T	5 — 40	N ø 4 ± 1 1C

1 Posiciones según [7.8] y [7.12a]
2 Cuando solo hay un chaflán α' se representa por α

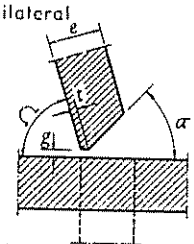
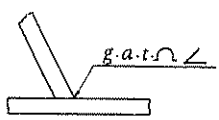
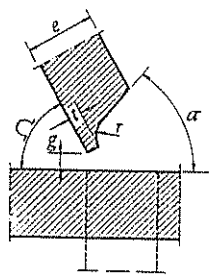
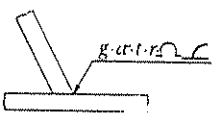
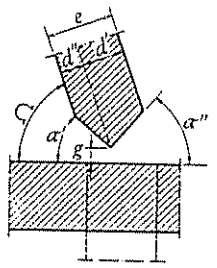
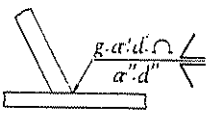
Recomendaciones para su ejecución							
	Separación g mm	Talón t mm	Radio r mm	Angulos (a)			
				delante α' grados	detrás α'' grados	superior β_2 grados	inferior β_1 grados
	$\geqslant 7$	—	—	—	—	—	—
	$\geqslant 8$						
	0 a 2						
	1,5 a 3						
	$\geqslant 6 \pm 1$	0	—	45°	El ángulo del electrodo con la normal a la chapa no será nunca menor que 30°		
	$\geqslant 7 \pm 1$	0	—	30°			
	$\geqslant 8 \pm 1$	0	—	20°			
	$\geqslant 9 \pm 2$	0	—	45°			
	$\geqslant 10 \pm 2$	0	—	30°			
	$\geqslant 11 \pm 2$	0	—	20°			
	4 a 6	0	—	45°			
	$\geqslant 10 \pm 2$	0	—	45°			
	$\geqslant 7 \pm 1$	0	—	45°			
	$\geqslant 8 \pm 1$	0	—	30°			
	$\geqslant 9 \pm 1$	0	—	20°			
	$\geqslant 6 \pm 1$	0	—	45°			

[7.37]

Uniones de fuerza con soldeo por arco a tope en T

1. Ambas caras accesibles

Se suelda por ambas caras al menos con un cordón de toma de raíz

Tipo de preparación	Notación Dimensiones en mm o grados	Ambito de uso		
		Angulo Ω grados	Posición [1] de soldeo	Espesor de la chapa *e* mm
V unilateral  Si > 30 se realiza soldadura en ángulo		90°	P, H	5 — 15
			V	5 — 15
		70°	P, H	5 — 15
			V	5 — 15
		50°	P, H	5 — 15
			V	5 — 15
		30°	P, H	5 — 15
			V	5 — 15
J 		90°	P	> 15 — 40
			H, V	> 15 — 40
		70°	P	> 15 — 40
			H, V	> 15 — 40
		50°	P	> 15 — 40
			H, V	> 15 — 40
		30°	P	> 15 — 40
			H, V	> 15 — 40
K  Si ≤ 50° preparación en J		90° $d = 0{,}5e$ $d' = 0{,}5e$	P, H	> 15 — 40
			V	> 15 — 20
				> 20 — 40
		70° $d = 0{,}7e$ $d' = 0{,}3e$	P, H	> 15 — 40
			V	> 15 — 20
				> 20 — 40
		50° $d = e$ $d' = o$	P, H	> 15 — 40
			V	> 15 — 20
				> 20 — 40

[1] Posiciones según [7 8] y [7.12a].
[2] Cuando solo hay un chaflán α' se representa por α.

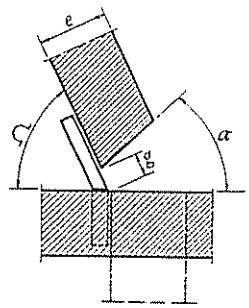
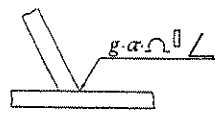
[7.37]

Recomendaciones para su ejecución								
Electrodos	Separación g mm			Talón t mm	Radio r mm	Angulos (°)		
	mín	ópt	máx			delante α' grados	detrás α'' grados	
Primer cordón: ø 3,2 sucesivos: ø 4 a 8	1,5	2	3	1,2 — 2,5	—	50°	—	
	2	3	4	1,2 — 2,5	—	50°		
	1,5	2	3	1 — 2	—	50°		
	2	3	4	1 — 2	—	50°		
	1,5	2	3	0 — 1,5	—	60°		
	2	3	4	0 — 1,5	—	60°		
	1,5	2	3	0	—	70°		
	2	3	4	0	—	70°		
Primer cordón: ø 5 sucesivos: ø 5 a 8	0	2,5	3,5	2 — 3	12	15°-25°	—	
	0	3	4	2 — 3	15	35°		
	0	2,5	3,5	2 — 3	12	30°		
	0	3	4	2 — 3	15	35°		
	0	2,5	3,5	2 — 3	12	35°		
	0	3	4	2 — 3	15	40°		
	0	2,5	3,5	2 — 3	12	40°		
	0	3	4	2 — 3	15	40°		
Primer cordón: ø 3,2 sucesivos: ø 4 a 8	2	3	4	0	—	50°	50°	
	3	3,5	4,5	0	—	50°	50°	
	3,5	4	6	0	—	50°	50°	
	2	3	4	0	—	50°	50°	
	3	3,5	4,5	0	—	50°	50°	
	3,5	4	6	0	—	50°	50°	
	2	3	4	0	—	60°	50°	
	3	3,5	4,5	0	—	60°	50°	
	3,5	4	6	0	—	60°	50°	

[7.37]

Uniones de fuerza con soldeo por arco a tope en T

II. Solo una cara accesible
Se realiza mediante chapa dorsal en la cara inaccesible

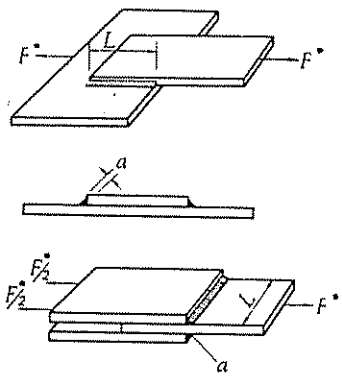
Tipo de preparación	Notación Dimensiones en mm o grados	Ambito de uso Angulo Ω grados	Posición (1) de soldeo	Espesor de la chapa *e* mm
V unilateral  		90°	P	5 — 40
			H	5 — 40
			V	5 — 40
			T	5 — 40
La primera capa puede realizarse con un solo cordón (1C) o, en ciertos casos, con dos cordones contiguos (2C). Si Ω < 30° se realiza soldadura en ángulo.		70°	P, H V, T	5 — 40
		50°	P, H V, T	5 — 40
		30°	P, H V, T	5 — 40

1 Posiciones según [7.8] y [7.12a].
2 Cuando solo hay un chaflán α' se representa por α.

[7.37]

Recomendaciones para su ejecución					
Electrodos	Separación g mm	Talón t mm	Radio r mm	Angulos (a)	
				delante α' grados	detrás α'' grados
ø 4 ± 1 1C	⩾ 6 ± 1	0	—	45°	—
	⩾ 7 ± 1	0	—	35°	
	⩾ 8 ± 1	0	—	25°	
ø 4 ± 1 2C	⩾ 9 ± 1	0	—	45°	
	⩾ 10 ± 1	0	—	35°	
	⩾ 11 ± 1	0	—	25°	
ø 4 ± 1 1C	⩾ 4 a 6	0	—	45°	
	⩾ 5 a 7	0	—	35°	
ø 4 ± 1 2C	⩾ 9 ± 1	0	—	45°	
	⩾ 10 ± 1	0	—	35°	
	⩾ 11 ± 1	0	—	25°	
ø 4 ± 1 1C	⩾ 8 ± 1	0	—	45°	
	⩾ 9 ± 1	0	—	35°	
	⩾ 10 ± 1	0	—	25°	
ø 4 ± 1 1C	⩾ 6 ± 1	0	—	45°	
	⩾ 7 ± 1	0	—	35°	
Los valores del correspondiente caso para $\delta < 90°$, con valores de g que no rebasen los indicados				30° — 45°	
				35° — 45°	
				40° — 45°	

[7.37]



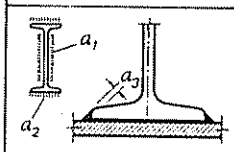
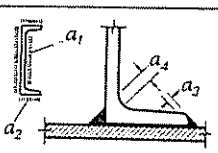
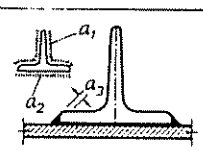
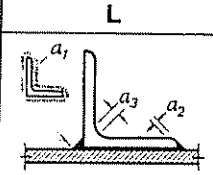
[7.38]

Valores mínimos de garganta en función del espesor de la pieza

Espesor de la pieza e mm	Garganta a mm
4,0 a 6,0	2,5
6,1 a 8,0	3,0
8,1 a 10,0	3,5
10,1 a 12,0	4,0
12,1 a 14,0	4,5
14,1 a 16,0	5,0
16,1 a 18,0	5,5
18,1 a 20,0	6,0
20,1 a 24,0	6,5
24,1 a 28,0	7,0
28,1 a 32,0	7,5
32,1 a 36,0	8,0

[7.39]

Valores límites máximos de gargantas, en milímetros

IPN				UPN					T				L		
																
IPN	a_1 alma	a_2 alas	a_3	UPN	a_1 alma	a_2 alas	a_3	a_4	T	a_1	a_2	a_3	L y LD espesor del ala	$a_1 = a_3$	a_2
80	2,7	4,1	3,1	80	4,2	5,6	4,3	6,9	30	2,8	2,8	2,8	4	2,8	3,4
100	3,1	4,8	3,5	100	4,2	6,0	4,5	7,3	35	3,1	3,1	3,1	5	3,5	4,2
									40	3,5	3,5	3,5			
120	3,6	5,4	4,0	120	4,9	6,3	4,8	7,8	45	3,8	3,8	3,8	6	4,2	5,0
140	4,0	6,0	4,4	140	4,9	7,0	5,3	8,7					7	4,9	5,8
160	4,4	6,6	4,8	160	5,2	7,3	5,5	9,2	50	4,2	4,2	4,2	8	5,6	6,7
180	4,8	7,3	5,3	180	5,6	7,7	5,7	9,7	60	4,9	4,9	4,9	9	6,3	7,5
200	5,2	7,9	5,7	200	6,0	8,0	6,0	10,1	70	5,6	5,6	5,6	10	7,0	8,4
									80	6,3	6,3	6,3			
220	5,7	8,5	6,1	220	6,3	8,7	6,5	11,0	—	—	—	—	11	7,7	9,2
240	6,1	9,2	6,4	240	6,6	9,1	6,7	11,5	—	—	—	—	12	8,4	10,0
260	6,6	9,9	7,1	260	7,0	9,8	7,3	12,3	—	—	—	—	13	9,1	10,9
280	7,1	10,6	7,7	280	7,0	10,5	7,8	13,2	—	—	—	—	14	9,8	11,7
300	7,6	11,3	8,3	300	7,0	11,2	8,4	14,0	—	—	—	—	15	10,5	12,6
320	8,0	12,1	8,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	11,2	13,4
340	8,5	12,8	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	11,9	14,2
360	9,1	13,6	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	12,6	15,1
380	9,6	14,4	10,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	13,3	16,0
400	10,1	15,1	11,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	14,0	16,8
450	11,3	17,0	12,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	14,7	17,6
500	12,6	18,9	14,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	15,4	18,4
550	13,3	21,0	16,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	16,1	19,3
600	15,1	22,7	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	16,8	20,1

[7.40]

La longitud eficaz l (l_1 o l_2) de una soldadura lateral en la unión de una barra de ancho b (figura 17)[1] *que transmite un esfuerzo axial estará comprendida entre los siguientes valores:*

Valor mínimo: $l \geqslant 15\,a$
$l \geqslant b$

Valor máximo: $l \leqslant 60\,a$
$l \leqslant 12\,b$

Se recomienda unir toda soldadura frontal con las soldaduras laterales, si existen, y si no existieran, prolongarla en las partes laterales en una longitud igual a cuatro veces la garganta.

La unión longitudinal de dos piezas puede ser discontinua, correspondiente o alternada (figura 18)[2] *excepto en los casos siguientes: estructuras sometidas a cargas dinámicas; elementos situados a la intemperie o en ambientes agresivos, o sometidos a temperaturas inferiores a 0° C; uniones que requieran ser estancas.*

La longitud eficaz l de cada soldadura de una unión discontinua tendrá el siguiente

Valor mínimo: $l \geqslant 5\,a$
$l \geqslant 40$ *mm*

La separación s entre soldaduras de una unión discontinua, siendo e el mínimo espesor de los perfiles unidos, tendrá el siguiente

Valor máximo: $s \leqslant 15\,e$ *en barras a compresión*
$s \leqslant 25\,e$ *en barras a tracción*
$s \leqslant 300$ *mm en todo caso.*

Para la mejor comprensión de las limitaciones, anteriormente expuestas, vamos a estudiar una unión simple y simétrica compuesta por cordones longitudinales [7.43], admitiendo en principio la distribución uniforme de tensiones.

Por simetría, cada soldadura debe transmitir una fuerza F de la chapa central a las exteriores.

Como se ve en [7.44], esta transmisión se realiza por fuerzas opuestas F que actúan en cada lado de la soldadura. Como estas fuerzas no tienen la misma línea de acción, originan momentos Fe_1 y Fe_2, según las dos caras del cordón que tienen que estar contrarrestadas por fuerzas transversales ejercidas tanto por la chapa central como por la exterior. Limitándonos al momento Fe_1, las fuerzas de coacción de la chapa exterior serán tales que den como resultante un par constituidos por dos fuerzas Q con un cierto brazo x. Análogamente la chapa central originaría dos fuerzas R con un cierto brazo y.

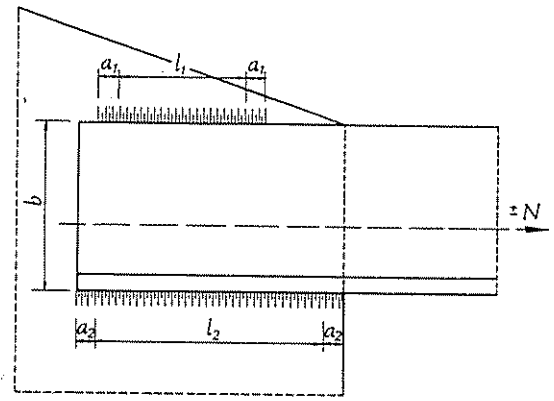
La condición de equilibrio

$$Ry = Fe_1 + Qx$$

no permite resolver el problema, pero sí explica que la importancia de las solicitaciones adicionales será pequeña si las distancias x e y son grandes. Es, pues, necesario establecer un mínimo de longitud para que este efecto pueda despreciarse. En [7.45] se expresa gráficamente la variación determinada por ensayos de la resistencia del cordón en función de la relación [3] b/l.

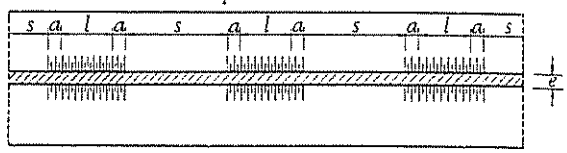
---

[1] Se representa en [7.41].
[2] Se representa en [7.42].
[3] BLODGETT. *Shrinkage Control in Welding*. Civil Engineering, 1960.

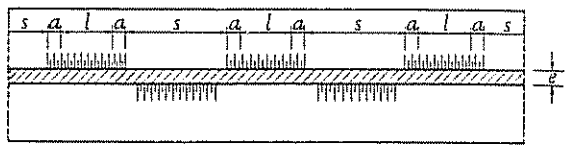


[7.41]

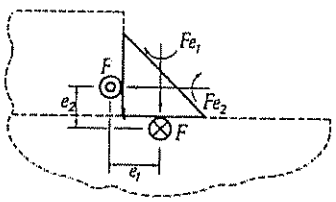
Unión discontinua correspondiente



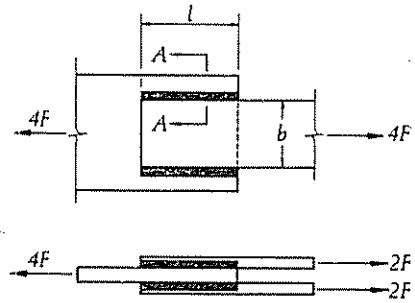
Unión discontinua alternada



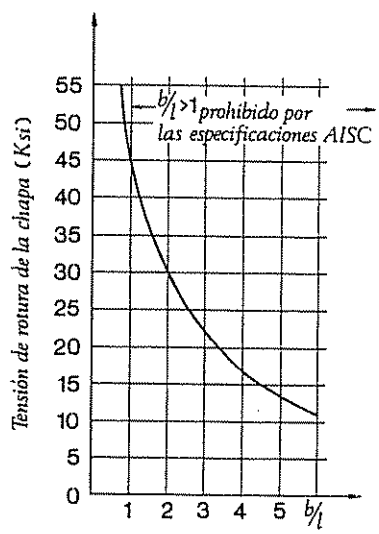
[7.42]



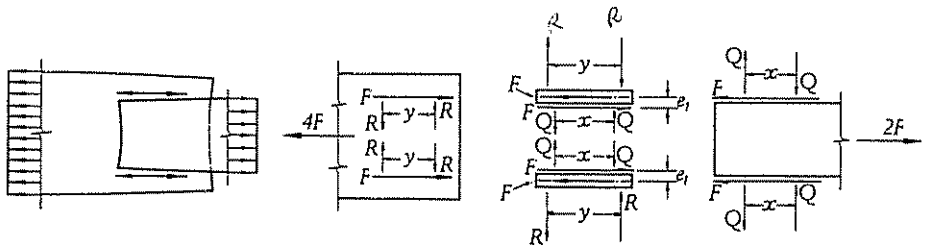
Sección A-A



[7.43]



[7.45]



[7.44]

En los cordones frontales la distribución de tensiones es todavía más compleja que en los laterales. En [7.46] se incluyen la distribución de tensiones obtenidas experimentalmente. Sin embargo, las verificaciones experimentales de FEDER [1] y H. A. PERSSON [2] demuestran que la repartición uniforme de las tensiones a lo largo del cordón es una aproximación admisible.

La tensión cortante máxima no se encuentra sobre el plano bisector de garganta, sino en un plano cuya inclinación θ es, en el caso del cordón isósceles, $\theta = 25{,}83°$.

Para el cálculo de los cordones sometidos a solicitaciones estáticas no se tienen en cuenta los momentos M_1 y M_2 [7.47] que se originan debido a la excentricidad de los esfuerzos. Esta excentricidad, al igual que la producida en los cordones laterales, origina una desviación del flujo de tensiones y un inevitable efecto de entalladura, por lo cual, en los casos de solicitaciones alternativas o dinámicas, la mayoría de las normas e instrucciones se aplican apreciables coeficientes de reducción en las tensiones admisibles o de agotamiento con relación a las del material base.

Deben evitarse disposiciones asimétricas, como las representadas en [7.48]. La disposición simétrica [7.49] es más conveniente pudiendo estimarse en una tercera parte la reducción de la resistencia unitaria de los cordones, debido a la flexión inherente a la asimetría.

7.4. CONTROL DE CALIDAD Y DEFECTOS DE LAS SOLDADURAS

7.4.1. Control de calidad.

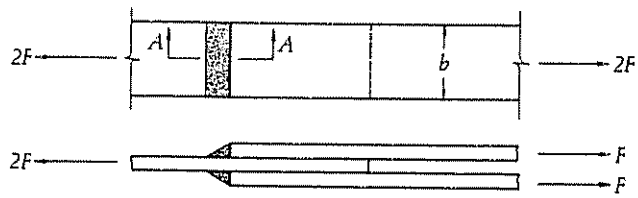
El soldador, como se deduce de los apartados anteriores, tiene en sus manos un pequeño horno eléctrico y en el proceso se dan cita los fenómenos metalúrgicos, los físicos y los químicos, por lo que si sumamos la gran dosis de subjetividad siempre asociada a la soldadura manual, se deduce que una unión soldada es producto único e individual de una artesanía metalúrgica especializada y que como tal está inherentemente sujeta a una variación de calidad.

Es por tanto necesario, en mayor o menor grado, según la importancia de las soldaduras, la fijación de unos niveles mínimos de calidad y una inspección o medios adecuados para asegurar que se ha alcanzado el nivel preciso. Se distinguen cuatro fases correlativas en el control:

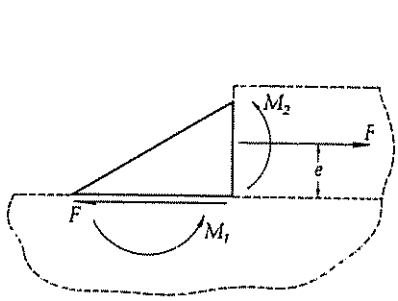
— Control de materiales.
— Establecimiento de los procedimientos adecuados de soldeo.
— Calificación de los operarios.
— Ensayos e inspección de la ejecución y de las soldaduras obtenidas.

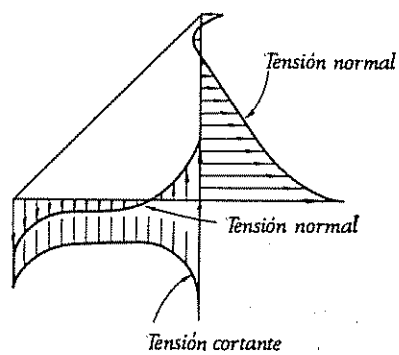
---

[1] D. FEDER. *Progress Report on Photoelastic Model-Test of Fillet-Weld Connections.* Document XV-315-71
[2] H. A. PERSSON. *The load distribution in Fillet-Welded Connections.* Document XV-171-64.

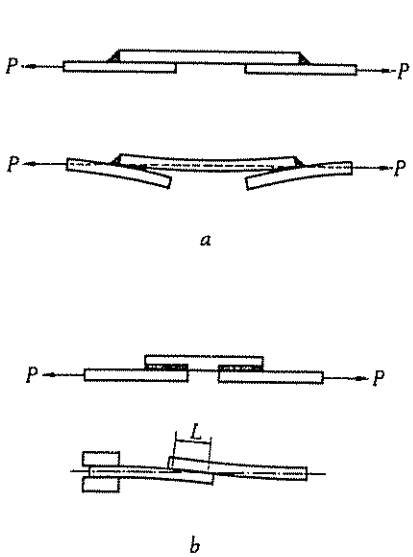


[7.46]

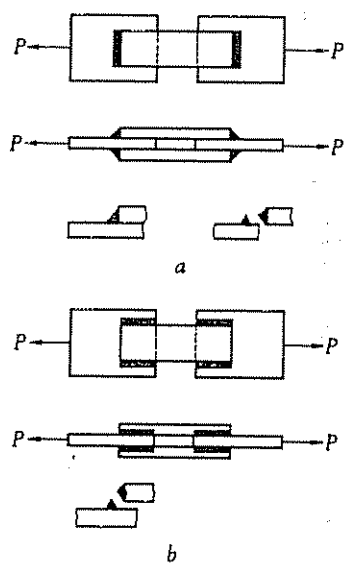




[7.47]



[7.48]



[7.49]

Estos niveles de control corresponden al ingeniero de taller más que al proyectista, por ello, en los artículos siguientes nos limitaremos a señalar los puntos más importantes de las distintas fases.

El proyectista debe, no obstante, tener en cuenta que el control es mucho más fácil de realizar para las soldaduras ejecutadas en taller que para las hechas en obra. Por ello, en muchas instrucciones y en la mayoría de los pliegos de condiciones de obras importantes, no se permite la soldadura en obra más que en elementos secundarios y en lugares y posiciones que sean fácilmente ejecutables e inspeccionables.

El proyectista debe igualmente tener en cuenta que si bien todas las soldaduras son fácilmente accesibles en el plano para su dibujo, no todas ellas lo son igualmente en la obra para su ejecución.

7.4 1 1. *Control de materiales.*

El primer paso para controlar la calidad de la fabricación de la soldadura es asegurar que el metal a soldar sea del grado adecuado y esté exento de defectos de laminación en los bordes de la soldadura. La preparación de la unión debe ser correcta y el acoplamiento suficientemente preciso y adecuado al proceso de soldeo que se haya de aplicar.

Asimismo, es evidente que los materiales de aportación, electrodos revestidos, alambre y fundente, así como el equipo, tal como soplete y generadores, deben ser de la debida calidad y estar en perfecto estado.

En 7.2 3 y 7.2 4 se trata de los requisitos que deben cumplir el material base y los materiales de aportación. Las Normas UNE de la serie 14 están recogidas en el Apéndice del capítulo 1.

7.4 1 2. *Procedimiento de soldeo.*

Para algunas uniones especiales, y con procedimientos no homologados para el tipo de soldadura a realizar, es preciso efectuar ensayos locales en condiciones que simulen las del trabajo real a realizar. La placa de ensayo es probada posteriormente para su resistencia mecánica, doblado y a veces su resistencia al impacto, dureza y análisis químico.

Como característica esencial de pruebas de procedimiento es el registro con el mayor detalle posible de las variables de soldadura, tales como la corriente, número de cor-

dones, calibre y tipo del electrodo utilizado y en el caso de soldadura con máquina las fijaciones o acoplamientos de la máquina. Estas pruebas se realizan generalmente por operarios capacitados bajo la supervisión de un ingeniero de soldadura, y la hoja de registro es un método por el que los resultados de capacidad y conocimiento pueden pasar a supervisores y soldadores menos experimentados, lo que constituye un paso hacia adelante muy deseable para el control de calidad en soldadura.

7.4.1.3. *Calificación de los soldadores.*

Las pruebas de calificación del soldador se aplican principalmente a la soldadura manual y los métodos de soldadura por máquina (por ejemplo, la soldadura por arco sumergido de cordones múltiples), en los que la capacidad del operario puede ejercer influencia sobre el resultado final. Las pruebas de calificación del soldador no se requieren generalmente para los procesos automáticos, tales como la soldadura de protuberancia y por puntos con resistencia.

Sobre este tema trata la Norma UNE 14010 [1]: «Examen y calificación de los operarios destinados a trabajos de soldeo eléctrico por arco, en las estructuras de acero.»

7.4.1.4. *Examen e inspección de la ejecución y de las soldaduras obtenidas.*

El examen y los ensayos pueden ser «destructivos» o «no destructivos». Los ensayos destructivos se realizan normalmente sobre placas de prueba cortadas de la unión realizada para proporcionar probetas de ensayo.

Los ensayos de control de calidad más frecuentes en soldaduras a tope por fusión, son las ya mencionadas de tracción, plegado, impacto, rotura crítica y de dureza.

Las pruebas no destructivas son cada vez más empleadas en consonancia con la mejora que han experimentado las técnicas correspondientes y el aumento de confianza en su empleo.

La radiografía sigue siendo el método más positivo y seguro de examinar las soldaduras a tope, pero la prueba ultrasónica es utilizada cada vez más frecuentemente y en ciertos casos, es una alternativa válida para radiografía. Las grietas de superficie se detectan

[1] La UNE 14501, «Homologación de soldadores», amplía el campo de aplicación de esta norma

por el método de partícula magnética, para aceros ferríticos, o por el método de tinte penetrante, que es aplicable a todos los metales.

Sobre la inspección radiográfica tratan las Normas UNE:

14-011. Calificación de las soldaduras por rayos X. Defectos de las uniones soldadas.

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.

De la primera de ellas extractamos los apartados que definen la calidad:

1. *Objeto.*

Esta norma tiene por objeto determinar las calidades de las soldaduras, según los defectos observados, mediante los rayos X.

2. *Calidad.*

La calidad de las soldaduras se fijará de acuerdo con los cinco grupos siguientes:

Color	*Calidad*	*Clases de unión*
Negro	*1*	*Soldadura perfecta*
Azul	*2*	*Soldadura buena*
Verde	*3*	*Soldadura regular*
Marrón	*4*	*Soldadura mala*
Rojo	*5*	*Soldadura muy mala*

Para determinar las clases de unión, que quedarán designadas por el número correspondiente, se tendrán en cuenta los defectos que aparezcan en la radiografía, con arreglo a las definiciones del capítulo siguiente.

3. *Definiciones.*

3.1. *Soldadura perfecta. Es la soldadura homogénea o soldadura con algunas inclusiones gaseosas muy pequeñas.*

3.2. *Soldadura buena. Es la soldadura con débiles desviaciones de la homogeneidad, bajo la forma de uno o varios de los defectos siguientes, inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes.*

3.3. *Soldadura regular. Es la soldadura con pequeñas desviaciones de la homogeneidad, bajo la forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes, falta de penetración.*

3.4. *Soldadura mala. Es la soldadura con marcadas desviaciones de la homogeneidad, bajo la forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes, falta de penetración, falta de fusión.*

3.5. *Soldadura muy mala. Es la soldadura con gran desviación de la homogeneidad, bajo la forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes, falta de penetración, falta de fusión, grietas.*

Para la correcta interpretación de las radiografías y la clasificación en estos cinco grupos de las soldaduras correspondientes, se tendrá a la vista un Album de Radiografías Tipo, del Instituto Internacional de la Soldadura y las Reglamentaciones especiales que hayan de tenerse en cuenta según los trabajos de soldadura comprobados («Lloyd's Register of Shipping», «Bureau Veritas», «American Bureau», etc.).

7.4 1 5. *Recomendaciones europeas de la C. E. C. M.*

A continuación reproducimos el capítulo 4 de las «Recomendaciones para las uniones soldadas en estructuras metálicas. Cargas estáticas» de noviembre de 1974, redactadas por el Comité 9 de la C. E. C. M.

Control e inspección de las soldaduras.

Es responsabilidad del constructor tomar las medidas necesarias para asegurar que el soldeo se realice de acuerdo con el contenido de las recomendaciones. El constructor debe establecer la supervisión necesaria para cumplir esta condición. Es también responsabilidad del constructor que las soldaduras satisfagan los requerimientos de calidad de las recomendaciones.

Las soldaduras y el metal base no se pintarán ni cubrirán con ningún tratamiento de protección hasta que hayan sido inspeccionadas y aprobadas. Esta exigencia no prohíbe la imprimación antes del soldeo.

Si el comprador exige inspección y ensayos por un organismo de inspección independiente, esta condición debe ser convenida previamente en el contrato entre el comprador y el constructor.

Supervisión e inspección.

La supervisión e inspección de las construcciones soldadas puede comprender:

— Comprobación del empleo de los elementos consumibles, adecuados, y de su adecuado almacenamiento y trato.
— Control de las superficies de fusión y preparación de las uniones.
— Control de la presentación de los elementos a soldar y su unión provisional.
— Control del precalentado u otro tratamiento térmico, en caso de que existiesen.
— Comprobación de los planos y las secuencias de soldeo.
— Inspección visual de las soldaduras y comprobación de sus dimensiones.
— Control radiográfico y por ultrasonido.
— Inspección con líquidos penetrantes, magna flux y aplicaciones especiales.

En las estructuras con solicitaciones predominantemente estáticas, la inspección visual es el principal método de inspección y éste es generalmente suficiente.

Inspección radiográfica.

Cuando sea necesario la inspección radiográfica, ésta se realizará de acuerdo con las recomendaciones del IIW [1]. Las películas radiográficas se marcarán de acuerdo con la Colección de Radiografías de Referencia de soldaduras en Acero del IIW [2]. Para cargas estáticas se exigirá marca verde o superior

Para películas con marcas marrón o roja pueden ser aceptadas dependiendo del tipo de defectos, posición, solicitaciones e importancia de la soldadura. Para soldaduras importantes, con fuertes solicitaciones de tracción, la marca debe ser verde o superior. Otro nivel de exigencias deberá ser previamente convenido entre el constructor y el comprador

La extensión de la inspección radiográfica, de no venir fijada por normas o instrucciones obligatorias, deberá fijarse entre el constructor y el comprador.

Si no se prescribe una inspección radiográfica se recomienda un control estadístico por radiografía de la calidad de las uniones de fuerza a tope, solicitadas a tracción. La extensión de este control estadístico de calidad puede ser de un 2 a un 5 %.

En soldadura a tope de materiales de gran espesor, el equipo radiográfico disponible no puede penetrar el espesor total de la soldadura, puede ser utilizada la radiografía escalonadamente o el ultrasonido.

Inspección por ultrasonido

La inspección por ultrasonido debe ser convenida previamente, tanto en extensión como en calidad, por el comprador y el constructor. Los resultados de cualquier prueba por ultrasonido deberán venir debidamente documentados.

La inspección radiográfica de las soldaduras a tope puede sustituirse por el ensayo por ultrasonido. Las soldaduras a tope en T se ensayarán por ultrasonido cuando la inspección o ensayos sean necesarios.

Otros métodos de inspección o ensayos.

Si se prescriben otros métodos de inspección o ensayo, tales como líquidos penetrantes o magna flux, debe convenirse contractualmente, entre el constructor y el comprador, la extensión y la calidad de los mismos. Los resultados deberán estar debidamente documentados.

Corrección de las soldaduras defectuosas.

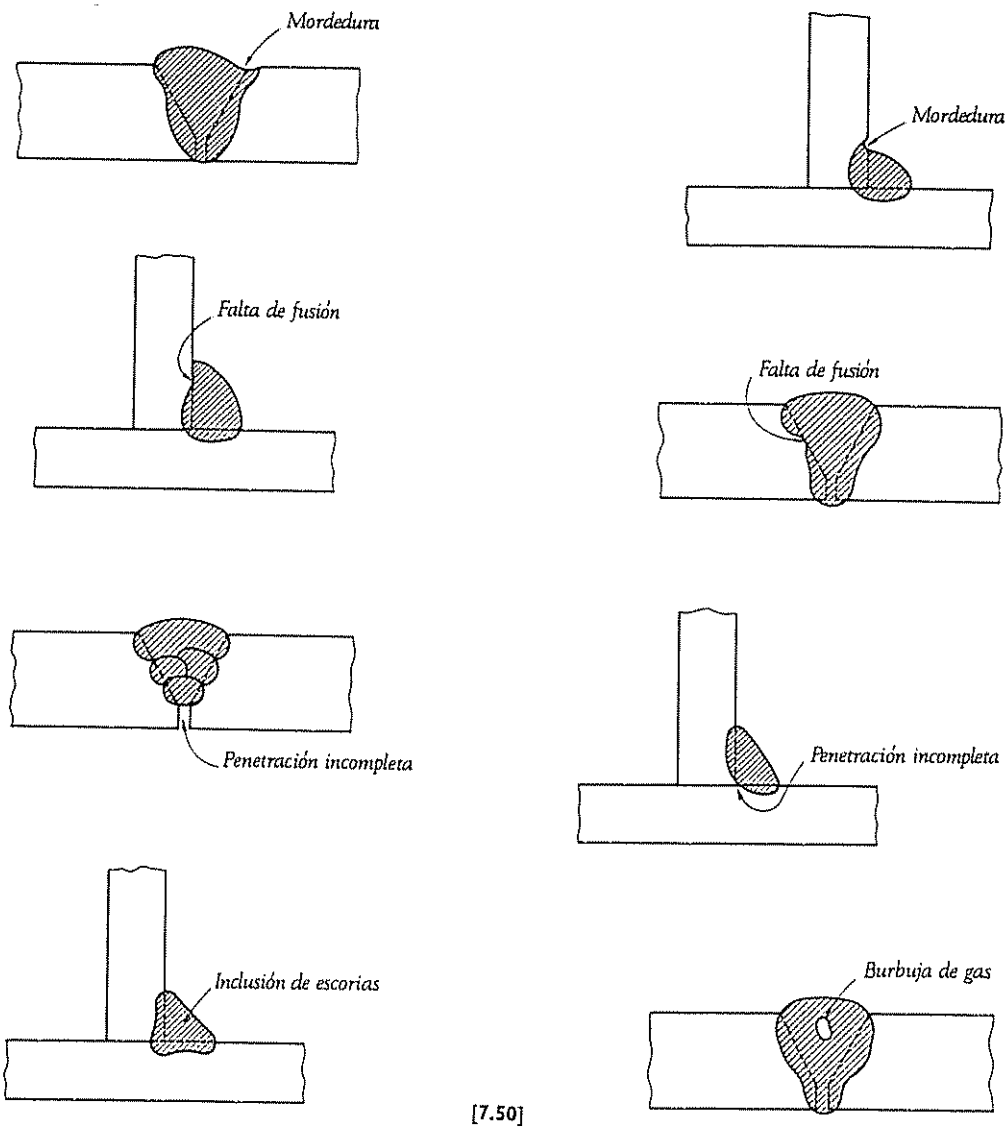
Como regla general se establece la corrección de las soldaduras que no cumplan las exigencias que indican los planos y especificaciones, o con las presentes recomendaciones.

Las partes defectuosas de la soldadura deben ser eliminadas, soldadas de nuevo y reinspeccionadas de acuerdo con las presentes Recomendaciones. Los defectos superficiales y mordeduras inadmisibles se corregirán por esmerilado o excepcionalmente por aportación de soldadura adicional. Las soldaduras de dimensiones insuficientes pueden corregirse por aportación de soldadura adicional.

Es preciso hacer notar que la soldadura de reparación es más difícil de ejecutar y de mayor exigencia que una soldadura ordinaria. Por tanto, si existen dudas de que la soldadura de reparación no será mejor que la soldadura defectuosa original y que no dará una mayor seguridad a la construcción, entonces debe considerarse si debe admitirse la soldadura aunque sea ligeramente defectuosa.

---

[1] International Institute of Welding.
[2] Collection of Reference Radiographs of Welds in Steel.


Mordedura
Mordedura
Falta de fusión
Falta de fusión
Penetración incompleta
Penetración incompleta
Inclusión de escorias
Burbuja de gas

[7.50]

Es preciso tener en cuenta que para las calidades de acero y las condiciones de carga a que se refieren estas Recomendaciones, pueden admitirse defectos relativamente grandes, sin comprometer las condiciones de servicio y seguridad.

7.4.2. Defectos de la soldadura.

Los defectos más importantes originados por una técnica de soldadura inadecuada son: mordedura, fusión y penetración insuficientes y porosidad [7.50]. Estos defectos pueden originar concentración de tensiones y reducir la resistencia de la soldadura especialmente con solicitaciones dinámicas o cargas repetidas.

La mordedura es una ranura o surco que se produce por quemadura del metal base. Su aparición depende de las características del electrodo y de su posición y es debida, generalmente, a una excesiva intensidad o una excesiva longitud de arco. Puede detectarse visualmente y repararse con adición de metal después de una adecuada limpieza.

La falta de fusión se refiere tanto al metal base como al de aportación y puede producirse si las superficies del metal base están revestidas, en la zona a soldar, por alguna capa de protección de algún tipo. En superficies limpias con electrodos y corriente adecuados puede asegurarse la fusión completa.

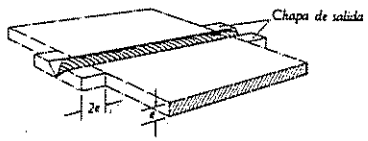
La penetración incompleta puede producirse por excesivo espesor, inadecuada preparación de bordes, técnica defectuosa, electrodos demasiado gruesos, excesiva velocidad o insuficiente amperaje. Es un defecto peligroso por la concentración de tensiones a que da lugar.

La inclusión de escorias es debida a óxidos metálicos producidos por reacción química, entre el metal, el aire y el revestimiento del electrodo, cuando el revestimiento no es adecuado o cuando existe un enfriamiento rápido. Son inclusiones alargadas o redondeadas y son especialmente de temer en soldaduras verticales o de techo.

La porosidad está originada por inclusiones de pequeñas bolsas de gas en el metal depositado. Es generalmente debida a excesivo amperaje o excesiva longitud de arco.

La Norma UNE 14-050-74, redactada en correspondencia con el documento IIS/IIW 340-69 del Instituto Internacional de la Soldadura, define los defectos que pueden aparecer en las soldaduras por fusión, clasificándolos en seis grupos principales:

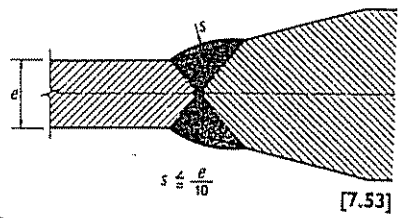
1. Fisuras.
2. Cavidades.
3. Inclusiones sólidas.



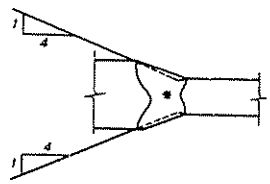
[7.51]

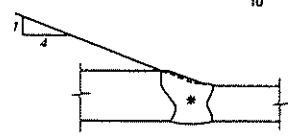


[7.52]

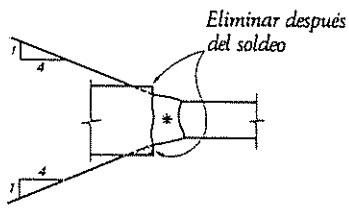


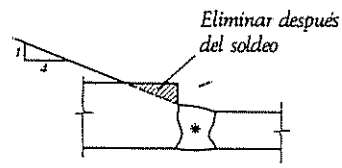
[7.53]



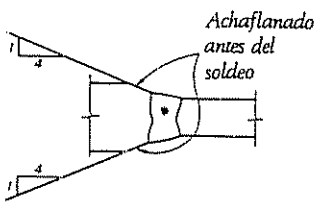


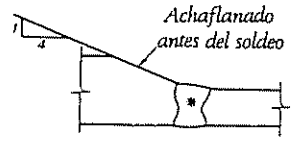
Transición mediante mecanización de la soldadura





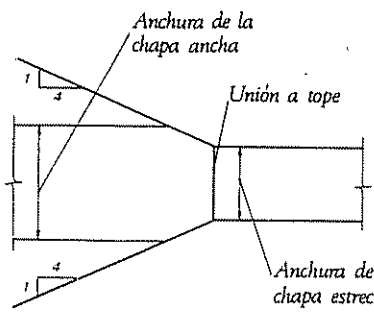
Transición mediante mecanización de la soldadura y achaflanado

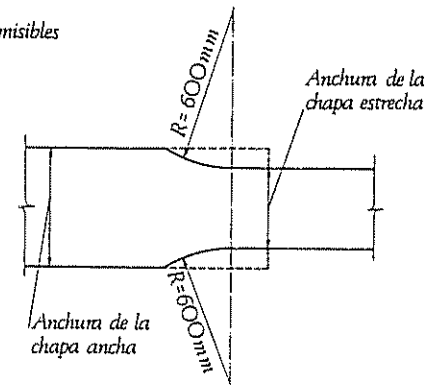




Transición por achaflanado de la chapa de mayor espesor

**La preparación de bordes será la apropiada*
Las pendientes de los acuerdos son las máximas admisibles





[7.54]

4. Faltas de fusión y penetración.
5. Defectos de forma.
6. Defectos varios no incluidos en los grupos anteriores.

En la Norma se incluyen cuadros con diferentes variantes dentro de cada grupo, estableciendo la correspondencia con la letra o letras de identificación del mismo en la colección de Radiografías tipo del Instituto Internacional de la Soldadura.

7.5. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS

7.5.1. Resistencia de una soldadura a tope.

Según la Norma Básica MV-103, una soldadura a tope que une dos piezas realizadas con las condiciones que se fijan en la Norma MV-104, y cuyo espesor sea no menor que el espesor de la pieza más delgada, no requiere comprobación. Su resistencia de cálculo es, pues, igual a la de la chapa más delgada para solicitaciones estáticas.

En el mismo sentido se pronuncia la Norma UNE 14-403-75 [1]:

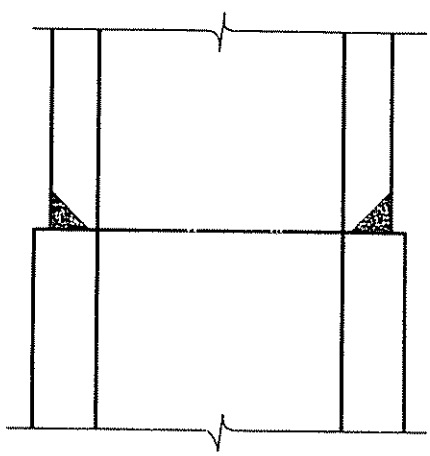
> *En el caso de uniones soldadas de dos chapas de espesores y/o anchuras diferentes, la sección a considerar en el cálculo deberá ser la correspondiente a la menor sección de dichas chapas.*
>
> *La tensión de comparación que resulte del cálculo de la soldadura a tope deberá ser igual o inferior a la tensión máxima admisible en el metal base para el caso de solicitación considerada o bien a la resistencia de cálculo del material base cuando se opere con solicitaciones mayoradas o ponderadas mediante métodos de cálculo en agotamiento.*
>
> *En estas uniones la penetración completa deberá estar garantizada, para lo cual en la ejecución de las mismas deberán utilizarse chapas de salida, a fin de evitar la formación de cráteres finales en los extremos de los cordones (figura 1).*
>
> *Cuando la unión soldada es accesible por su cara posterior, deberá procederse al saneamiento de la raíz antes de depositar el cordón de cierre o en su caso el primer cordón posterior.*
>
> *Si la unión no es accesible por su cara posterior, se deberá disponer una chapa dorsal a fin de conseguir un depósito sano en todo el espesor.*
>
> *Deberá prestarse especial cuidado en la realización en evitar defectos que originen efecto de entalla por incurvación de las isostáticas, entre ellos el de mordedura (figura 2) y sobre espesor (figura 3). Este último deberá ser inferior al 10 % del espesor mínimo de las chapas de la unión.*

En [7.54] se recogen los tipos de disposición que se insertan en dicha Norma [2].

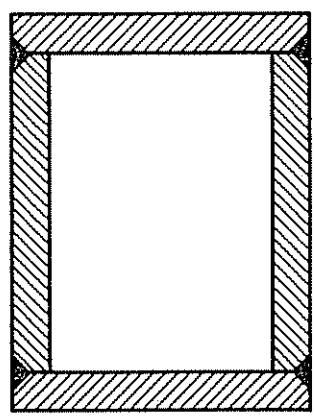
---

[1] Las figuras insertas en la Norma se reproducen en [7.51], [7.52] y [7.53].

[2] Las recomendaciones de C. E. C. M. para uniones soldadas también especifica que las soldaduras a tope, cuando se realizan con penetración completa, no necesitan cálculo especial y deben tratarse como los elementos que une.



a



b

[7.55]

Estas disposiciones se refieren exclusivamente a las estructuras normales sometidas a solicitaciones estáticas. Para estructuras especiales tales como depósitos de presión [1], cimentaciones de máquinas, etc., es preciso tener en cuenta las especificaciones particulares. Toda la normalización citada se refiere exclusivamente a solicitaciones estáticas.

Aunque de una manera general, las soldaduras a tope deben ser de penetración completa, algunos códigos, como las Especificaciones AISC, admiten soldaduras a tope y de esquina con penetración incompleta en empalmes de columnas y en soldaduras de unión de secciones compuestas [7.55] solicitadas a compresión, aplastamiento o a tensiones de tracción paralelas al eje de la soldadura.

7.5.2. **Resistencia de las soldaduras de ángulo.**

7.5.2.1. *Criterios de agotamiento de una soldadura en ángulo.*

El criterio de agotamiento o condición de seguridad para soldaduras de ángulo establecido en la Norma Básica MV-103 es:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,(\tau^{*}{}_{n}{}^{2} + \tau^{*}{}_{a}{}^{2})} \leqslant \sigma_u$$

donde

σ_{co} Tensión de comparación.
σ^* Tensión normal ponderada, referida al plano de garganta.
$\tau^*{}_n$ Tensión tangencial ponderada, normal a la arista, referida al plano de garganta.
$\tau^*{}_a$ Tensión tangencial ponderada, paralela a la arista, referida al plano de garganta.
σ_u Resistencia de cálculo del acero.

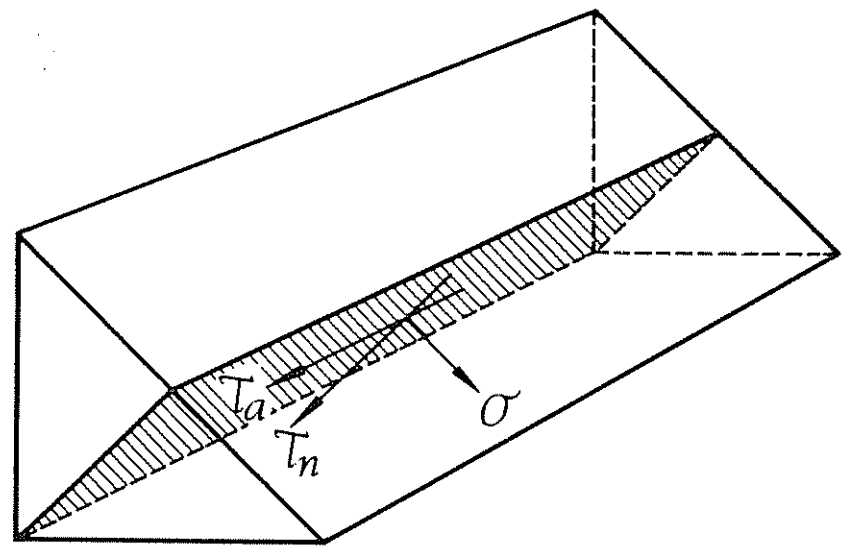
Se supone que en la sección transversal del cordón la componente normal de la tensión es nula, $\sigma_a = 0$.

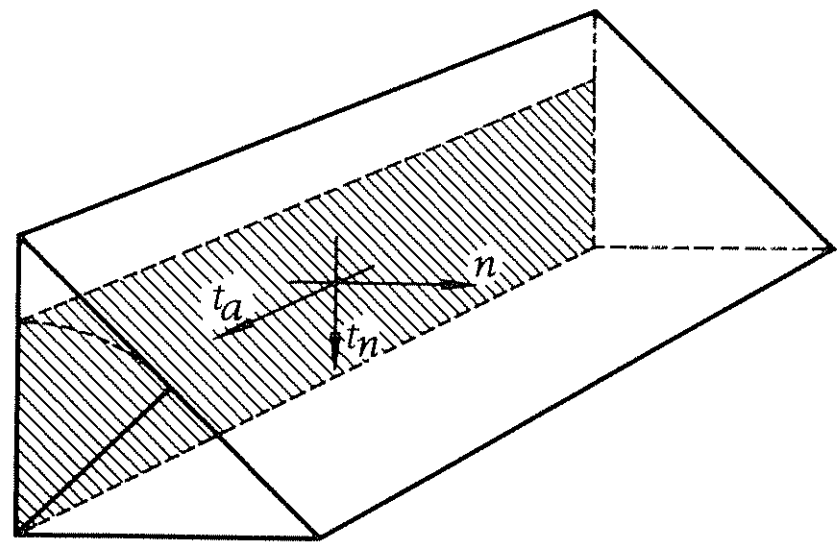
Este criterio está basado en la Recomendación ISO 617 de septiembre de 1967 [2], coincidente con UNE 14-402-74, que para los aceros dulces propone la comprobación:

$$\sqrt{\sigma^2 + \lambda\,(\tau_n{}^2 + \tau_a{}^2)} \leqslant \sqrt{K}\,\sigma_u$$

---

[1] Ver *Código de recipientes a presión*, editado por Bequinor.
[2] «Cálculo de los cordones de ángulo rectangulares isósceles solicitados estáticamente de manera que en la sección transversal no existe tensión normal.»





[7.56]

El coeficiente λ es empírico y a determinar por ensayos y el coeficiente K depende de la calidad de la soldadura y eventualmente del espesor del cordón [1].

El coeficiente $\lambda = 1{,}8$ y el $K = 1$, adoptado por la Norma Básica MV-103 y la UNE 14035, es también el recomendado por el documento IIS/139/64 [2].

Normalmente en el cálculo las tensiones, que se obtienen directamente mediante las fórmulas de resistencia de materiales, son las componentes n, t_a, t_n [7.56] de la tensión sobre la sección de garganta abatida sobre el plano de uno de los lados (en el caso de 90°) de la soldadura. Estas están relacionadas con las σ, τ_a y τ_n por las expresiones:

$$n = \frac{\sqrt{2}}{2}(\sigma + \tau_n) \qquad \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2}(n + t_n)$$

$$t_n = \frac{\sqrt{2}}{2}(\sigma - \tau_n) \qquad \tau_n = \frac{\sqrt{2}}{2}(n - t_n)$$

$$t_a = \tau_a \qquad \tau_a = t_a$$

con lo que la condición de agotamiento puede expresarse en el caso general:

$$(1 + \lambda)(n^2 + t_n^2) - 2(\lambda - 1)\, nt_n + 2\lambda\, t_a^2 \leqslant 2\, K\sigma_u^2$$

y para el caso

$$\lambda = 1{,}8 \qquad K = 1$$

$$1{,}4(n^2 + t_n^2) - 0{,}8\, nt_n + 1{,}8 t_a^2 \leqslant \sigma_u^2$$

De los numerosos estudios hechos sobre el tema se deduce la dificultad o más bien la imposibilidad de fijar de una manera unívoca la tensión de comparación que determina el agotamiento por una combinación lineal de las tensiones en el material de aportación o en el metal base, debido a los numerosos parámetros que influyen en el agotamiento y que no es posible considerar de manera explícita, como son el procedimiento de soldeo, el régimen térmico, la forma y el estado de la superficie de los cordones, las concentraciones de tensiones, la rigidez de las piezas unidas... Todo ello ha dado origen a la gran diversidad de criterios de agotamiento, que se encuentran en las normas de diferentes países.

En la Norma DIN 4100 la tensión de comparación es

$$\sigma_{co} = \sqrt{n^2 + t_n^2 + t_a^2}$$

---

[1] Este criterio es el que se recoge en la UNE 14-402-74.

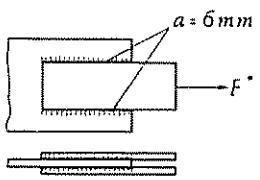
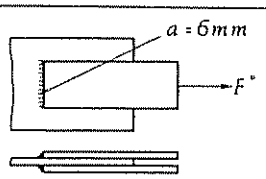
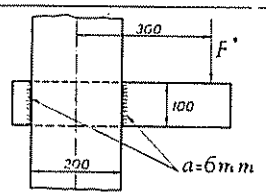
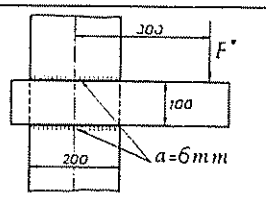
[2] Instituto Internacional de Soldadura (IIW). *Calculating formulas for welded connections submitted to statics loads*.

Criterios de agotamiento

MV 103/72 UNE 14035 IIS/139/64	$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,(\tau^{*}_{n}{}^{2} + \tau^{*}_{a}{}^{2})} \leqslant \sigma_u$
ISO 617/67	$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^2 + \lambda\,(\tau_n{}^2 + \tau_a{}^2)} \leqslant \sqrt{k}\,\sigma_u$
DIN 4100	$\sigma_{co} = \sqrt{n^2 + t_n{}^2 + t_a{}^2} \leqslant 0{,}7\,\sigma_u$
REGLES C.M 66 (francesas)	lo mismo que la ISO 617/67 con $\lambda = 1.8$; $1{,}00 > K > 0{,}84$
ITALIANA 1967	$\sigma_{co} = \beta\sqrt{\sigma^2 + \sigma_a{}^2 - \sigma\sigma_a + 3\,(\tau_n{}^2 + \tau_a{}^2)}$ $\quad \beta = 1/1{,}25$
RECOMENDACION EUROPEA	$\sigma_{co} = \beta\sqrt{\sigma^2 + 3\,(\tau_n{}^2 + \tau_a{}^2)} \leqslant \sigma_a$
FORMULAS SIMPLIFICADAS ISO TC/44 SCC. 2	$\tau_{max} \leqslant \sigma_c$

[7.57]

Valor de F*, en kg. Acero A 37

Solicitación	MV-103	DIN	Francesa	Italiana	Recomendación europea
	42 932	40 320	42 072	41 567	41 472
	24 174	20 160	23 688	25 380	29 000
	5 414	5 063	5 358	5 283	6 039
	7 142	6.630	7 063	7 406	8 465

[7.58]

Metal base	σ_{rot} kg/mm²	s kg/mm²	$(\sigma_{cp} = 2{,}5\ \%)$ kg/mm²
A-37	39,9	5,32	29,5
A-52	45,8	5,83	34,2

[7.59]

referido a la sección de garganta pero independientemente de que ésta se considere sobre el plano de uno de los lados de la soldadura o en su posición real, y el criterio de agotamiento es

$$\sigma \leqslant 0{,}7\ R$$

siendo R, σ_{adm} o σ_u según se trabaje en tensiones admisibles o en agotamiento. El elipsoide de tensiones es, pues, una esfera y el cálculo se simplifica al no necesitarse el cálculo de σ, τ_n y τ_a.

El criterio es recogido por las normas americanas del AISC.

La normalización francesa «Regles CM 66» sigue el mismo criterio general ISO, con valor de $\lambda = 1{,}8$, pero con valores de K variables desde 1 para espesores de garganta de 4 mm a 0,84 para garganta de 20 mm.

En la Instrucción italiana de 1967 se indica como fórmula para la tensión de comparación:

$$\sigma_{co} = \beta \sqrt{\sigma^2 + \sigma_a^2 - \sigma\sigma_a + 3\,(\tau_n^2 + \tau_a^2)}$$

con $\beta = \dfrac{1}{1{,}25}$ para aceros A 37 y $\beta = 1$ para aceros A 52

esta fórmula en la hipótesis de $\sigma_a = 0$ (hipótesis admitidas en la mayoría de las reglamentaciones, Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, Francia, Holanda, etc.) se convierte en:

$$\sigma_{co} = \beta \sqrt{\sigma^2 + 3\,(\tau_n^2 + \tau_a^2)}$$

Las Recomendaciones de la C. E. C. M. para uniones soldadas 1974, tampoco fijan un criterio único:

El cálculo de los cordones puede hacerse de acuerdo con las recomendaciones presentadas por el Comité XV del Instituto Internacional de Soldadura (IIW). Pudiéndose también hacer el cálculo de acuerdo con las Recomendaciones ISO o según métodos simplificatorios derivados de las recomendaciones del IIW o de la ISO.

Para combinación de tensiones las Recomendaciones de IIW definen como tensión de comparación:

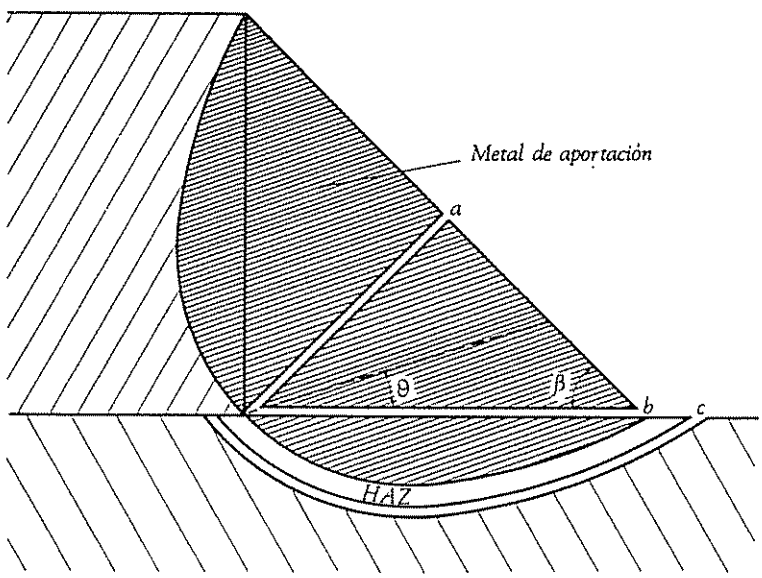
$$\sigma_{co} = \beta \sqrt{\sigma^2 + 3\,(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leqslant \sigma_u$$

siendo σ_u el límite elástico del material, para el cálculo con coeficientes de ponderación y la tensión admisible máxima en el cálculo con tensiones admisibles.

El factor β puede escogerse como mínimo, uno de los siguientes:

$\beta = 0{,}7$ *para aceros de límite elástico inferior a 27 kg/mm².*
$\beta = 0{,}8$ *para aceros de límite elástico entre 27 y 30 kg/mm².*
$\beta = 0{,}85$ *para aceros de límite elástico entre 30 y 36 kg/mm².*

Otros valores de β pueden ser dados por el IIW para procesos de soldadura especiales.



[7.60]

La tensión normal σ_a longitudinal al cordón no afecta a la capacidad resistente de la soldadura y puede despreciarse.

Puede utilizarse la fórmula simplificada del lado de la seguridad:

$$\tau_{media} \leqslant \frac{\sigma_u}{\beta \sqrt{3}}$$

siendo: τ_{media} el esfuerzo total transmitido dividido por la sección de garganta independientemente de la orientación.

No obstante la diversidad de criterios de agotamiento [7.57], los resultados que se obtienen de la aplicación de ellos no son tan dispares como por la lectura de lo anteriormente expuesto pudiera suponerse. Esto puede verse en [7.58], en que se recogen los resultados comparativos que se obtienen para algunos tipos de solicitación, aplicando los criterios de las distintas normas o instrucciones citados anteriormente.

Hemos visto anteriormente que los distintos criterios de agotamiento, algunos de los cuales exigen comprobaciones laboriosas, conducen a resultados bastante concordantes. Esta consideración ha sido la que ha inducido a la Subcomisión ISO/TC 44/Sec 2 [1] al estudio de un método simplificado de cálculo que exponemos a continuación y que consiste igualmente en una limitación de la tensión cortante máxima. Esta limitación se expresa por la desigualdad.

$$\tau_{máx} \leqslant \sigma_c$$

siendo σ_c el valor máximo de cálculo del cizallamiento.

Condición que para los cordones frontales [2] y laterales se expresa respectivamente bajo la forma:

$$\frac{0{,}875\ P^*}{\Sigma a_1 l_1} \leqslant \sigma_c \qquad \frac{P^*}{\Sigma a_2 l_2} \leqslant \sigma_c$$

En [7.59] se recogen los resultados obtenidos por ensayos del cizallamiento máximo de rotura σ_{rot} en la sección de garganta, la desviación máxima s. y el cizallamiento característico máximo σ ($p = 2{,}5\ \%$). Definiéndose este último valor como un valor tal que exista una probabilidad inferior o igual al 2,5 % que se produzca rotura de cordones frontales, laterales o combinados para un valor de cizallamiento máximo inferior o igual a σ ($p = 2{,}5\ \%$).

El método simplificativo consiste en imponer la condición suplementaria:

«En una soldadura de ángulo sometida a solicitaciones exteriores, la tensión cortante en la sección b [7.60] no debe sobrepasar el límite elástico garantizado al cizallamiento del metal base.»

Expresando esta condición en tensiones medias en la sección de garganta, se ve que en los aceros A 37 y A-52 limita las tensiones a

$$\sqrt{\frac{2}{3}}\ 24 = 19{,}6\ \text{kg/mm}^2 = 1{,}96\ \text{t/cm}^2; \qquad \sqrt{\frac{2}{3}}\ 36 = 29{,}4\ \text{kg/mm}^2 = 2{,}94\ \text{t/cm}^2;$$

inferiores a los valores característicos de la tabla.

---

[1] *Reglas simplificadas para la comprobación de soldaduras de ángulo solicitadas estáticamente*. W. CHAPEAU, Lieja, octubre 1974.

[2] En el estudio de CHAPEAU esta función cortante máxima tiene lugar, no en el plano de la garganta, sino en un plano de inclinación $\theta = 25°\ 58'$ para $\beta = 45°$.

La ventaja de esta condición suplementaria es que, dentro del criterio de tensión cortante máxima, establece la misma fórmula de cálculo tanto para los cordones frontales, los laterales y oblicuos, como para la combinación de ellos.

El valor de cálculo del cizallamiento máximo σ_c debe obtenerse dividiendo el valor del cizallamiento máximo por un coeficiente de reducción γ_c, a su vez producto de dos coeficientes parciales:

γ_{c1} relativo a los cordones de las muestras ensayadas.
γ_{c2} relativo al carácter industrial de la realización de las soldaduras.

El documento ISO fija estos coeficientes

$\gamma_{c1} = 1$ para A 37 y A 52.
$\gamma_{c2} = 1$ para A 37 y $\gamma_{c2} = 1{,}2$ para A 52.

Partiendo de estos coeficientes, puede obtenerse como valor de cálculo en agotamiento del cizallamiento máximo:

Para el A 37

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 24 = 19{,}6 \text{ kg/mm}^2 = 1{,}96 \text{ t/cm}^2$$

Para el A 52

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{1}{1{,}2}\, 36 = 24{,}5 \text{ kg/mm}^2 = 2{,}45 \text{ t/cm}^2$$

Aunque el documento ISO no estudia el A 42, asimilándolo al A 37 ($\gamma_{c1} = 1$), se obtendría:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2}{3}}\, 26 = 21{,}2 \text{ kg/mm}^2 = 2{,}12 \text{ t/cm}^2$$

La comprobación para todos los cordones (frontales, laterales, oblicuos o combinación de los mismos) se reduciría a la fórmula única [1]:

$$\frac{P^*}{\Sigma\, al} \leqslant \sigma_c$$

En **7.62** resumimos las fórmulas comprobatorias de piezas con distintos tipos de solicitación siguiendo este criterio simplificado.

---

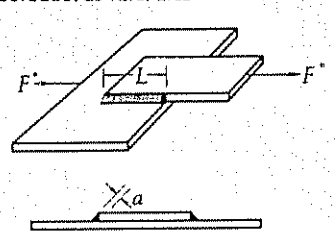
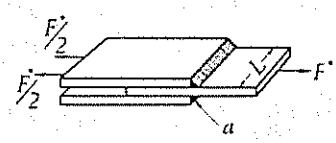
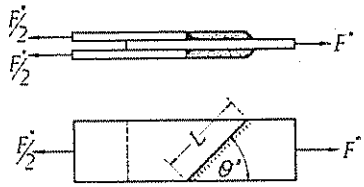
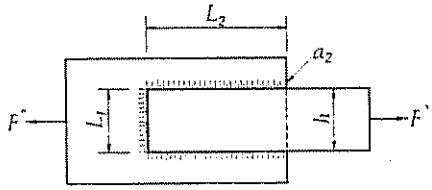
[1] Criterio análogo en cuanto a la fórmula comprobatoria al de las normas AISC.

7.6. RESISTENCIA DE UN CONJUNTO DE CORDONES DE SOLDADURA

7.6 1. Fórmulas generales de la Norma Básica MV-103.

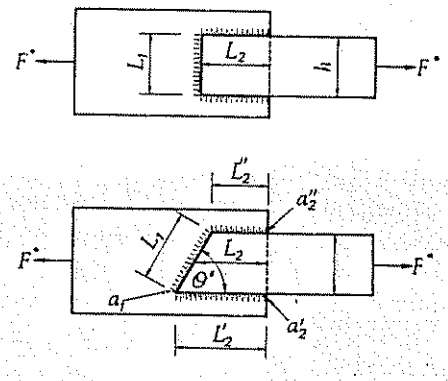
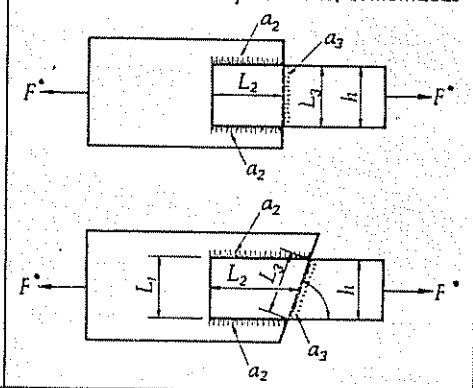
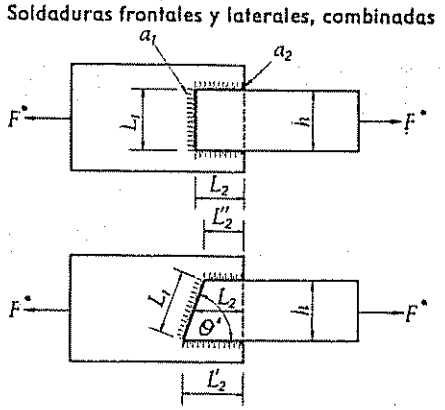
La distribución de los esfuerzos en cada cordón se hace según los procedimientos de la Resistencia de Materiales. La Norma Básica MV-103 en su anejo 6, recoge los casos estudiados en la UNE 14035, debidamente adaptados al cálculo en agotamiento, que reproducimos en **7.6 1a** y **7.6 1b**.

Uniones planas

Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
1	Tracción	Sólo soldaduras laterales 	$\frac{F^*}{0{,}75 \Sigma a L} \leq \sigma_u$
2	Tracción	Sólo soldaduras frontales 	$\frac{F^*}{0{,}85 \Sigma a L} \leq \sigma_u$
3	Tracción	Sólo soldaduras oblicuas 	$\frac{F^*}{\beta \Sigma a L} \leq \sigma_u$ θ | β 0 | 0,75 30 | 0,77 60 | 0,81 90 | 0,85
4	Tracción	Soldaduras frontales y laterales, combinadas 	Para $L_2 \geq 1{,}5\ h$. Sólo se consideran los cordones laterales. $\frac{F^*}{0{,}75 \Sigma a L} \leq \sigma_u$ Se debe evitar: El cordón L_3 del caso 6

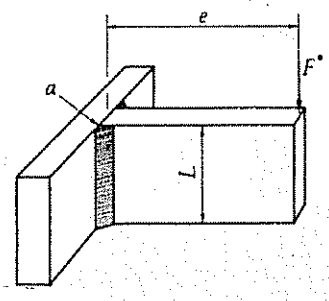
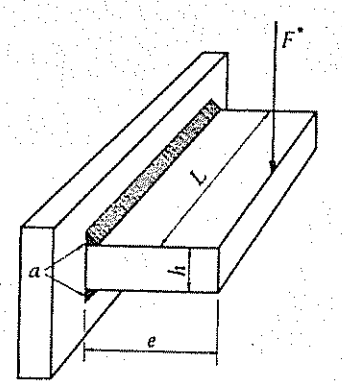
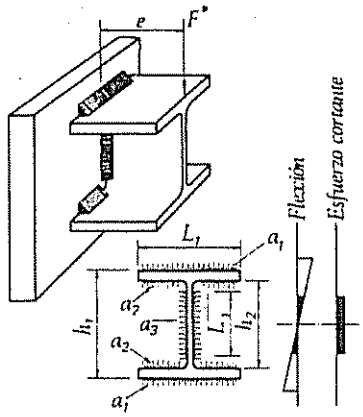
7.6 1-a

Uniones planas

Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
5	Tracción	Soldaduras frontales y laterales, combinadas 	Para $0{,}5\ h < L_2 \leqslant 1{,}5\ h$. Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión. $F_{max} = K\,F_1 + F_2$ $F_1 = \beta\, L_1\, a_1\, \sigma_u$ $F_2 = 0{,}75\, \Sigma\, a_2\, L_2\, \sigma_u$ En estas expresiones: $K = \dfrac{1}{1 + 2\,\mathrm{sen}^2\,\theta}$ θ / K: 0 / 1,00; 10 / 0,95; 20 / 0,81; 30 / 0,66; 40 / 0,59; 50 / 0,46; 60 / 0,40; 70 / 0,36; 80 / 0,34; 90 / 0,33 Los valores de β según el caso 3. Debe cumplirse: $F^* \leqslant F_{max}$
6	Tracción	Soldaduras frontales y laterales, combinadas 	Para $0{,}5\ h < L_2 \leqslant 1{,}5\ h$. Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión. $F_{max} = 1/3\, F_2 + F_3$ $F_2 = 0{,}75\, \Sigma\, a_2\, L_2\, \sigma_u$ $F_3 = \beta\, L_3\, a_3\, \sigma_u$ Los valores de β según el caso 3. Debe cumplirse: $F^* \leqslant F_{max}$
7	Tracción	Soldaduras frontales y laterales, combinadas 	Para $L_2 \leqslant 0{,}5\ h$. Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión. $F_{max} = F_1 + 1/3\, F_2$ $F_1 = \beta\, L_1\, a_1\, \sigma_u$ $F_2 = 0{,}75\, \Sigma\, L_2\, a_2\, \sigma_u$ Los valore de β según el caso 3. Debe cumplirse: $F^* \leqslant F_{max}$

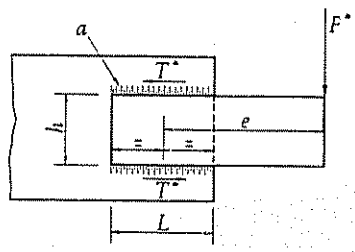
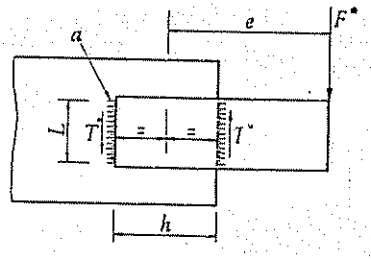
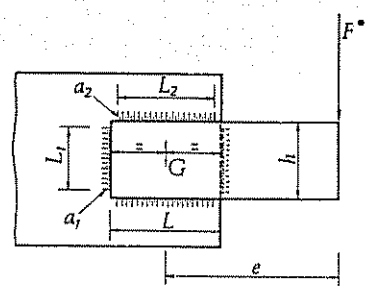
7.6 1-a

Uniones planas

Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
8	Flexión simple	Sólo soldaduras frontales longitudinales 	Debe cumplirse: $\sigma_{co} \leqslant \sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,(\tau^{*}{}_{n}{}^{2} + \tau^{*}{}_{a}{}^{2})} \leqslant \sigma_u$ En estas expresiones: $\sigma^* = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{F^* e}{a L^2}$ $\tau^*_n = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{F^* e}{a L^2}$ $\tau^*_a = \frac{F^*}{2 a L}$ Para $e >> L$ $\sigma_{co} = 3{,}55 \frac{F^* e}{a L^2} \leqslant \sigma_u$
9	Flexión simple	Sólo soldaduras frontales transversales 	$\sigma^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F^* e}{W}$ $\tau^*_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F^* e}{W}$ $\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,\tau^{*}{}_{n}{}^{2}} =$ $= \frac{F^* e}{W} \sqrt{1{,}4} \cong 1{,}18 \frac{F^* e}{W} \leqslant \sigma_u$ Siendo W el módulo resistente de las soldaduras. Para $h >> e$ $\sigma_{co} \cong 1{,}18 \frac{F^* e}{L\,h\,a} \leqslant \sigma_u$
10	Flexión simple	Soldaduras frontales, longitudinales y transversales 	Soldaduras a_1 $\sigma_{co} = \sqrt{1{,}4} \frac{F^* e}{W} \cong$ $\cong 1{,}18 \frac{F^* e}{W} \leqslant \sigma_u$ Soldaduras a_2: $\sigma_{co} \cong 1{,}18 \frac{h_2 - a_3}{h_1 + a_1} \frac{F^* e}{W} \leqslant \sigma_u$ Soldaduras a_3: $\sigma_{co} = \sqrt{1{,}4 \left(\frac{F^* e}{W} \frac{L_3}{h_1 + a_1}\right)^2 + 1{,}8 \left(\frac{F^*}{2 L_3 a_3}\right)^2} \leqslant \sigma_u$ Siendo W el módulo resistente de las soldaduras. Puede también considerarse absorbido el momento por las soldaduras a_1 y a_2 y el esfuerzo cortante por las soldaduras a_3.

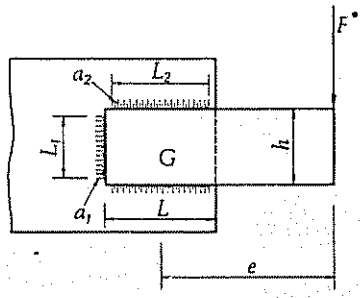
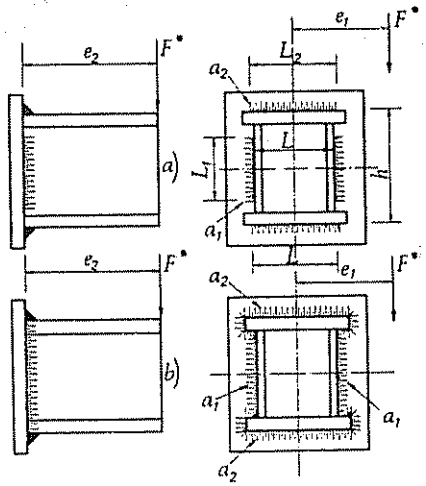
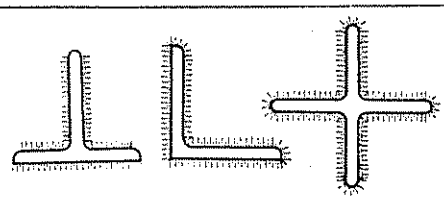
7.6 1-a

Uniones planas

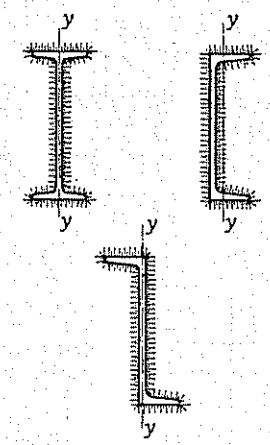
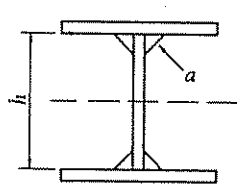
Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
11	Torsión y esfuerzo cortante combinados	Sólo soldaduras laterales 	Para $0{,}5\,h < L < 2\,h$ $\sigma_{co} = \sqrt{0{,}35\left(\frac{F^*}{L\,a}\right)^2 + \overline{+\,1{,}8\left(\frac{F^* e}{h+a}\,\frac{1}{L\,a}\right)^2}} = \frac{F^*}{L\,a} \times$ $\times \sqrt{0{,}35 + 1{,}8\left(\frac{e}{h+a}\right)^2} \leqslant \sigma_u$
12	Torsión y esfuerzo cortante combinados	Sólo soldaduras frontales 	Para $0{,}5\,h < L < 2\,h$ $\sigma_{co} = \sqrt{1{,}8}\,\frac{F^*}{L\,a} \times$ $\times \left(\frac{1}{2} + \frac{e}{h+a}\right) \cong 1{,}34\,\frac{F^*}{L\,a} \times$ $\times \left(\frac{1}{2} + \frac{e}{h+a}\right) \leqslant \sigma_u$
13	Torsión y esfuerzo cortante combinados	Dos soldaduras laterales y dos frontales 	Para $0{,}5\,h < L_2 < 2\,h$ Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 1: $M_1 = 0{,}75\,\sigma_u\,L_1\,a_1\,(L + a_1)$ Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2: $M_2 = 0{,}75\,\sigma_u\,L_2\,a_2\,(h + a_2)$ Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 1: $F_1 = 1{,}5\,\sigma_u\,L_1\,a_1$ Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 2: $F_2 = 1{,}7\,\sigma_u\,L_2\,a_2$ El momento torsor $M^*_t = F^*\,e$ se descompone proporcionalmente a M_1 y M_2. El esfuerzo cortante F^* se descompone proporcionalmente a F_1 y F_2. Las soldaduras 1 se calculan como el caso 12. Las soldaduras 2 se calculan como el caso 11.

7.6 1-a

Uniones planas

Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
14	Torsión y esfuerzo cortante combinados	Dos soldaduras laterales y una frontal 	Para $0{,}5\,h < L_2 < 2\,h$ Máximo momento admisible para la soldadura 1: $M_1 = 0{,}14\,\sigma_u\,L_1^2\,a_1$ Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2: $M_2 = 0{,}75\,\sigma_u\,L_2\,a_2\,(h + a_2)$ El momento $M^* = F^* \cdot e$ se descompone proporcionalmente a M_1 y M_2. El esfuerzo cortante F^* (si está contenido en el plano de la junta, o su excentricidad es pequeña) se considera absorbido por las soldaduras 2. La soldadura 1 se calcula a flexión pura. La soldadura 2 se calcula como en el caso 11.
15	Flexión, torsión y esfuerzo cortante combinados		Para $0{,}5\,h < L < 2\,h$ Caso *a*: $M^*_f = F^* e_2 \quad M^*_t = F^* e_1$ Los valores de σ, τ_n y $\tau_{n'}$ debidos a M_t y F^*, se obtienen como en el caso 13. Los valores de σ y τ_n, debidos a M^*_f, se obtienen como en el caso 10 ($\tau_a^{Mf} = 0$). Caso *b*: Debido a M^*_t obtenemos unas tensiones: $\tau_a^{Mt} = \dfrac{M^*_t}{2\,A\,a}$; $\sigma^{Mt} = 0$; $\tau_n^{Mt} = 0$ Donde: A = Area encerrada por la línea media de la sección de garganta de las soldaduras, abatida sobre el plano de la unión. a = Dimensión de garganta de la soldadura en el punto que se considera. El resto de las tensiones y la comprobación de las soldaduras como en el caso a. Debe cumplirse en todos los casos: $\sigma_{co} = \sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,(\tau^{*}_{a}{}^2 + \tau^{*}_{n}{}^2)} \leqslant \sigma_u$
16	Torsión y esfuerzo cortante combinados		En general se pueden omitir en estas uniones los cálculos de las tensiones debidas a la torsión.

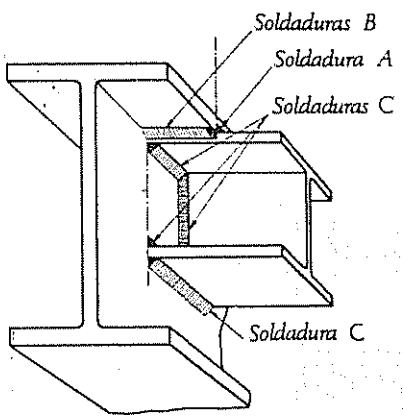
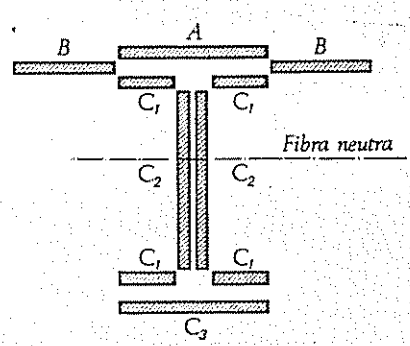
Uniones planas

Caso	Solicitación	Unión	Expresión práctica
17	Torsión y esfuerzo cortante combinados		*a)* Cuando existen soldaduras a ambos lados de las alas: $n^*_{mdx} = \frac{M^*_t}{W_y} k$ $\sigma^* = \tau^*_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{e}{a_1 + a_2} \frac{M^*_t}{W_y} k$ $\sigma_{co} = 1{,}18 \frac{e}{a_1 + a_2} \frac{M^*_t}{W_y} k \leqslant \sigma_u$ *b)* Cuando hay solamente soldaduras en el lado exterior de las alas: $\sigma^* = \tau^*_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{e}{a_1} \frac{M^*_t}{W_y} k$ $\sigma_{co} \cong 1{,}18 \frac{e}{a_1} \frac{M^*_t}{W_y} k \leqslant \sigma_u$ Siendo: W_y = Módulo resistente de las soldaduras respecto a $y - y$. e = Espesor medio del alma. a_1 = Garganta de las soldaduras exteriores. a_2 = Garganta de las soldaduras interiores k = Coeficiente de forma.
18	Unión de alma con platabanda		Debe cumplirse: $\frac{F^* S}{0{,}75\ 2\ a\ I_x} \leqslant \sigma_u$ Siendo: F^* = Esfuerzo cortante que solicita a la sección. S = Momento estático de la platabanda respecto al eje de flexión pura. I_x = m. d. i. de la sección completa respecto al mismo eje. Puede, del lado de la seguridad, utilizar la fórmula simplificada siguiente: $\frac{F^*}{0{,}75 \times 2\ a\ h} \leqslant \sigma_u$

Perfil	I	H	U	Z
K	4,5	6 a 10	5,5	7,5

7.6 1-a

Uniones espaciales

Unión	Esquema
	

Unión solicitada a tracción

Dimensiones de las soldaduras:

Soldadura A: L_a, a_a
Soldadura B: L_b, a_b
Soldadura C_1: $4 \times L_{c_1}$, a_{c_1}
Soldadura C_2: $2 \times L_{c_2}$, a_{c_2}
Soldadura C_3: L_{c_3}, a_{c_3}

1) Se calculan las fuerzas de agotamiento de cada soldadura:

$$F_a = 0{,}85\ \sigma_u\ L_a\ a_a$$
$$F_b = 0{,}75\ \sigma_u\ L_b\ a_b$$
$$F_{c_1} = 4 \times 0{,}85\ \sigma_u\ L_{c_1}\ a_{c_1}$$
$$F_{c_2} = 2 \times 0{,}85\ \sigma_u\ L_{c_2}\ a_{c_2}$$
$$F_{c_3} = 0{,}85\ \sigma_u\ L_{c_3}\ a_{c_3}$$

Debe cumplirse: $F_a + F_b + F_{c_1} + F_{c_2} + F_{c_3} \geqslant F^*$

2) Los esfuerzos que corresponden a cada soldadura son:

$$F^*_a = F^* \frac{F_a}{F_a + F_b + F_{c_1} + F_{c_2} + F_{c_3}} = F^* \frac{F_a}{\Sigma F}\ ;\ F^*_b = F^* \frac{F_b}{\Sigma F}\ ;\ F^*_{c_1} = F^* \frac{F_{c_1}}{\Sigma F}\ ;\ \text{etc.}$$

3) Se comprueba cada soldadura con los esfuerzos obtenidos anteriormente, según los casos (1) y (2) de 7.6 1-a.

Unión solicitada a flexión simple

Se determina el eje neutro y el módulo resistente de las soldaduras del esquema, considerando para las soldaduras «B» un área reducida $= \frac{0{,}75}{0{,}85} L_b\ a_b$

El cálculo se realiza según el caso (10) de 7.6 1-a. Las tensiones a considerar en las distintas soldaduras para obtener la tensión de comparación son:

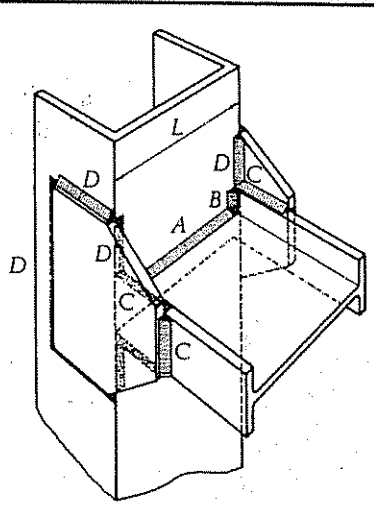
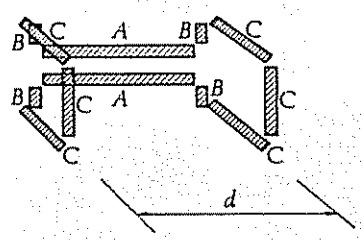
Soldadura B: τ^*_a
Soldadura A_1, C_1 y C_3: σ^*, τ^*_n
Soldadura C_2: σ^*, τ^*_n, τ^*_a

Unión solicitada a torsión

Se prescinde de las soldaduras «B», en el esquema y se verifica el cálculo, según el caso (15) de 7.6 1-a.

7.6 1-b

Uniones espaciales

Unión	Esquema
	

Unión con cartelas transversales

1) Tracción:

El cálculo se efectúa en forma análoga al caso anterior, siendo:

F^* = Fuerza de tracción solicitante
F_{ab} = Fuerza de agotamiento de las soldaduras A y B
F_c = Fuerza de agotamiento de las soldaduras C

Ha de verificarse: $F^* \leqslant F_{ab} + F_c$ y $F_d \geqslant F_c$.

2) Flesión, siendo:

M^* = Momento solicitante
M_{ab} = Momento flector de agotamiento de las soldaduras A y B
M_c = Momento torsor de agotamiento de las soldaduras C

Ha de verificarse: $M^* \leqslant M_{ab} + M_c$ y $M_d \geqslant M_c$.

$$M^*_{ab} = \frac{M_{ab}}{\Sigma M} M^* \qquad M^*_c = \frac{M_c}{\Sigma M} M^*$$

3) Torsión, siendo:

M^*_t = Momento torsor solicitante
M_{ab} = Momento de agotamiento de las soldaduras A y B (calculado según el caso (17) de 7.6 1-a).
M_c = Momento de agotamiento de las soldaduras C

$$M_c = F_c\, d$$

siendo:

F_c = La fuerza de agotamiento de cada grupo de soldaduras C de unión a una cartela, y
d = Distancia entre cartelas

Ha de verificarse:

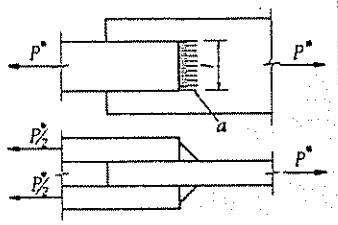
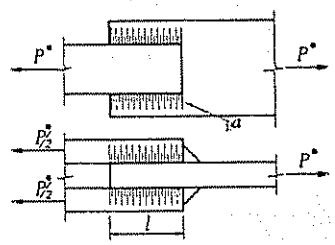
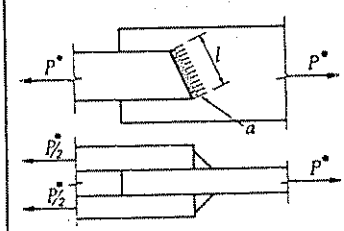
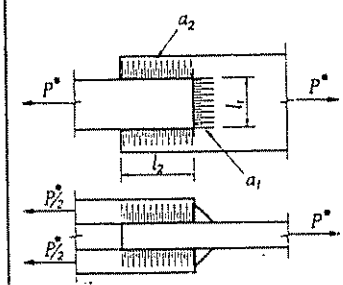
$$M^*_t \leqslant M_{ab} + M_c \quad y \quad F_d \geqslant F_c$$

7.6 1-b

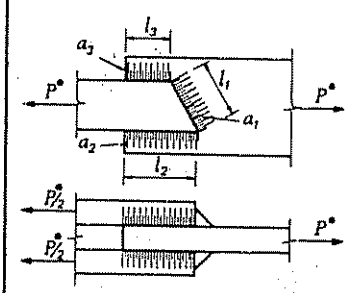
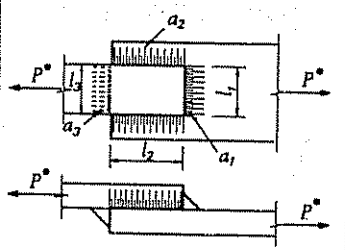
7.6 2. Fórmulas simplificadas según la Norma ISO/TC 44/Sec 2.

Las fórmulas que se deducen del método simplificado de cálculo descrito en 7.5 2 se recogen en: **7.6 2a** Piezas sometidas a tracción y compresión; **7.6 2b** Piezas sometidas a flexión y **7.6 2c** Piezas sometidas a torsión.

Piezas sometidas a tracción y compresión

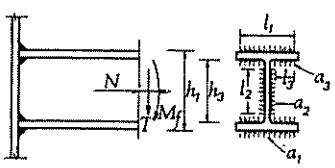
Unión	Solicitación	Fórmula de verificación	Condiciones de aplicación
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, al} \leqslant \sigma_e$	$l \geqslant 50$ mm $a \geqslant 4$ mm
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, al} \leqslant \sigma_e$	$l \geqslant 50$ mm $a \geqslant 4$ mm
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, al} \leqslant \sigma_e$	$l \geqslant 50$ mm $a \geqslant 4$ mm
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, a_i l_i} \leqslant \sigma_e$ $i = 1 - 2$	$l_i \geqslant 50$ mm $a_i \geqslant 4$ mm $a_1 = a_2$

7.6 2-a

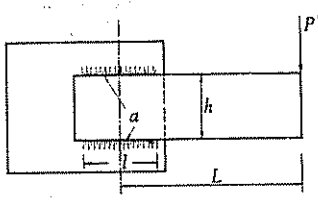
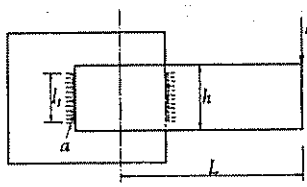
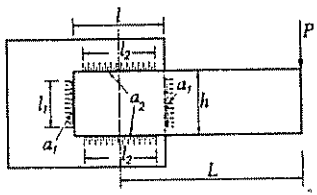
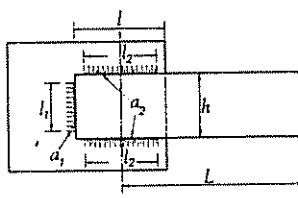
Unión	Solicitación	Fórmula de verificación	Condiciones de aplicación
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, a_i l_i} \leqslant \sigma_a$	$l_i \geqslant 50$ mm $a_i \geqslant 4$ mm $a_1 = a_2 = a_3$
	P^* $M^*_f = 0$ $M^*_t = 0$	$\frac{P^*}{\Sigma\, a_i l_i} \leqslant \sigma_a$ $i = 2 - 3$	$l_i \geqslant 50$ mm $a_i \geqslant 4$ mm $a_3 < a_1$

7.62-a

Piezas sometidas a flexión

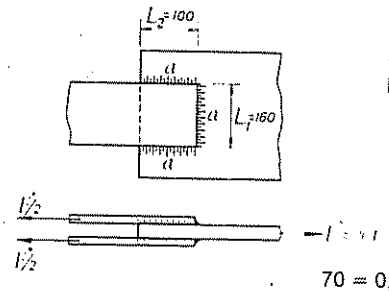
Unión	Solicitación	Fórmula de verificación	Condiciones de aplicación
	M^*_f, T^* $M^*_t = P^* = 0$	$\frac{T^* S_x}{2\, I a} \leqslant \sigma_a$	S_x Momento estático de media sección. I Momento de inercia de la sección completa.
	P^*, T^*, M^*_f $M^*_t = 0$	$\sqrt{\left(\frac{P^*}{\Sigma\, al} + \frac{M^*_f l_2}{2\, I}\right)^2 + \left(\frac{T^*}{2\, a_3 l_2}\right)^2} \leqslant \sigma_a$	$a_i \geqslant 4$ mm $l_i \geqslant 50$ mm $I = \frac{a_1 l_1 h_1^2}{2} + \frac{a_2 l_2^3}{6} + a_3 l_3 h_3^2$ $\Sigma\, al = 2\, a_1 l_1 + 2\, a_2 l_2 + 4\, a_3 l_3$

7.6 2-b

Unión	Solicitación	Fórmula de verificación	Condiciones de aplicación
	$P^* = T^*, M^*_f$ $M^*_t = 0$	$\left[\sqrt{\left(\frac{2L}{h}\right)^2 + 1}\right]\left(\frac{P^*}{\Sigma\, a l}\right) \leqslant \sigma_e$	$a \geqslant 4$ mm $l \geqslant 50$ mm
	$P^* = T^*, M^*_f$ $M^*_t = 0$	$\left(1 + \frac{2L}{l}\right)\frac{P^*}{\Sigma\, a\, l_1} \leqslant \sigma_e$	$a \geqslant 4$ mm $l \geqslant 50$ mm
	$P^* = T^*, M^*_t$ $M^*_f = 0$	$\sqrt{\left(\frac{L}{h}\right)^2 + \left(\frac{l}{1 + h/l}\right)^2 \frac{P^*}{2\, a_2\, l_2}} \leqslant \sigma_e$	$a_1 \geqslant 4$ mm $a_2 \geqslant 4$ mm $l_1 \geqslant 50$ mm $l_2 \geqslant 50$ mm $\frac{a_1\, l_1}{a_2\, l_2} = \frac{h}{l}$
	$P^* = T^*, M^*_f$ $M^*_t = 0$	$\left(\frac{6}{7}\,\frac{l}{h}\right)\frac{P^*}{a_1\, l_1} \leqslant \sigma_e$	$a_1 \geqslant 4$ mm $a_2 \geqslant 4$ mm $l_1 \geqslant 50$ mm $l_2 \geqslant 50$ mm $l_1 \cong h$

7.6.2-b

7.6 1 - 7.6 2. EJEMPLO DE APLICACION-1



Calcular el cordón de soldadura de la unión representada en la figura.

MV-103:

Por cumplirse $0{,}5\ L_1 < L_2 \leq 1{,}5\ L_1$
corresponde al caso 5 de **7.6 1-a:** $F_{máx} = K\ F_1 + F_2$

$F_1 = \beta\ L_1\ a_1\ \sigma_u = 0{,}85 \times 32 \times a \times 2{,}6 = 70{,}72\ a$

$F_2 = 0{,}75\ \Sigma\ a_2\ L_2\ \sigma_u = 0{,}75 \times 40 \times a \times 2{,}6 = 78{,}00\ a$

$K = 0{,}33$ para $\theta = 90°$

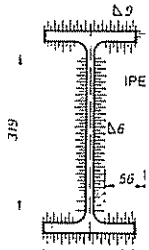
$70 = 0{,}33 \times 70{,}72\ a + 78{,}00\ a \qquad a = 0{,}69\ cm \qquad \mathbf{a = 7\ mm}$

ISO:

Corresponde al cuarto tipo de unión de **7.6 2-a:** $\dfrac{F^*}{\Sigma\ a\ l} < \sigma_c$

$\sigma_c = 21{,}2\ kg/mm^2 = 2{,}12\ t/cm^2$ para acero A 42 $\qquad \dfrac{70}{72 \times a} = 2{,}12 \qquad a = 0{,}45\ cm \qquad \mathbf{a = 5\ mm}$

7.6 1 - 7.6 2. EJEMPLO DE APLICACION-2



Comprobar la soldadura perimetral realizada en un perfil IPE 400, para una solicitación de un momento flector $M^* = 2.500$ cm · t y un esfuerzo cortante $Q^* = 30$ t.

MV-103:

En **7.6 4-a** se dan los valores estáticos de la soldadura:

$A = 95{,}6\ cm^2 \qquad A_a = 38{,}3\ cm^2$

$W_x = 1.210\ cm^3$

La tensión de trabajo de las soldaduras se pueden calcular según el caso 10 de **7.6 1-a**

— Soldaduras de las alas:

$$\sigma_{co} = 1{,}18\ \frac{M^*}{W} = 1{,}18\ \frac{2.500}{1\,210} = 2{,}43\ t/cm^2 \qquad \sigma_{co} = 2{,}43\ t/cm^2 < 2{,}6\ t/cm^2$$

— Soldadura del alma:

$$\sigma_{co} = \sqrt{1{,}4\left(\frac{M^*}{W_x}\ \frac{L_3}{h_1 + a_1}\right)^2 + 1{,}8\left(\frac{Q^*}{2L_3\ a_3}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{1{,}4\left(\frac{2.500}{1.210} \times \frac{31{,}9}{40{,}9}\right)^2 + 1{,}8\left(\frac{30}{2 \times 31{,}9 \times 0{,}6}\right)^2}$$

$\sigma_{co} = 2{,}17\ t/cm^2 < 2{,}6\ t/cm^2$

ISO:

La fórmula de comprobación aparece en **7.6 2-b,** que para este ejemplo será:

$$\sqrt{\left(\frac{M^*\ l_2}{2\ I}\right)^2 + \left(\frac{Q^*}{2a_2\ l_2}\right)^2} \leq \sigma_c$$

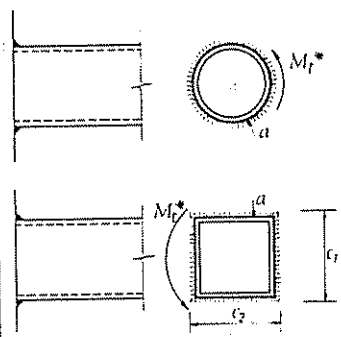
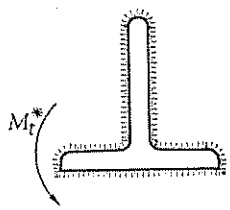
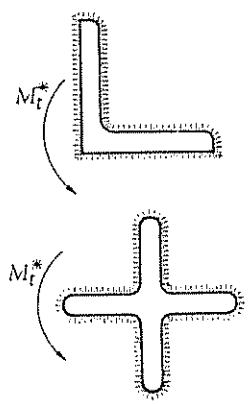
fórmula que comprueba el cordón de soldadura del alma, equivalente a la de la Norma Básica MV-103, pero sin los coeficientes 1,4 y 1,8, así sería:

$$\sqrt{\left(\frac{2.500}{1.210} \times \frac{31{,}9}{40{,}9}\right)^2 + \left(\frac{30}{2 \times 31{,}9 \times 0{,}6}\right)^2} \leq \sigma_c$$

$1{,}79\ t/cm^2 \leq \sigma_c$

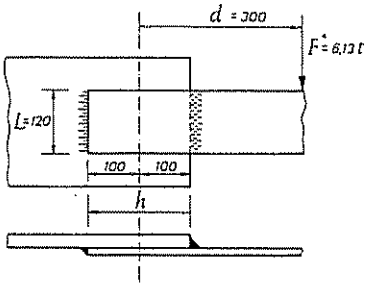
$\sigma_c = 2{,}12\ t/cm^2$ para acero A 42

Piezas sometidas a torsión

Unión	Solicitación	Fórmula de verificación	Condiciones de ampliación
	M^*_t $P^* = M^*_f = 0$	$\frac{M^*_t}{2\,A\,a} \leqslant \sigma_e$	$A = \frac{\pi}{4}(d+a)^2$ $a \geqslant 4$ mm $A = (c_1 + a)(c_2 + a)$ $a \geqslant 4$ mm
	M^*_t $P^* = M^*_f = 0$	$\frac{3\,M^*_t}{1{,}25\,\Sigma\,la^2} \leqslant \sigma_e$	$a \geqslant 4$ mm
	M^*_t $P^* = M^*_f = 0$	$\frac{3\,M^*_t}{\Sigma\,l\,a^3} \geqslant \sigma_e$	$a \geqslant 4$ mm

7.6 2-c

7.6 1 - 7.6 2. EJEMPLO DE APLICACION-3



Calcular los cordones de soldadura de la unión representada en la figura.

MV-103:

Cálculo según **7.6 1-a:** el esquema dibujado y los datos dados sitúan el cálculo en el caso 12.

$$1{,}34\ \frac{F^*}{L\,a}\left(\frac{1}{2}+\frac{e}{h+a}\right)<\sigma_u$$

$$1{,}34\ \frac{6{,}13}{12\,a}\left(\frac{1}{2}+\frac{30}{20+a}\right)=2{,}6$$

operando se llega a:

$2{,}6\ a^2 + 51{,}66\ a - 27{,}33 = 0$

Resolviendo la ecuación, se obtiene:

$a = 0{,}51$ cm **a = 5,5 mm**

El cálculo del cordón resulta inmediato aplicando **7.6 3.**

$$K = \frac{h}{L} = \frac{200}{120} = 1{,}66$$

$$C = 0{,}377$$

$$e = \frac{d}{L} = \frac{300}{120} = 2{,}50$$

$P^* = C\,\sigma_u\ a\ l$ $\quad 6.13 = 0{,}377 \times 2{,}6\ a \times 12$ $\quad a = 0{,}52$ cm $\quad$ **a = 5,5 mm**

ISO:

Cálculo según **7.6 2-b:**

$$\left(1+\frac{2L}{h}\right)\frac{P}{\Sigma a\,l}<\sigma_c$$

para acero A 42, $\sigma_c = 2{,}12$ t/cm²

$$\left(1+\frac{2\times 30}{20}\right)\frac{6{,}13}{a\times 24}=2{,}12$$

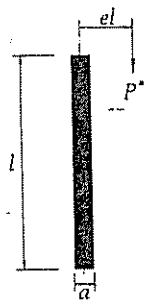
$a = 0{,}48$ cm **a = 5 mm**

7.6.3. Tablas para el cálculo de combinaciones de cordones en algunos casos frecuentes.

Por medio **7.6.3**, se puede hallar el valor del coeficiente C, de la fórmula:

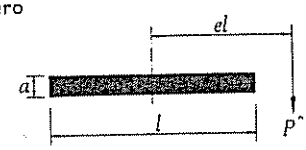
$$P^* = C\,\sigma_u\,a l$$

que da el valor máximo ponderado del esfuerzo para algunas combinaciones frecuentes de cordones de soldadura.



P^* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$



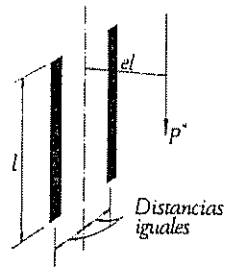
$$C = \frac{1}{\sqrt{50{,}4\,e^2 + 1{,}8}} \qquad C = \frac{1}{7{,}09\,e + 1{,}18}$$

Valores del coeficiente C

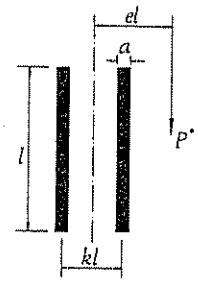
e	C
0,0	0,745
0,1	0,658
0,2	0,511
0,3	0,397
0,4	0,318
0,5	0,263
0,6	0,223
0,7	0,194
0,8	0,171
0,9	0,153
1,0	0,138
1,1	0,126
1,2	0,116
1,3	0,107
1,4	0,099
1,5	0,093
1,6	0,087
1,7	0,082
1,8	0,078
1,9	0,073
2,0	0,070
2,1	0,066
2,2	0,063
2,3	0,061
2,4	0,058
2,5	0,056
2,6	0,054
2,7	0,057
2,8	0,050
2,9	0,048
3,0	0,047

e	C
0,0	0,847
0,1	0,528
0,2	0,384
0,3	0,302
0,4	0,248
0,5	0,211
0,6	0,183
0,7	0,162
0 8	0,145
0,9	0,132
1,0	0,120
1,1	0,111
1,2	0,103
1,3	0,096
1.4	0,090
1,5	0,084
1,6	0,079
1,7	0,075
1,8	0,071
1,9	0,068
2,0	0,065
2,1	0,062
2,2	0,059
2,3	0,057
2,4	0,055
2,5	0,053
2,6	0,051
2,7	0,049
2,8	0,047
2,9	0,046
3,0	0,044

7.6.3-1



Los valores de C para este caso, se obtienen con k = 0



Valores del coeficiente C

c	k										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490
0,1	1,317	1,267	1,238	1,226	1,226	1,232	1,242	1,253	1,265	1,277	1,288
0,2	1,023	0,982	0,968	0,974	0,990	1,012	1,036	1,059	1,082	1,104	1,124
0,3	0,794	0,769	0,769	0,786	0,813	0,844	0,877	0,908	0,938	0,966	0,992
0,4	0,636	0,622	0,629	0,651	0,683	0,718	0,755	0,790	0,824	0,855	0,884
0,5	0,527	0,518	0,529	0,553	0,586	0,622	0,660	0,697	0,732	0,766	0,797
0,6	0,447	0,443	0,455	0,479	0,511	0,548	0,585	0,622	0,658	0,692	0,724
0,7	0,388	0,386	0,398	0,422	0,453	0,488	0,525	0,561	0,597	0,631	0,663
0,8	0,342	0,341	0,354	0,376	0,406	0,440	0,475	0,511	0,546	0,579	0,611
0,9	0,306	0,306	0,318	0,340	0,368	0,400	0,434	0,468	0,502	0,535	0,566
1,0	0,277	0,277	0,289	0,309	0,336	0,367	0,399	0,432	0,465	0,497	0,527
1,1	0,252	0,253	0,264	0,284	0,309	0,338	0,370	0,401	0,433	0,463	0,493
1,2	0,232	0,233	0,244	0,262	0,286	0,314	0,344	0,374	0,405	0,434	0,463
1,3	0,214	0,216	0,226	0,244	0,266	0,293	0,321	0,351	0,380	0,409	0,436
1,4	0,199	0,201	0,211	0,227	0,249	0,274	0,302	0,330	0,358	0,386	0,413
1,5	0,186	0,188	0,197	0,213	0,234	0,258	0,284	0,311	0,338	0,365	0,391
1,6	0,175	0,176	0,185	0,201	0,221	0,244	0,269	0,295	0,321	0,347	0,372
1,7	0,165	0,166	0,175	0,189	0,208	0,231	0,255	0,280	0,305	0,330	0,355
1,8	0,156	0,157	0,166	0,180	0,198	0,219	0,242	0,266	0,291	0,315	0,339
1,9	0,147	0,149	0,157	0,171	0,188	0,208	0,231	0,254	0,277	0,301	0,324
2,0	0,140	0,142	0,150	0,162	0,179	0,199	0,220	0,243	0,265	0,288	0,311
2,1	0,133	0,135	0,143	0,155	0,171	0,190	0,211	0,232	0,254	0,277	0,298
2,2	0,127	0,129	0,136	0,148	0,164	0,182	0,202	0,223	0,244	0,266	0,287
2,3	0,122	0,124	0,131	0,142	0,157	0,175	0,194	0,214	0,235	0,256	0,276
2,4	0,117	0,119	0,125	0,136	0,151	0,168	0,186	0,206	0,226	0,247	0,267
2,5	0,112	0,114	0,120	0,131	0,145	0,162	0,180	0,199	0,218	0,238	0,258
2,6	0,108	0,110	0,116	0,126	0,140	0,156	0,173	0,192	0,211	0,230	0,249
2,7	0,104	0,106	0,112	0,122	0,135	0,150	0,167	0,185	0,204	0,222	0,241
2,8	0,100	0,102	0,108	0,117	0,130	0,145	0,162	0,179	0,197	0,215	0,233
2,9	0,097	0,098	0,104	0,114	0,126	0,140	0,156	0,173	0,191	0,209	0,226
3,0	0,094	0,095	0,101	0,110	0,122	0,136	0,152	0,168	0,185	0,202	0,220

7.6 3-2

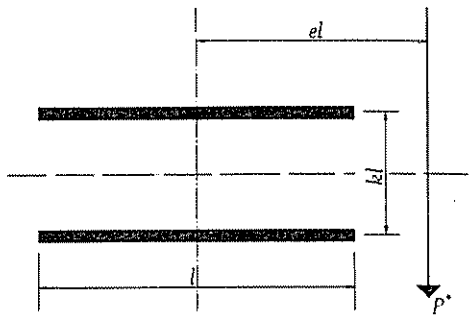
P* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1{,}4\left[\frac{e}{\frac{1}{3}+k^2}\right]^2 + 1{,}8\left[\frac{ek}{\frac{1}{3}+k^2}+\frac{1}{2}\right]^2}}$$

k										e
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	1,490	0,0
,298	1,308	1,317	1,325	1,333	1,340	1,347	1,353	1,359	1,364	0,1
,142	1,159	1,175	1,189	1,202	1,215	1,226	1,237	1,246	1,255	0,2
,015	1,037	1,057	1,076	1,093	1.109	1.124	1,137	1,150	1,162	0,3
),911	0,936	0,959	0.981	1,001	1,019	1,036	1,052	1.067	1,081	0,4
).826	0.852	0,877	0,900	0,922	0,942	0,961	0,978	0,995	1,010	0,5
).754	0,781	0,807	0,831	0,854	0,875	0,895	0,914	0,931	0,948	0,6
).693	0,721	0.747	0,772	0,795	0,817	0.837	0,857	0,875	0,892	0,7
),640	0,669	0,695	0,720	0,743	0,766	0,787	0,806	0,825	0,843	0,8
).595	0,623	0,650	0,674	0,698	0,720	0,741	0,761	0,780	0,798	0,9
).556	0.583	0,609	0,634	0,658	0,680	0,701	0.721	0,740	0,758	1,0
).521	0.548	0.574	0.598	0,622	0,644	0.665	0,685	0.704	0,722	1,1
),491	0,517	0.542	0,566	0,589	0,611	0,632	0,652	0,671	0,689	1,2
),463	0,489	0.514	0,537	0,560	0.582	0,602	0,622	0,641	0,659	1,3
),439	0,464	0.488	0,511	0,533	0,555	0,575	0,594	0,613	0,631	1,4
),417	0,441	0,465	0.488	0,509	0.530	0,550	0,569	0,588	0,606	1,5
),397	0,421	0,444	0.466	0.487	0,508	0,527	0,546	0,564	0,582	1,6
),379	0.402	0,424	0.446	0,467	0,487	0,506	5,525	0,543	0,560	1,7
).362	0,385	0,407	0.428	0,448	0.468	0,487	0,505	0,523	0,540	1,8
),347	0,369	0.390	0,411	0,431	0.450	0.469	0,487	0,504	0,521	1,9
),333	0.354	0,375	0,395	0,415	0,434	0,452	0,470	0,487	0,504	2,0
),320	0,341	0.361	0,381	0.400	0.419	0,437	0,454	0,471	0,487	2,1
).308	0,328	0 348	0,368	0,386	0,404	0,422	0,439	0,456	0,472	2,2
),297	0,317	0,336	0.355	0,373	0,391	0,408	0,425	0,441	0,457	2,3
),286	0.306	0,325	0.343	0,361	0,379	0,396	0,412	0,428	0,444	2,4
),277	0,296	0,314	0.332	0,350	0.367	0.384	0,400	0,415	0,431	2,5
).268	0,286	0.304	0,322	0,339	0,356	0,372	0,388	0,404	0,419	2,6
),259	0,277	0,295	0,312	0.329	0.346	0,362	0,377	0,392	0,407	2,7
),251	0,269	0,286	0,303	0,320	0,336	0,352	0,367	0,382	0,396	2,8
),244	0,261	0,278	0,295	0,311	0,327	0,342	0,357	0,372	0,386	2,9
),237	0,254	0,270	0,287	0,302	0,318	0,333	0,348	0,362	0,376	3,0

7.6 3-2



Valores del coeficiente C

e	k										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690
0,1	1,056	1,067	1,097	1,141	1,193	1,246	1,297	1,344	1,386	1,422	1,454
0,2	0,768	0,779	0,810	0,857	0,915	0,977	1,040	1,101	1,158	1,211	1,258
0,3	0,604	0,614	0,642	0,686	0,740	0,801	0,864	0,927	0,988	1,046	1,100
0,4	0,497	0,506	0,532	0,571	0,621	0 677	0,737	0,798	0,859	0,917	0,972
0,5	0,423	0,430	0,453	0,489	0,534	0,586	0,642	0,700	0,758	0,814	0,869
0,6	0,367	0,375	0,395	0,427	0,469	0,517	0,568	0,622	0,677	0,731	0,784
0,7	0,325	0,332	0,350	0,380	0,418	0,462	0,510	0,560	0,611	0,662	0,713
0,8	0,291	0,297	0,315	0,342	0,376	0,417	0,462	0,509	0,557	0,605	0,653
0,9	0,264	0,270	0,285	0,310	0,343	0,380	0,422	0,466	0,511	0,557	0,603
1,0	0,241	0,247	0,261	0,284	0,314	0,349	0,388	0,430	0,472	0,516	0,559
1,1	0,222	0,227	0,241	0,262	0,290	0,323	0,360	0,399	0,439	0,480	0,521
1,2	0,206	0,211	0,223	0,243	0,270	0,301	0,335	0,372	0,410	0,449	0,488
1,3	0,192	0,196	0,208	0,227	0,252	0,281	0,313	0,348	0,384	0,421	0,458
1,4	0,180	0,184	0,195	0,213	0,236	0,264	0,295	0,327	0,362	0,397	0,432
1,5	0,169	0,173	0,183	0,200	0,222	0,249	0,278	0,309	0,342	0,375	0,409
1,6	0,159	0,163	0,173	0,189	0,210	0,235	0,263	0,292	0,324	0,356	0,388
1,7	0,151	0,154	0,164	0,179	0,199	0,223	0,249	0,278	0,307	0,338	0,369
1,8	0,143	0,146	0,156	0,170	0,189	0,212	0,237	0,264	0,293	0,322	0,352
1,9	0,136	0,139	0,148	0,162	0,180	0,202	0,226	0,252	0,279	0,308	0,336
2,0	0,130	0,133	0,141	0,155	0,172	0,193	0,216	0,241	0,267	0,294	0,322
2,1	0,124	0,127	0,135	0,148	0,165	0,185	0,207	0,231	0,256	0,282	0,309
2,2	0,119	0,122	0,129	0,142	0,158	0,177	0,198	0,221	0,246	0,271	0,297
2,3	0,114	0,117	0,124	0,136	0,152	0,170	0,191	0,213	0,236	0,261	0,285
2,4	0,110	0,112	0,119	0,131	0,146	0,163	0,183	0,205	0,228	0,251	0,275
2,5	0,106	0,108	0,115	0,126	0,140	0,157	0,177	0,197	0,219	0,242	0,265
2,6	0,102	0,104	0,111	0,121	0,135	0,152	0,170	0,191	0,212	0,234	0,256
2,7	0,098	0,100	0,107	0,117	0,131	0,147	0,165	0,184	0,205	0,226	0,248
2,8	0,095	0,097	0,103	0,113	0,126	0,142	0,159	0,178	0,198	0,219	0,240
2,9	0,092	0,094	0,100	0,110	0,122	0,137	0,154	0,173	0,192	0,212	0,232
3,0	0,089	0,091	0,097	0,106	0,118	0,133	0,149	0,167	0,186	0,205	0,225

7.6 3-3

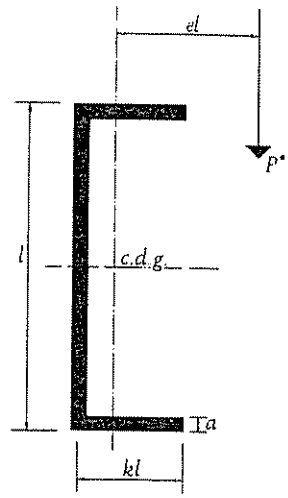
P^* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1{,}4\left[\frac{e}{\frac{1}{3}+k^2}+\frac{1}{2}\right]^2+1{,}8\left[\frac{ek}{\frac{1}{3}+k^2}\right]^2}}$$

k										e
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690	0,0
1,481	1,505	1,525	1,542	1,557	1,570	1,582	1,591	1,600	1,608	0,1
1,300	1,338	1,371	1,401	1,427	1,450	1,471	1,489	1,505	1,520	0,2
1,149	1 194	1,235	1,273	1,306	1,337	1,364	1,389	1,411	1,431	0.3
1,024	1.073	1,118	1,159	1,197	1,232	1,265	1,294	1,321	1,345	0,4
0,921	0.970	1,017	1,060	1,101	1,139	1,174	1,206	1,236	1,264	0,5
0,835	0,884	0,930	0,974	1,016	1,055	1,092	1,126	1,158	1,188	0,6
0,762	0,810	0,856	0,899	0,941	0,980	1,018	1,053	1,086	1.118	0,7
0,701	0,747	0,791	0,834	0,875	0,914	0.952	0,987	1,021	1,053	0,8
0.648	0,692	0,735	0,777	0,817	0,855	0.892	0,928	0,962	0,994	0,9
0,602	0,644	0,686	0,726	0,765	0,803	0,839	0,874	0,908	0,940	1,0
0,562	0,603	0,642	0,681	0,719	0.756	0,791	0.826	0,859	0.891	1,1
0,527	0,566	0,604	0,641	0,678	0,714	0,748	0,782	0,814	0.846	1,2
0,496	0,533	0,570	0,606	0,641	0,675	0,709	0,742	0.774	0,805	1,3
0,468	0,504	0.539	0,573	0,608	0,641	0.674	0,706	0.737	0,767	1,4
0,443	0,477	0,511	0,544	0,577	0,610	0,641	0,672	0,703	0,732	1,5
0,421	0,453	0,486	0,518	0,550	0,581	0,612	0.642	0,671	0,700	1,6
0,401	0,432	0,463	0,494	0.525	0.555	0,585	0,614	0,643	0,671	1,7
0,382	0.412	0.442	0,472	0,502	0,531	0.560	0,588	0,616	0,643	1,8
0.365	0,394	0,423	0.452	0,481	0,509	0.537	0,564	0.592	0,618	1,9
0,350	0,378	0.406	0,434	0,461	0,489	0.516	0,542	0.569	0,595	2,0
0,336	0,363	0,390	0,417	0,443	0,470	0,496	0.522	0.548	0.573	2,1
0,322	0,349	0,375	0,401	0,427	0,452	0,478	0.503	0,528	0.552	2,2
0,310	0,336	0,361	0,386	0,411	0,436	0,461	0.485	0,509	0,533	2.3
0,299	0,323	0,348	0.372	0,397	0,421	0.445	0,469	0,492	0,515	2,4
0,289	0,312	0.336	0,360	0,383	0,407	0,430	0,453	0.476	0.499	2,5
0,279	0,302	0,325	0,348	0,371	0.393	0,416	0,439	0,461	0.483	2,6
0,270	0,292	0,314	0,337	0,359	0.381	0,403	0.425	0,447	0.468	2,7
0.261	0,283	0,304	0,326	0,348	0,369	0,391	0,412	0,433	0,454	2,8
0,253	0,274	0,295	0,316	0,337	0,358	0,379	0,400	0,421	0,441	2,9
0,246	0,266	0.286	0,307	0,327	0,348	0,368	0,389	0,409	0,429	3,0

7.6 3-3



e	k										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	—	1,014	1,183	1,352	1,521	1,690	1,859	2,028	2,197	2,366	2,535
0,1	—	0,848	0,982	1,112	1,243	1,374	1,507	1,641	1,778	1,917	2,058
0,2	—	0,656	0,781	0,896	1,008	1,120	1,234	1,349	1,467	1,587	1,709
0,3	—	0,515	0,630	0,734	0,833	0,932	1,032	1,134	1,237	1,344	1,452
0,4	—	0,418	0,521	0,615	0,704	0,793	0,882	0,973	1,065	1,161	1,259
0,5	—	0,349	0,442	0,526	0,607	0,687	0,767	0,849	0,933	1,020	1,108
0,6	—	0,299	0,382	0,459	0,532	0,605	0,678	0,752	0,829	0,908	0,989
0,7	—	0,261	0,336	0,406	0,473	0,539	0,606	0,675	0,745	0,818	0,892
0,8	—	0,231	0,300	0,364	0,425	0,486	0,548	0,611	0,676	0,743	0,812
0,9	—	0,207	0,270	0,329	0,386	0,443	0,500	0,558	0,619	0,681	0,745
1,0	—	0,188	0,246	0,301	0,353	0,406	0,459	0,514	0,570	0,628	0,688
1,1	—	0,172	0,226	0,276	0,326	0,375	0,425	0,476	0,528	0,583	0,639
1,2	—	0,158	0,208	0,256	0,302	0,348	0,395	0,443	0,492	0,544	0,597
1,3	—	0,147	0,194	0,238	0,281	0,325	0,369	0,414	0,461	0,509	0,560
1,4	—	0,136	0,181	0,222	0,263	0,304	0,346	0,389	0,433	0,479	0,527
1,5	—	0,128	0,169	0,209	0,248	0,286	0,326	0,366	0,408	0,452	0,497
1,6	—	0,120	0,159	0,197	0,234	0,270	0,308	0,347	0,386	0,428	0,471
1,7	—	0,113	0,150	0,186	0,221	0,256	0,292	0,329	0,367	0,406	0,447
1,8	—	0,107	0,142	0,176	0,210	0,243	0,277	0,312	0,349	0,387	0,426
1,9	—	0,102	0,135	0,168	0,199	0,232	0,264	0,298	0,333	0,369	0,407
2,0	—	0,097	0,129	0,160	0,190	0,221	0,252	0,284	0,318	0,353	0,389
2,1	—	0,092	0,123	0,153	0,182	0,211	0,241	0,272	0,304	0,338	0,372
2,2	—	0,088	0,118	0,146	0,174	0,202	0,231	0,261	0,292	0,324	0,357
2,3	—	0,084	0,113	0,140	0,167	0,194	0,222	0,251	0,280	0,311	0,344
2,4	—	0,081	0,108	0,134	0,160	0,187	0,213	0,241	0,270	0,300	0,331
2,5	—	0,078	0,104	0,129	0,154	0,180	0,206	0,232	0,260	0,289	0,319
2,6	—	0,075	0,100	0,125	0,149	0,173	0,198	0,224	0,251	0,279	0,308
2,7	—	0,072	0,096	0,120	0,144	0,167	0,191	0,216	0,242	0,269	0,298
2,8	—	0,069	0,093	0,116	0,139	0,162	0,185	0,209	0,234	0,261	0,288
2,9	—	0,067	0,090	0,112	0,134	0,156	0,179	0,203	0,227	0,252	0,279
3,0	—	0,065	0,087	0,109	0,130	0,151	0,173	0,196	0,220	0,245	0,270

7.6 3-4

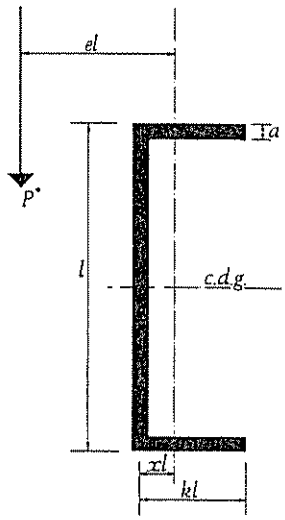
P* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1{,}4\left[\frac{1}{1+2k} + \frac{e\left(k - \frac{k^2}{1+2k}\right)}{\frac{(1+2k)^3}{12} - \frac{k^2(1+k)^2}{1+2k}}\right]^2 + 0{,}45\left[\frac{e^2}{\frac{(1+2k)^3}{12} - \frac{k^2(1+k)^2}{1+2k}}\right]^2}}$$

k										e
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
2,704	2,873	3,199	3,211	3,380	3,549	3,718	3.887	4,056	4,225	0,0
2,200	2,345	2.491	2,638	2,788	2,938	3.090	3.243	3,397	3,552	0,1
1,834	1,961	2,091	2,223	2,357	2,492	2,630	2,769	2,910	3,053	0,2
1,564	1.678	1,794	1,913	2,035	2.158	2.283	2,411	2,540	2,671	0,3
1,359	1,462	1,568	1,676	1,787	1,899	2,015	2,132	2,251	2,372	0,4
1.200	1,294	1.390	1,489	1,591	1,695	1,801	1,909	2.019	2,132	0,5
1,073	1,159	1,248	1,339	1,433	1,529	1,627	1,727	1,830	1,935	0.6
0,969	1,049	1,131	1,216	1,303	1,392	1,483	1,577	1,673	1,770	0,7
0,884	0.958	1,034	1,113	1,194	1,277	1,362	1,450	1,540	1,632	0,8
0,812	0.881	0,952	1,026	1,101	1,179	1,260	1,342	1,426	1,513	0,9
0,751	0,815	0,882	0,951	1.022	1,095	1,171	1.248	1.328	1,410	1,0
0,698	0,759	0.821	0,886	0,953	1,023	1,094	1,167	1,242	1.320	1,1
0.652	0,709	0.769	0,830	0,893	0,959	1,026	1,096	1,167	1,240	1,2
0,612	0.666	0,722	0,780	0.840	0,902	0,966	1,032	1,100	1,170	1,3
0,576	0.627	0,681	0,736	0.793	0,852	0,913	0,976	1,041	1,107	1,4
0,544	0,593	0,644	0,696	0,751	0,807	0,865	0.925	0.987	1,051	1,5
0,516	0,562	0,611	0,661	0,713	0,767	0,822	0,880	0,939	1,000	1,6
0,490	0,535	0.581	0,629	0,679	0,730	0,783	0,838	0,895	0.953	1,7
0.467	0,509	0,554	0,600	0.647	0,697	0,748	0,801	0.855	0,911	1,8
0,446	0.487	0,529	0,573	0,619	0,666	0,716	0,766	0,819	0,873	1,9
0,426	0,466	0.506	0,549	0,593	0,639	0,686	0.735	0,785	0,837	2,0
0,409	0.446	0,486	0,527	0,569	0.613	0.659	0,706	0,754	0,804	2,1
0.392	0,429	0,467	0,506	0,547	0,589	0,633	0,679	0,726	0,774	2,2
0.377	0,412	0.449	0,487	0,526	0,567	0,610	0,654	0.699	0,746	2,3
0,363	0,397	0,433	0,469	0.507	0,547	0,588	0.631	0,674	0,720	2,4
0.350	0.383	0,417	0.453	0,490	0,528	0,568	0.609	0,652	0,695	2,5
0.338	0.370	0.403	0,438	0,473	0.510	0,549	0,589	0.630	0,673	2,6
0.327	0,358	0.390	0,423	0,458	0.494	0,531	0,570	0,610	0,651	2,7
0.317	0,346	0.377	0,410	0,443	0,478	0,515	0,552	0,591	0,631	2,8
0,307	0,336	0,366	0,397	0,430	0,464	0,499	0,536	0,573	0,612	2,9
0,297	0.325	0,355	0,385	0,417	0,450	0,484	0,520	0,557	0,595	3,0

7.6 3-4



e	k										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	—	0,894	1,043	1,192	1,341	1,490	1,639	1,788	1,937	2,086	2,235
0,1	—	0,827	0,972	1,109	1,240	1,369	1,495	1,621	1,747	1,873	1,999
0,2	—	0,695	0,846	0,980	1,105	1,223	1,338	1,450	1,562	1,674	1,786
0,3	—	0,571	0,719	0,850	0,970	1,082	1,190	1,294	1,397	1,499	1,602
0,4	—	0,474	0,612	0,736	0,850	0,957	1,059	1,158	1,254	1,350	1,444
0,5	—	0,401	0,526	0,642	0,750	0,852	0,949	1,042	1,133	1,222	1,311
0,6	—	0,345	0,459	0,566	0,667	0,763	0,855	0,943	1,029	1,114	1,197
0,7	—	0,302	0,405	0,504	0,599	0,689	0,776	0,860	0,941	1,021	1,100
0,8	—	0,268	0,362	0,453	0,542	0,627	0,709	0,788	0,865	0,941	1,016
0,9	—	0,241	0,327	0,411	0,494	0,574	0,651	0,727	0,800	0,872	0,944
1,0	—	0,218	0,297	0,376	0,453	0,529	0,602	0,674	0,744	0,812	0,880
1,1	—	0,200	0,273	0,346	0,418	0,490	0,559	0,627	0,694	0,759	0,824
1,2	—	0,184	0,252	0,320	0,388	0,456	0,522	0,587	0,650	0,713	0,775
1,3	—	0,170	0,234	0,298	0,362	0,426	0,489	0,551	0,612	0,671	0,731
1,4	—	0,159	0,218	0,278	0,339	0,400	0,460	0,519	0,577	0,634	0,691
1,5	—	0,148	0,204	0,261	0,319	0,377	0,434	0,490	0,546	0,601	0,656
1,6	—	0,139	0,192	0,246	0,301	0,356	0,411	0,465	0,518	0,571	0,623
1,7	—	0,131	0,181	0,232	0,285	0,337	0,390	0,442	0,493	0,544	0,594
1,8	—	0,124	0,171	0,220	0,270	0,320	0,371	0,421	0,470	0,519	0,567
1,9	—	0,118	0,163	0,209	0,257	0,305	0,353	0,401	0,449	0,496	0,543
2,0	—	0,112	0,155	0,199	0,245	0,291	0,338	0,384	0,430	0,475	0,521
2,1	—	0,107	0,148	0,190	0,234	0,278	0,323	0,368	0,412	0,456	0,500
2,2	—	0,102	0,141	0,182	0,224	0,267	0,310	0,353	0,396	0,438	0,481
2,3	—	0,098	0,135	0,174	0,215	0,256	0,298	0,339	0,381	0,422	0,463
2,4	—	0,094	0,130	0,167	0,206	0,246	0,286	0,327	0,367	0,407	0,446
2,5	—	0,090	0,125	0,161	0,198	0,237	0,276	0,315	0,354	0,392	0,431
2,6	—	0,086	0,120	0,155	0,191	0,228	0,266	0,304	0,342	0,379	0,417
2,7	—	0,083	0,116	0,149	0,184	0,220	0,257	0,294	0,330	0,367	0,403
2,8	—	0,080	0,112	0,144	0,178	0,213	0,248	0,284	0,320	0,355	0,391
2,9	—	0,078	0,108	0,139	0,172	0,206	0,240	0,275	0,310	0,344	0,379
3,0	—	0,075	0,104	0,135	0,167	0,200	0,233	0,267	0,300	0,334	0,368

7.6 3-5

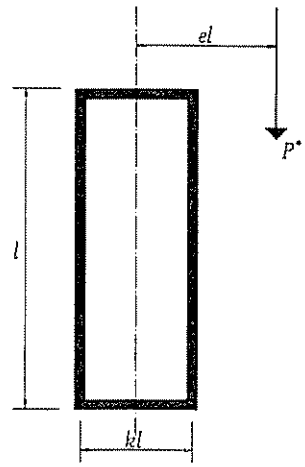
P* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1{,}4\left[\frac{0{,}5\,e}{\frac{(1+2k)^3}{12}}\right]^2 + 1{,}8\left[\frac{1}{1+2k} + \frac{e\,\frac{k^2}{1+2k}}{\frac{1+2k}{12} - \frac{k^2(1+k)^2}{1+2k}}\right]^2}}$$

k										e
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
2,384	2.533	2,682	2,831	2,980	3.129	3,278	3,427	3,576	3,725	0,0
2,126	2.254	2.383	2,513	2,643	2.775	2,907	3,040	3,174	3,308	0,1
1,899	2,013	2.128	2,244	2.361	2,480	2,600	2.721	2,843	2.967	0,2
1.705	1,808	1,913	2.019	2.127	2,235	2,346	2,457	2,570	2,684	0,3
1,540	1,636	1,733	1,831	1.930	2.031	2,133	2,237	2,342	2,448	0,4
1,400	1,490	1,580	1,671	1,764	1,858	1,954	2,050	2,149	2,248	0,5
1,281	1,365	1,450	1,536	1,623	1,711	1,800	1.891	1,984	2.077	0,6
1,179	1.258	1.338	1,419	1,501	1.584	1,669	1,754	1,841	1,930	0,7
1,091	1.166	1.242	1,318	1,396	1,474	1,554	1.635	1,718	1,801	0,8
1.015	1,086	1,158	1,230	1.303	1,378	1,454	1,531	1,609	1,689	0,9
0.948	1,015	1,084	1,153	1.222	1.293	1,365	1,438	1,513	1,589	1,0
0.889	0,953	1,018	1,084	1,150	1.218	1.287	1.356	1,427	1,500	1.1
0,836	0,898	0.960	1,023	1,086	1,151	1,216	1,283	1,351	1,420	1,2
0,790	0.849	0,908	0,968	1,029	1,090	1.153	1.217	1.282	1,348	1,3
0,748	0.804	0.861	0,919	0,977	1,036	1,096	1,157	1,220	1,283	1,4
0.710	0 764	0.819	0,874	0,930	0,987	1,044	1,103	1,163	1,224	1.5
0,675	0,728	0.780	0.833	0.887	0,942	0.997	1,054	1,112	1,170	1.6
0.644	0,695	0,745	0,796	0.848	0.901	0.954	1.009	1.064	1,121	1,7
0.616	0.664	0,713	0,762	0,812	0,863	0.915	0.967	1,021	1,075	1,8
0.590	0,636	0,684	0.731	0,779	0,828	0,878	0,929	0,981	1,033	1,9
0.566	0,611	0.656	0.702	0,749	0,796	0,844	0,894	0,944	0,995	2.0
0,543	0,587	0,631	0.676	0.721	0,767	0.813	0,861	0,909	0,959	2,1
0,523	0,565	0,608	0,651	0,695	0,739	0.784	0.830	0.877	0,925	2.2
0,504	0,545	0,586	0,628	0,670	0.713	0.757	0.802	0.847	0,894	2,3
0.486	0.526	0.566	0,607	0,648	0,689	0.732	0.775	0,819	0.865	2,4
0,470	0,508	0,547	0,587	0,626	0,667	0,708	0.750	0,793	0,837	2.5
0.454	0,492	0,530	0,568	0,607	0,646	0.686	0.727	0,769	0,811	2.6
0,440	0.476	0,513	0.550	0,588	0.626	0.665	0,705	0.746	0,787	2.7
0.426	0,462	0,497	0.534	0.570	0.608	0.646	0.684	0.724	0.764	2,8
0.413	0,448	0,483	0,518	0,554	0,590	0.627	0.665	0,703	0.743	2.9
0.401	0,435	0,469	0,503	0,538	0,574	0.610	0.647	0.684	0,723	3,0

7.6 3-5



e	k										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	—	1,639	1,788	1,937	2,087	2,236	2,385	2,534	2,683	2,832	2,981
0,1	—	1,442	1,564	1,685	1,808	1,932	2,057	2,185	2,314	2,444	2,575
0,2	—	1,167	1,297	1,419	1,538	1,655	1,771	1,889	2,007	2,127	2,247
0,3	—	0,940	1,073	1,196	1,313	1,426	1,537	1,648	1,759	1,871	1,983
0,4	—	0,773	0,901	1,021	1,134	1,243	1,349	1,454	1,559	1,663	1,769
0 5	—	0,651	0,771	0,884	0,992	1,096	1,197	1,297	1,395	1,494	1,593
0,6	—	0,560	0,671	0,777	0,879	0,977	1,073	1,167	1,261	1,354	1,448
0,7	—	0,490	0,592	0,691	0,787	0,880	0,971	1,060	1,149	1,237	1,325
0,8	—	0,435	0,529	0,622	0,712	0,800	0,886	0,970	1,054	1,137	1,221
0,9	—	0,391	0,478	0,564	0,649	0,732	0,813	0,893	0,973	1,052	1,132
1,0	—	0,355	0,435	0,516	0,596	0,675	0,752	0,828	0,903	0,978	1,054
1.1	—	0,324	0,400	0,476	0,551	0,625	0,698	0,771	0,842	0,914	0,986
1,2	—	0,299	0,369	0,441	0,512	0,583	0,652	0,721	0,789	0,857	0,926
1,3	—	0,277	0,343	0,411	0,478	0,545	0,611	0,677	0,742	0,807	0,873
1,4	—	0,258	0,320	0,384	0,448	0,512	0,575	0,638	0,700	0,763	0,825
1,5	—	0,241	0,300	0,361	0,422	0,483	0,543	0,603	0,663	0,723	0,783
1.6	—	0,227	0,283	0,340	0,398	0,457	0,514	0,572	0,629	0,687	0,744
1,7	—	0,214	0,267	0,322	0,377	0,433	0,488	0,543	0,599	0,654	0,709
1,8	—	0,202	0,253	0,305	0,358	0,412	0,465	0,518	0,571	0,624	0,677
1,9	—	0,192	0,240	0,290	0,341	0,392	0,444	0,495	0,546	0,597	0,648
2,0	—	0,183	0,229	0,277	0,326	0,375	0,424	0,473	0,522	0,572	0,622
2,1	—	0,174	0,218	0,264	0,311	0,359	0,406	0,454	0,501	0,549	0,597
2,2	—	0,166	0,209	0,253	0,298	0,344	0,390	0,436	0,481	0,528	0,574
2,3	—	0,159	0,200	0,243	0,286	0,330	0,375	0,419	0,463	0,508	0,553
2,4	—	0,153	0,192	0,233	0,275	0,318	0,361	0,403	0,446	0,490	0,533
2,5	—	0,147	0,184	0,224	0,265	0,306	0,347	0,389	0,431	0,473	0,515
2,6	—	0,141	0,178	0,216	0,255	0,295	0,335	0,376	0,416	0,457	0,498
2,7	—	0,136	0,171	0,208	0,246	0,285	0,324	0,363	0,402	0,442	0,482
2,8	—	0,131	0,165	0,201	0,238	0,276	0,313	0,351	0,390	0,428	0,467
2,9	—	0,127	0,160	0,195	0,230	0,267	0,304	0,340	0,378	0,415	0,453
3,0	—	0,123	0,155	0,188	0,223	0,259	0,294	0,330	0,366	0,403	0,439

7.6 3-6

P^* = Carga de agotamiento
l = longitud
σ_u = Resistencia de cálculo del acero
a = garganta

$$P^* = C\,\sigma_u\,a\,l$$

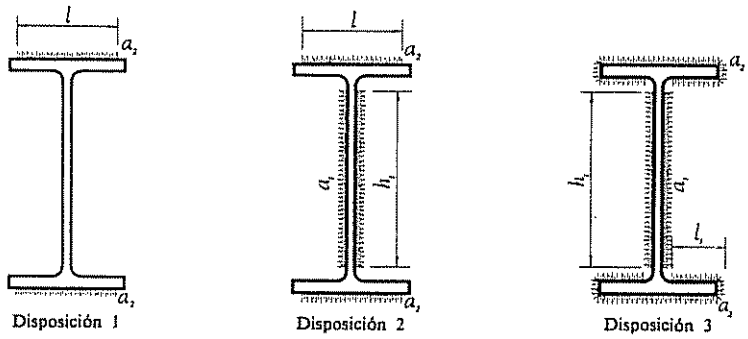
$$C = \frac{1}{\sqrt{1{,}4\left[\frac{e}{\frac{1+k^3}{3}+k(1+k)}\right]^2+1{,}8\left[\frac{e}{\frac{1+k^3}{3}+k(1+k)}+\frac{1}{2(1+k)}\right]^2}}$$

k										e
,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
30	3,279	3,428	3.577	3,726	3,875	4,025	4,173	4,323	4,472	0,0
'08	2.842	2,977	3,112	3.249	3.386	3,524	3,662	3.801	3,941	0,1
169	2.492	2.617	2,742	2.869	2,996	3.125	3.254	3,384	3,515	0,2
)97	2.211	2.327	2.444	2,562	2,682	2.802	2.923	3.046	3.169	0,3
175	1.983	2.091	2,201	2,312	2,424	2,537	2.651	2,766	2.883	0.4
)93	1.794	1.896	1.999	2,104	2,209	2,316	2,423	2,532	2.642	0.5
542	1.637	1,733	1,830	1.929	2,028	2,129	2,231	2,334	2,438	0,6
114	1.504	1,595	1,687	1.780	1.874	1,969	2.066	2,163	2,262	0,7
305	1,390	1,476	1.563	1.652	1,741	1.831	1,923	2,016	2.110	0.8
212	1.292	1.374	1.457	1,540	1.625	1,711	1,798	1,887	1.976	0,9
130	1.707	1,284	1.363	1,443	1,524	1,605	1,689	1,773	1.858	1,0
)58	1.132	1.206	1.281	1.357	1,434	1,512	1.591	1.672	1,753	1,1
995	1.065	1.136	1.207	1.280	1.354	1,428	1,504	1.581	1.660	1,2
939	1.006	1.073	1,142	1.211	1.282	1,354	1,426	1,500	1.575	1,3
389	0.953	1.017	1,083	1.150	1.218	1.286	1.356	1,427	1.499	1,4
343	0,905	0.967	1.030	1,094	1,159	1.225	1.292	1.361	1,430	1.5
303	0,862	0,921	0.982	1,043	1,106	1.170	1,234	1,300	1,367	1,6
765	0.822	0.880	0,938	0.997	1,057	1.119	1.181	1,244	1,309	1.7
731	0.786	0,842	0,898	0.955	1.013	1.072	1.132	1,193	1.256	1,8
700	0.753	0,807	0,861	0.916	0,972	1.029	1.087	1,146	1,207	1.9
672	0,723	0.774	0.827	0,880	0,934	0.990	1.046	1.103	1.161	2,0
645	0.695	0.745	0.795	0.847	0,899	0,953	1.007	1.063	1,119	2.1
621	0.669	0.717	0.766	0.816	0,867	0.919	0.971	1.025	1,080	2.2
598	0.645	0.691	0.739	0.788	0.837	0.887	0.938	0,990	1.043	2.3
577	0.622	0.668	0.714	0.761	0.809	0,857	0.907	0.958	1.009	2,4
558	0.601	0.645	0,690	0,736	0.782	0.830	0.878	0.927	0.977	2,5
539	0.582	0.625	0,668	0,712	0,758	0.804	0.851	0.898	0.947	2.6
522	0.563	0.605	0.647	0,690	0,734	0.779	0.825	0.871	0,919	2.7
506	0.546	0,587	0,628	0,670	0,713	0.756	0.801	0.846	0,892	2,8
491	0.530	0.569	0.609	0.650	0.692	0.735	0.778	0.822	0.867	2.9
477	0.515	0.553	0.592	0.632	0.673	0,714	0,756	0,799	0.843	3.0

7.6 3-6

7.6 4. Valores estáticos de los cordones de soldadura frontal de perfiles.

En **7.6 4** se recogen los valores estáticos de los cordones frontales de sección completa para las series de perfiles laminados, cuyos valores intervienen en el caso 10 de Tabla A6 de la Norma Básica MV-103.

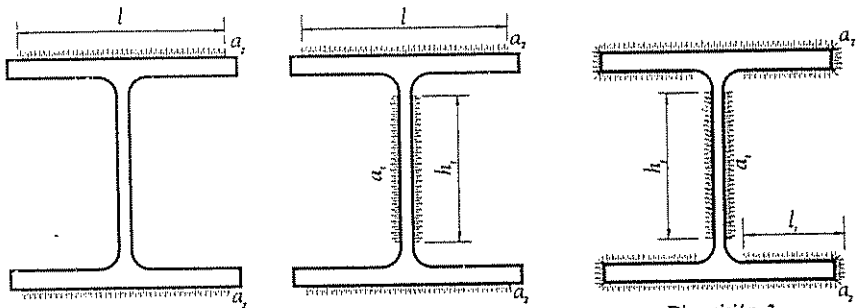


Disposición 1 | Disposición 2 | Disposición 3

Disposición de los cordones de soldadura en un perfil IPE

IPE	a_1 máx mm	a_2 máx mm	Disposición 1			Disposición 2					Disposición 3				
			l mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	l mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²	l_1 mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²
80	2,5	3,5	39	2,70	10,9	39	54	5,40	12,5	2,70	—	—	—	—	2,70
100	2,5	3,5	48	3,40	16,8	48	69	6,80	19,4	3,50	—	—	—	—	3,50
120	3,0	4,0	56	4,50	26,9	56	87	9,70	32,1	5,20	—	—	—	—	5,20
140	3,0	4,5	64	5,80	40,4	64	106	12,1	48,4	6,40	—	—	—	—	6,40
160	3,5	5,0	72	7,20	57,7	72	120	15,6	69,5	8,40	—	—	—	—	8,40
180	3,5	5,5	80	8,80	79,3	80	139	18,5	95,7	9,70	—	—	—	—	9,70
200	3,5	5,5	89	9,80	98,0	89	152	20,4	117	10,6	30	152	30,0	195	10,6
220	4,0	6,0	98	11,8	129	98	169	25,3	157	13,5	34	169	37,1	262	13,5
240	4,0	6,6	107	13,9	167	107	182	28,5	199	14,6	35	182	41,9	329	14,6
270	4,5	7,0	121	16,9	229	121	210	35,8	278	18,9	42	210	52,5	461	18,9
300	4,5	7,0	136	19,0	286	136	239	40,6	351	21,5	49	239	59,4	583	21,5
330	5,0	8,0	144	23,0	380	144	261	49,1	466	26,1	50	261	71,5	770	26,1
360	5,5	8,5	153	26,0	469	153	287	57,6	583	31,6	55	287	83,3	966	31,6
400	6,0	9,0	162	29,2	584	162	319	67,4	739	38,3	56	319	95,6	1 210	38,3
450	6,5	10,0	170	34,0	765	170	365	81,5	990	47,5	59	365	115	1 620	47,5
500	7,0	11,0	178	39,2	980	178	412	96,8	1 290	57,7	63	412	136	2 130	57,7
550	7,5	12,0	186	44,6	1 230	186	452	112	1 630	67,8	63	452	157	2 670	67,8
600	8,0	13,0	194	50,4	1 510	194	498	130	2 040	79,7	67	498	182	3 350	79,7

7.6 4-a

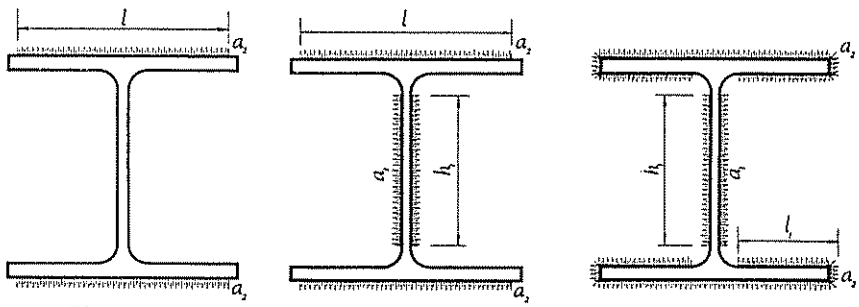


Disposición 1 | Disposición 2 | Disposición 3

Disposición de los cordones de soldadura en un perfil HEB

HEB	a_1 máx mm	a_2 máx mm	Disposición 1			Disposición 2					Disposición 3				
			l mm	A Soldadura total cm^2	W_x Soldadura cm^3	l mm	h_1 mm	A Soldadura total cm^2	W_x Soldadura cm^3	A Soldadura en el alma cm^2	l_1 mm	h_1 mm	A Soldadura total cm^2	W_x Soldadura cm^3	A Soldadura en el alma cm^2
100	3,0	7,0	86	12,0	60,5	86	50	15,0	61,6	3,00	28,0	50	27,6	99,9	3,00
120	4,0	7,5	105	15,8	94,9	105	66	21,0	97,8	5,28	37,2	66	37,8	160	5,28
140	4,5	8,0	124	19,8	139	124	83	27,3	145	7,47	46,5	83	48,6	239	7,47
160	5,5	9,0	142	25,6	205	142	93	35,8	214	10,2	52,0	93	62,4	350	10,2
180	5,5	9,5	161	30,6	276	161	111	42,8	289	12,2	61,3	111	75,0	477	12,2
200	6,0	10,5	179	37,6	377	179	122	52,2	394	14,6	67,0	122	91,1	649	14,6
220	6,5	11,0	198	43,6	481	198	139	61.6	505	18,1	76,3	139	107	836	18,1
240	7,0	11,5	217	49,9	601	217	150	70,9	631	21,0	82,5	150	122	1 040	21,0
260	7,0	12,0	236	56,6	738	236	163	79,5	774	22,8	89,0	163	136	1 280	22,8
280	7,0	12,5	255	63,8	895	255	182	89,2	941	25,5	98,3	182	154	1 560	25,5
300	7,5	13,0	274	71,2	1 070	274	193	100	1 130	29,0	104,5	193	171	1 860	29,0
320	8,0	14,0	272	76,2	1 220	272	209	110	1 290	33,4	103,3	209	187	2 150	33,4
340	8,0	15,0	270	81,0	1 380	270	227	117	1 460	36,3	102,0	227	200	2 450	36,3
360	8,5	15,5	269	83,4	1 500	269	244	125	1 610	41,5	101,2	244	211	2 710	41,5
400	9,0	16,5	267	88,1	1 770	267	280	139	1 920	50,4	99,8	280	231	3 250	50,4
450	9,5	18,0	264	95,0	2 140	264	325	157	2 370	61,8	98,0	325	259	4 050	61,8
500	10,0	19,5	261	102	2 550	261	370	176	2 860	74,0	96,2	370	288	4 950	74,0
550	10,5	20,0	260	104	2 860	260	417	192	3 290	87,6	95,5	417	307	5 710	87,6
600	10,5	21,0	258	108	3 260	258	465	206	3 800	97,7	94,3	465	328	6 630	97,7

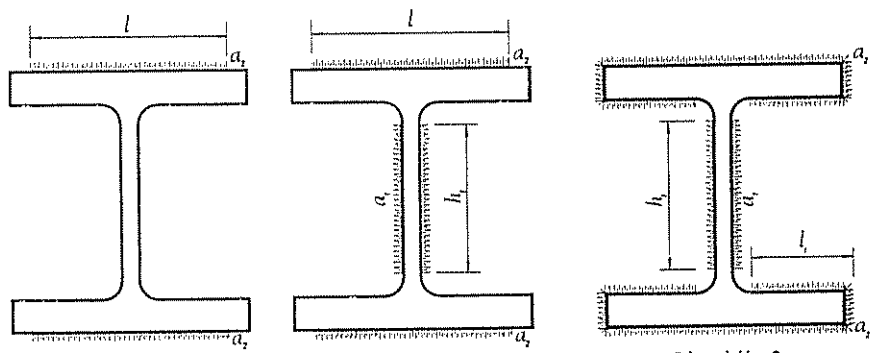
7.6 4-b



Disposición de los cordones de soldadura en un perfil HEA

HEA	a_1 máx. mm	a_2 máx. mm	Disposición 1			Disposición 2					Disposición 3				
			l mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	l mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²	l_1 mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²
100	3,0	5,5	89	9,79	47,2	89	50	12,8	48,3	3,00	30,0	50	22,4	77,7	3,00
120	3,5	5,5	109	12,0	68,5	109	67	16,7	71,3	4,69	40,0	67	28,5	116	4,69
140	3,5	5,5	129	14,2	94,6	129	85	20,1	99,5	5,95	49,7	85	34,2	164	5,95
160	4,0	6,0	148	17,8	135	148	96	25,4	142	7,68	56,0	96	42,5	234	7,68
180	4,0	6,5	167	21,7	186	167	114	30,8	197	9,12	65,5	114	52,0	327	9,12
200	4,5	7,0	186	26,0	248	186	125	37,3	262	11,3	71,8	125	62,1	434	11,3
220	4,5	7,5	205	30,8	323	205	143	43,6	343	12,9	81,0	143	73,5	572	12,9
240	5,0	8,0	224	35,8	413	224	154	51,2	438	15,4	87,3	154	85,6	727	15,4
260	5,0	8,5	243	41,3	517	243	167	58,0	546	16,7	93,8	167	97,0	907	16,7
280	5,5	9,0	262	47,2	638	262	185	67,5	678	20,4	103,0	185	113	1 130	20,4
300	5,5	9,5	281	53,4	775	281	197	75,1	821	21,7	109,3	197	126	1 370	21,7
320	6,0	10,5	279	58,6	909	279	213	84,2	968	25,6	108,0	213	140	1 620	25,6
340	6,5	11,5	277	63,7	1 050	277	230	93,6	1 130	29,9	106,8	230	156	1 890	29,9
360	7,0	12,0	276	66,2	1 160	276	247	101	1 250	34,6	106,0	247	166	2 100	34,6
400	7,5	13,0	274	71,2	1 390	274	283	114	1 530	42,5	104,5	283	185	2 570	42,5
450	8,0	14,5	271	78,6	1 730	271	328	131	1 930	52,5	102,8	328	211	3 280	52,5
500	8,0	16,0	268	85,8	2 100	268	374	146	2 370	59,8	101,0	374	235	4 060	59,8
550	8,5	16,5	267	88,1	2 380	267	421	160	2 750	71,6	100,3	421	253	4 720	71,6
600	9,0	17,5	265	92,8	2 740	265	468	177	3 230	84,2	99,0	468	276	5 550	84,2

7.6 4-c



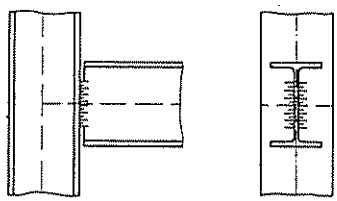
Disposición 1 Disposición 2 Disposición 3

Disposición de los cordones de soldadura en un perfil HEM

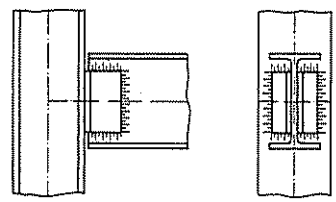
HEM	a_1 máx mm	a_2 máx mm	Disposición 1			Disposición 2					Disposición 3				
			l mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	l mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²	l_1 mm	h_1 mm	A Soldadura total cm²	W_x Soldadura cm³	A Soldadura en el alma cm²
100	3,0	14,0	78	21,8	133	78	50	24,8	134	3,00	21,0	50	55,6	237	3,00
120	4,0	14,5	97	28,1	199	97	67	33,4	202	5,28	30,3	67	71,5	349	5,28
140	5,0	15,0	116	34,8	281	116	85	43,0	286	8,20	39,5	85	88,9	490	8,20
160	6,0	16,0	134	42,9	389	134	96	53,9	397	11,0	45,0	96	108	671	11.0
180	7,0	16,5	153	50,5	509	153	114	65.6	521	15,1	54,3	114	128	879	15,1
200	7,5	17,5	171	59,9	663	171	125	77,7	680	17,9	60,0	125	149	1 140	17,9
220	8,5	18,0	190	68,4	826	190	143	91,4	851	23,0	69,3	143	173	1 430	23,0
240	9,5	22,0	204	89,8	1 220	204	154	117	1 250	27.6	72,0	154	228	2 110	27,6
260	10,0	22,5	223	100	1 470	223	167	132	1 500	31,4	78,5	167	252	2 520	31,4
280	11,5	23,0	242	111	1 740	242	185	151	1 790	39,8	87,8	185	283	3 010	39,8
300	12.0	27.0	256	138	2 370	256	197	182	2 430	44,2	90,5	197	351	4 100	44.2
320	13,0	28,0	253	142	2 560	253	213	193	2 640	51,7	89,0	213	369	4 520	51,7
340	14,0	28,0	253	142	2 690	253	230	202	2 790	60,2	89,0	230	378	4 820	60.2
360	14,5	28,0	252	141	2 800	252	247	208	2 940	67,3	88,5	247	384	5 100	67,3
400	14,5	28,0	251	141	3 050	251	283	219	3 240	78.0	88,0	283	393	5 700	78,0
450	14,5	28,0	251	141	3 370	251	328	232	3 660	91,4	88,0	328	407	6 480	91,4
500	14.5	28,0	250	140	3 680	250	374	245	4 070	105	87,5	374	419	7 270	105
550	14,5	28,0	250	140	4 020	250	421	259	4 540	119	87,5	421	433	8 140	119
600	14,5	28,0	249	139	4 330	249	468	272	5 020	133	87,0	468	446	9 000	133

7.6 4-d

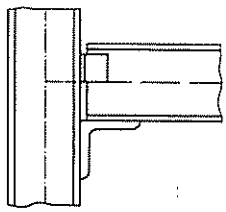
Uniones soldadas más usuales



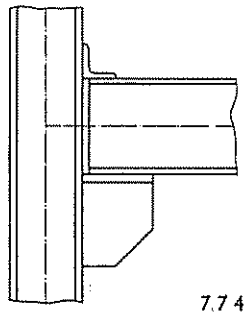
7.7.1



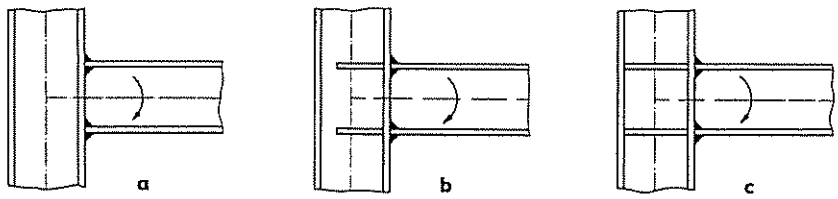
7.7.2



7.7.3



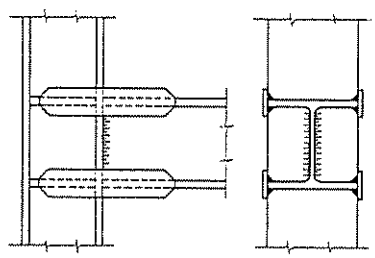
7.7.4

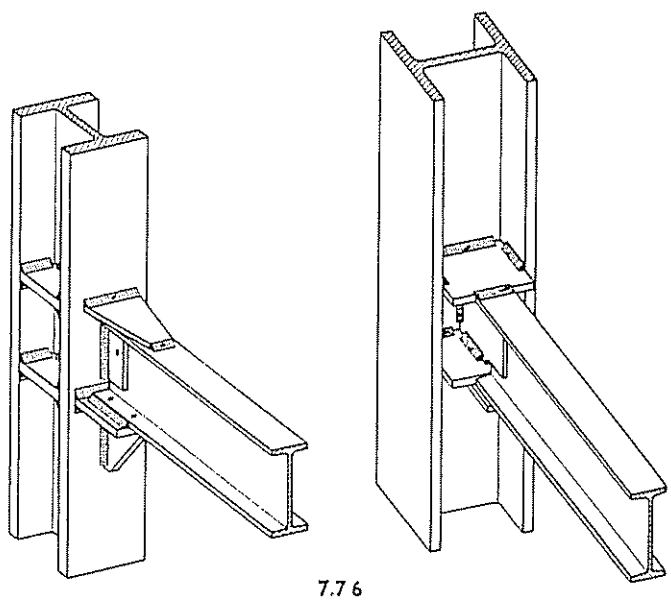


7.7.5

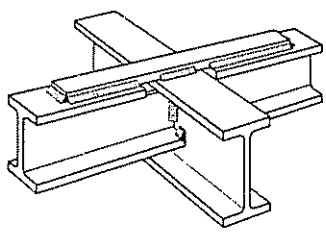
[7.61]

Uniones soldadas más usuales

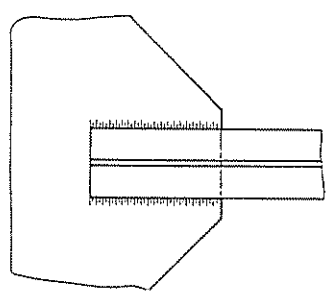




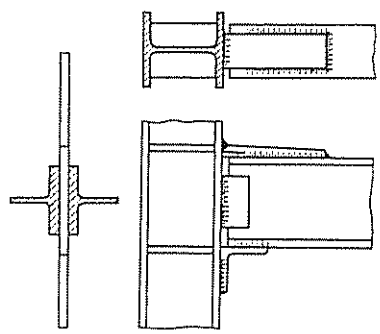
7.7 6



7.7 7

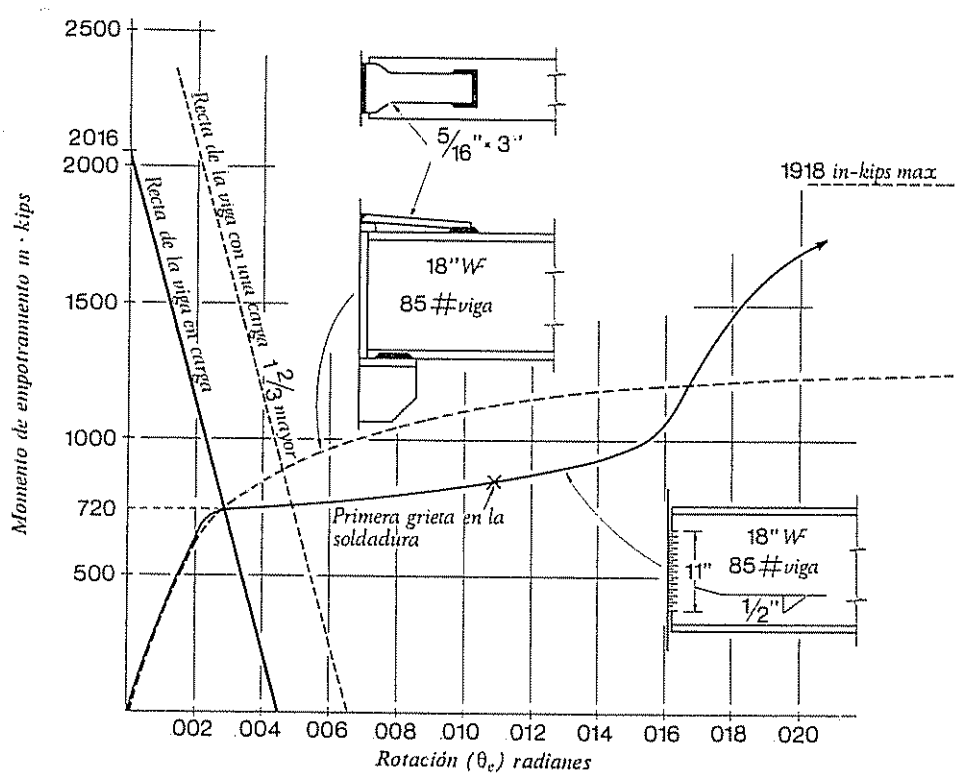


7.7 8



7.7 9

[7.61]


2500
2016
2000
1500
1000
720
500
Momento de empotramiento m · kips
Recta de la viga con una carga 1/3 mayor
Recta de la viga en carga
5/16" × 3"
18" W
85 # viga
1918 in-kips max
Primera grieta en la soldadura
18" W
11"
85 # viga
1/2"
002
004
006
008
010
012
014
016
018
020
Rotación (θe) radianes

[7.62]

7.7. UNIONES SOLDADAS

Las uniones soldadas son más compactas y sencillas en general que las uniones roblonadas y atornilladas, por ser más reducido el número de elementos secundarios, tales como casquillos, forros, etc., necesarios para su ejecución.

Aunque como ya se ha expuesto anteriormente, se considera como el sistema óptimo la ejecución de las uniones por soldadura en taller y mediante tornillos las uniones de obra, no deja de ser cierto que la ejecución de uniones en obra por soldadura puede en algunos casos tener ventajas económicas apreciables.

No se puede pretender, dadas las posibilidades que proporciona la soldadura, enumerar y describir los distintos tipos de uniones realizables. Por esta razón en los apartados siguientes se recogen solamente algunos tipos de uniones que podríamos calificar como tradicionales o por lo menos como las de más frecuente uso.

Todas las consideraciones que se recogen en el capítulo 6 sobre rigidez o flexibilidad de las uniones, son generales y perfectamente aplicables a las uniones soldadas. Estas, por tanto, pueden ser flexibles, rígidas o semirígidas atendiendo a los mismos criterios.

En [7.61] se esquematizan los tipos de uniones soldadas que se estudian en los apartados siguientes.

7.7.1. Unión directa de alma.

Aparentemente es la unión más simple y como tal se ha empleado profusamente en estructuras metálicas; sin embargo, su uso indiscriminado puede acarrear serios contratiempos, sobre todo cuando no se definen por el proyectista las dimensiones de las soldaduras y éstas se ejecutan improvisadamente en obra, lo que conduce generalmente a cordones superabundantes en longitud y espesor.

Cuando se suelda toda la altura del alma la unión no puede considerarse flexible, porque se crea un momento de empotramiento no previsto, ni despreciable, que solicita la soldadura y que puede originar su agrietamiento y su ruina.

Como aclaración reproducimos en [7.62] el resultado de los ensayos realizados en la Universidad de Lehigh para una unión de este tipo.

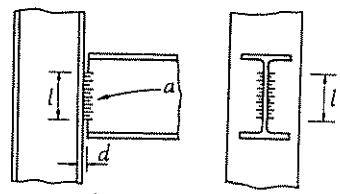
Para un momento de empotramiento de 415 cm · t (360 in · kips), se inició la fluencia en punto del alma adyacente al vértice inferior de la soldadura. Con un momento de

Unión directa de alma.
Dimensiones máximas del cordón de soldadura, expresadas en mm.

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Soldadura	
		l	*a*
F [1] —	As [2] —	105 —	4,5

[1] Unión flexible.
[2] Alma soldada.



IPE	80	100	120	140	160	180	200	220	240	270	300	320
l	39	49	61	74	84	96	105	117	125	145	164	179
a	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5

IPN	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
l	39	50	61	72	83	94	105	116	127	137	149	159
a	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,5

HEB	120	140	160	180	200	220	240	260	280
l	49	61	69	81	89	101	109	117	130
a	4,0	4,5	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,0	6,5

HEA	120	140	160	180	200	220	240	260	280
l	49	61	69	81	89	101	109	117	130
a	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0

UPN	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
l	31	43	54	65	76	88	100	111	122	132	143	154
a	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,0	6,0

7.7 1

760 cm · t (660 in · kips), se inició la fluencia en toda la altura del alma, iniciándose a continuación el agrietamiento de la soldadura. De los resultados de este ensayo resulta que el grado de rigidez de la unión es

$$\frac{720 \text{ in} \cdot \text{kips}}{2016 \text{ in} \cdot \text{kips}} = 35\,8\ \%$$

que no permite clasificar la unión como flexible. Para aumentar la flexibilidad es necesario disminuir la longitud de la soldadura haciendo los cordones más gruesos para no disminuir la capacidad resistente de la unión. Como regla práctica, la longitud de la soldadura deberá estar comprendida entre la mitad y los dos tercios de la altura útil del alma.

Dimensionamiento.

Con los valores que fija la Norma MV-103, el agotamiento del alma se produciría para un valor de la reacción vertical en la viga

$$Q_1 = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} h_1 e$$

y el agotamiento de una soldadura de longitud αh_1 y garganta βe para un valor

$$Q_2 = \frac{\sigma_u}{\sqrt{1{,}8}} \alpha h_1 2\beta e$$

Haciendo $Q_1 = Q_2$ podemos hallar los valores de la soldadura introduciendo primero el valor límite de α (que se recomienda no exceda de 0.66) y en segundo lugar el valor límite de β según la norma, o sea 0,7, obteniéndose [1]:

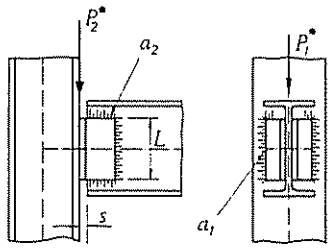
Para $\alpha = 0{,}66$ $\quad \beta = 0{,}59$
Para $\beta = 0.70$ $\quad \alpha = 0{,}56$

Estos valores límites son muy próximos, pudiendo adoptarse como valores medios para el dimensionamiento $\alpha \simeq 0.66$ y $\beta \simeq 0{,}6$. Con estos valores se han confeccionado las tablas **7.7 1** que dan las dimensiones de los cordones de unión para las series de perfiles laminados, que hemos limitado superiormente, ya que por las razones expuestas consideramos esta unión solo adecuada para elementos secundarios de la estructura.

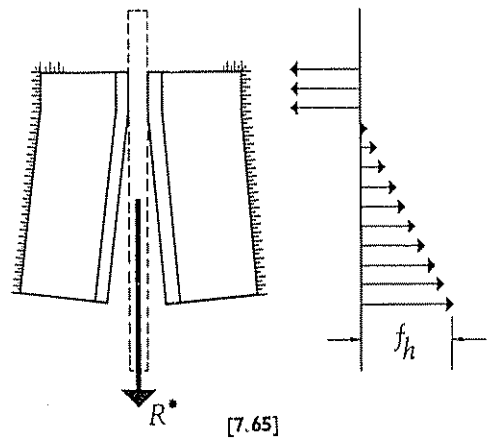
Ejecución.

Este tipo de unión puede presentar algunas dificultades adicionales de montaje. En efecto, para su correcta ejecución la distancia «d» **7.7 1** debe ser pequeña y al mismo tiempo el espesor de la soldadura

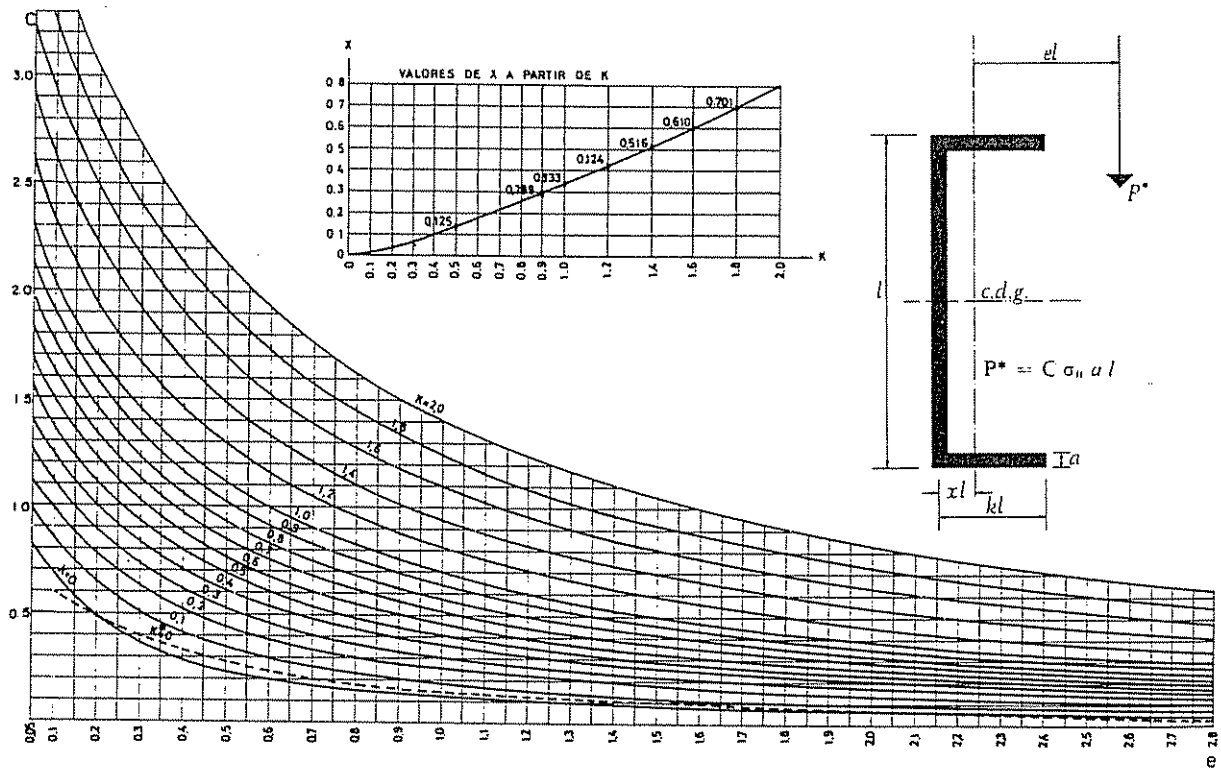
[1] Con este sistema existen ligeras sobretensiones en la zona del alma inmediata a la soldadura, inevitables si se quiere aprovechar la capacidad del alma de la viga.


P_2^*
a_2
P_1^*
L
s
a_1

[7.63]


f_h
R^*

[7.65]


C
VALORES DE X A PARTIR DE K
X
K
0.125
0.288
0.333
0.424
0.516
0.610
0.701
el
P^*
l
c.d.g.
$P^* = C\,\sigma_{ll}\,a\,l$
I a
xl
kl

[7.64]

debe ser el adecuado Las especificaciones AISC exigen que las dimensiones teóricas de las soldaduras (lado) deben aumentarse en la diferencia entre la separación real y 1,5 mm (1/16 de pulgada) y que esta separación «d» no puede exceder de 5 mm (3/16 de pulgada). Estas separaciones (entre hierros) son difíciles de obtener en la práctica, al acumularse las tolerancias de fabricación y montaje, y desde luego debe proscribirse la técnica viciosa de intercalar elementos suplementarios tales como redondos, cuadradillos, tiras de chapa, etc , para compensar una separación excesiva.

7.7.2. Unión de alma por medio de angulares.

Se considera como flexible. La flexibilidad se debe a la deformación plástica de los angulares, es decir, la línea de deformación de la viga corta a la viga $M - \theta$ del medio de unión en la zona de deformación plástica. El coeficiente de rigidez que se obtiene es siempre inferior al 25 %, es decir, que con el criterio anteriormente expuesto la unión puede considerarse como flexible.

Para garantizar un buen comportamiento de la unión no deben usarse angulares de más espesor del necesario, normalmente no deben utilizarse espesores mayores de 12 mm. Si fuese preciso emplear espesores mayores, deben utilizarse angulares de mayor lado para que se garantice la flexibilidad del conjunto. Los angulares deben sobresalir del alma de la viga una cantidad adecuada y que para perfiles laminados es de alrededor de 5 mm Esto permite el que las tolerancias de longitud no deban ser tan estrictas, lo que es una ventaja adicional sobre la unión directa de alma.

Para el cálculo de las soldaduras debe considerarse la excentricidad de los esfuerzos con relación a ellas.

El cálculo de los cordones tipo (cordón 2) [7.63] puede realizarse mediante la fórmula

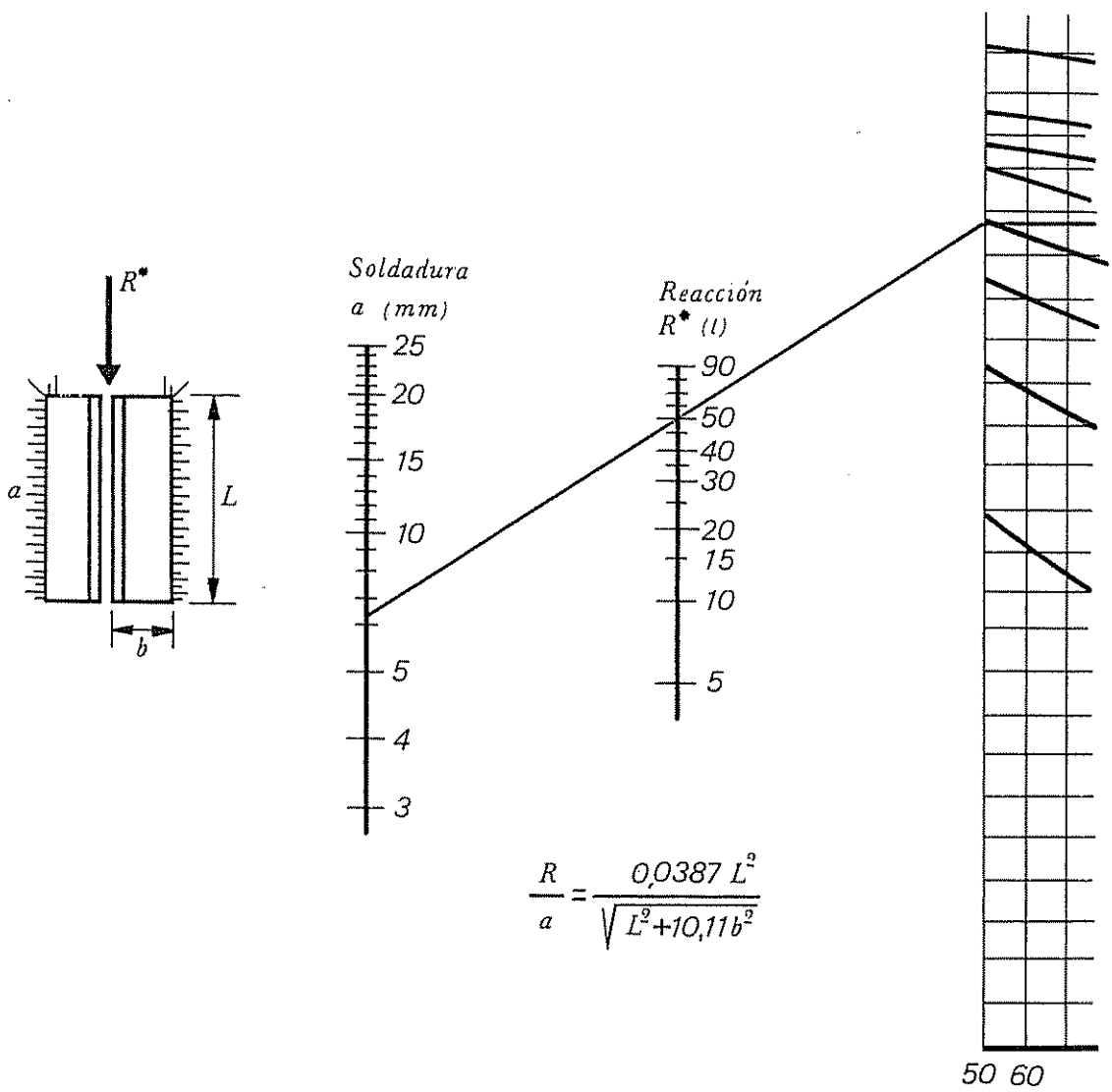
$$R^* = C\,\sigma_u\,al$$

obteniéndose el parámetro C de 7.6.3-5 o de [7.64]

Para el cálculo de los cordones (cordón 1) [7.63] es preciso tener en cuenta las tensiones cortantes longitudinales que produce la fuerza vertical y las tensiones cortantes transversales que produce el momento originado en el plano de la unión.

Para el cálculo se suele admitir que el momento está compensado por la compresión existente entre el angular y el alma de la viga sustentada en una zona de un sexto de la longitud del angular y las tensiones cortantes de sentido contrario originadas en la soldadura en los 5/6 restantes [7.65].

Unión de alma por medio de angulares.
Abaco para la determinación de la soldadura 1.
Acero A 42



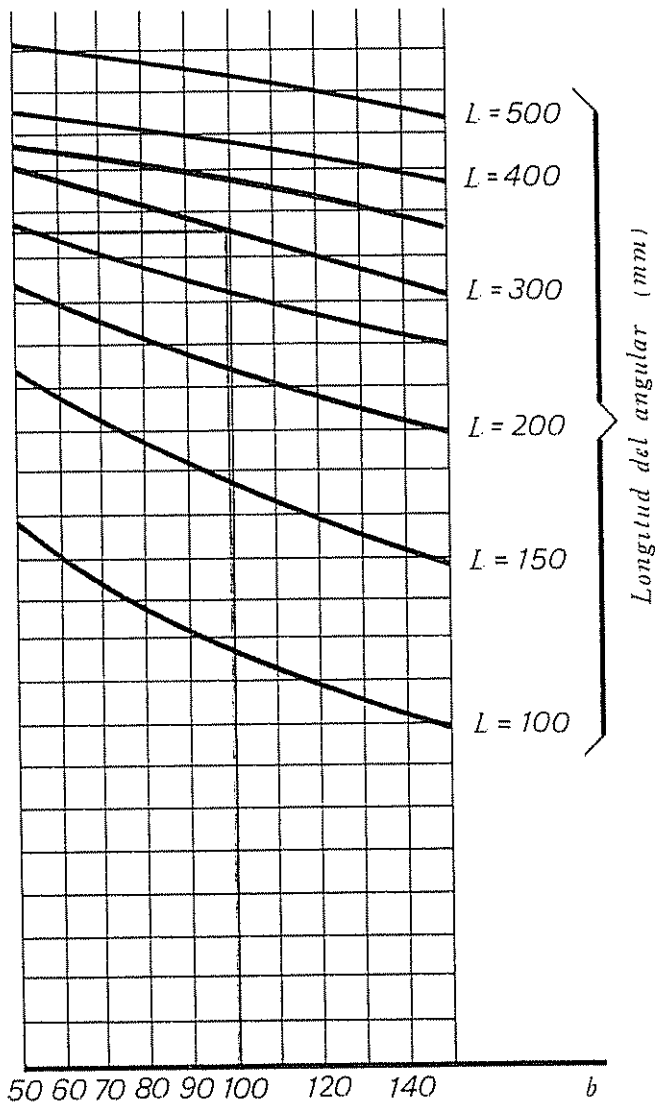
$$\frac{R}{a} = \frac{0{,}0387\ L^2}{\sqrt{L^2 + 10{,}11\ b^2}}$$

7.7 2-1

Ejemplo de notación:

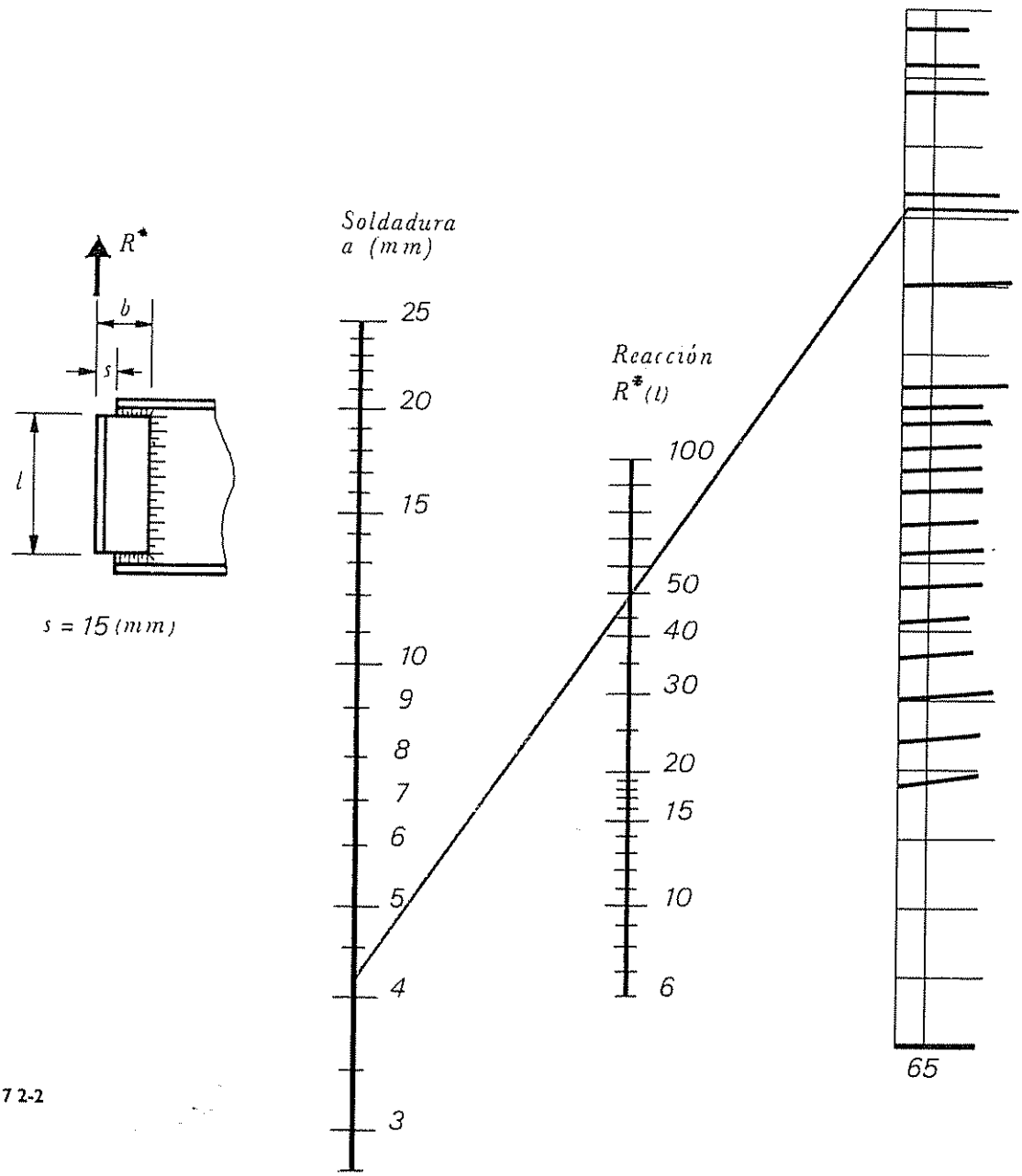
Clase	Tipo	Angular	Soldadura		
			l	a_1	a_2
F[1] —	Ls[2] —	L 100 10 —	300 •	7[3] •	5[3]

[1] Unión flexible.
[2] Angulares soldados en el alma.
[3] Si como es habitual $a_1 = a_2$ se dará solo un valor



7.7 2-1

Unión de alma por medio de angulares.
Abaco para la determinación de la soldadura 2.
Acero A 42

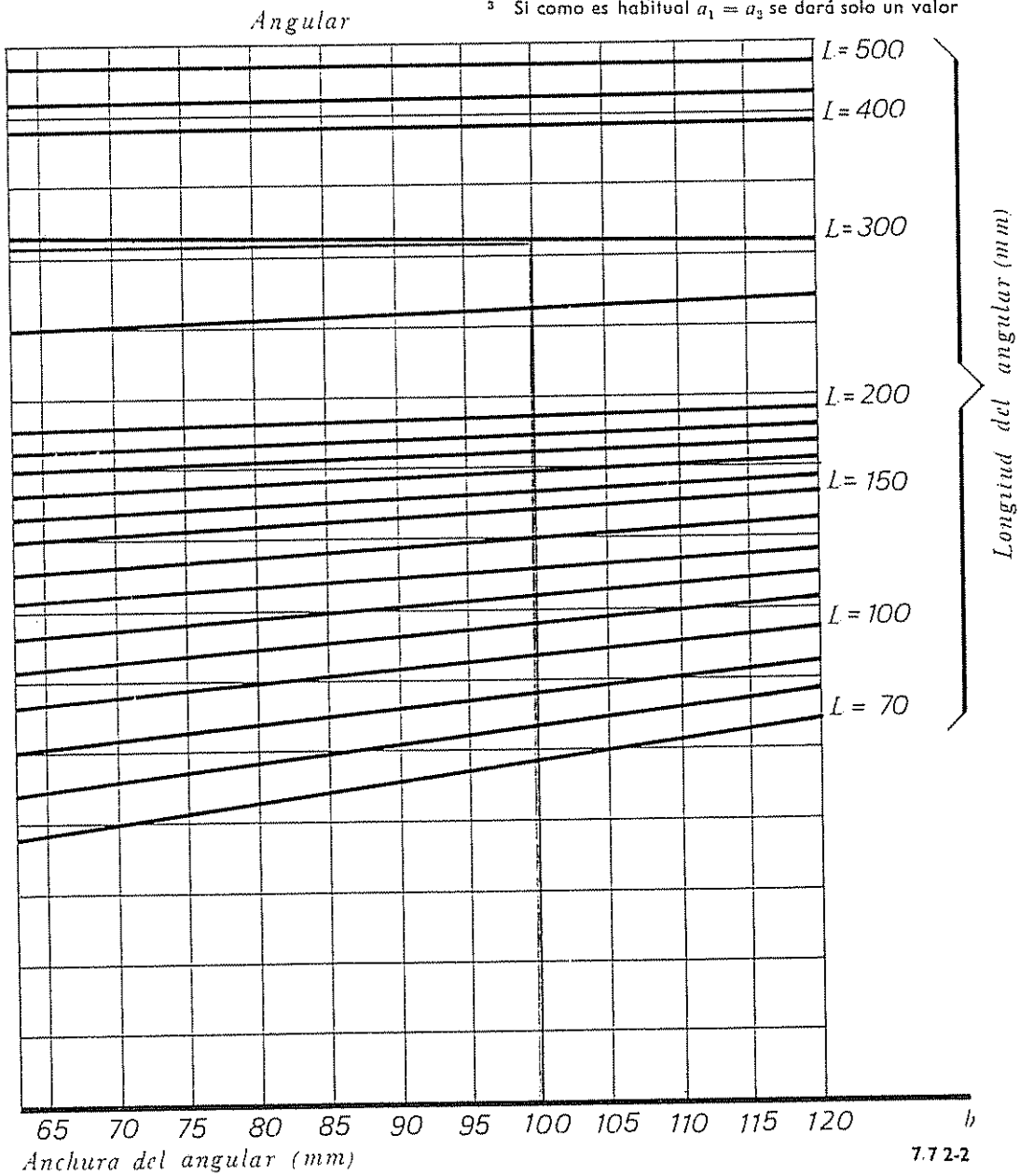


7.7 2-2

Ejemplo de notación:

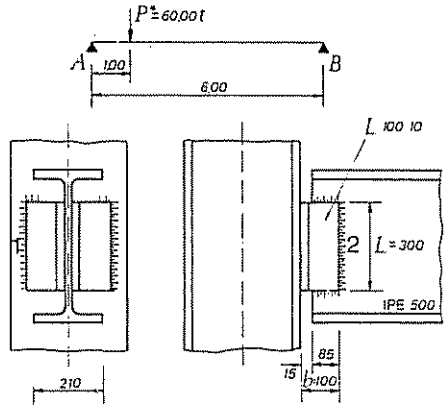
Clase	Tipo	Angular	Soldadura		
			L	a_1	a_2
F[1]	— Ls[2] —	L 100 10 —	300	• 7[3]	• 5[3]

1 Unión flexible.
2 Angulares soldados en el alma.
3 Si como es habitual $a_1 = a_2$ se dará solo un valor



7.7 2-2

7.7 2. EJEMPLO DE APLICACION



Dimensionar la viga del esquema y su unión articulada por medio de casquillos de angular, soldados a la viga y a un pilar. Acero A 42.

La reacción en A es $R_A^* = 50$ t y el momento máximo $M^* = 50$ m t. Adoptamos: IPE 500 con casquillos de L 100 10

Cálculo del cordón 1:

Por el nomograma **7.7 2-1:**

L = 300 mm
b = 100 mm
R* = 50 t
} a ≃ 6,4 mm, se adopta: **a = 7 mm**

El cálculo exacto por la fórmula $\frac{R^*}{a} = \frac{0{,}0387 \cdot L^2}{\sqrt{L^2 + 10{,}11\ b^2}}$ da un valor de a = 6,27 mm

Utilizando **7.6 3-2.** En este caso no es aplicable por no tener en cuenta la compresión del angular [7.66]; si esta hipótesis no se considerase, el cordón de soldadura por estas tablas resultaría menor:

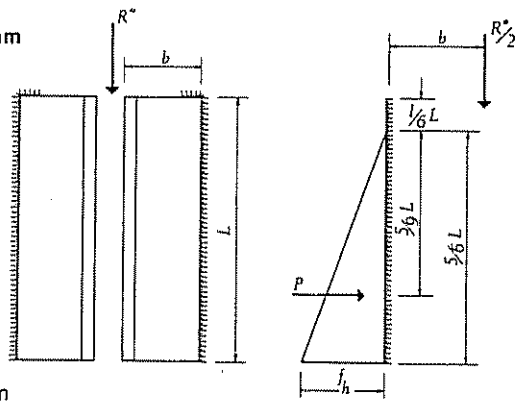
$$C = 1{,}49 \qquad a = \frac{R^*}{C\ L\ \sigma_u} = \frac{50}{1{,}49 \times 30 \times 2{,}6} = 0{,}42 \text{ cm}$$

a = 4,5 mm

Cordón de soldadura 2:

Según nomograma **7.7 2-2:**

L = 300 mm
b = 100 mm
R* = 50 t
} a ≃ 4,2 mm, se adopta **a = 5 mm**



Según [7.66] o **7.6 3-4:**

$$K = \frac{85}{300} = 0{,}28$$

X = 0,06 X l = 0,06 × 300 = 18 mm

e l = 100 − 18 = 82 mm

$$e = \frac{82}{300} = 0{,}27$$

C = 0,74

$$a = \frac{R^*}{2\ C\ l\ \sigma_u} = \frac{50}{2 \times 0{,}74 \times 30 \times 2{,}6} = 0{,}43 \text{ cm}$$

se adopta **a = 4,5 mm.**

Se pueden eludir todos estos cálculos y adoptar para la unión alguno de los tipos normalizados en 7.7 2-3.

En este caso, por ejemplo: F-Ls - L 90 10 - 370 5

pues $P_1^* = 56{,}76$ t > 50 t y $P_2^* = 73{,}12 > 50$ t [7.66]

El punto más solicitado es el extremo inferior del cordón [7.66]. En él se origina, en cada una de las dos soldaduras (cordón 1), una tensión de cortadura longitudinal

$$t^*_a = \tau^*_a = \frac{R^*}{2\,L\,a} \tag{1}$$

y una tensión tangencial transversal

$$t^*_n = 2\,\frac{\frac{R^*}{2}\,b}{\frac{5}{6}\,L \times \frac{2}{3}\,L\,a} = 1{,}8\,\frac{R^*\,b}{L^2\,a} \tag{2}$$

siendo:

- L Longitud del casquillo.
- b Anchura de ala del mismo
- a Espesor de cordón.

Expresando en tensiones referidas al plano de garganta:

$$\sigma^* = \frac{t^*_n}{\sqrt{2}} \tag{3}$$

$$\tau^*_n = \frac{t^*_n}{\sqrt{2}} \tag{4}$$

sustituyendo en (3) y (4) la fórmula (2), y ésta y (1) en la condición de agotamiento de una soldadura en ángulo

$$\sqrt{\sigma^{*2} + 1{,}8\,(\tau^{*2}_n + \tau^{*2}_a)} = \sigma_u$$

resulta:

$$R^* = \frac{2}{\sqrt{1{,}8 + 18{,}2\left(\frac{b}{L}\right)^2}}\,L\,a\,\sigma_u$$

El dimensionamiento de los cordones (cordón 1) puede realizarse con ayuda de **7.7 2-1** en el cual, entrando con los valores de b y L, que nos definen el angular utilizado, y teniendo el valor de la reacción R^*, nos da la garganta de soldadura.

Los cordones (cordón 2) pueden calcularse con ayuda del nomograma **7.7 2-2**.

Uniones normalizadas.

En correspondencia con las uniones tipificadas de 6.3 1, en **7.7 2-3** se dan los datos necesarios para el cálculo inmediato de uniones de este tipo, partiendo de unas dimensiones prefijadas de los casquillos de unión.

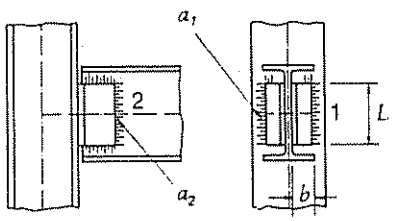
Uniones de alma con angulares soldados.
P^*_1 y P^*_2, esfuerzo de agotamiento absorbible por los cordones a_1 y a_2, respectivamente.

ANGULARES

	⊥ 70 - 6	⊥ 70 - 6	⊥ 70 - 6		
		⊥ 70 - 7	⊥ 70 - 7	⊥ 70 - 7	⊥ 70 - 7
		⊥ 70 - 8	⊥ 70 - 8	⊥ 70 - 8	⊥ 70 - 8

Longitud del Angular	Cordones de soldadura									
	2,5		3,0		3,5		4,0		4,5	
mm	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2
70	1,99	6,83	2,39	8,12	2,79	9,55	3,20	10,92	3,60	12,28
80	2,60	7,69	3,12	9,23	3,64	10,77	4,16	12,31	4,68	13,84
90	3,27	8,54	3,92	10,24	4,58	11,95	5,23	13,65	5,89	15,36
100	3,90	9,32	4,68	11,18	5,46	13,04	6,24	14,91	7,02	16,77
110	4,72	9,70	5,67	11,63	6,61	13,57	7,55	15,51	8,49	17,45
120	5,51	10,61	6,61	12,73	7,71	14,85	8,82	16,98	9,92	19,09
130	6,35	11,54	7,62	13,84	8,88	16,16	10,15	18,46	11,42	20,78
140	7,21	12,47	8,66	14,96	10,10	17,45	11,54	19,94	12,98	22,44
160	9,05	14,45	10,85	17,34	12,65	20,24	14,47	23,13	16,28	26,02
180	10,96	16,38	13,15	19,65	15,34	22,93	17,54	26,21	19,73	29,48
200	12,95	18,38	15,53	22,06	18,12	25,73	20,71	29,41	23,30	33,08
220	14,98	20,56	17,97	24,68	20,97	28,78	23,96	32,90	26,96	37,02
240	17,04	22,74	20,44	26,46	23,85	31,85	27,26	36,39	30,67	40,94
250	18,08	23,82	21,69	28,59	25,31	33,35	28,99	38,11	32,54	42,88
260	19,13	24,94	22,96	29,93	26,78	34,91	30,60	39,91	34,43	44,90
280	21,23	27,04	25,48	32,46	29,73	37,86	33,97	43,27	38,22	48,68
300	23,33	29,17	27,99	35,00	32,66	40,84	37,33	46,67	42,00	52,51
320	25,45	31,20	30,53	37,44	35,62	43,68	40,71	49,92	45,80	56,16
340	27,56	33,64	33,06	40,36	38,58	47,09	44,09	53,82	49,60	60,55
350	28,61	34,85	34,33	41,83	40,05	48,79	45,77	55,76	51,49	62,72
370	30,71	37,08	36,85	44,50	43,00	51,91	49,14	59,33	55,28	66,75
400	33,86	40,71	40,63	48,86	47,37	56,99	54,18	65,14	60,95	73,29
450	39,07	46,44	46,89	55,74	54,70	65,02	62,52	74,31	70,33	83,60
470	41,15	48,76	49,38	58,51	57,61	68,26	65,84	78,01	74,08	87,76
500	44,25	52,19	53,10	62,63	61,95	73,07	70,80	83,50	79,66	93,94

7.7 2-3



Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Angular	Soldadura	
			l	a
F —	Ls —	L 70 · 8 —	400	• 4,5

Acero A 42

L 70 · 8		L 70 · 8						
5,0		5,5		Perfiles menores recomendados				Longitud del angular
P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	IPN	HEB	UPN	IPE	mm
4,00	13,65	4,40	15,01	120	140	120	120	70
5,20	15,38	5,72	16,92	120	140	140	120	80
6,54	17,07	7,20	18,77	140	160	140	140	90
7,80	18,63	8,58	20,50	140	180	160	140	100
9,45	19,39	10,39	21,33	160	180	180	160	110
11,03	21,21	12,12	23,33	180	200	180	180	120
12,70	23,09	13,96	25,39	180	220	200	180	130
14,43	24,93	15,87	27,43	180	220	200	200	140
18,09	28,91	19,90	31,79	220	260	240	220	160
21,93	29,48	24,44	36,03	240	280	260	270	180
25,89	36,77	28,48	40,43	260	300	280	270	200
29,96	41,12	32,95	45,24	300	340	300	300	220
34,08	45,49	37,48	50,04	320	360	—	330	340
36,16	47.64	39,77	52,41	340	360	—	330	250
38,26	48,80	42,09	54,88	340	400	—	360	260
42,47	54,09	46,71	59,49	360	400	—	360	280
46,67	58,35	51,33	64,17	400	450	—	400	300
50,89	62.40	55,97	68,64	450	450	—	450	320
55,12	67,26	60,62	74,00	450	500	—	450	340
57,22	69,70	62,94	76,68	450	500	—	450	350
61,42	74,16	67,57	81,58	500	500	—	500	370
67,73	81.45	74,50	89,57	550	550	—	500	400
78,15	92,89	85,96	102,18	600	600	—	550	450
82,31	97.51	90,53	107,26	—	(650)	—	600	470
88,51	104,39	97,36	114,82	—	(650)	—	—	500

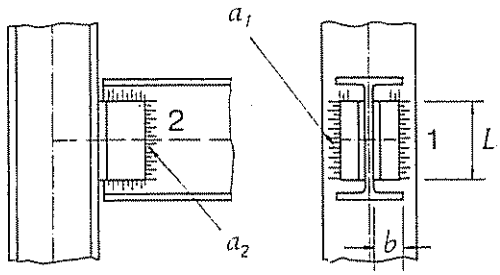
7.7 2-3

Uniones de alma con angulares soldados.
P^*_1 y P^*_2, esfuerzo de agotamiento absorbible por los cordones a_1 y a_2, respectivamente.

ANGULARES

Longitud del angular mm	⌊ 90 · 8 / ⌊ 90 · 10									
	Cordones de soldadura									
	3,0		4,0		4,5		5,0		5,5	
	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2
350	31,63	41,49	42,14	55,25	47,45	62,18	52,76	69,11	57,96	76,05
370	34,02	43,87	45,39	58,50	51,02	65,76	56,76	73,12	62,40	80,38
400	38,02	46,15	50,70	61,53	56,98	69,22	63,37	76,91	69,76	84,61
450	44,20	53,30	58,93	71,06	66,30	79,95	73,66	88,94	81,03	97,82
470	46,91	56,44	62,51	75,18	70,31	84,61	78,21	94,03	86,01	103,46
500	50,70	61,53	67,60	82,11	76,05	92,41	84,50	102,70	92,95	112,88
550	56,55	68,57	75,40	91,43	84,82	102,91	94,36	114,40	103,78	125,77
600	62,72	74,86	83,63	99,77	94,03	112,23	104,54	124,80	114,94	137,25
650	68,90	82,11	91,86	109,41	103,35	123,17	114,94	136,82	126,42	150,47
700	75,29	91,65	100,42	122,20	112,99	137,47	125,55	152,85	138,01	168,13
750	81,90	99,45	109,20	132,60	122,85	149,17	136,50	165,74	150,15	182,32
800	87,31	107,25	116,45	143,00	130,97	160,87	145,60	178,85	160,11	196,73
850	94,14	116,67	125,45	155,56	141,15	174,95	156,85	194,45	172,57	213,84
900	99,66	126,31	132,81	168,45	149,50	189,47	166,07	210,59	182,64	231,61
950	105,95	136,28	141,26	181,78	158,92	204,42	176,58	227,17	194,24	249,92

7.7 2-3



Ejemplo de notación:

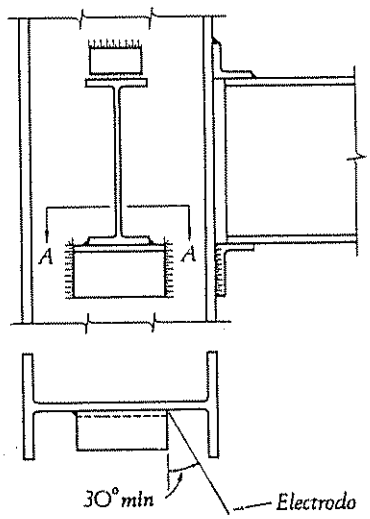
Clase	Tipo	Angular	Soldadura	
			l	a
F[1] —	Ls[2] —	L 90 · 8 —	400	• 4,5

1 Unión flexible.
2 Angulares soldados en el alma.

Acero A 42

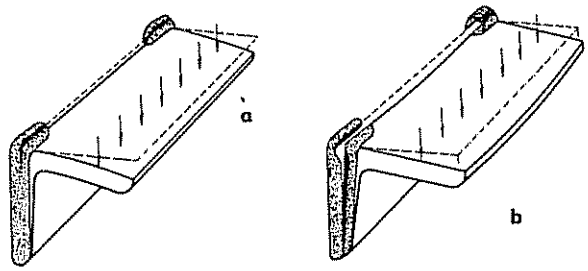
⌊ 90 · 10		⌊ 90 · 10		⌊ 90 · 10		Perfiles menores recomendados				Longitud del angular
6,0		6,5		7,0						
P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	P^*_1	P^*_2	IPN	HEB	UPN	IPE	mm
63,26	82,98	68,57	89,91	73,77	96,74	500	500	—	450	350
68,03	87,75	73,77	95,01	79,41	102.37	500	500	—	500	370
76,05	92,30	82.44	78,32	88,72	107,68	550	550	—	500	400
83.40	106,71	95,76	115,59	103,13	124.47	600	600	—	600	450
93.81	112,88	101,61	122,30	109,41	131.62	—	(650)	—	600	470
01.40	123.17	109,85	133,46	118,30	143,75	—	(650)	—	—	500
13,20	137,25	122.63	148,63	132,05	160,11	—	(700)	—	—	550
25.45	149.71	135,85	162.17	146,35	174,63	—	(750)	—	—	600
37,90	164.23	149,39	177,88	160,87	191,53	—	(800)	—	—	650
50,58	183.40	163.14	198,68	175,71	213.95	—	(900)	—	—	700
63,79	198,89	177,44	215,47	191,09	232,04	—	(1 000)	—	—	750
74.63	214,60	189.25	232.48	203.77	250,35	—	(1 000)	—	—	800
88.28	233,34	203.99	252,73	219,58	272,23	—	—	—	—	850
99,33	252,63	215,90	273.75	232,48	294,77	—	—	—	—	900
11.89	272,67	229,55	295,31	247,21	318,06	—	—	—	—	950

7.7 2-3

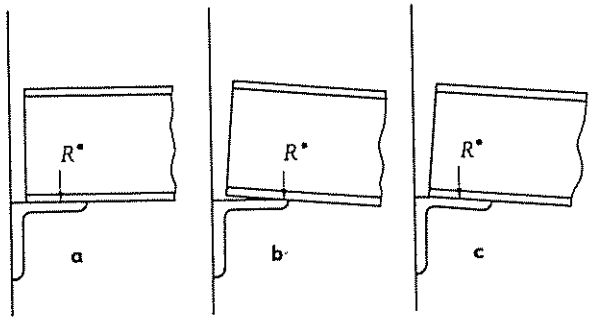


Sección A-A

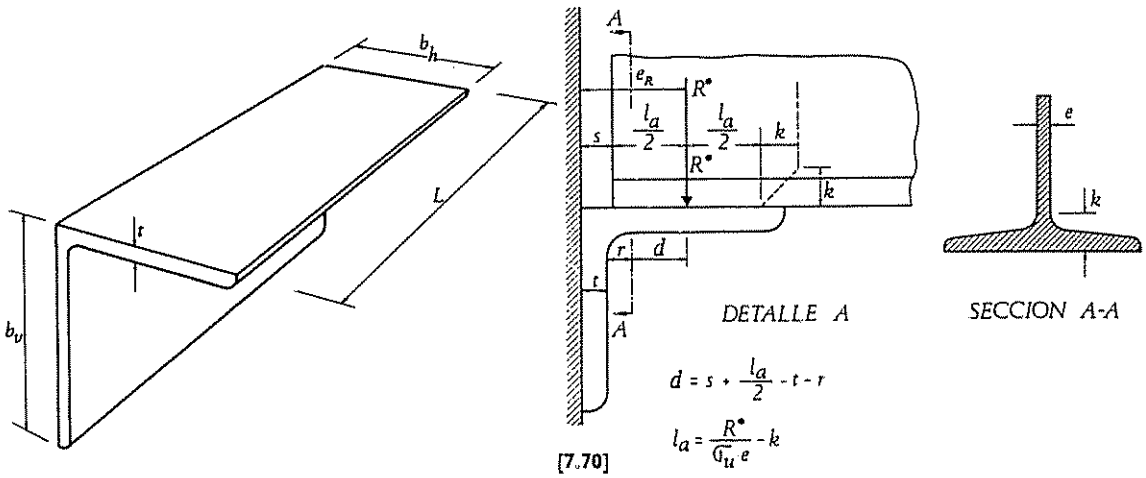
[7.67]



[7.68]



[7.69]



[7.70]

7.7 3. Apoyo sobre asiento no rigidizado.

Este tipo de unión [7.67] permite un fácil montaje, pero solo es adecuada para reacciones moderadas de la viga que apoya. El casquillo de asiento se suele soldar en taller y las soldaduras de unión de la viga en montaje. El angular superior es necesario para la sujeción lateral y no se cuenta con él para transmitir parte de la reacción de la viga, ni se considera su posible coacción a la deformación de la viga, debe, pues, ser pequeño y de débil espesor. Esta unión se considera por tanto *flexible*.

Por efecto de la reacción de la viga, el ala horizontal del angular está sometido a flexión, los cordones de unión están solicitados por un momento flector y un esfuerzo cortante. Si el angular es de pequeño espesor solo trabaja la parte superior de los cordones [7.68a]. Con angulares de espesores más fuertes los cordones trabajan en toda su longitud [7.68b].

El punto de aplicación de la reacción R* de la viga está condicionado por las características del casquillo de apoyo [7.69]. Al cargar la viga flecta y su extremo gira, consecuentemente el punto de paso de la reacción R* tiende a desplazarse hacia afuera, aumentando el momento y produciendo una flexión hacia abajo del ala del angular. Esta flexión hace que la reacción se desplace hacia dentro. Según el espesor del ala horizontal del angular y por tanto la inercia, será diferente la posición de la reacción. Si el angular es demasiado grueso flectará muy poco y la reacción puede concentrarse en un punto con posibles sobretensiones en el alma de la viga. Si por el contrario el angular es demasiado delgado el punto de aplicación se trasladará hacia el final de la viga y disminuirá también la longitud de apoyo real.

Tanto para la fijación del punto de paso de la reacción como para las diferentes etapas del cálculo, seguimos las líneas generales de las especificaciones A. I. S. C. [1]

1. Determinación del punto de paso de la reacción para poder fijar el momento solicitante del ala del angular:

$$l_a + k = \frac{R^*}{\sigma_u\, e}$$

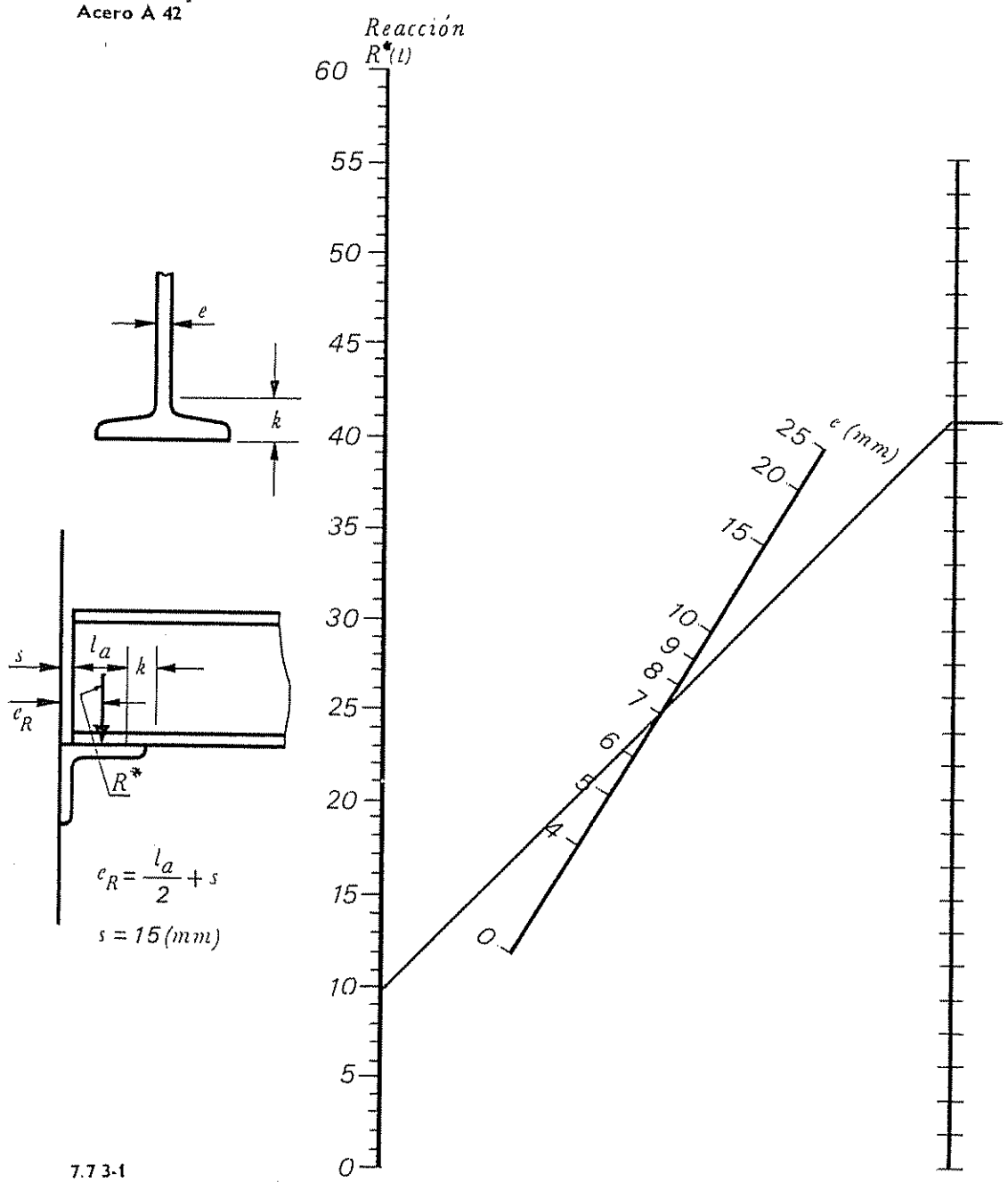
con el significado que se indica en [7.70].

$$d = s + \frac{l_a}{2} - (t + r) = e_R \; - (t + r)$$

---

[1] American Institute of Steel Construction.

Unión sobre asiento no rigidizado.
Abaco para la determinación de la excentricidad e_R.
Acero A 42

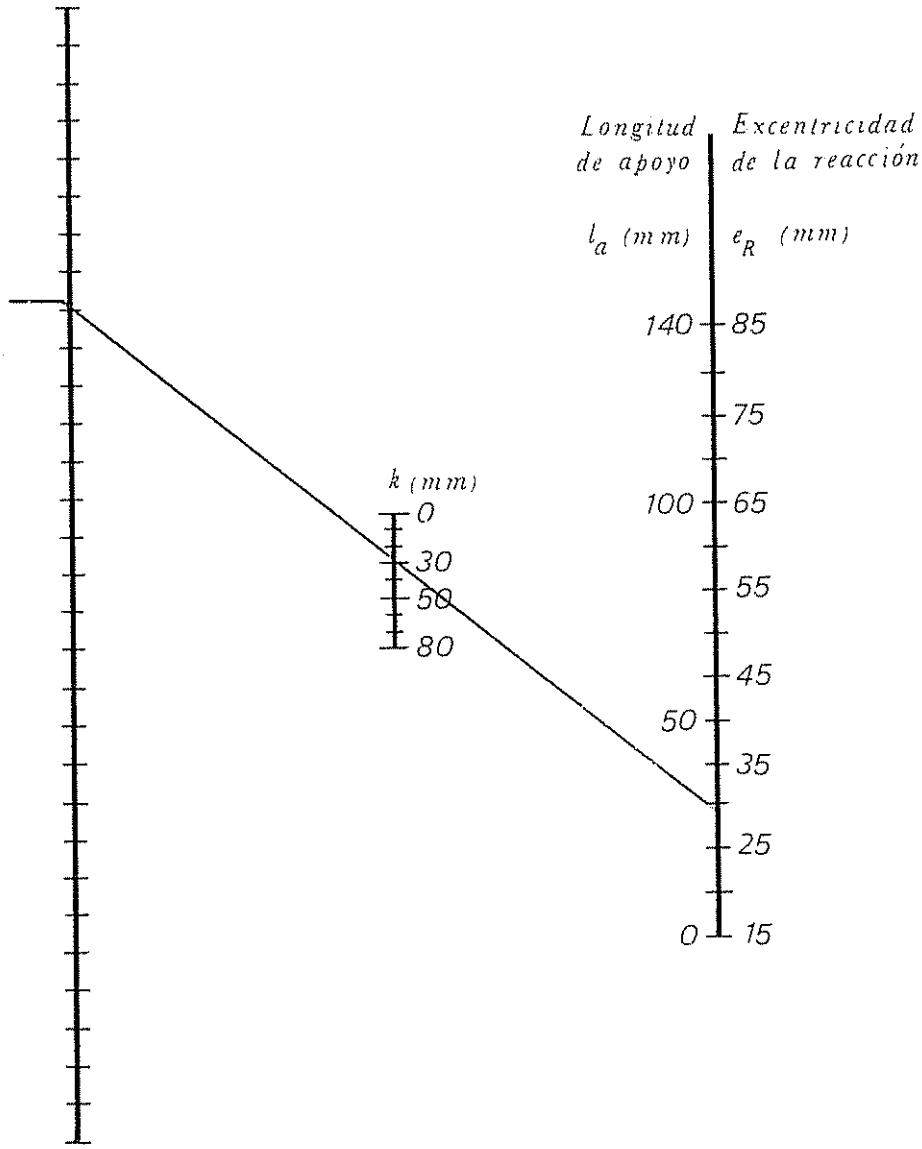


7.7 3-1

Ejemplo de notación:

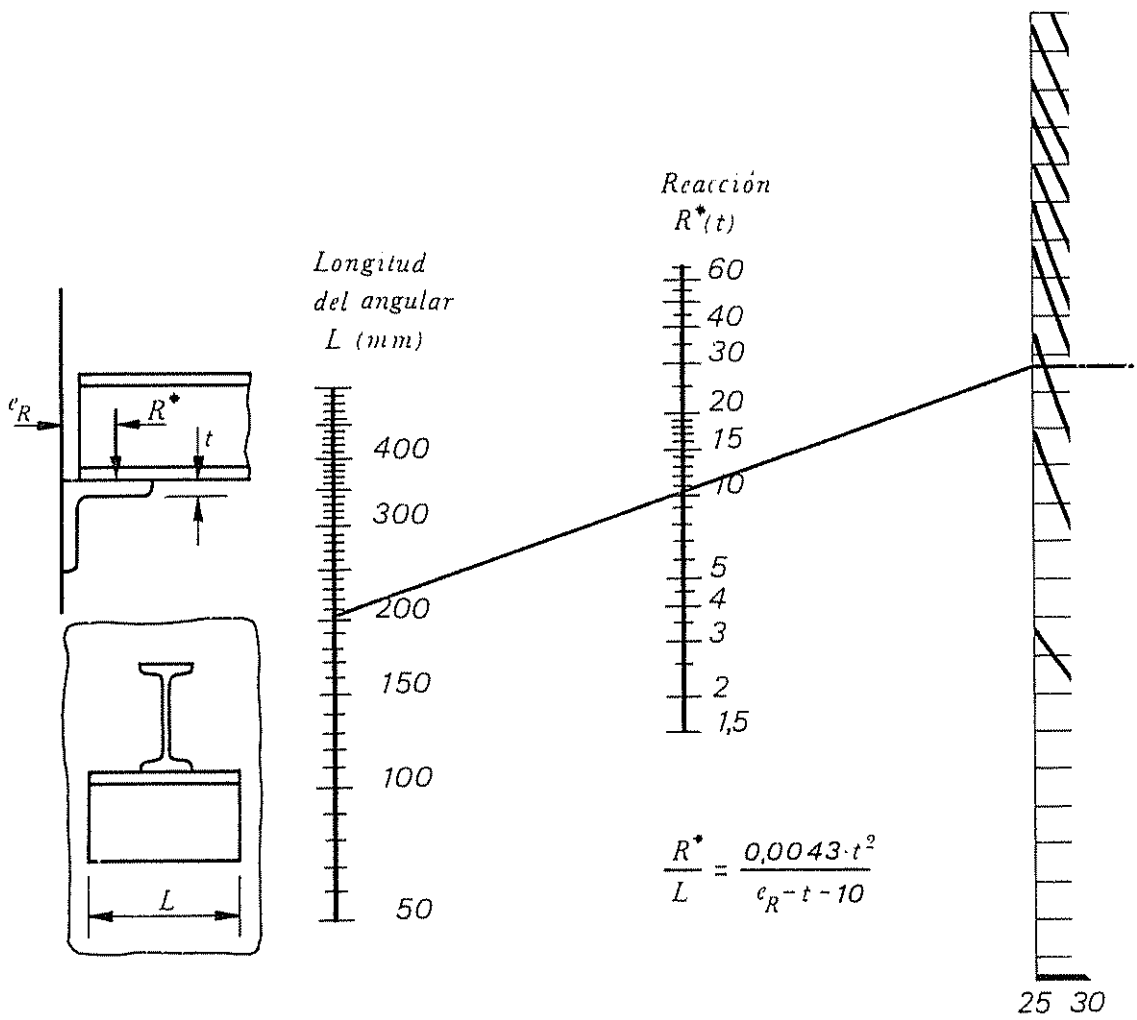
Clase	Tipo	Angular	Soldadura a
F [1]	— CNR [2] —	L 120 · 12 —	4

[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento no rigidizado.



7.7 3-1

Unión sobre asiento no rigidizado.
Abaco para la determinación del espesor de un angular.
Acero A 42

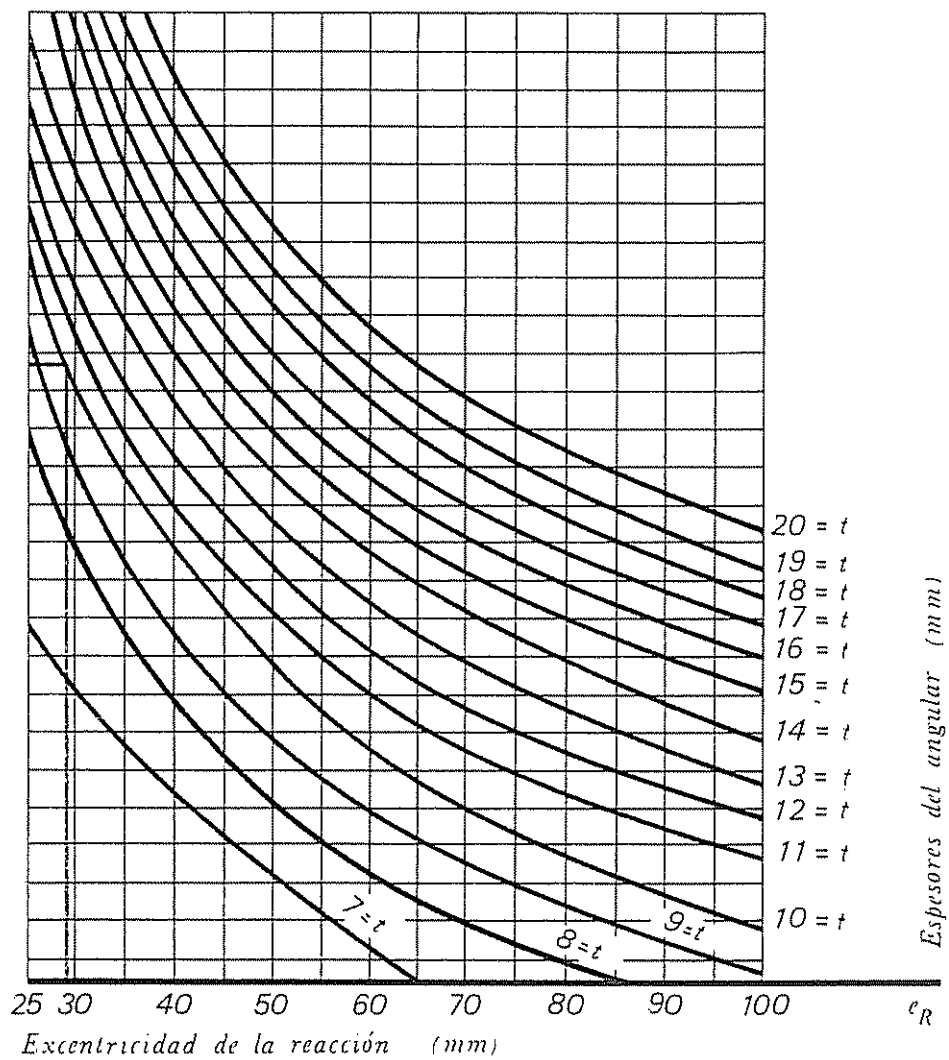


7.7 3-2

Ejemplo de notación:

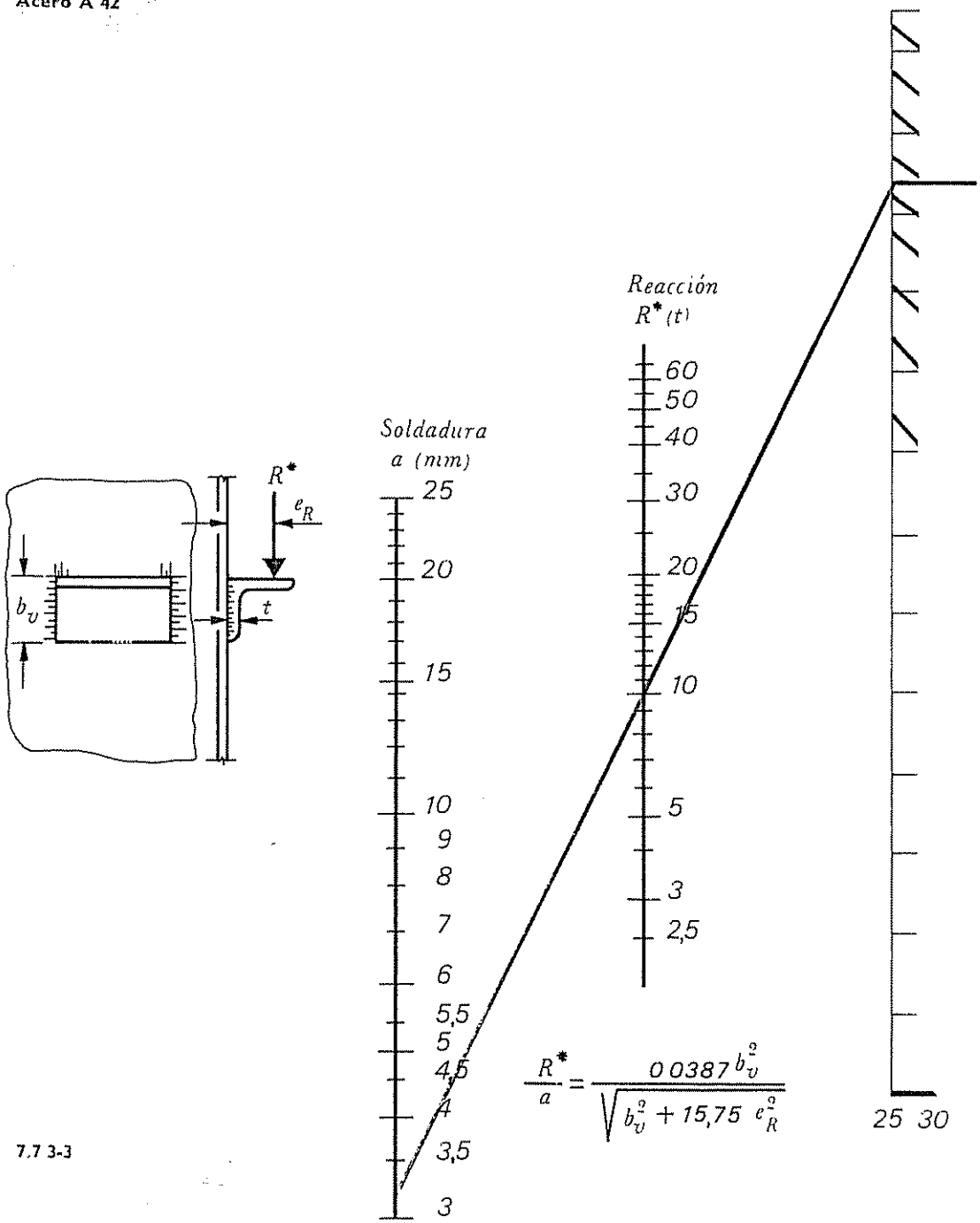
Clase	Tipo	Angular	Soldadura a
F [1]	— CNR [2] —	L 120 · 12 —	4

[1] Unión flexible
[2] Casquillo de asiento no rigidizado.



7.7 3-2

Unión sobre asiento no rigidizado.
Abaco para la determinación de la soldadura.
Acero A 42

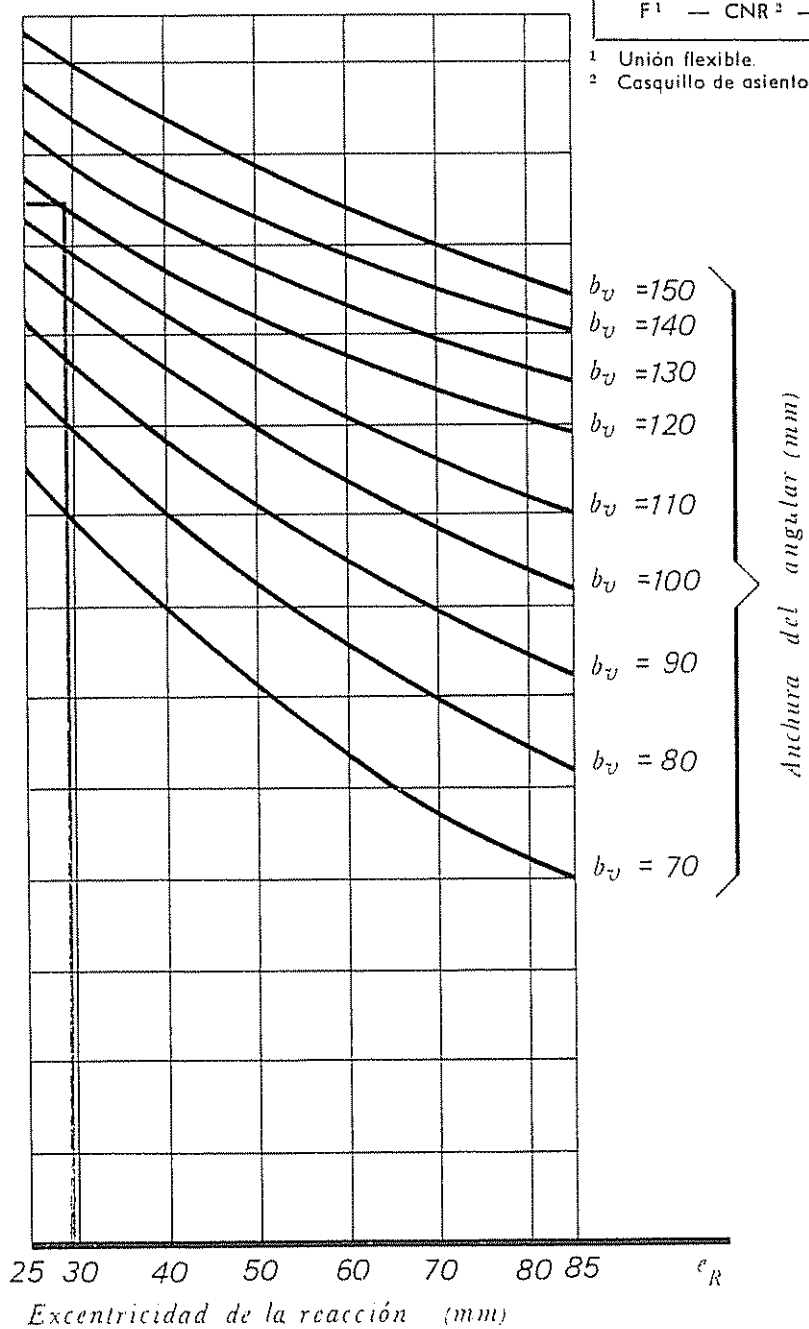


7.7 3-3

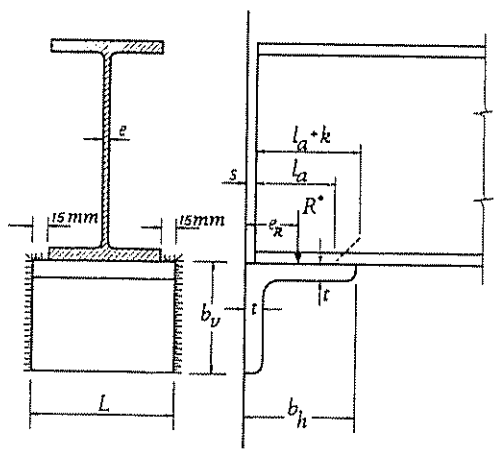
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Angular	Soldadura a
F [1]	— CNR [2] —	L 120 · 12 —	4

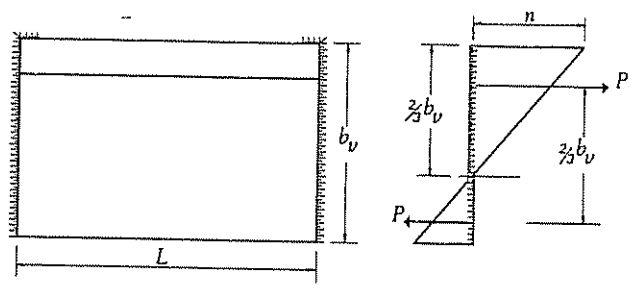
[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento no rigidizado.



7.7 3-3



[7.71]



[7.72]

El valor de la excentricidad e_R puede obtenerse directamente del nomograma **7.7 3-1,** conocidos R*, e y K.

2. Determinación del espesor del angular:

$$M^* = R^* d \qquad W = \frac{L t^2}{6} \qquad \sigma^* = \frac{M}{W} = \frac{6 R^* d}{L t^2} \qquad \frac{R^*}{L} = \frac{\sigma_u t^2}{6 d}$$

Si como es normal, para perfiles españoles, consideramos $\sigma_u = 2.600$ kg/cm², y adoptamos para el radio r el valor medio de 10 mm, la expresión anterior se transforma en

$$\frac{R^*}{L} = \frac{0{,}43 t^2}{e_R - t_a - 1}$$

valores expresados en t y en cm

$$e_R = s + \frac{l_a}{2}$$

Conocidos R*, L y e_R el nomograma **7.7 3-2** da directamente los espesores t del angular requerido.

El valor de L puede fijarse de manera que el angular se extienda como mínimo 15 mm a cada lado del ala del perfil [7.71].

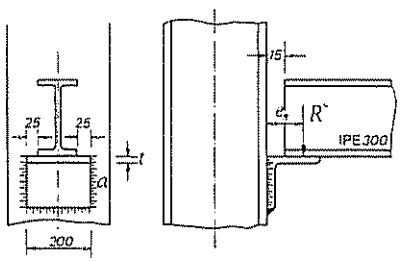
3. El lado del angular b_h debe ser tal que permita un fácil montaje y la ubicación de las soldaduras de unión o tornillos de sujeción durante el montaje. En todo caso la longitud mínima será:

$$b_{h,min} = s + l_a$$

4. Determinación de la longitud vertical de las soldaduras de ángulo, suponiendo un determinado valor de garganta. Esto equivale a la determinación del lado b_v del angular.

Suponiendo [7.72] que la distribución de tensiones en la soldadura es tal que el

7.7 3. EJEMPLO DE APLICACION



Realizar el apoyo de una viga, IPE 300, sobre un casquillo de angular sin rigidizar, capaz de resistir una reacción $R^* = 10$ t.

La posición de la reacción R* la fija el nomograma **7.7 3-1**.

$R^* = 10$ t
$e = 7{,}1$ mm
$K = 26$ mm

$\Rightarrow$ $l_a = 28$ mm, $e_R = 29$ mm

la anchura del angular $\geq l_a + s = 28 + 15 = 43$ mm. su espesor lo determina el nomograma **7.7 3-2.**

$L = 200$ mm
$R^* = 10$ t
$e_R = 29$ mm

$\Rightarrow$ $t = 10{,}3$ mm

de **I.1.7** (primer tomo de este Prontuario), se puede ver que el angular de menor espesor válido es el L 80 12 (no recomendado) y el L 120 12 (recomendado) Adoptamos este último

El cordón de soldadura se puede calcular por el nomograma **7.7 3-3.**

$b_v = 120$ mm
$e_R = 29$ mm
$R^* = 10$ t

$\Rightarrow$ $a \simeq 3{,}2$ mm; **a = 4 mm**

Parece conveniente adoptar 4 mm, por usar un método gráfico en su determinación.

eje neutro está a 2/3 del borde superior, el equilibrio con la reacción exterior conduce a la igualdad:

$$\frac{R^*}{2}\, e_R^* = P^* \frac{2}{3}\, b_v$$

$$P^* = \frac{1}{2}\, n \left(\frac{2}{3}\, b_v\right) a = \frac{n\, b_v\, a}{3}$$

n tensión cortante máxima en la cara del cordón.

$$\frac{R^*}{2}\, e_R = \frac{n\, b_v\, a}{3} \times \frac{2}{3}\, b_v = \frac{2}{9}\, n\, b_v^2\, a$$

$$n = \frac{2{,}25\ R^*\, e_R}{b_v^2\, a}$$

Hasta aquí se ha seguido la especificación A. I. S. C., pero de aquí en adelante es preciso introducir las condiciones que para el agotamiento de las soldaduras de ángulo fija la Norma Básica MV-103.

$$\tau^*_a = t^*_a = \frac{R^*}{2\, b_v\, a}$$

$$\sigma^* = \tau^*_n = \frac{n}{\sqrt{2}} = \frac{2{,}25\ R^*\, e_R}{b_v^2\, a\, \sqrt{2}}$$

Introducidos estos valores en la condición de agotamiento de la Norma, se llega a la expresión

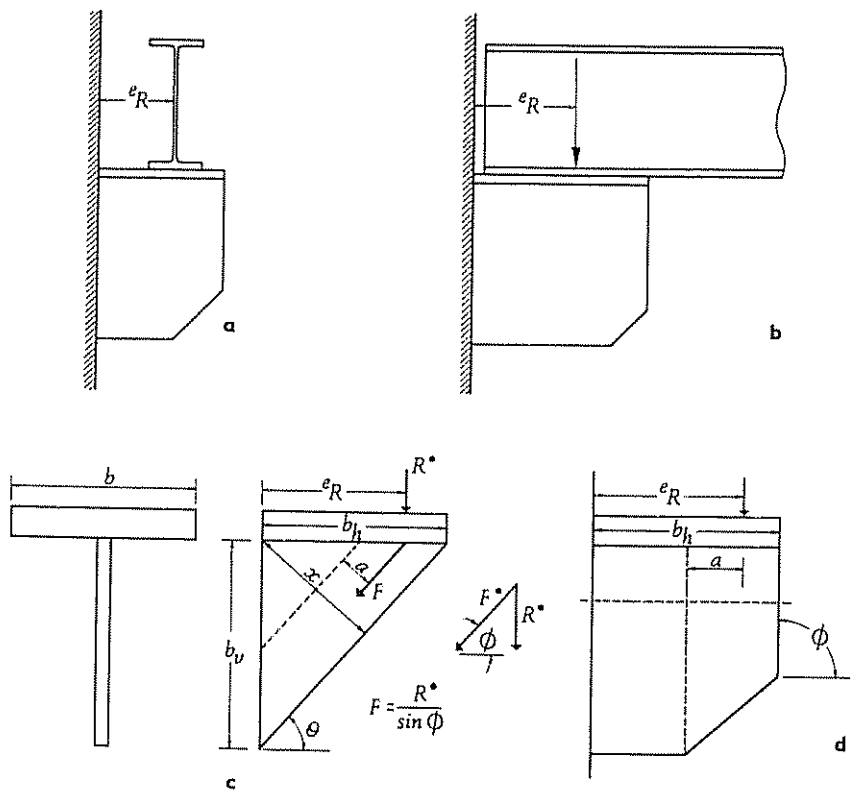
$$\frac{R^*}{a} = \frac{\sigma_u\, b_v^2}{\sqrt{0{,}45}\ \sqrt{b_v^2 + 15{,}75\, e_R^2}}$$

que para $\sigma_u = 2{,}6\ t/cm^2$

$$\frac{R^*}{a} = \frac{3{,}87\, b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 15{,}75\, e_R^2}}$$

a Garganta de las soldaduras de ángulo.

Con el nomograma **7.7 3-3** pueden obtenerse directamente los valores de b_v, partiendo de R^* (t), a (mm) y e_R (mm). Es, por tanto, preciso partir de un valor de la gar-



[7.73]

ganta de la soldadura y ésta deberá fijarse teniendo en cuenta el espesor del angular previamente fijado.

7.7 4. Apoyo sobre asiento rigidizado.

Cuando la reacción R* de la viga de apoyo es grande, el apoyo descrito en 7.7 3 exige espesores para el angular que pueden exceder los de las series laminadas [1]. En este caso pueden utilizarse apoyos de asiento del tipo de los que se representan en [7.73] y que normalmente se realizan en taller sobre el pilar o elemento sustentante. Generalmente se dan los dos cordones verticales en toda la longitud del rigidizador y solo el cordón horizontal inferior, ya que el superior puede dificultar el asiento de la viga. Este cordón horizontal se da en taller posicionando adecuadamente el elemento sustentante de manera que pueda ejecutarse fácilmente.

Para la sujeción lateral de la viga apoyada se utilizan como en 7.7 3, un angular superior de sujeción. Es un apoyo *flexible* y para su cálculo seguimos las hipótesis y las líneas generales de las especificaciones A. I. S. C.

Dentro de este tipo de apoyo pueden distinguirse dos variantes.

7.7 4 1. *Los planos del alma de la viga y del alma del apoyo son perpendiculares.*

En este caso la posición de la reacción está perfectamente determinada y, por tanto, e_R es conocido [7.73a].

La forma del rigidizador normalmente es una de las dos esquematizadas en [7.73c] y [7.73d]. La línea de acción de la compresión es aproximadamente paralela al borde exterior del rigidizador y como sección crítica se considera una sección perpendicular a esta línea de acción. Con la notación de [7.73].

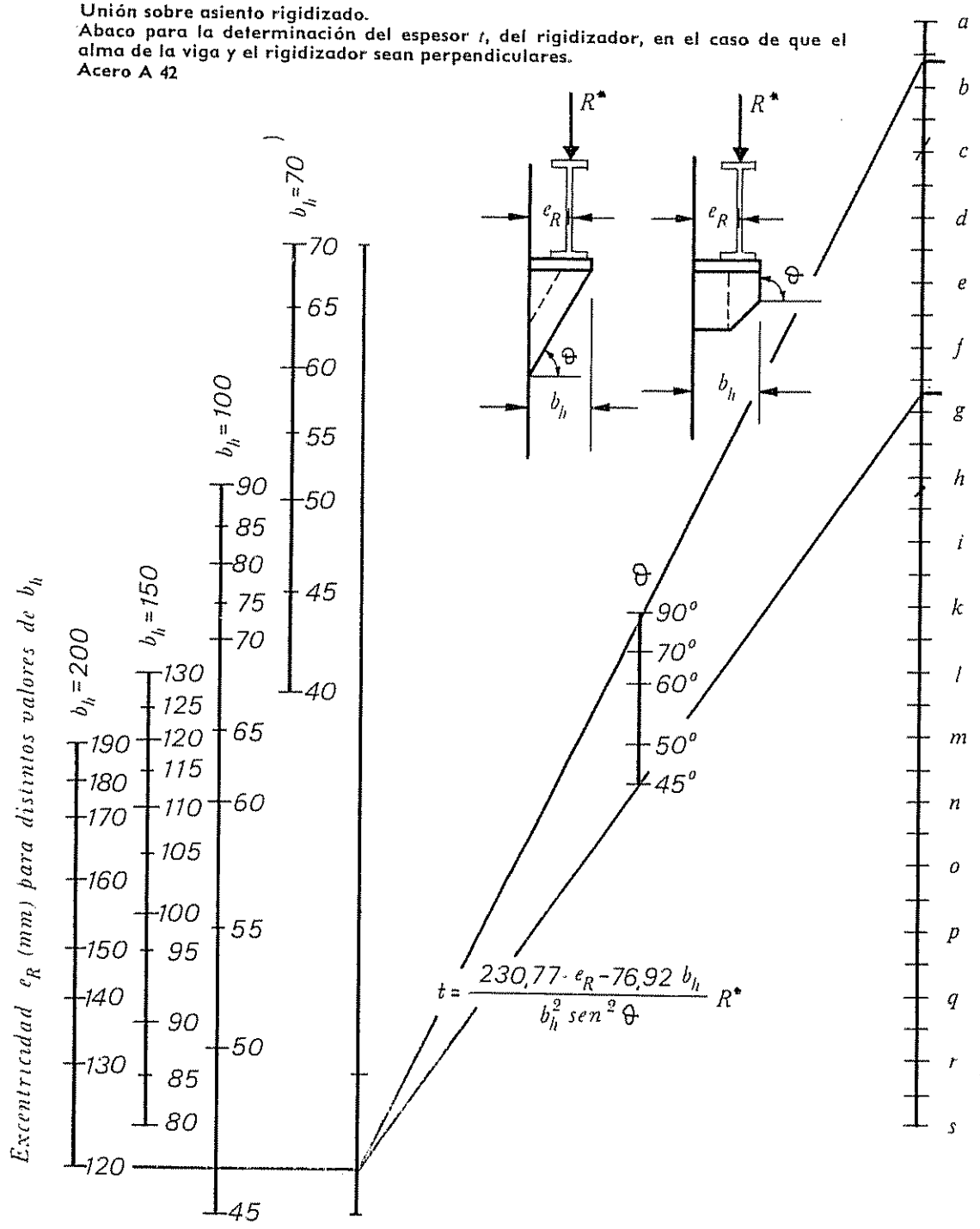
Area del rigidizador

$$A = tx = t\, b_h\, sen\, \theta$$

---

[1] En la práctica las reacciones máximas posibles con apoyos sin rigidizar son del orden de las 10 t.

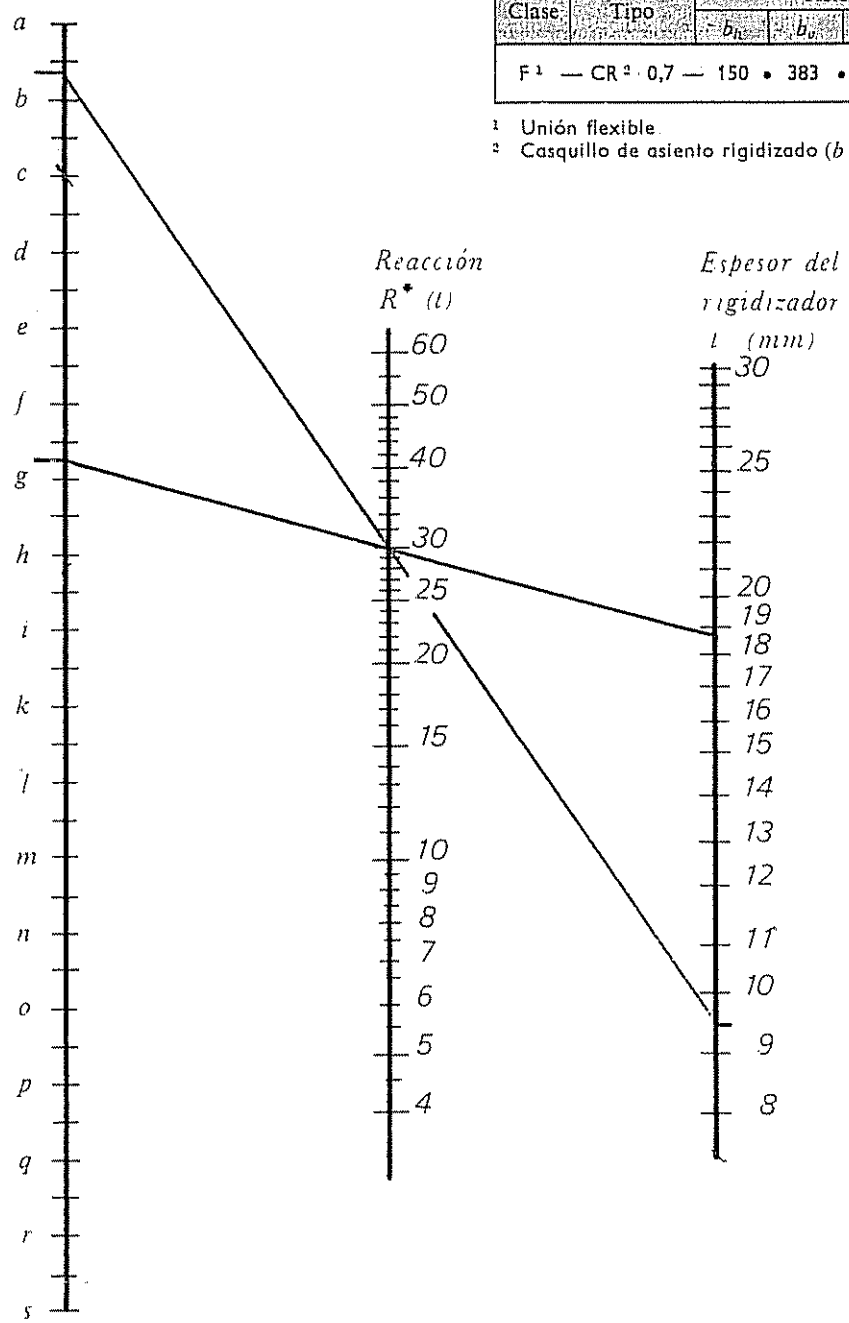
Unión sobre asiento rigidizado.
Abaco para la determinación del espesor t, del rigidizador, en el caso de que el alma de la viga y el rigidizador sean perpendiculares.
Acero A 42



7.7 4-1

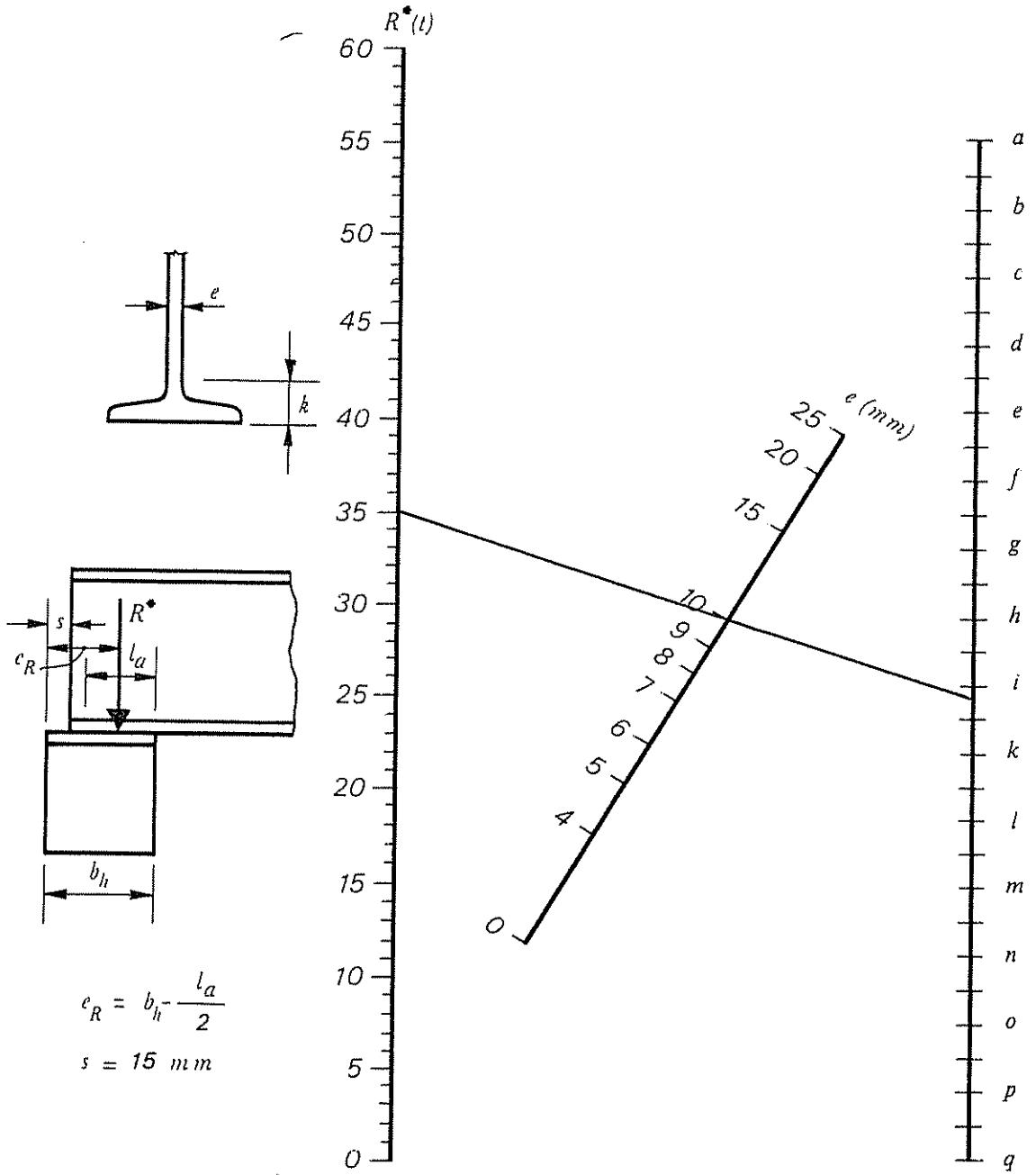
Clase	Tipo	Asiento				Soldadura
		b_h	b_v	t	θ	a
F [1]	— CR [2] 0,7 —	150	383	15	45	— 3

[1] Unión flexible
[2] Casquillo de asiento rigidizado ($b = 0{,}7\ b_v$)



7.7 4-1

Unión sobre asiento rigidizado.
Abaco para la determinación de la excentricidad e_R.
Acero A 42



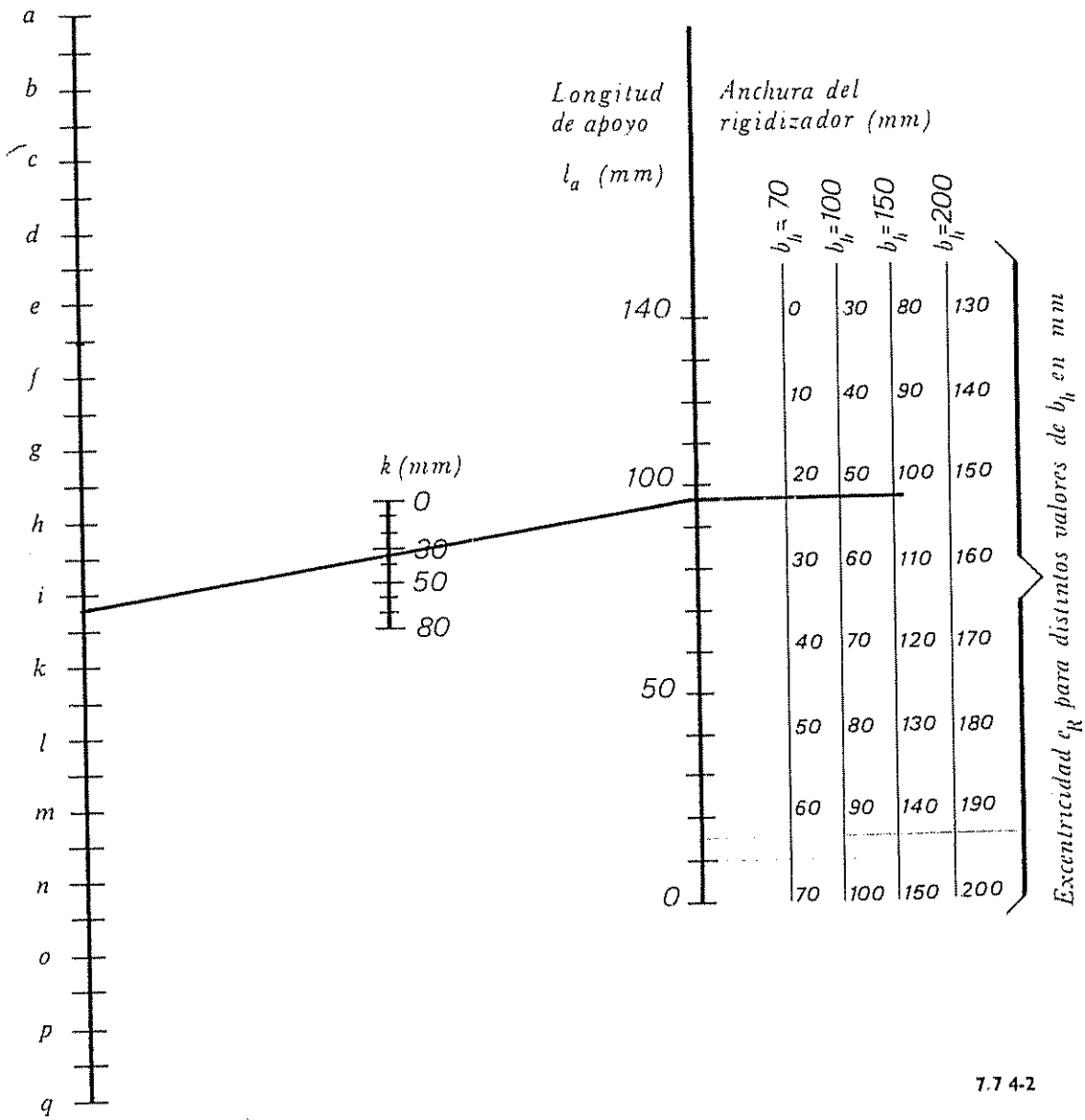
$$e_R = b_h - \frac{l_a}{2}$$

$s = 15\ mm$

7.7 4-2

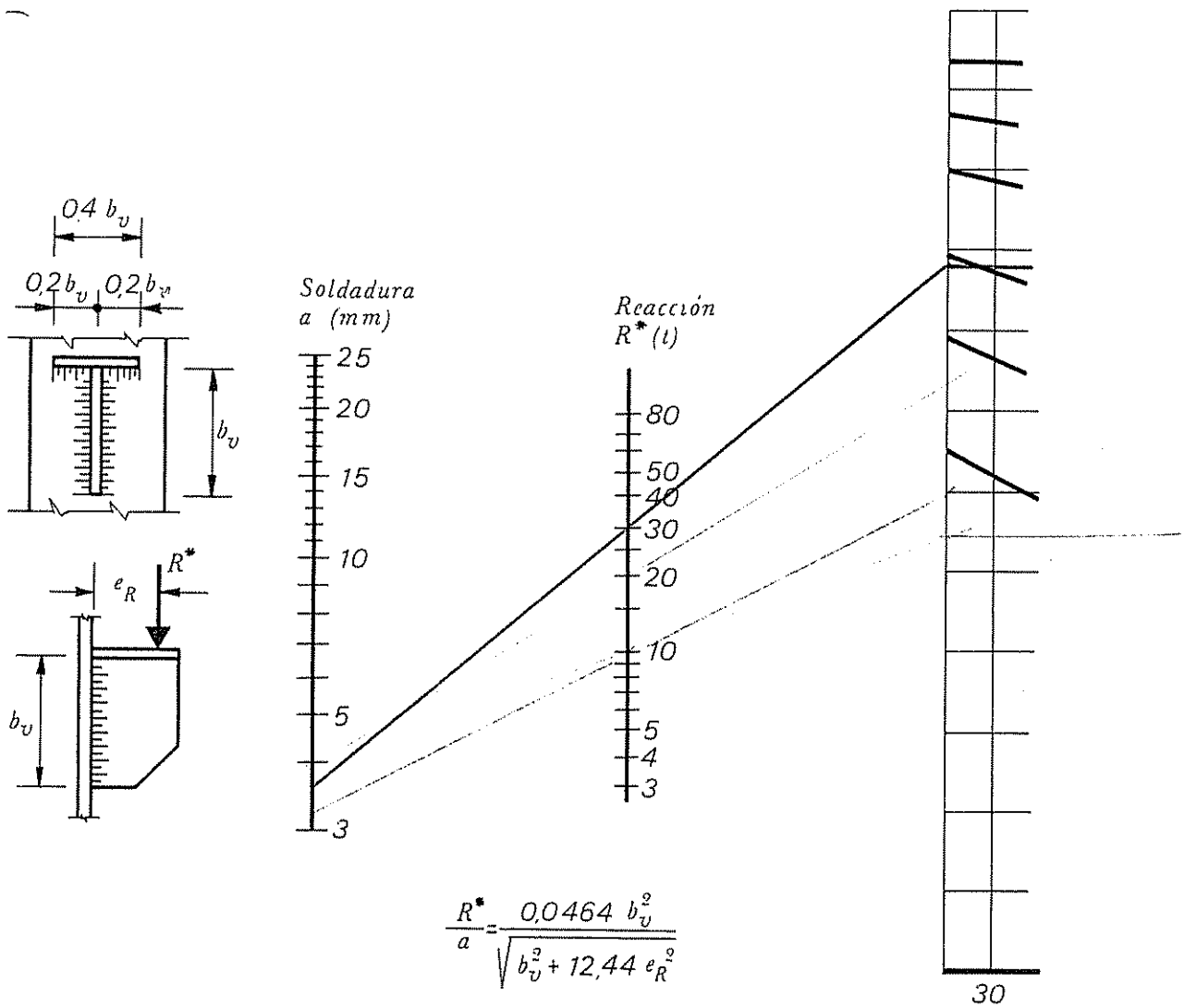
Clase	Tipo	Asiento				Soldadura
		b_h	b_a	t	θ	a
F [1]	— CR [2] - 0,7 — 150 • 383 • 15 • 45 —					3

[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento rigidizado ($b = 0{,}7\ b_a$)



7.7 4-2

Unión sobre asiento rigidizado.
Abaco para la determinación de la soldadura ($b = 0{,}4\ b_v$).
Acero A 42

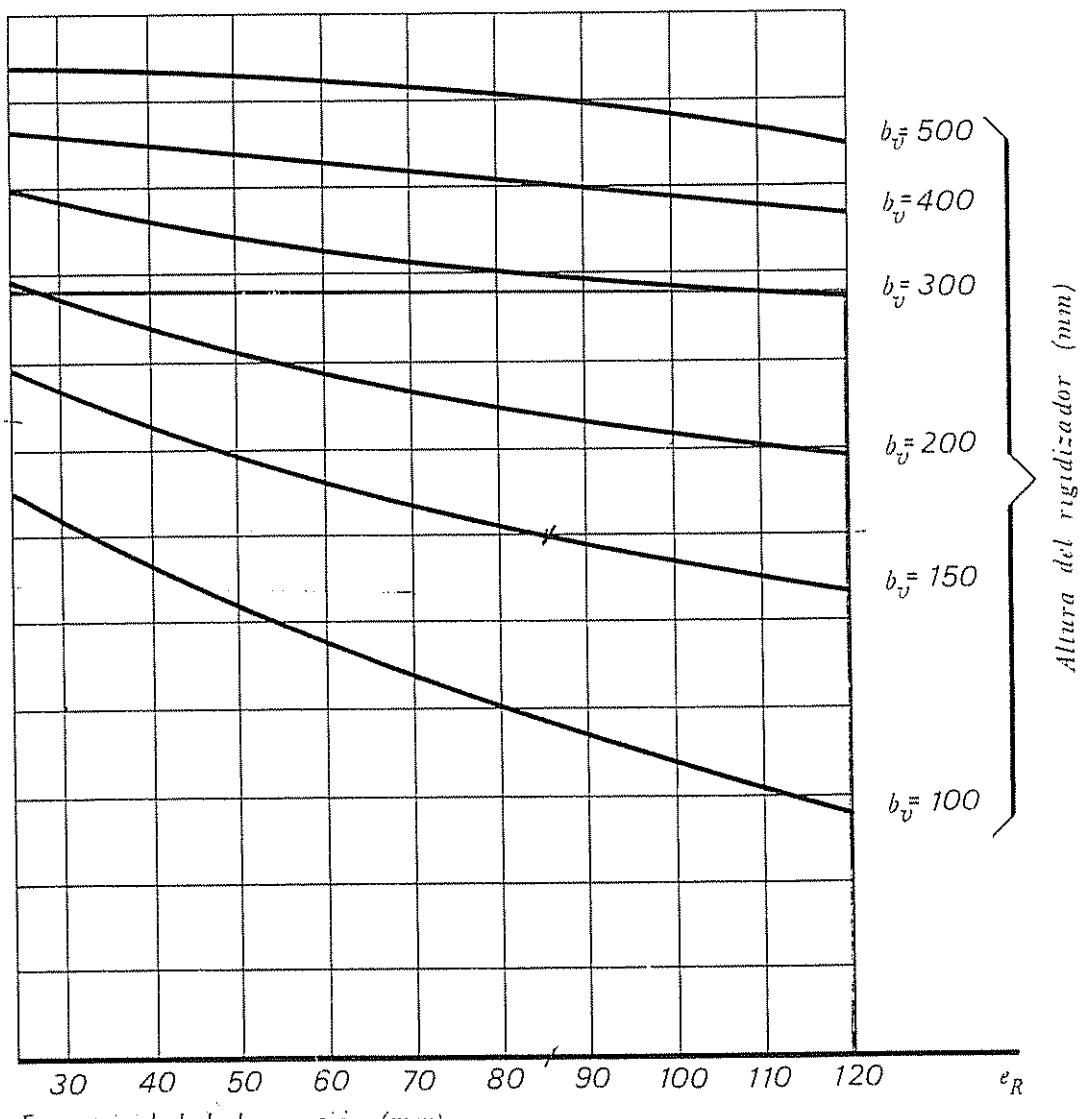


$$\frac{R^*}{a} = \frac{0{,}0464\ b_v^2}{\sqrt{b_v^3 + 12{,}44\ e_R^2}}$$

7.7 4-3a

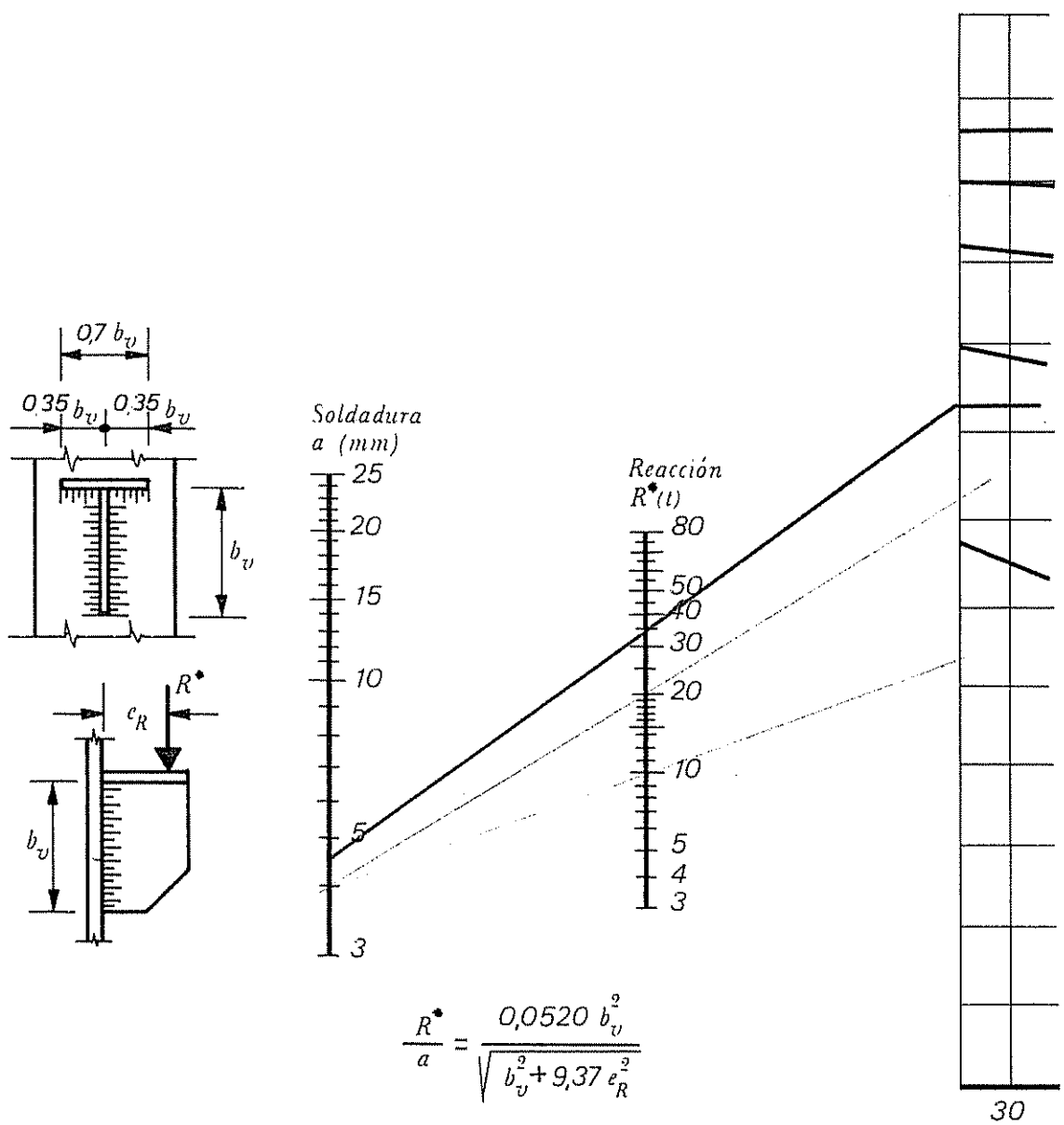
Clase	Tipo	Asiento				Soldadura
		b_{ii}	b_u	l	θ	a
F [1]	— CR [2] · 0,4 —	150	383	15	45	3

[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento rigidizado ($b = 0{,}4\ b_u$)



7.7 4-3a

Unión sobre asiento rigidizado.
Abaco para la determinación de la soldadura ($b = 0{,}7\ b_v$).
Acero A 42

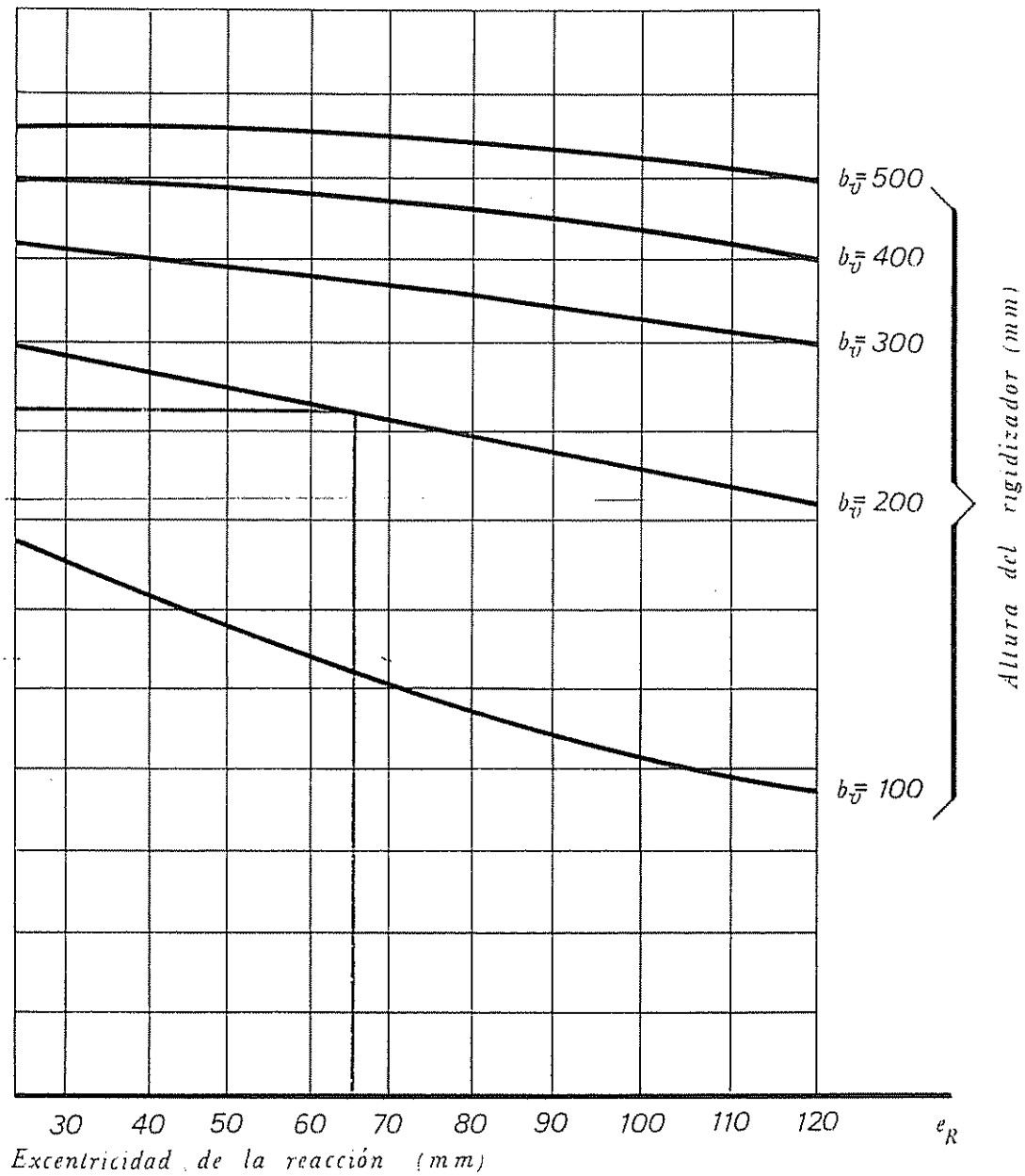


$$\frac{R^*}{a} = \frac{0{,}0520\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 9{,}37\ e_R^2}}$$

7.7 4-3b

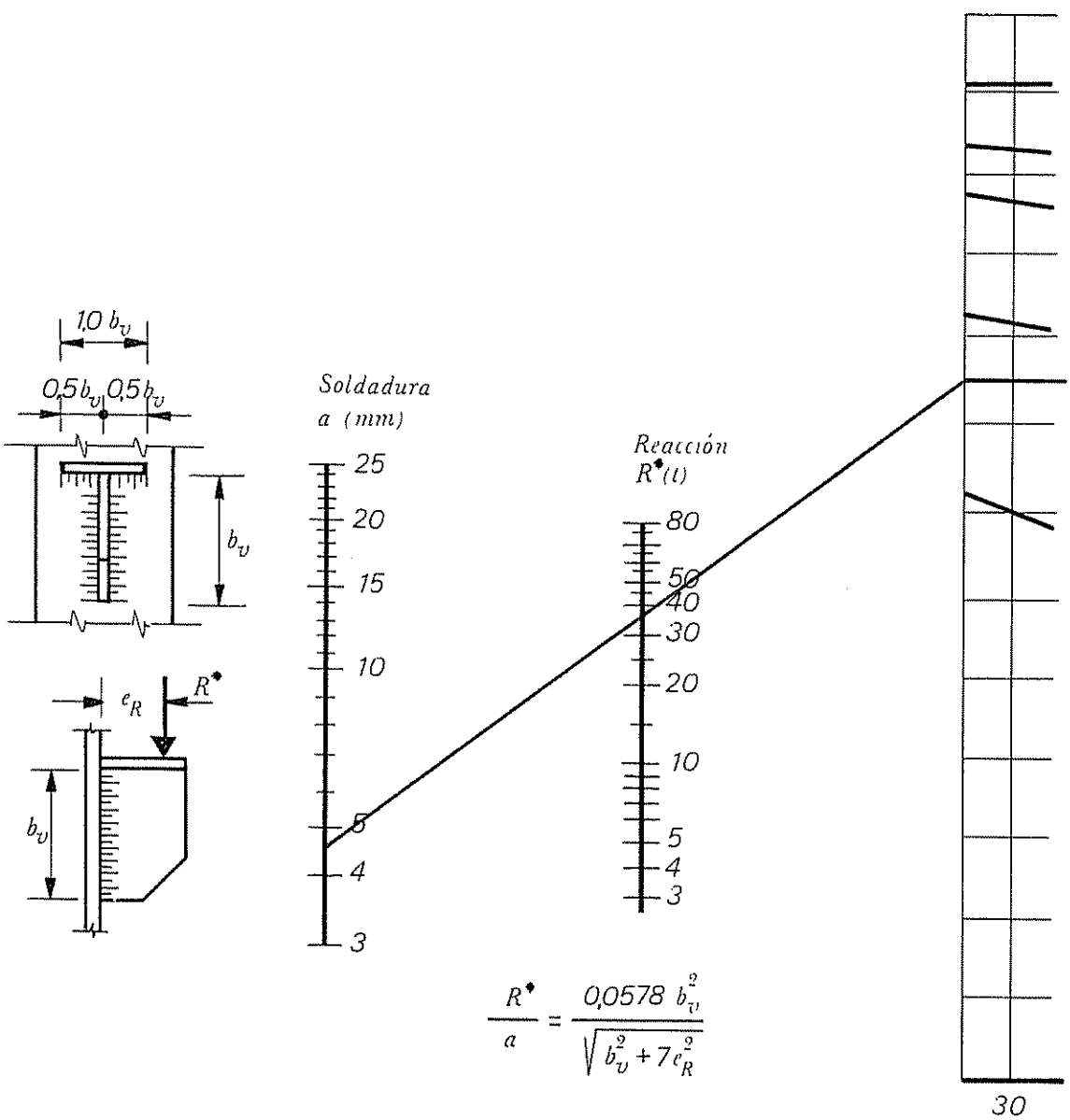
Clase	Tipo	Asiento				Soldadura
		b_n	b_u	t	θ	a
F [1]	— CR [2] · 0,7 —	150	383	15	45	— 3

[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento rigidizado ($b = 0{,}7\ b_u$).



7.7 4-3b

Unión sobre asiento rigidizado.
Abaco para la determinación de la soldadura ($b = 1{,}0\ b_v$).
Acero A 42

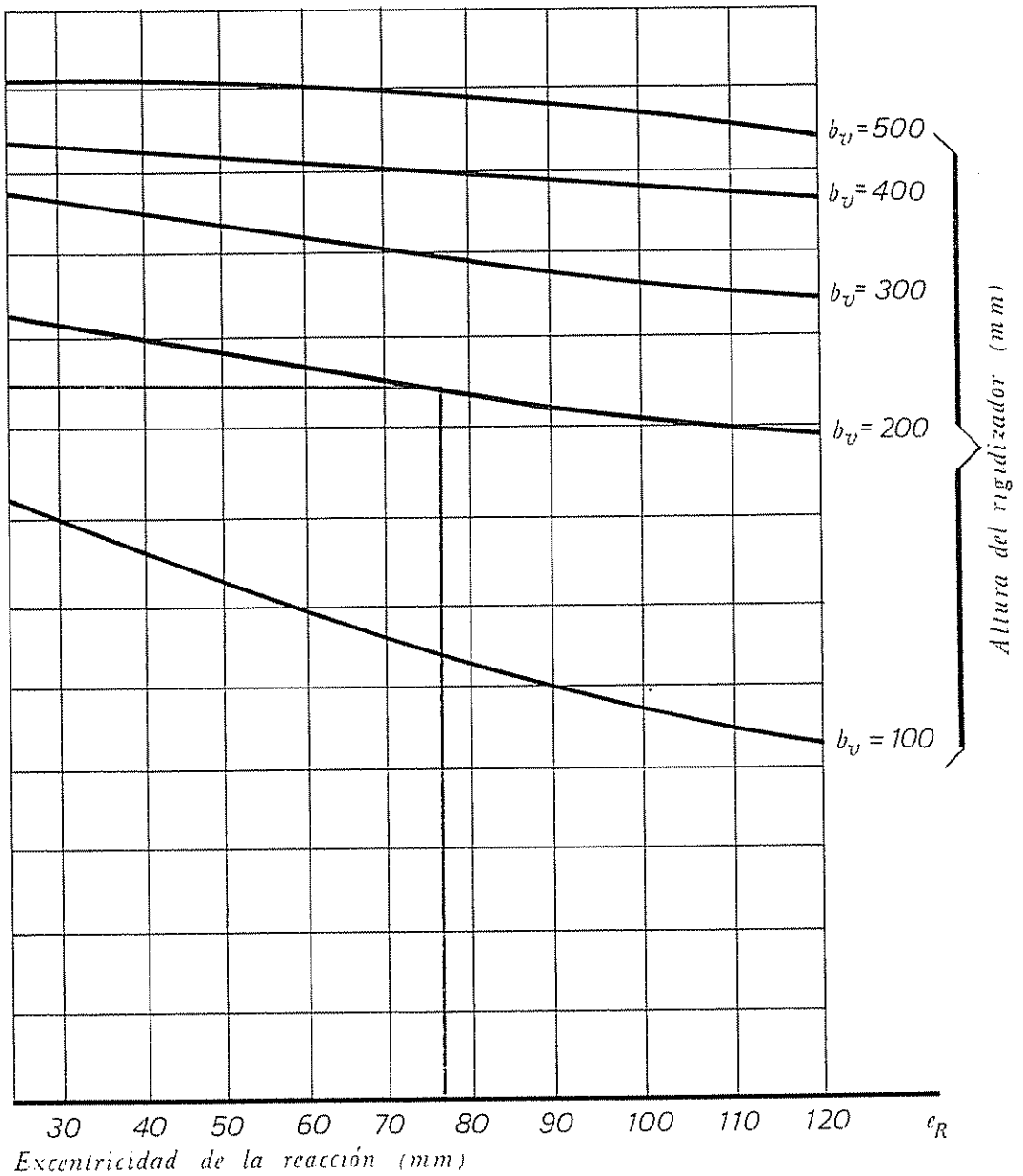


$$\frac{R^*}{a} = \frac{0{,}0578\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 7e_R^2}}$$

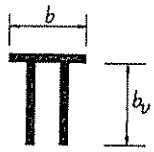
7.7 4-3c

Clase	Tipo	Asiento				Soldadura
		b_h	b_v	t	θ	a
F [1]	— CR [2] · 1,0 —	150	383	15	45	— 3

[1] Unión flexible.
[2] Casquillo de asiento rigidizado ($b = 1{,}0\ b_v$).



7.7 4-3c



R* en toneladas
b, b_v y e_R en milímetros **Acero A 42**

b	Relación entre la reacción sobre el apoyo y la garganta de la soldadura
$0,4\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0464\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 12,44\ e_R^2}}$
$0,5\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0482\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 11,60\ e_R^2}}$
$0,6\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0502\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 10,53\ e_R^2}}$
$0,7\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0520\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 9,37\ e_R^2}}$
$0,8\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0551\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 8,81\ e_R^2}}$
$0,9\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0559\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 7,90\ e_R^2}}$
$1,0\ b_v$	$\frac{R^*}{a} = \frac{0,0578\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 7\ e_R^2}}$

[7.74]

Módulo resistente

$$W_x = \frac{t\,x^3}{6} = \frac{t\,b_h^3\,sen^3\,\theta}{6}$$

$$e_F = \left(e_R - \frac{b_h}{2}\right) sen\,\theta$$

$$x = b_h\,sen\,\theta$$

$$M^* = F^* e_F$$

$$\sigma^* = \frac{F^*}{A} + \frac{M^*}{W_x}$$

sustituyendo A y W_x por sus valores y despejando t se obtiene finalmente

$$t = \frac{R^*\,(6\,e_R - 2\,b_h)}{\sigma^*\,(b_h^3\,sen^2\,\theta)}$$

que para cálculo en agotamiento puede ponerse en la forma:

$$t = \left[\frac{6\,e_R - 2\,b_h}{b_h^3}\right] \frac{R^*}{\sigma_u\,sen^2\,\theta}$$

Este valor de t puede obtenerse directamente de **7.7 4-1**, como se ve en el ejemplo.

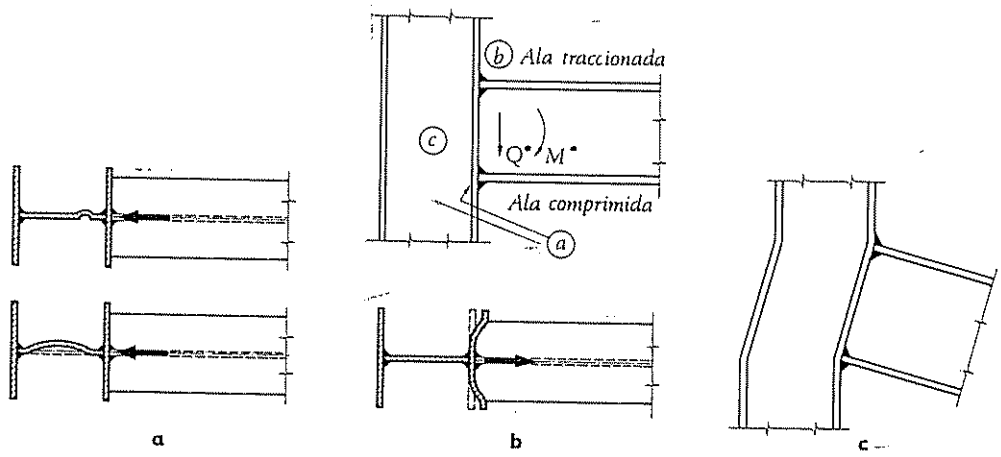
7.7 4 2. *El alma de la viga y el rigidizador están en un mismo plano.* [7.73b].

Para determinar la excentricidad de la sección usamos las mismas hipótesis que en 7.7 3 y puede, por tanto, utilizar las mismas fórmulas o bien **7.7 4-2.**

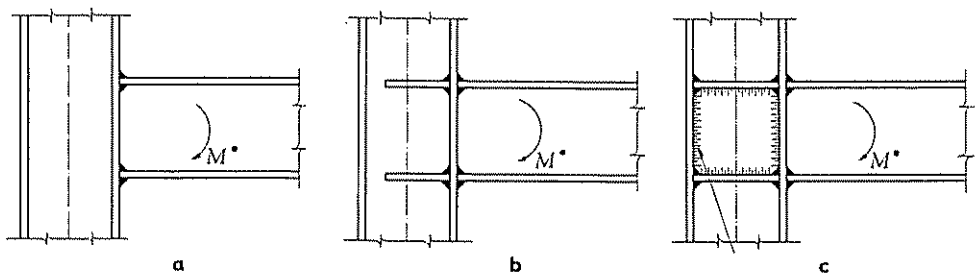
Sin embargo, no se emplea para el cálculo del espesor la fórmula de 7.7 4 1, sino que se recomienda [1] tomar para este espesor el mayor de los valores siguientes:

— 1,40 veces el espesor del alma de la viga.
— 1,45 veces la garganta de los cordones de soldadura determinados en 7.7 4 3.

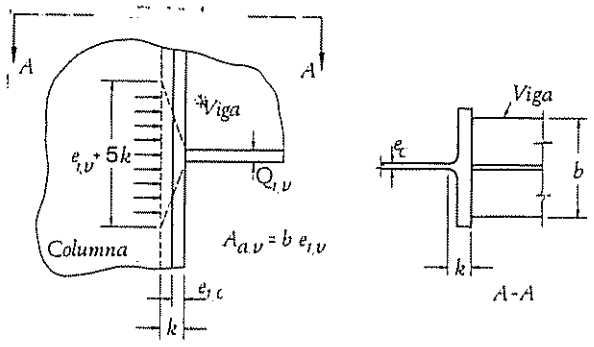
[1] Manual A. I. S. C.


b Ala traccionada
c
Q*
M*
Ala comprimida
a
a
b
c

[7.75]


M*
M*
M*
a
b
c

[7.76]


A
A
Viga
$e_{1,v}$ + 5k
$Q_{1,v}$
Columna
$A_{a,v} = b\ e_{1,v}$
$e_{1,c}$
k
Viga
e_c
b
k
A-A

[7.77]

7.7 4 3. *Determinación de la longitud y espesor de las soldaduras.*

Las dimensiones b_v y b_h del rigidizador se determinan: la primera por la longitud de soldadura necesaria y la segunda de manera que no sea menor de l_a

La anchura de la placa de apoyo es función de la anchura del ala de la viga sustentada, aunque se aconseja que esta anchura y, por tanto, la longitud de la soldadura horizontal no sea menor de $0{,}4\ b_v$.

Las fórmulas que relacionan la longitud de las soldaduras con la garganta de las mismas y el valor y función de la reacción y que permiten por tanto su dimensionamiento figuran en [7.74].

En el caso aconsejable en que la longitud de la soldadura horizontal sea $0{,}4\ b_v$, **7.7 4-3** permite calcular directamente el valor de b_v para un valor de garganta determinado.

7.7 5. Unión directa perimetral.

El procedimiento más elemental para constituir un nudo rígido en las uniones viga-columna es el de soldadura directa del perímetro de la viga al ala de la columna. Tres comprobaciones son necesarias [7.75]:

- Comprobación de abollamiento de la zona de alma contigua al ala comprimida de la viga [7.75a].
- Comprobación de la flexión del ala del pilar y fluencia del alma en la zona del ala traccionada de la viga [7.75b].
- Comprobación del alma del pilar en el rectángulo correspondiente a la unión (comprobación de cizallamiento) [7.75c].

Según sea necesaria o no la colocación de los rigidizadores o el refuerzo de alma se obtienen las tres variantes a, b, c [7.76].

7.7 5 1. *Comprobación del abollamiento de alma y de la flexión de las alas de la columna.*

Se reduce a comprobar [7.77] que el espesor $e_{1,c}$ del ala de la columna y el del alma de la misma e_c cumplen las siguientes condiciones [1]:

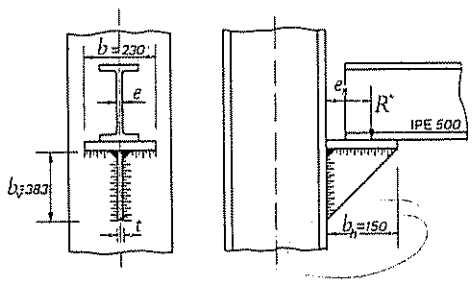
$$e_c \geq \frac{A_{a,v}}{e_{1,v} + 5\,k} \qquad e_{1,c} \geq 0{,}4\sqrt{A_{a,v}}$$

siendo:

$A_{a,v}$ el área del ala comprimida de la viga.

[1] ASCE, *Manual of Engineering Practice*, 1961. Ver también, The James F. Lincoln Arc Welding Foondation, *Design of Welded Structures*, 1972.

7.7 4. EJEMPLO DE APLICACION-1



Dimensionar un asiento rigidizado capaz de soportar un perfil IPE 500 que transmite una reacción mayorada de 35 t. El alma de la viga y el alma del asiento están en el mismo plano.

La excentricidad, e_R de la reacción, se puede determinar en el nomograma **7.7 4-2:**

R* = 35 t
e = 10 mm
K = 37 mm
b_h = 150 mm

$\Big\}$ e_R = 102 mm

el cordón de soldadura se obtiene por la aplicación de la fórmula correspondiente [7.74], al caso del ejemplo:

$b = 0{,}6\ b_v$

$$\frac{R^*}{a} = \frac{0{,}0502\ b_v^2}{\sqrt{b_v^2 + 10.53\ e_R^2}}$$

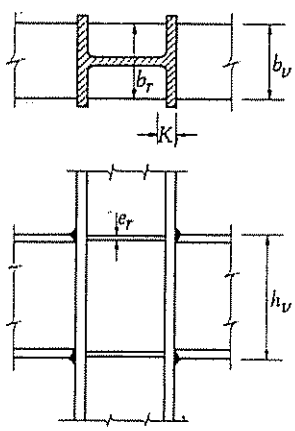
a = 2,45 mm **a = 3 mm**

el espesor del rigidizador, según **7.7 4-2,** será el mayor de los valores

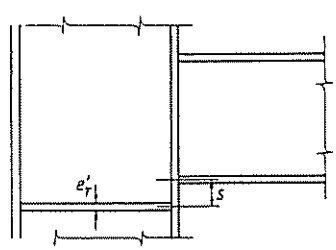
— 1,40 × e = 1,40 × 10,2 = 14,28 mm

— 1,45 × a = 1,45 × 3 = 4,35 mm

se adopta: t = 15 mm.



[7.78]



[7.79]

De no cumplirse estas condiciones es necesario la colocación de rigidizadores horizontales.

7.7.5.2. *Dimensionamiento de los rigidizadores horizontales.*

Si las condiciones requeridas anteriormente no se cumplen, puede evitarse la flexión de las alas de la columna y la fluencia o abollamiento local del ala del pilar colocando rigidizadores horizontales [7.78], cuya sección se dimensiona en función del exceso del esfuerzo resistido por el alma.

$$e_c\,(e_{1,v} + 5\,k)\,\sigma_u + A_r\,\sigma_u \geqslant A_{a,v}\,\sigma_u$$

resultando

$$A_r \geqslant A_{a,v} - e_c\,(e_{1,v} + 5\,k)$$

A_r Sección transversal total de los dos rigidizadores (uno a cada lado del alma).

Debe cumplirse, por pandeo del rigidizador:

$$\frac{b_r}{e_r} \leqslant 16$$

b_r Anchura total del par de rigidizadores.

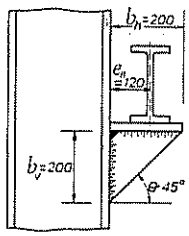
Estas dimensiones son las correspondientes al caso en que éstos se coloquen en línea con las alas de la viga. Si por razones constructivas esto no fuera posible, puede admitirse un desplazamiento s de hasta 5 cm [7.79]. En este caso el espesor del rigidizador e_r debe multiplicarse por 1,70 para obtener e'_r (espesor necesario cuando no existe alineación perfecta).

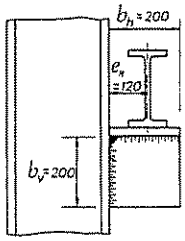
7.7.5.3. *Comprobación de cizallamiento del alma.*

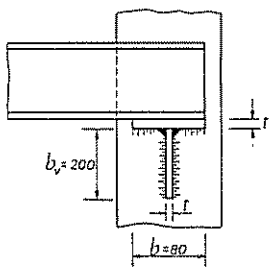
La comprobación de 7.7.5.1 determina la necesidad o no de colocación de rigidizadores horizontales debido al efecto local de compresión o tracción que ejercen las alas de la viga sobre la columna.

No obstante la colocación de estos rigidizadores, en el caso en que el pilar esté solicitado por momentos importantes no compensados, es preciso comprobar las tensiones cortantes en el alma del pilar en el rectángulo de la unión.

7.7 4. EJEMPLO DE APLICACION-2







Dimensionar un asiento rigidizado capaz de soportar un perfil IPE 360 que transmite una reacción mayorada de 30 t. Las almas de la viga y del asiento son perpendiculares.

El espesor del rigidizador es fijado por el nomograma **7.7 4-1.**

b_h = 200 mm
e_R = 120 mm
θ = 45°
R* = 30 t
} t = 19 mm

Si se quiere calcular el rigidizador rectangular, el valor de t será

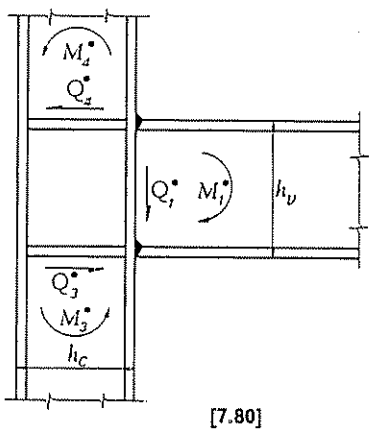
b_h = 200 mm
e_R = 120 mm
θ = 90°
R* = 30 t
} t = 9,5 mm; t = 10 mm

El cordón de soldadura es fácilmente calculable por el nomograma **7.7 4-3:**

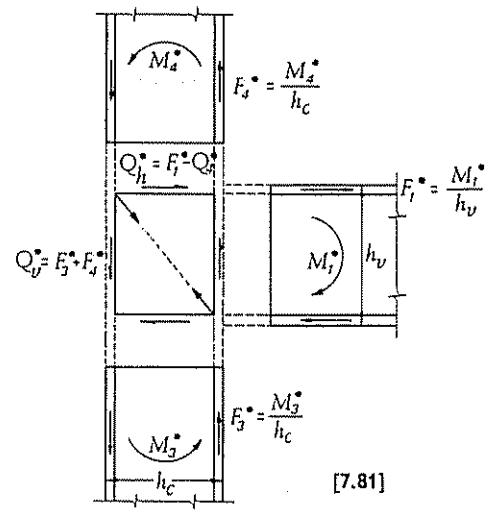
b_v = 200 mm
e_R = 120 mm
R* = 30 t
} a ≃ 7,4; **a = 8 mm**

como a > 0,7 t, el valor de b_v se debe aumentar:

b_v = 300 mm
e_R = 120 mm
R* = 30 t
} a = 3,6; **a = 4 mm**



[7.80]



[7.81]

En [7.80] se representan los esfuerzos que solicitan la unión y en [7.81] los que solicitan el rectángulo de alma que queremos comprobar.

La fuerza cortante unitaria aplicada al alma tiene por valor

$$t^* = \frac{Q^*_h}{h_c} = \frac{F^*_1 - Q^*_4}{h_c} = \frac{M^*_1}{h_v\, h_c} - \frac{Q^*_4}{h_c}$$

y la tensión cortante, por tanto, es:

$$\tau^* = \frac{t^*}{e_c} = \frac{1}{e_c}\left(\frac{M^*_1}{h_v\, h_c} - \frac{Q^*_4}{h_c}\right)$$

Si consideramos el agotamiento plástico

$$M^*_1 = M_p \qquad \tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}}$$

la ecuación que nos expresa el estado límite será:

$$\frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = \frac{1}{e_c}\left(\frac{M_p}{h_v\, h_c} - \frac{Q^*_4}{h_c}\right)$$

o bien

$$e_c = \frac{\sqrt{3}}{\sigma_u}\left(\frac{M_p}{h_v\, h_c} - \frac{Q^*_4}{h_c}\right)$$

Puede simplificarse esta fórmula, del lado de la seguridad, despreciando el esfuerzo cortante Q^*_4 en la columna superior. También para mayor comodidad puede ponerse en función del módulo resistente de la viga W_x y teniendo en cuenta que:

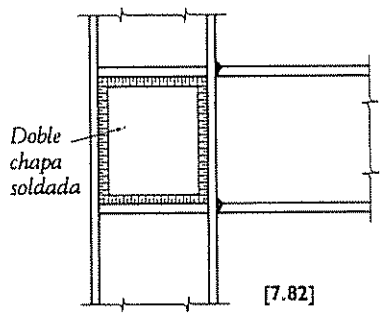
$$M_p = \sigma_u\, S$$
$$M_u = \sigma_u\, W_x$$

y en las secciones en doble T

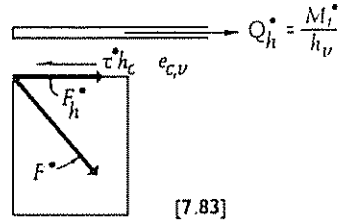
$$S = 1{,}12\, W_x$$

se llega a la fórmula final:

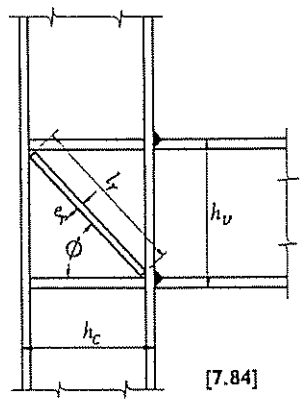
$$e_c \simeq \frac{1{,}94\, W_x}{h_v\, h_c}$$



[7.82]



[7.83]



[7.84]

Con este espesor de alma la unión se agota para el mismo momento que la viga. Si el momento M* que solicita la unión es una fracción α del agotamiento de la viga, puede reducirse e_c en la misma proporción.

7.7.5.4. *Refuerzo del alma por cizallamiento.*

Si el espesor del alma es igual o mayor que el valor calculado no es necesario ningún refuerzo. Si es menor es necesario reforzar el alma, pudiendo utilizarse uno de los procedimientos que a continuación se describen.

El primero consiste en un refuerzo directo del alma con otra chapa [7.82], de manera que se consiga que la suma de espesores de las dos chapas sea igual o mayor del mínimo anteriormente calculado.

Sin embargo, la solución más usual es la de refuerzo por medio de dos rigidizadores diagonales [7.83]. Se dimensionan para el exceso de la compresión absorbida por el alma.

La fuerza de compresión transmitida a la unión es [7.83]:

$$Q^*_h = F^*_1 = \frac{M^*_1}{h_v}$$

La parte resistida por el alma es:

$$\tau_u \, h_c \, e_{c,v} = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} \, h_c \, e_{c,v}$$

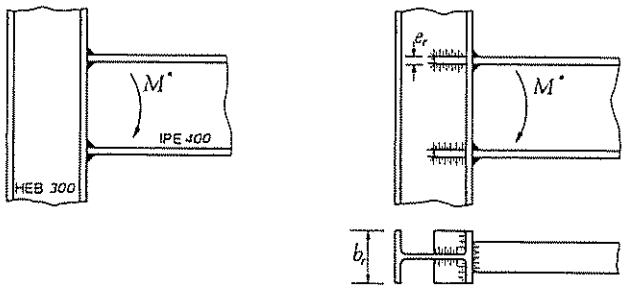
La parte que debe ser resistida por el rigidizador será:

$$F^*_h = \frac{M^*_1}{h_v} - \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} \, h_c \, e_{c,v}$$

que origina una compresión en el rigidizador:

$$F^* = \frac{F^*_h}{\cos\theta} = \frac{1}{\cos\theta}\left(\frac{M^*_1}{h_v} - \frac{e_{c,v} \, h_c \, \sigma_u}{\sqrt{3}}\right)$$

7.7 5. EJEMPLO DE APLICACION



Calcular la unión directa representada en la figura, siendo el momento en el extremo de la viga M = 1.800 cm · t.*

El momento de agotamiento de la viga es, según **7.7 5 5-a,**

$$M_u = 3.016 \text{ cm} \cdot \text{t}$$

y de la misma tabla el momento máximo capaz de soportar la unión es

$$M^*_{máx} = 0{,}551 \times 3\,016 = 1\,661 \text{ cm} \cdot \text{t}$$

como $M^* = 1\,800$ cm · t $> M^*_{máx} = 1.661$ cm · t, no es válido el tipo (a).

Para una unión tipo (b), con **7.7 5 5-b,** se deduce

$$M^*_{máx} = 0{,}697 \times 3.016 = 2.102 \text{ cm} \cdot \text{t}$$

unión válida por cumplirse

$$M^*_{máx} = 2\,102 \text{ cm} \cdot \text{t} > M^* = 1\,800 \text{ cm} \cdot \text{t}$$

La necesidad de rigidizadores lo confirman las fórmulas de **7.7 5 1,** así siendo

$A_{av} = 28{,}02$ cm², $e_c = 1{,}1$ cm, $e_{1v} = 1{,}35$ cm y $K = 4{,}6$ cm

$$e_c \geq \frac{A_{av}}{e_{1v} + 5k} = \frac{28{,}02}{1{,}35 + 5 \times 4{,}6} = 1{,}15, \quad e_c = 1{,}10 \not> 1{,}15$$

$$e_{1c} \geq 0{,}4 \sqrt{A_{av}} = 0{,}4 \sqrt{28{,}02} = 2{,}12, \quad e_{1c} = 1{,}90 \not> 2{,}12$$

El cálculo del rigidizador es, según **7.7 5 1**

$$A_r = A_{av} - e_c\,(e_{1v} + 5\,K)$$

$$A_r = 28{,}02 - 26{,}79 = 1{,}23 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones del rigidizador han de cumplir las condiciones

$$b_r\, e_r > 1{,}23 \text{ cm}^2 = 123 \text{ mm}^2$$

$$\frac{b_r}{e_r} = 16$$

Unas medidas prácticas pueden ser

$e_r = 10$ mm **$b_r = 160$ mm**

con lo que la sección necesaria para el rigidizador será:

$$A_r = \frac{1}{\cos\theta}\left(\frac{M^*_1}{\sigma_u\, h_v} - \frac{e_{c,v}\, h_c}{\sqrt{3}}\right) = \sqrt{h_v^2 + h_c^2}\left(\frac{M^*_1}{\sigma_u\, h_v\, h_c} - \frac{e_{c,v}}{\sqrt{3}}\right)$$

que también puede expresarse en la forma:

$$A_r = \frac{\sqrt{h_v^2 + h_c^2}}{\sqrt{3}}\,(e_c - e_{c,v}) = \frac{l_r\,(e_c - e_{c,v})}{\sqrt{3}}$$

expresión en la que:

- e_c Mínimo espesor de alma necesario, para no requerir refuerzo de alma (calculado anteriormente).
- $e_{c,v}$ Espesor real del alma de la unión.
- l_r Longitud del rigidizador diagonal.
- A_r Sección transversal necesaria (suma de las secciones de los dos rigidizadores diagonales).

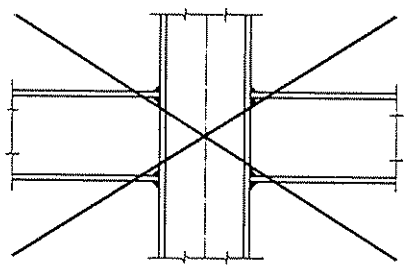
7.7 5 5. *Nudo constituido por dos perfiles laminados. Tablas.*

En todos los apartados anteriores se ha supuesto que el momento que debe resistir la unión es el de agotamiento del perfil M_u. Sin embargo, en muchos casos, el momento que solicita la unión es solo una fracción de M_u y la unión que para resistir M_u precisaría la colocación de rigidizadores y hasta el refuerzo de alma, para un momento $\alpha\, M_u$ ($\alpha < 1$), puede estar constituido por alguna de las disposiciones [7.76a] o [7.76b], que son lógicamente más económicas de fabricación. Por ello, es interesante determinar el coeficiente

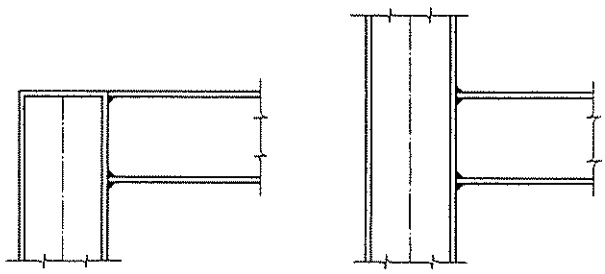
$$\alpha^* = \frac{\text{Momento de agotamiento de la unión}}{\text{Momento de agotamiento de la viga}}$$

Este coeficiente es variable según las características geométricas, tanto del pilar como de la viga que formen la unión, y se calcula teniendo en cuenta los momentos que agotan la unión para cada uno de los tres criterios citados en 7.7 5, y tomando el menor de ellos. El momento de agotamiento de la viga se considera el producto del módulo resistente de la misma por la resistencia σ_u del acero correspondiente.

Debe hacerse notar que la unión es *rígida* y que el coeficiente α no mide el grado de rigidez de la unión, sino que tiene el carácter de un coeficiente de disminución del momento de empotramiento perfecto que es capaz de soportar la unión.



[7.85]



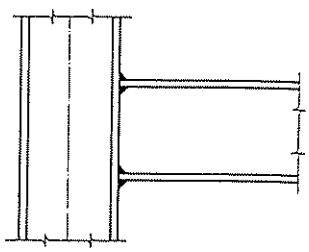
[7.86]

En **7.7 5 5a** y **7.7 5 5b** se recogen los valores del coeficiente α para distintas combinaciones de perfiles de columna y viga, en cada uno de los dos tipos de ejecución [7.76a] y [7.76b]. Como se deduce de ellas el valor de α es mayor para el tipo de ejecución **b** que para el **a**. La economía de ejecución sigue obviamente un orden inverso. Las tablas **7.7 5 5a** y **7.7 5 5b** permiten, por tanto, al proyectista escoger la solución más económica dentro de las exigencias técnicas.

El tipo de unión **a** y sus correspondientes valores de α de la tabla **7.7 5 5a** son válidos para uniones unilaterales, no siendo aconsejable este tipo de unión para las uniones bilaterales [7.85]. Son utilizables cuando la tensión de compresión, σ^*_c en el pilar, no sea superior al 75 % de la tensión de agotamiento, $\sigma^*_c < 0{,}75\ \sigma_u$.

La ejecución de uniones tipo **a** supone que la fuerza transmitida por el ala superior de la viga puede repartirse en el alma de la columna hacia arriba y hacia abajo de su punto de actuación. Cuando no se cumple esta condición es necesaria la colocación de una chapa superior [7.86].

Para el cálculo de una unión tipo **c**, debe tenerse en cuenta **7.7 5 5** que se reproducen a continuación.



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α[1] $M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar IPE	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t
80	0,548	—	—	—	—	—	—	—	—
100	0,669	0,543	—	—	—	—	—	—	—
120	0,710	0,595	0,511	—	—	—	—	—	—
140	0,735	0,616	0,544	0,477	—	—	—	—	—
160	0,818	0,690	0,612	0,551	0,480	—	—	—	—
180	0,840	0,710	0,630	0,567	0,506	0,455	—	—	—
200	0,893	0,799	0,714	0,646	0,579	0,532	0,471	—	—
220	0,893	0,818	0,731	0,662	0,593	0,545	0,495	0,445	—
240	0,893	0,864	0,815	0,742	0,668	0,616	0,562	0,525	0,458
270	0,893	0,864	0,823	0,749	0,674	0,622	0,567	0,529	0,485
300	0,893	0,864	0,842	0,767	0,690	0,637	0,581	0,542	0,497
330	0,893	0,864	0,865	0,841	0,759	0,703	0,643	0,602	0,553
360	0,893	0,864	0,865	0,865	0,782	0,725	0,663	0,621	0,571
400	0,893	0,864	0,865	0,867	0,847	0,788	0,722	0,679	0,625
450	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,812	0,745	0,700	0,645
500	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,842	0,773	0,727	0,670
550	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,830	0,782	0,723
600	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,814	0,753

7.7 5 5 a. 1

[1] Estas tablas han sido tomadas del documento *Konstruktive Richtlinien im Stahlhochbau*, Schweizerischen Zentralstelle für Stahlbau. Zurich, y adaptadas al cálculo con solicitaciones ponderadas

Ejemplo de notación:

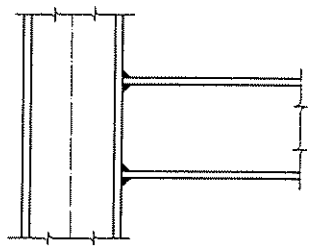
Clase	Tipo	Soldadura	Regidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1]	— P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar IPE
15 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	80
—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
0,433	—	—	—	—	—	—	—	—	270
0,450	0,410	—	—	—	—	—	—	—	300
0,502	0,459	0,428	—	—	—	—	—	—	330
0,518	0,474	0,443	0,419	—	—	—	—	—	360
0,569	0,521	0,488	0,468	0,436	—	—	—	—	400
0,587	0,538	0,503	0,483	0,451	0,427	—	—	—	450
0,611	0,560	0,524	0,503	0,470	0,445	0,425	—	—	500
0,660	0,607	0,568	0,546	0,510	0,484	0,462	0,435	—	550
0,688	0,633	0,593	0,570	0,533	0,506	0,483	0,455	0,439	600

7.7 5 5 a. 1



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240	I
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t	1
100	0,893	0,841	0,753	0,628	0,512	0,427	0,360	—	—	
120	0,893	0,864	0,783	0,711	0,638	0,561	0,472	0,400	0,340	
140	0,893	0,864	0,813	0,738	0,663	0,611	0,557	0,506	0,429	
160	0,893	0,864	0,865	0,826	0,744	0,688	0,628	0,588	0,540	
180	0,893	0,864	0,865	0,851	0,767	0,710	0,649	0,607	0,558	
200	0,893	0,864	0,865	0,867	0,833	0,774	0,708	0,665	0,612	
220	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,794	0,727	0,683	0,629	
240	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,852	0,782	0,736	0,679	
260	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,822	0,775	0,717	
280	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,834	0,786	0,727	
300	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,833	0,772	
320	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,792	
340	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,806	
360	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,820	
400	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835	
450	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835	
500	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835	
550	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835	
600	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835	

7.7 5 5 a. 2

Ejemplo de notación:

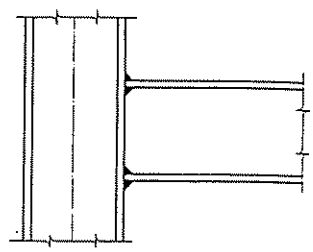
Clase	Tipo	Soldadura	Rigidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1]	— P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar HEB
15 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0.556	0.509	0.476	0.432	0.376	0.326	0.282	—	—	200
0,572	0.524	0.490	0.470	0.422	0,366	0.317	0.276	0,240	220
0,619	0.569	0.532	0.511	0.477	0.426	0,369	0.321	0,278	240
0,655	0.602	0.564	0.543	0.507	0.465	0.402	0.350	0.304	260
0,664	0,611	0.573	0.551	0,515	0,488	0.437	0,380	0,330	280
0,707	0.652	0.612	0.589	0,551	0,523	0.497	0.432	0,375	300
0,726	0,669	0.628	0.605	0.566	0.537	0.514	0.472	0,409	320
0.739	0.682	0.640	0,617	0.577	0.548	0.525	0,495	0.441	340
0,753	0,695	0.652	0,629	0.588	0.559	0.535	0,504	0,473	360
0.775	0.716	0.672	0.648	0.606	0.576	0.552	0.520	0.503	400
0,797	0.737	0,692	0.667	0,625	0.594	0,569	0.537	0.519	450
0.818	0.757	0.711	0.686	0.643	0.611	0.586	0.553	0.534	500
0.831	0.769	0.723	0,697	0.654	0,622	0.595	0,562	0.543	550
0,834	0,781	0.734	0,708	0.664	0,632	0.605	0,571	0.553	600

7.7.5.a.2



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	HEB 120	HEB 140	HEB 160	HEB 180	HEB 200	HEB 220	HEB 240	HEB 260	HEB 280
	3,74 m · t	5,62 m · t	8,09 m · t	11,08 m · t	14,82 m · t	19,14 m · t	24,39 m · t	29,90 m · t	35,88 m · t
120	0,362	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,458	0,359	—	—	—	—	—	—	—
160	0,601	0,471	0,375	—	—	—	—	—	—
180	0,667	0,560	0,446	0,369	—	—	—	—	—
200	0,732	0,645	0,531	0,439	0,366	—	—	—	—
220	0,752	0,664	0,585	0,492	0,410	0,350	—	—	—
240	0,813	0,719	0,636	0,572	0,477	0,407	0,349	—	—
260	0,857	0,761	0,674	0,614	0,520	0,444	0,381	0,339	—
280	0,870	0,772	0,684	0,623	0,565	0,483	0,414	0,368	0,332
300	0,924	0,823	0,731	0,666	0,606	0,549	0,471	0,418	0,377
320	0,947	0,844	0,750	0,685	0,624	0,578	0,514	0,457	0,412
340	0,964	0,860	0,765	0,698	0,636	0,589	0,544	0,492	0,443
360	0,982	0,876	0,779	0,712	0,649	0,601	0,555	0,515	0,476
400	0,999	0,903	0,803	0,734	0,669	0,620	0,573	0,531	0,498
450	0,999	0,928	0,827	0,756	0,690	0,640	0,592	0,549	0,514
500	0,999	0,953	0,850	0,778	0,710	0,659	0,610	0,566	0,531
550	0,999	0,968	0,864	0,791	0,722	0,671	0,620	0,576	0,540
600	0,999	0,983	0,877	0,804	0,734	0,682	0,631	0,586	0,549

7.7 5 5 a. 3

Ejemplo de notación:

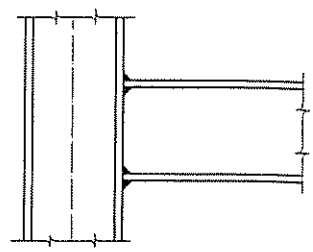
Clase	Tipo	Soldadura	Rigidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5 —	180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

HEB 300	HEB 320	HEB 340	HEB 360	HEB 400	HEB 450	HEB 500	HEB 550	HEB 600	Viga / Pilar HEB
68 m · t	50,18 m · t	56,16 m · t	62,40 m · t	74,88 m · t	92,30 m · t	111,54 m · t	129,22 m · t	148,20 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,332	0,308	0,293	0,279	0,259	0,237	0,219	0.209	0.199	300
0,362	0,336	0,320	0.305	0,283	0.259	0,239	0.228	0.217	320
0,390	0.362	0,344	0.328	0,304	0.279	0.257	0,245	0,234	340
0,419	0.389	0,369	0.352	0,326	0,299	0,276	0,263	0,251	360
0.467	0,440	0,418	0.398	0,369	0,339	0.312	0,298	0.284	400
0,482	0,483	0,463	0,441	0,409	0,375	0,346	0,329	0.314	450
0,498	0,499	0,497	0.485	0,450	0.412	0.380	0.362	0,346	500
0,507	0.507	0.506	0.504	0,484	0,443	0,409	0.390	0,372	550
0,515	0,516	0,514	0,513	0,507	0,475	0,438	0,417	0,398	600

7.7 5 5 a. 3



Nudo constituido por dos perfiles laminados

Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)

Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	HEA 120	HEA 140	HEA 160	HEA 180	HEA 200	HEA 220	HEA 240	HEA 260	HEA 280
	2,76 m · t	4,03 m · t	5,72 m · t	7,64 m · t	10,11 m · t	13,39 m · t	17,55 m · t	21,74 m · t	26,26 m · t
120	0,477	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,545	0,476	—	—	—	—	—	—	—
160	0,618	0,542	0,474	—	—	—	—	—	—
180	0,639	0,560	0,491	0,445	—	—	—	—	—
200	0,701	0,617	0,542	0,493	0,443	—	—	—	—
220	0,721	0,635	0,557	0,507	0,456	0,424	—	—	—
240	0,779	0,688	0,606	0,553	0,498	0,463	0,427	—	—
260	0,821	0,728	0,643	0,587	0,530	0,493	0,456	0,422	—
280	0,833	0,739	0,652	0,596	0,538	0,501	0,463	0,428	0,402
300	0,885	0,787	0,696	0,638	0,577	0,538	0,497	0,461	0,433
320	0,907	0,807	0,715	0,656	0,593	0,553	0,512	0,474	0,446
340	0,924	0,823	0,729	0,669	0,605	0,564	0,522	0,484	0,455
360	0,940	0,838	0,743	0,681	0,617	0,576	0,533	0,494	0,464
400	0,957	0,863	0,766	0,703	0,636	0,594	0,550	0,510	0,479
450	0,957	0,887	0,788	0,724	0,656	0,613	0,568	0,526	0,495
500	0,957	0,911	0,810	0,745	0,675	0,631	0,585	0,543	0,511
550	0,957	0,925	0,823	0,757	0,687	0,642	0,595	0,552	0,520
600	0,957	0,940	0,836	0,769	0,698	0,653	0,605	0,562	0,529

7.7.5.a. 4

Ejemplo de notación:

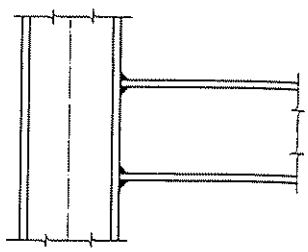
Clase	Tipo	Soldadura a	Rigidizador[3] b_r	e_r
R[1]	— P[2]	— 5	— 180	— 8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

HEA 300	HEA 320	HEA 340	HEA 360	HEA 400	HEA 450	HEA 500	HEA 550	HEA 600	Viga / Pilar HEB
2,76 m · t	38,48 m · t	43,68 m · t	49,14 m · t	60,06 m · t	75,40 m · t	92,30 m · t	107,90 m · t	124,54 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,406	0.394	0.370	0,348	0,318	0.287	0,261	0.247	0,234	300
0,418	0.420	0,404	0,380	0.347	0,313	0,285	0.270	0.256	320
0.427	0.429	0.429	0,409	0.374	0,337	0,307	0,290	0.275	340
0,436	0,438	0.438	0.437	0,401	0,362	0,329	0,312	0,296	360
0,450	0,453	0.452	0,451	0,447	0.410	0.373	0.353	0.335	400
0,465	0,468	0,467	0.466	0.462	0,453	0.413	0,391	0,370	450
0.480	0.483	0.482	0.481	0,477	0.475	0.454	0.430	0,408	500
0,489	0.491	0,491	0,490	0,486	0,484	0.482	0.462	0.438	550
0,497	0,500	0,499	0,498	0,494	0,492	0,490	0,484	0,469	600

7.7 5 5 a. 4



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t
120	0,893	0,774	0,691	0,616	0,503	0,420	0,353	0,299	0,254
140	0,893	0,797	0,712	0,645	0,577	0,511	0,430	0,365	0,310
160	0,893	0,864	0,792	0,721	0,648	0,597	0,541	0,459	0,390
180	0,893	0,864	0,802	0,730	0,656	0,605	0,552	0,491	0,416
200	0,893	0,864	0,865	0,799	0,721	0,667	0,609	0,570	0,508
220	0,893	0,864	0,865	0,824	0,744	0,689	0,630	0,590	0,542
240	0,893	0,864	0,865	0,867	0,810	0,752	0,689	0,647	0,596
260	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,798	0,733	0,690	0,637
280	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,811	0,745	0,701	0,647
300	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,797	0,752	0,696
320	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,820	0,774	0,716
340	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,837	0,790	0,732
360	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,807	0,747
400	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,833	0,772
450	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,796
500	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,820
550	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,834
600	0,893	0,864	0,865	0,867	0,852	0,854	0,839	0,847	0,835

7.7 5 5 a. 5

Ejemplo de notación:

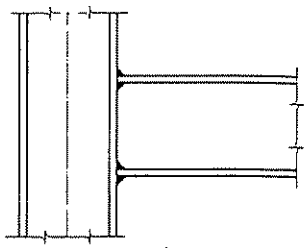
Clase	Tipo	Soldadura	Regidizador[3]	
		a	b_r	e_r
R[1] —	P[2] —	5 —	180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar HEA
11,5 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
0,433	0.371	0.320	0,275	0,239	0,208	0,180	—	—	220
0.496	0.425	0.366	0,315	0.274	0,238	0.206	0.180	0.156	240
0.542	0.512	0,440	0,379	0,330	0.287	0,248	0,216	0.188	260
0.580	0,533	0.487	0,419	0,365	0,317	0,274	0,239	0.207	280
0,590	0.542	0,507	0.452	0,402	0.350	0,302	0,263	0,228	300
0,636	0.585	0,548	0,527	0,469	0,408	0,353	0.307	0,266	320
0,655	0.603	0,566	0,544	0,509	0.452	0,391	0,340	0.295	340
0,670	0,617	0,578	0,556	0,520	0,493	0,426	0,371	0.322	360
0,684	0,630	0,591	0,569	0.532	0.505	0,463	0,403	0,349	400
0,707	0.652	0.612	0,589	0.551	0,523	0.500	0.465	0,404	450
0,730	0.674	0.632	0,609	0,570	0.541	0.518	0,488	0.452	500
0.752	0.695	0.653	0.629	0.589	0.559	0.535	0,505	0.488	550
0.766	0.708	0.665	0.641	0,600	0,570	0.546	0.515	0,497	600
0,779	0,720	0.676	0,652	0,611	0.580	0.556	0,524	0.507	

7.7 5 5 a. 5



Nudo constituido por dos perfiles laminados

Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)

Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	HEB 120	HEB 140	HEB 160	HEB 180	HEB 200	HEB 220	HEB 240	HEB 260	HEB 280
	3,74 m · t	5,62 m · t	8,09 m · t	11,08 m · t	14,82 m · t	19,14 m · t	24,39 m · t	29,90 m · t	35,88 m · t
120	0,271	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,331	0,260	—	—	—	—	—	—	—
160	0,416	0,327	0,260	—	—	—	—	—	—
180	0,444	0,349	0,277	0,229	—	—	—	—	—
200	0,542	0,425	0,338	0,280	0,233	—	—	—	—
220	0,620	0,487	0,387	0,320	0,267	0,228	—	—	—
240	0,713	0,586	0,466	0,385	0,321	0,274	0,235	—	—
260	0,762	0,648	0,515	0,426	0,355	0,303	0,260	0,231	—
280	0,775	0,686	0,568	0,469	0,391	0,334	0,286	0,255	0,229
300	0,832	0,739	0,655	0,547	0,456	0,389	0,334	0,297	0,268
320	0,857	0,762	0,676	0,607	0,505	0,432	0,370	0,329	0,297
340	0,876	0,779	0,691	0,630	0,551	0,471	0,404	0,359	0,323
360	0,894	0,796	0,706	0,643	0,585	0,512	0,438	0,390	0,351
400	0,924	0,823	0,731	0,666	0,606	0,562	0,506	0,450	0,406
450	0,953	0,850	0,755	0,690	0,628	0,582	0,537	0,498	0,455
500	0,981	0,876	0,780	0,712	0,649	0,602	0,556	0,516	0,483
550	0,998	0,892	0,794	0,726	0,662	0,614	0,567	0,526	0,493
600	0,999	0,907	0,808	0,739	0,674	0,625	0,578	0,536	0,502

7.7 5 5 a. 6

Ejemplo de notación:

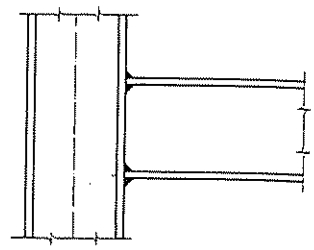
Clase	Tipo	Soldadura a	Regidizador [3] b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

HEB 300	HEB 320	HEB 340	HEB 360	HEB 400	HEB 450	HEB 500	HEB 550	HEB 600	Viga / Pilar HEA
168 m · t	150,18 m · t	156,16 m · t	162,40 m · t	174,88 m · t	192,30 m · t	111,54 m · t	129,22 m · t	148,20 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,235	0,219	0,208	0,198	0,184	0,168	0,156	0,148	0,141	300
0,261	0,242	0,230	0,220	0,204	0,187	0,172	0,164	0,157	320
0,285	0,264	0,251	0,239	0,222	0,204	0,188	0,179	0,171	340
0,309	0,287	0,273	0,260	0,241	0,221	0,204	0,194	0,185	360
0,357	0,332	0,315	0,300	0,278	0,255	0,236	0,224	0,214	400
0,400	0,372	0,353	0,336	0,312	0,286	0,264	0,251	0,240	450
0,445	0,414	0,393	0,375	0,347	0,318	0,294	0,280	0,267	500
0,462	0,449	0,426	0,406	0,377	0,345	0,318	0,303	0,289	550
0,471	0,472	0,460	0,438	0,407	0,373	0,344	0,327	0,312	600

7.7 5 5 a. 6



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	HEA 120	HEA 140	HEA 160	HEA 180	HEA 200	HEA 220	HEA 240	HEA 260	HEA 280
	2,76 m · t	4,03 m · t	5,72 m · t	7,64 m · t	10,11 m · t	13,39 m · t	17,55 m · t	21,74 m · t	26,26 m · t
120	0,357	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,434	0,349	—	—	—	—	—	—	—
160	0,533	0,440	0,356	—	—	—	—	—	—
180	0,541	0,469	0,381	0,322	—	—	—	—	—
200	0,600	0,526	0,461	0,393	0,331	—	—	—	—
220	0,621	0,545	0,477	0,434	0,379	0,316	—	—	—
240	0,683	0,602	0,528	0,481	0,433	0,381	0,319	—	—
260	0,730	0,645	0,568	0,518	0,466	0,421	0,352	0,310	—
280	0,742	0,656	0,577	0,527	0,475	0,441	0,388	0,341	0,305
300	0,797	0,707	0,624	0,571	0,515	0,480	0,443	0,398	0,356
320	0,821	0,729	0,644	0,589	0,532	0,496	0,458	0,424	0,395
340	0,839	0,745	0,658	0,603	0,544	0,507	0,469	0,434	0,408
360	0,856	0,761	0,673	0,616	0,557	0,519	0,480	0,444	0,417
400	0,885	0,787	0,696	0,638	0,577	0,538	0,497	0,461	0,433
450	0,913	0,813	0,720	0,660	0,597	0,557	0,515	0,478	0,449
500	0,940	0,838	0,743	0,682	0,617	0,576	0,534	0,495	0,465
550	0,956	0,853	0,757	0,695	0,629	0,587	0,544	0,504	0,474
600	0,957	0,868	0,770	0,707	0,641	0,599	0,554	0,514	0,484

7.7 5 5 a. 7

Ejemplo de notación:

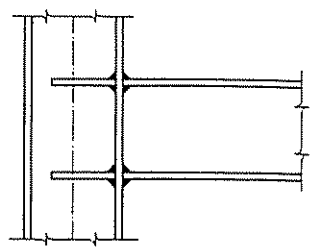
Clase	Tipo	Soldadura	Rigidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

EA 300	HEA 320	HEA 340	HEA 360	HEA 400	HEA 450	HEA 500	HEA 550	HEA 600	Viga / Pilar HEA
76 m · t	38,48 m · t	43,68 m · t	49,14 m · t	60,06 m · t	75,40 m · t	92,30 m · t	107,90 m · t	124,54 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,308	0,280	0,262	0,247	0,226	0,204	0,185	0,175	0,166	300
0,341	0,310	0,291	0,274	0,250	0,226	0,205	0,194	0,184	320
0,372	0,338	0,317	0,299	0,273	0,246	0,224	0,212	0,201	340
0,391	0,367	0,344	0,324	0,296	0,267	0,243	0,230	0,218	360
0,406	0,408	0,398	0,375	0,342	0,309	0,281	0,266	0,252	400
0,421	0,424	0,423	0,420	0,384	0,346	0,315	0,298	0,283	450
0,437	0,439	0,439	0,438	0,427	0,385	0,350	0,332	0,315	500
0,445	0,448	0,447	0,447	0,443	0,417	0,380	0,360	0,341	550
0,454	0,457	0,456	0,455	0,451	0,450	0,410	0,388	0,368	600

7.7 5 5 a. 7



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar rigidizado, unión tipo (b)
Valores del coeficiente α $\quad M_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar IPE	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t
80	0,717	—	—	—	—	—	—	—	—
100	0,975	0,720	—	—	—	—	—	—	—
120	1,000	0,931	0,724	—	—	—	—	—	—
140	1,000	1,000	0,906	0,727	—	—	—	—	—
160	1,000	1,000	1,000	0,887	0,724	—	—	—	—
180	1,000	1,000	1,000	1,000	0,864	0,722	—	—	—
200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,849	0,715	—	—
220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,829	0,703	—
240	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,951	0,806	0,684
270	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969	0,822
300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985
330	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
360	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
400	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
450	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
600	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

7.7 5 5 b. 1

Ejemplo de notación:

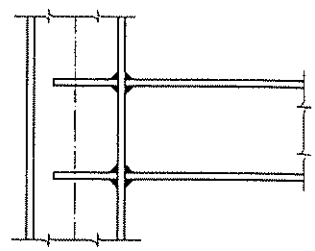
Clase	Tipo	Soldadura	Regidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5 —	180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar IPE
15 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	80
—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
0,701	—	—	—	—	—	—	—	—	270
0,840	0,720	—	—	—	—	—	—	—	300
0,977	0.837	0.720	—	—	—	—	—	—	330
1,000	0,973	0,837	0,721	—	—	—	—	—	360
1,000	1,000	1,000	0,862	0,750	—	—	—	—	400
1,000	1.000	1.000	1,000	0,923	0,802	—	—	—	450
1,000	1,000	1.000	1,000	1,000	0.968	0.837	—	—	500
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0.871	—	550
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1.000	1,000	0.891	600

7.7 5 5 b. 1



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar rigidizado, unión tipo (b)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t
100	1,000	1,000	0,782	0,628	0,512	0,427	0,360	—	—
120	1,000	1,000	1,000	0,824	0,672	0,561	0,472	0,400	0,340
140	1,000	1,000	1,000	1,000	0,850	0,709	0,597	0,506	0,429
160	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,931	0,784	0,664	0,564
180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,940	0,797	0,676
200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,941	0,798
220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,929
240	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
260	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
280	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
320	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
340	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
360	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
400	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
450	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
600	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

7.7 5 5 b. 2

Ejemplo de notación:

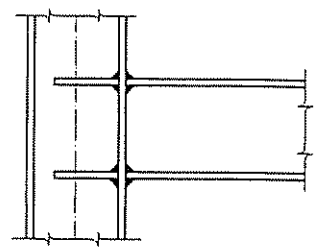
Clase	Tipo	Soldadura	Rigidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar HEB
15 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
0,681	0,583	0,502	0,432	0,376	0,326	0,282	—	—	200
0,792	0,679	0,584	0,503	0,437	0,380	0,328	0,286	0,248	220
0,912	0,781	0,672	0,578	0,503	0,437	0,378	0,329	0,285	240
0,992	0,850	0,731	0,629	0,547	0,475	0,411	0,357	0,310	260
1,000	0,964	0,829	0,713	0,621	0,539	0,466	0,405	0,352	280
1,000	1,000	0,932	0,802	0,697	0,606	0,524	0,455	0,395	300
1,000	1,000	1,000	0,893	0,777	0,675	0,584	0,508	0,440	320
1,000	1,000	1,000	0,991	0,862	0,749	0,648	0,563	0,488	340
1,000	1,000	1,000	1,000	0,952	0,827	0,715	0,622	0,539	360
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,860	0,748	0,649	400
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,875	0,758	450
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,874	500
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	550
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	600

7.7 5 5 b. 2



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar rigidizado, unión tipo (b)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	HEB 120	HEB 140	HEB 160	HEB 180	HEB 200	HEB 220	HEB 240	HEB 260	HEB 280
	3,74 m · t	5,62 m · t	8,09 m · t	11,08 m · t	14,82 m · t	19,14 m · t	24,39 m · t	29,90 m · t	35,88 m · t
120	0,362	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,458	0,359	—	—	—	—	—	—	—
160	0,601	0,471	0,375	—	—	—	—	—	—
180	0,710	0,566	0,449	0,371	—	—	—	—	—
200	0,752	0,667	0,530	0,438	0,365	—	—	—	—
220	0,794	0,731	0,617	0,510	0,425	0,363	—	—	—
240	0,835	0,770	0,702	0,587	0,489	0,417	0,358	—	—
260	0,835	0,770	0,702	0,638	0,532	0,454	0,389	0,346	—
280	0,877	0,808	0,737	0,688	0,603	0,515	0,441	0,392	0,353
300	0,919	0,846	0,773	0,721	0,669	0,579	0,496	0,441	0,397
320	0,961	0,885	0,808	0,754	0,700	0,645	0,553	0,491	0,443
340	1,000	0,923	0,843	0,787	0,730	0,687	0,613	0,545	0,491
360	1,000	0,962	0,878	0,819	0,760	0,716	0,671	0,602	0,542
400	1,000	1,000	0,948	0,885	0,821	0,773	0,724	0,700	0,652
450	1,000	1,000	0,983	0,918	0,852	0,802	0,751	0,726	0,707
500	1,000	1,000	1,000	0,950	0,882	0,831	0,778	0,752	0,732
550	1,000	1,000	1,000	0,983	0,913	0,859	0,805	0,778	0,757
600	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,888	0,832	0,804	0,783

7.7 5 5 b. 3

Ejemplo de notación:

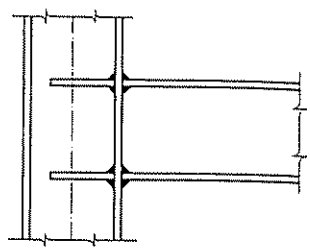
Clase	Tipo	Soldadura	Rigidizador[3]	
		a	b_r	e_r
R[1] —	P[2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

HEB 300	HEB 320	HEB 340	HEB 360	HEB 400	HEB 450	HEB 500	HEB 550	HEB 600	Viga / Pilar HEB
68 m · t	50,18 m · t	56,16 m · t	62,40 m · t	74,88 m · t	92,30 m · t	111,54 m · t	129,22 m · t	148,20 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,349	0,324	0,308	0,293	0,272	0,249	0,230	0,219	0,209	300
0,389	0,361	0,343	0,327	0,303	0,278	0,256	0,244	0,232	320
0,432	0,401	0,381	0,363	0,336	0,308	0,284	0,270	0,258	340
0,477	0,443	0,421	0,401	0,371	0,340	0,314	0,298	0,285	360
0,574	0,533	0,506	0,482	0,447	0,409	0,377	0,359	0,343	400
0,667	0,623	0,592	0,564	0,522	0,478	0,441	0,420	0,401	450
0,691	0,684	0,682	0,650	0,602	0,552	0,509	0,484	0,462	500
0,715	0,707	0,714	0,721	0,688	0,630	0,581	0,553	0,527	550
0,738	0,731	0,738	0,745	0,769	0,712	0,657	0,625	0,596	600

7.7 5 5 b. 3



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar rigidizado, unión tipo (b)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEB	HEA 120	HEA 140	HEA 160	HEA 180	HEA 200	HEA 220	HEA 240	HEA 260	HEA 280
	2,76 m · t	4,03 m · t	5,72 m · t	7,64 m · t	10,11 m · t	13,39 m · t	17,55 m · t	21,74 m · t	26,26 m · t
120	0,477	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,603	0,485	—	—	—	—	—	—	—
160	0,791	0,636	0,516	—	—	—	—	—	—
180	0,910	0,763	0,619	0,524	—	—	—	—	—
200	0,963	0,901	0,730	0,618	0,521	—	—	—	—
220	1,000	0,960	0,850	0,720	0,606	0,505	—	—	—
240	1,000	1,000	0,941	0,828	0,697	0,581	0,486	—	—
260	1,000	1,000	0,941	0,900	0,758	0,632	0,529	0,465	—
280	1,000	1,000	0,988	0,945	0,860	0,717	0,600	0,527	0,471
300	1,000	1,000	1,000	0,990	0,929	0,806	0,674	0,592	0,530
320	1,000	1,000	1,000	1,000	0,971	0,895	0,751	0,660	0,590
340	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,934	0,833	0,732	0,655
360	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,973	0,891	0,808	0,723
400	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,921	0,870
450	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,955	0,925
500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,990	0,958
550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,991
600	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

7.7 5 5 b. 4

Ejemplo de notación:

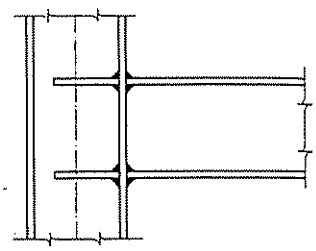
Clase	Tipo	Soldadura a	Rigidizador [3] b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5 —	180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

A 300	HEA 320	HEA 340	HEA 360	HEA 400	HEA 450	HEA 500	HEA 550	HEA 600	Viga / Pilar HEB
70 m · t	38,48 m · t	43,68 m · t	49,14 m · t	60,06 m · t	75,40 m · t	92,30 m · t	107,90 m · t	124,54 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,457	0,415	0,390	0,367	0,335	0,302	0,274	0,260	0,246	300
0,510	0,463	0,434	0,409	0,373	0,336	0,306	0,289	0,274	320
0,565	0,514	0,482	0,454	0,414	0,373	0,339	0,321	0,305	340
0,624	0,567	0,532	0,501	0,457	0,412	0,375	0,355	0,336	360
0,751	0,682	0,640	0,603	0,550	0,496	0,451	0,427	0,404	400
0,857	0,798	0,748	0,705	0,643	0,580	0,527	0,499	0,473	450
0,888	0,861	0,859	0,812	0,742	0,668	0,608	0,575	0,545	500
0,919	0,890	0,889	0,888	0,847	0,763	0,694	0,657	0,623	550
0,949	0,920	0,919	0,918	0,935	0,863	0,784	0,742	0,704	600

7.7 5 5 b. 4



Nudo constituido por dos perfiles laminados

Pilar rigidizado, unión tipo (b)

Valores del coeficiente α $\quad M^*_{max} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	IPE 80	IPE 100	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 180	IPE 200	IPE 220	IPE 240
	0,52 m · t	0,89 m · t	1,38 m · t	2,01 m · t	2,83 m · t	3,80 m · t	5,04 m · t	6,55 m · t	8,42 m · t
100	1,000	0,819	0,637	0,511	0,417	0,348	0,293	—	—
120	1,000	0,986	0,767	0,616	0,503	0,420	0,353	0,299	0,254
140	1,000	1,000	0,992	0,796	0,649	0,542	0,456	0,387	0,328
160	1,000	1,000	1,000	0,997	0,814	0,679	0,572	0,485	0,411
180	1,000	1,000	1,000	1,000	0,919	0,767	0,646	0,548	0,464
200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,926	0,780	0,661	0,561
220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,928	0,787	0,668
240	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,924	0,784
260	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,854
280	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986
300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
320	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
340	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
360	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
400	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
450	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
600	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

7.7 5 5 b. 5

Ejemplo de notación:

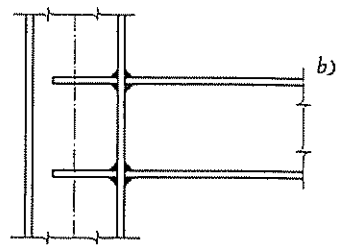
Clase	Tipo	Soldadura	Regidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 500	IPE 550	IPE 600	Viga / Pilar HEA
15,5 m · t	14,48 m · t	18,53 m · t	23,50 m · t	30,16 m · t	39,00 m · t	50,18 m · t	63,44 m · t	79,82 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
0,478	0,410	0,353	0,303	0,264	0,229	0,198	—	—	200
0,570	0,488	0,420	0,361	0,314	0,273	0,236	0,205	0,178	220
0,669	0,573	0,493	0,424	0,369	0,320	0,277	0,241	0,209	240
0,728	0,624	0,537	0,462	0,402	0,349	0,302	0,262	0,228	260
0,841	0,720	0,620	0,533	0,464	0,403	0,348	0,303	0,263	280
0,959	0,822	0,707	0,608	0,529	0,460	0,398	0,346	0,300	300
1,000	0,929	0,799	0,687	0,598	0,519	0,449	0,391	0,339	320
1,000	1,000	0,898	0,772	0,672	0,584	0,505	0,439	0,381	340
1,000	1,000	1,000	0,862	0,750	0,652	0,563	0,490	0,425	360
1,000	1,000	1,000	1,000	0,921	0,800	0,692	0,601	0,521	400
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,944	0,816	0,710	0,616	450
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,826	0,716	500
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,824	550
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	600

7.7 5 5 b. 5



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar sin rigidizar, unión tipo (a)
Valores del coeficiente α[1] $M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	HEB 120	HEB 140	HEB 160	HEB 180	HEB 200	HEB 220	HEB 240	HEB 260	HEB 280
	3,74 m · t	5,62 m · t	8,09 m · t	11,08 m · t	14,82 m · t	19,14 m · t	24,39 m · t	29,90 m · t	35,88 m · t
120	0,271	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,350	0,274	—	—	—	—	—	—	—
160	0,438	0,344	0,273	—	—	—	—	—	—
180	0,495	0,388	0,309	0,255	—	—	—	—	—
200	0,543	0,469	0,373	0,308	0,257	—	—	—	—
220	0,585	0,539	0,444	0,367	0,305	0,261	—	—	—
240	0,627	0,577	0,521	0,430	0,358	0,306	0,262	—	—
260	0,627	0,577	0,527	0,469	0,391	0,333	0,286	0,254	—
280	0,668	0,616	0,562	0,524	0,451	0,385	0,330	0,293	0,264
300	0,710	0,654	0,597	0,557	0,514	0,439	0,376	0,335	0,301
320	0,752	0,693	0,632	0,590	0,548	0,496	0,425	0,378	0,341
340	0,794	0,731	0,667	0,623	0,578	0,544	0,478	0,425	0,383
360	0,835	0,770	0,702	0,655	0,608	0,573	0,533	0,474	0,427
400	0,919	0,846	0,773	0,721	0,669	0,630	0,590	0,571	0,524
450	0,961	0,885	0,808	0,754	0,700	0,659	0,617	0,597	0,581
500	1,000	0,923	0,843	0,787	0,730	0,687	0,644	0,623	0,606
550	1,000	0,962	0,878	0,819	0,760	0,716	0,671	0,648	0,631
600	1,000	1,000	0,913	0,852	0,791	0,745	0,698	0,674	0,656

7.7 5 5 b. 6

Ejemplo de notación:

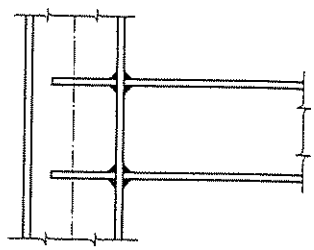
Clase	Tipo	Soldadura a	Rigidizador[3] b_r	e_r
R[1] —	P[2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

Acero A 42

HEB 300	HEB 320	HEB 340	HEB 360	HEB 400	HEB 450	HEB 500	HEB 550	HEB 600	Viga / Pilar HEA
88 m · t	50,18 m · t	56,16 m · t	62,40 m · t	74,88 m · t	92,30 m · t	111,54 m · t	129,22 m · t	148,20 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,265	0,246	0,234	0,223	0,206	0,189	0,174	0,166	0,158	300
0,300	0,278	0,264	0,252	0,233	0,214	0,197	0,188	0,179	320
0,337	0,313	0,297	0,283	0,262	0,240	0,221	0,211	0,201	340
0,376	0,349	0,331	0,316	0,293	0,268	0,247	0,235	0,224	360
0,461	0,428	0,407	0,387	0,359	0,329	0,303	0,289	0,275	400
0,545	0,506	0,480	0,457	0,424	0,388	0,358	0,341	0,325	450
0,572	0,566	0,559	0,532	0,493	0,452	0,416	0,396	0,378	500
0,596	0,589	0,595	0,601	0,568	0,520	0,479	0,456	0,435	550
0,619	0,613	0,619	0,625	0,645	0,592	0,546	0,520	0,496	600

7.7 5 5 b. 6



Nudo constituido por dos perfiles laminados
Pilar rigidizado, unión tipo (b)
Valores del coeficiente α $\quad M^*_{máx} = \alpha M_u$

Viga / Pilar HEA	HEA 120	HEA 140	HEA 160	HEA 180	HEA 200	HEA 220	HEA 240	HEA 260	HEA 280	HEA 300
	2,76 m · t	4,03 m · t	5,72 m · t	7,64 m · t	10,11 m · t	13,39 m · t	17,55 m · t	21,74 m · t	26,26 m · t	32,76 m
120	0,357	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0,461	0,370	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0,577	0,464	0,376	—	—	—	—	—	—	—
180	0,642	0,524	0,425	0,360	—	—	—	—	—	—
200	0,696	0,633	0,513	0,434	0,366	—	—	—	—	—
220	0,749	0,707	0,611	0,517	0,436	0,363	—	—	—	—
240	0,803	0,758	0,705	0,607	0,511	0,426	0,356	—	—	—
260	0,803	0,758	0,705	0,661	0,557	0,464	0,388	0,341	—	—
280	0,856	0,808	0,752	0,720	0,643	0,536	0,448	0,394	0,352	—
300	0,910	0,859	0,799	0,765	0,717	0,612	0,511	0,449	0,402	0,347
320	0,963	0,909	0,847	0,810	0,760	0,691	0,578	0,508	0,454	0,392
340	1,000	0,960	0,894	0,855	0,802	0,739	0,649	0,571	0,510	0,441
360	1,000	1,000	0,941	0,900	0,844	0,778	0,713	0,637	0,570	0,492
400	1,000	1,000	1,000	0,990	0,929	0,856	0,784	0,751	0,699	0,604
450	1,000	1,000	1,000	1,000	0,971	0,895	0,820	0,785	0,759	0,704
500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,934	0,855	0,819	0,793	0,735
550	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,973	0,891	0,853	0,826	0,766
600	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,887	0,859	0,796

7.7 5 5 b. 7

Ejemplo de notación:

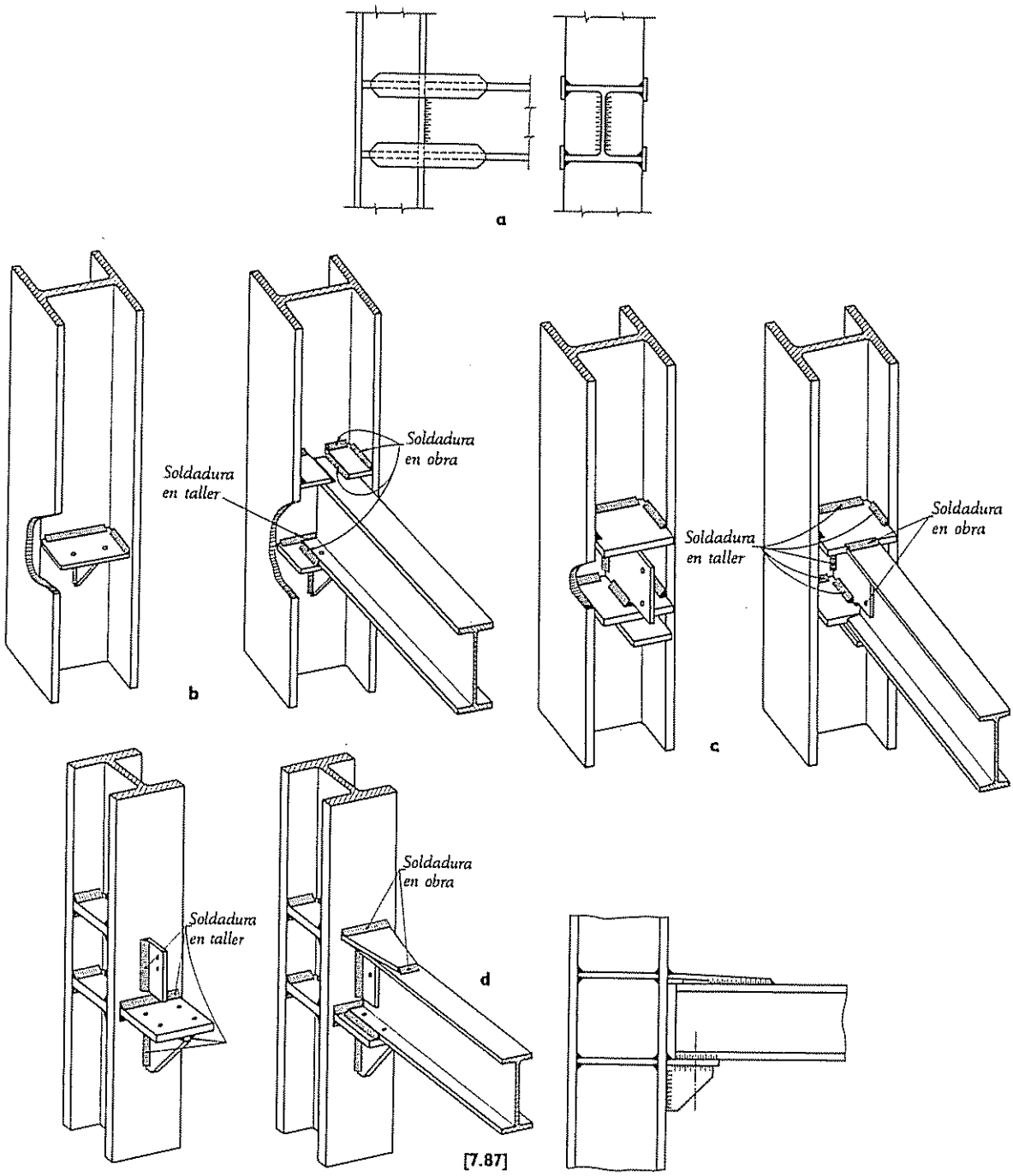
Clase	Tipo	Soldadura	Regidizador [3]	
		a	b_r	e_r
R [1] —	P [2] —	5	— 180 —	8

[1] Unión rígida.
[2] Soldadura perimetral.
[3] De no ser necesario el rigidizador sus datos se suprimirán.

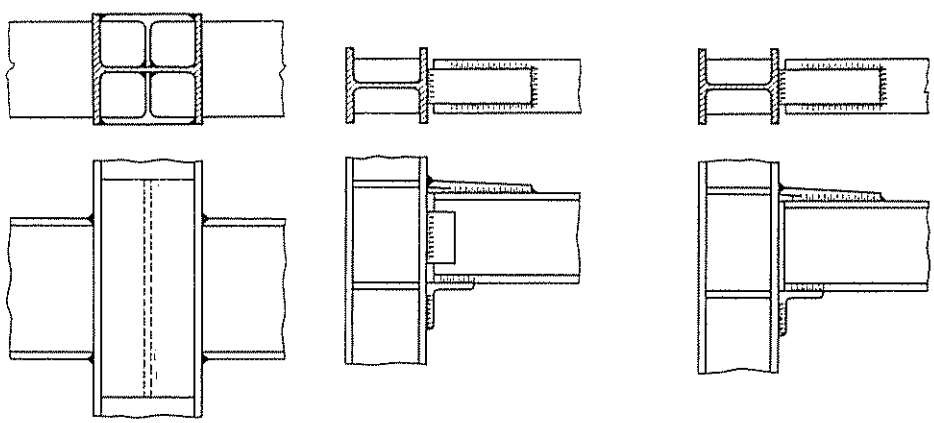
Acero A 42

A 300	HEA 320	HEA 340	HEA 360	HEA 400	HEA 450	HEA 500	HEA 550	HEA 600	Viga / Pilar HEA
m · t	38,48 m · t	43,68 m · t	49,14 m · t	60,06 m · t	75,40 m · t	92,30 m · t	107,90 m · t	124,54 m · t	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
—	—	—	—	—	—	—	—	—	160
—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
—	—	—	—	—	—	—	—	—	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	240
—	—	—	—	—	—	—	—	—	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	280
0,347	0,315	0.296	0,278	0,254	0.229	0.208	0.197	0,187	300
0,392	0,356	0,334	0,315	0,287	0.259	0,235	0.223	0,211	320
0,441	0.400	0,375	0,354	0.323	0,291	0.264	0,250	0,237	340
0,492	0.447	0.419	0.395	0,360	0,325	0,295	0,279	0,265	360
0,604	0,548	0,514	0,484	0.442	0,399	0,362	0,343	0,325	400
0,704	0,647	0,607	0,572	0,522	0,471	0.428	0.405	0,384	450
0.735	0,712	0.706	0.665	0.607	0,547	0,498	0,471	0,447	500
0,766	0,742	0,741	0,740	0.699	0,630	0,573	0,542	0,514	550
0,796	0,772	0.771	0.770	0,784	0.717	0,652	0.617	0,585	600

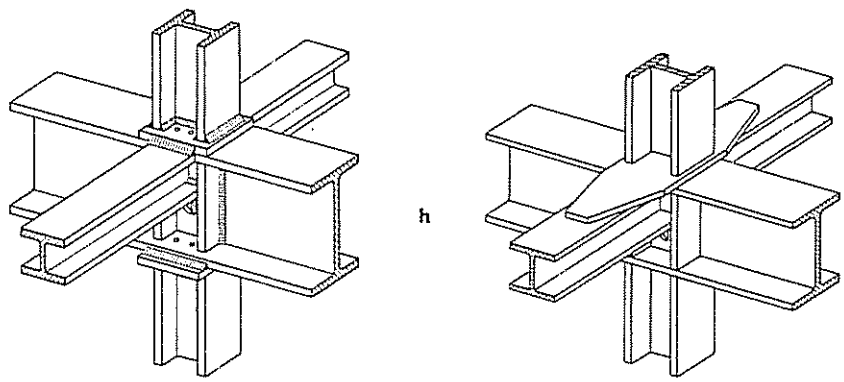
7.7 5 5 b. 7


a
b
Soldadura en taller
Soldadura en obra
c
Soldadura en taller
Soldadura en obra
Soldadura en taller
Soldadura en obra
d

[7.87]

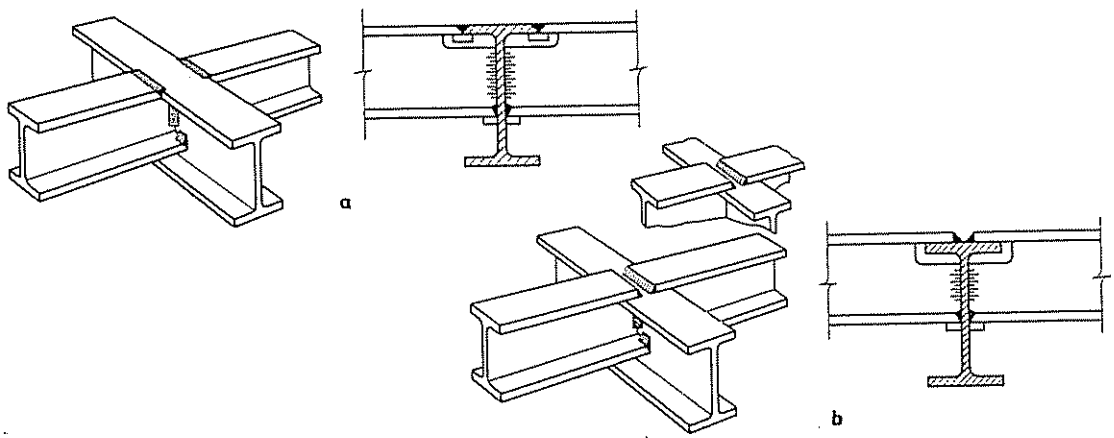


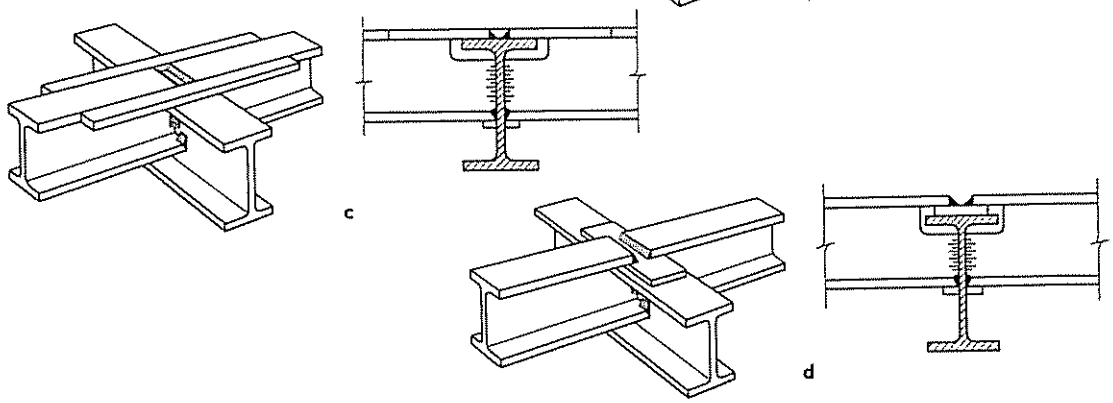
e g

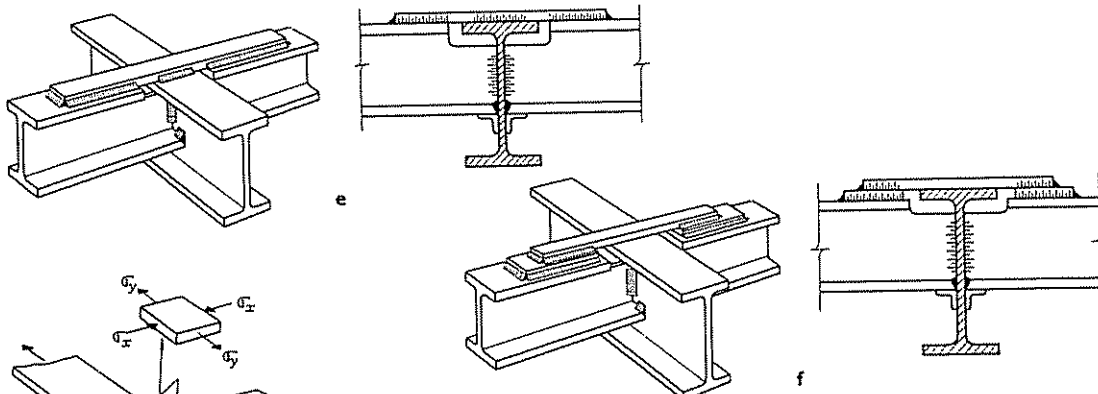


h

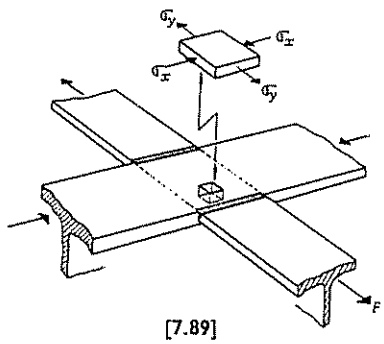
[7.87]







[7.88]



[7.89]

7.7 6. Otras disposiciones para nudos rígidos.

Existen otras muchas posibles disposiciones para la constitución de un nudo rígido, además de la soldadura directa, con rigidización o sin ella. Algunas de estas se esquematizan en [7.87]. El cálculo de los espesores mínimos, rigidizadores, etc., se puede hacer basándose en las mismas hipótesis y en forma análoga a como se ha descrito en 7.7 5.

Se supone que el momento se transmite a través de las alas, calculándose las soldaduras correspondientes sometidas a esfuerzos por 7.6 3 y el esfuerzo cortante por 7.7 2 o por 7.7 4.

7.7 7. Apoyos intermedios de vigas continuas.

Cuando un apoyo intermedio de una viga continua es una viga principal y las alas superiores están al mismo nivel, puede adoptarse para el embrochalamiento alguna de las disposiciones que se muestran [7.88].

La adopción de una disposición del tipo [7.88a], en la que las alas se sueldan directamente al ala de la viga principal, obliga a hacer la comprobación de ésta, sometida a tensiones normales ortogonales, por la fórmula general [7.89].

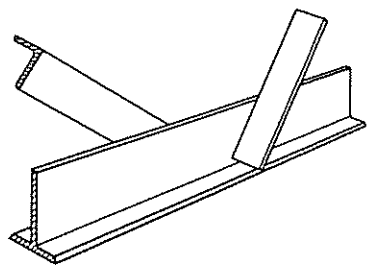
$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\ \tau_x} \leqslant \sigma_u$$

7.7 8. Nudos de las vigas trianguladas.

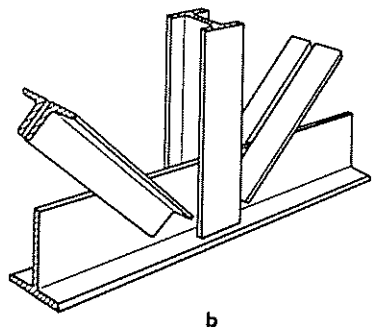
7.7 8 1. *Formas constructivas.*

Las vigas trianguladas están constituidas por barras que concurren en nudos. Para su cálculo se supone que los nudos constituyen articulaciones perfectas y, por tanto, que si las fuerzas exteriores están aplicadas en los mismos, los esfuerzos que solicitan a las barras son exclusivamente esfuerzos axiles. Las barras pueden unirse directamente o por medio de cartelas. Las vigas trianguladas con uniones soldadas son en general más ligeras que las correspondientes con uniones roblonadas o atornilladas, debido tanto a que las cartelas pueden ser más reducidas o suprimirse, como a que en las barras a tracción la sección de cálculo es la sección bruta y no la neta con descuento de agujeros.

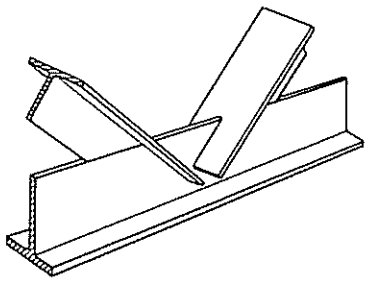
Es preciso estudiar las uniones para que las soldaduras sean solo las necesarias y no constituir uniones excesivamente rígidas que haría que la hipótesis de articulación en



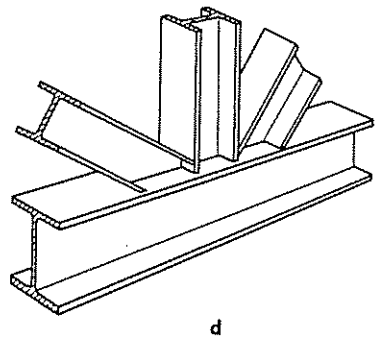
a



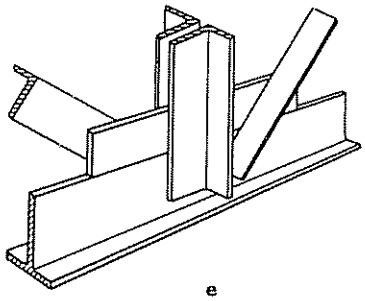
b



c

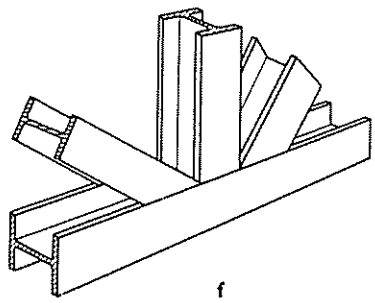


d



e

[7.90]



f

los nudos se separase demasiado de la realidad. Aunque no es práctica frecuente, en algunos casos, es preciso estudiar las tensiones secundarias que se producen por este motivo en las barras. La constitución de las vigas trianguladas es muy diversa, según los tipos de perfiles que se utilicen para formar las barras. Algunos de los que pueden usarse los enumeraremos a continuación con el fin de poder estudiar algunos de los tipos de nudos a que dan origen.

a) El tipo más simple de cerchas es el constituido por medias dobles T [1] para los cordones principales y angulares para las diagonales [7.90a].

b) Para vigas más robustas los montantes pueden realizarse con dobles T y las diagonales con angulares apareados con o sin presillas [7.90b].

c) Cordones y diagonales en simple T [7.90c].

d) Para vigas más solicitadas y también cuando existen cargas que actúan fuera de los nudos, los cordones y eventualmente los montantes y diagonales, pueden estar constituidas por perfiles en doble T [7.90d].

e) Cualquiera de los tipos anteriores puede requerir el uso de cartelas porque la longitud de los cordones posibles en la unión directa no sea suficiente [7.90e].

f) En vigas muy solicitadas puede adoptarse un tipo de construcción en que los cordones se realicen con perfiles H en posición horizontal y los montantes y diagonales con perfiles I o H. Con solicitaciones fuertes son precisas las cartelas para reforzar el nudo y reducir la concentración de tensiones [7.90f].

7.7.8.2. *Uniones por medio de cartelas. Excentricidad del esfuerzo.*

Excentricidad fuera del plano de la cartela. En el caso de barras constituidas por una simple T o angular o por dos de estos perfiles unidos con presillas, se produce una excentricidad con relación al plano de la cartela y consecuentemente un momento que debe ser tenido en cuenta en el cálculo de la unión o de la barra, en función de las siguientes consideraciones:

— Si la cartela es muy flexible y no ofrece coacción al giro de la barra [7.91], todo el momento ($M = Pe$) será absorbido por ésta y la unión deberá calcularse con la fuerza axil exclusivamente.

---

[1] Esto equivale a una sección en simple T, pero el escaso número y reducida sección de los perfiles laminados dentro de la serie, impone grandes limitaciones en su empleo.

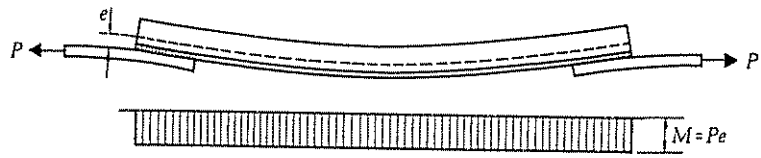
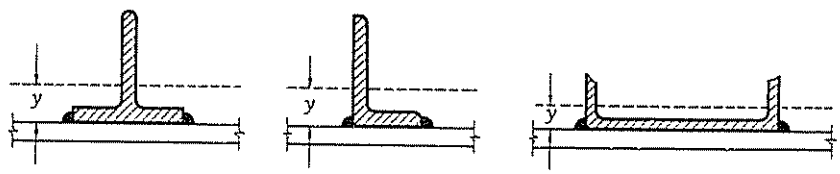
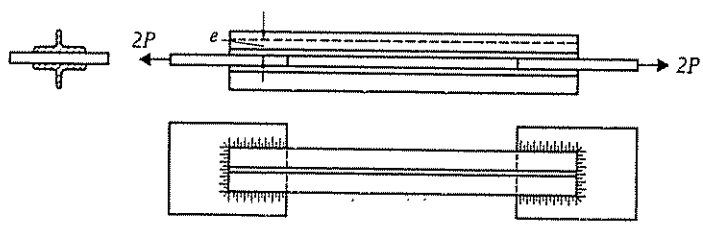


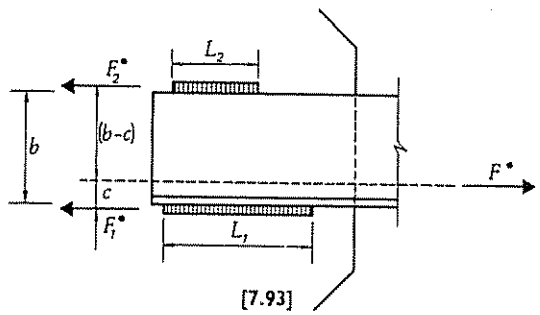
Diagrama de momentos



[7.91]



[7.92]



[7.93]

— Si, por el contrario, la unión es suficientemente rígida, los extremos de la barra no pueden girar, su solicitación es exclusivamente axil y el momento debe ser absorbido por la unión. En el caso de barra compuesta de dos perfiles [7 92], aunque la cartela no sea rígida, los momentos de excentricidad iguales y opuestos hacen que se comporte como infinitamente rígida.

  En la práctica, no suele tenerse en cuenta el momento de excentricidad para el cálculo de las soldaduras de unión. Las barras compuestas de dos perfiles simétricos, se calculan con solicitación axil y en las de un solo perfil se tiene en cuenta el momento principalmente en las barras sometidas a tracción, ya que la excentricidad de la solicitación [1], si bien introduce una solicitación de flexión, disminuye la esbeltez a torsión, por disminuir la excentricidad con relación al centro de esfuerzos cortantes

Excentricidad en el plano de la cartela. En la unión de un angular a una cartela, además de la excentricidad fuera del plano, existe una excentricidad en el plano de la cartela con relación al conjunto de las dos soldaduras laterales de unión. La descomposición de F^* [7.93] en dos fuerzas paralelas, actuando según cada una de las soldaduras, es proporcional a sus distancias a la línea de actuación de la fuerza.

$$F^*_2 = \frac{F^* c}{b}, \qquad F^*_1 = \frac{F^* (b - c)}{b}, \qquad F^*_1 + F^*_2 = F^*$$

si se quiere que ambas soldaduras trabajen a una misma tensión cortante τ, sus longitudes respectivas deberán cumplir la condición

$$L_2 = \frac{c}{b - c} L_1$$

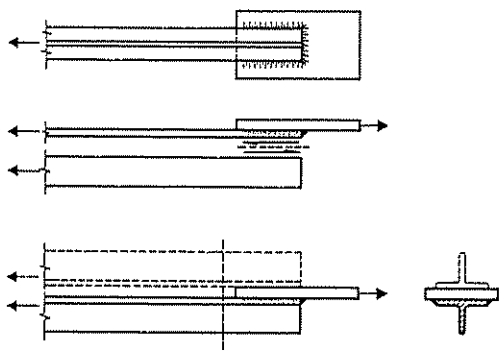
y si ésta es la de agotamiento, cumplirá también:

$$L_1 + L_2 = \frac{F^*}{a \tau^*_a}$$

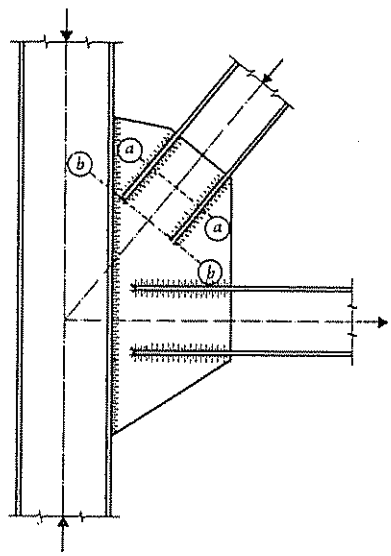
En **7.7 8 2** se dan la longitud y espesor de cordones necesarios para la unión del extremo de distintos tipos de barras, formadas por perfiles simples, sometidas a tracción. En el caso de compresión, estos valores están del lado de la seguridad tanto más

---

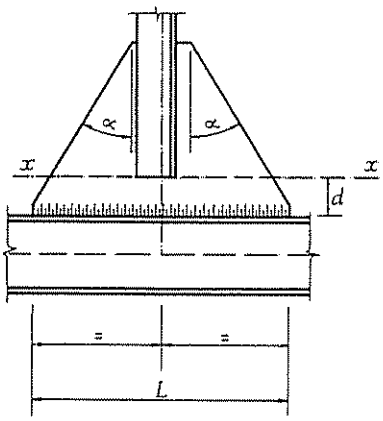
[1] Ver, por ejemplo, el caso de un angular, en 3 5 2 del capítulo de Piezas sometidas a compresión.



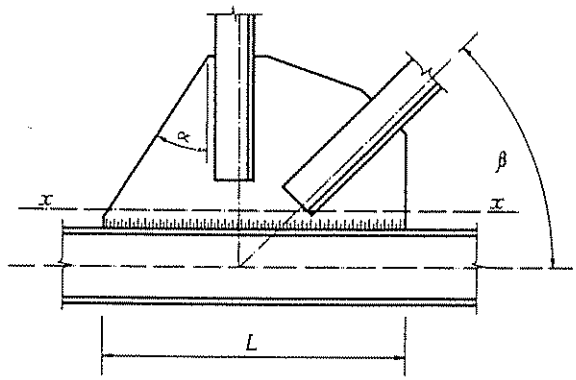
[7.94]



[7.95]



[7.96]



[7.97]

cuanto mayor sea la reducción del esfuerzo axil de agotamiento, teniendo en cuenta el fenómeno de pandeo.

Transmisión del esfuerzo dentro de la barra. En las barras sometidas a tracción ésta se distribuye uniformemente en toda su sección transversal, por tanto la fuerza de tracción que actúa sobre cada parte de la sección, alas o alma, será proporcional a su sección. Cuando alguna de estas partes de la sección no se une directamente a la cartela, el esfuerzo de tracción correspondiente debe transferirse a la parte de la misma que se une directamente a la cartela [7.94]. En el caso de angulares o simples T, la longitud necesaria para las soldaduras proporcionan suficiente longitud para esta transferencia, sin embargo, en algunos casos es necesario dimensionar la unión teniendo en cuenta este efecto.

El cálculo de las cartelas debe hacerse considerando las secciones más desfavorables, unas veces determinadas por la sección (*a-a*) [7.95] y otras por la sección en la cual ya se ha transmitido todo el esfuerzo a la cartela (*b-b*).

Dimensiones y cálculo de las cartelas. La cartela, correspondiente a un nudo, debe dimensionarse de tal forma que sea capaz de recibir y de equilibrar los esfuerzos de todas las barras que en ella concurren. Su cálculo no presenta dificultades especiales y aún puede simplificarse u omitirse siguiendo algunas reglas prácticas, válidas para la casi generalidad de los casos:

— El ángulo α [7.96] debe ser como mínimo de 30°

— El espesor de la cartela ha de ser el necesario para que en la sección x-x [7.96] su sección sea al menos la de la pieza.

— Cuando existen zonas de interferencia de las áreas de influencia de cada barra es preciso comprobar que la tensión de comparación es admisible [7.97].

— No es necesario la comprobación a pandeo en una cartela comprimida cuando se verifica $d \leqslant 5e$ [7.96].

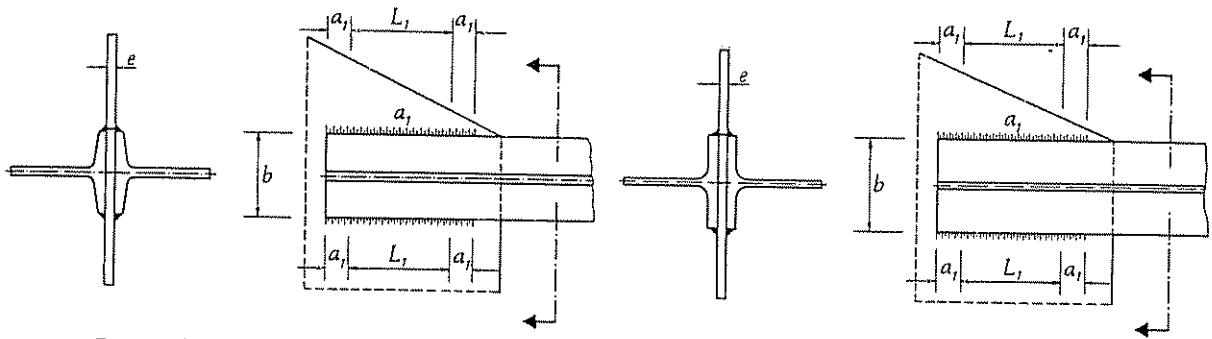
— Debe procurarse que los ejes baricéntricos de las barras coincidan en un punto, para reducir el tamaño de las cartelas.

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Modelo	Soldadura	
			l	a
T [1]	— C [2]	— SF [3]	— 200	• 6,5

Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.

[1] Unión traccionada.
[2] Cartela.
[3] Sin cordón frontal (SF) o con cordón frontal (CF).



Dos medios perfiles IPN

IPN	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
80	3,0	84	4,0
100	3,5	100	5,0
120	4,0	118	6,0
140	4,0	152	6,0
160	4,5	168	6,5
180	5,0	186	7,0
200	5,5	203	8,0
220	6,5	203	9,0
240	6,5	236	9,0
260	7,0	254	10,0
280	8,0	254	11,0
300	8,0	287	11,0
320	8,5	305	12,0
340	9,5	304	14,0
360	10,0	323	14,0
380	10,0	356	14,0
400	11,0	357	16,0
450	13,0	376	19,0
500	14,0	428	20,0
550	15,0	473	21,0
600	17,0	498	24,0

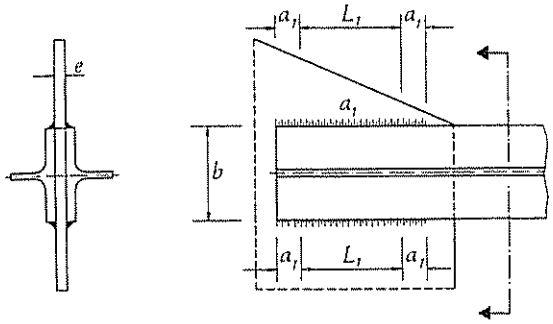
7.7 8 2-1

Dos medios perfiles IPE

IPE	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
80	3,5	72	5,0
100	4,0	85	6,0
120	4,0	110	6,0
140	4,5	121	6,0
160	5,0	134	7,0
180	5,5	144	8,0
200	5,5	190	8,0
220	6,0	185	9,0
240	6,5	200	9,0
270	7,0	218	10,0
300	7,5	275	11,0
330	8,0	260	11,0
360	8,5	285	12,0
400	9,0	313	13,0
450	10,0	329	14,0
500	11,0	351	16,0
550	12,0	372	17,0
600	13,0	400	19,0

7.7 8 2-2

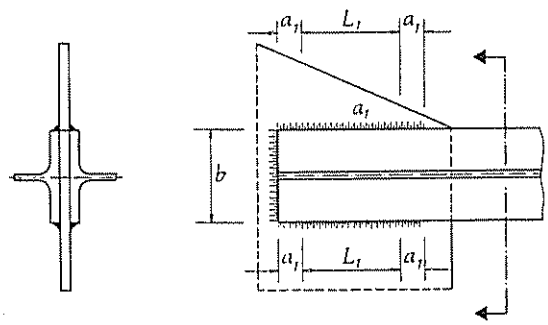
Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.



Dos medios perfiles HEB sin cordón frontal.

HEB	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	7,5	151	11,0
140	8,0	179	11,5
160	9,0	201	13,0
180	9,5	220	14,0
200	10,5	247	15,0
220	11,0	275	16.0
240	11,5	307	16,0
260	12,0	327	17,0
280	12,5	349	18,0
300	13,0	382	18,5
320	14,0	383	20,0
340	15,0	380	21,0
360	15,5	389	22,0
400	16,5	400	24,0

7.7 8 2-3



Dos medios perfiles HEB con cordón frontal.

HEB	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	7,5	128	11,0
140	8,0	153	11,5
160	9,0	171	13,0
180	9,5	195	14,0
200	10,5	210	15,0
220	11,0	234	16,0
240	11,5	262	16,0
260	12,0	278	17,0
280	12,5	296	18,0
300	13,0	326	18,5
320	14,0	326	20,0
340	15,0	323	21,0
360	15,5	332	22,0
400	16,5	343	24,0

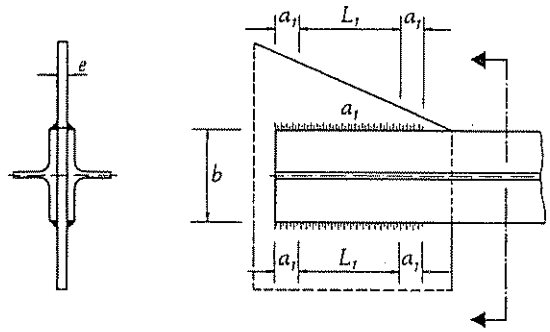
7.7 8 2-4

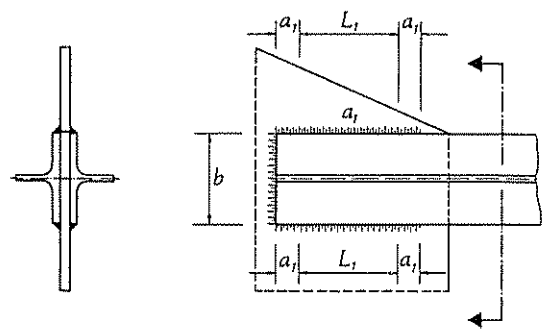
Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Modelo	Soldadura	
			l	a
T [1]	—	C [2]	— SF [3] —	200 • 6,5

[1] Unión traccionada.
[2] Cartela.
[3] Sin cordón frontal (SF) o con cordón frontal (CF).

Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.





Dos medios perfiles HEA sin cordón frontal.

HEA	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	5,5	153	8,0
140	5,5	190	8,5
160	6,0	216	9,0
180	6,5	232	9,5
200	7,0	256	10,0
220	7,5	285	11,0
240	8,0	320	12,0
260	8,5	340	12,5
280	9,0	360	13,0
300	9,5	396	14,0
320	10,5	394	15,5
340	11,5	386	16,5
360	12,0	397	17,5
400	13,0	408	19,0

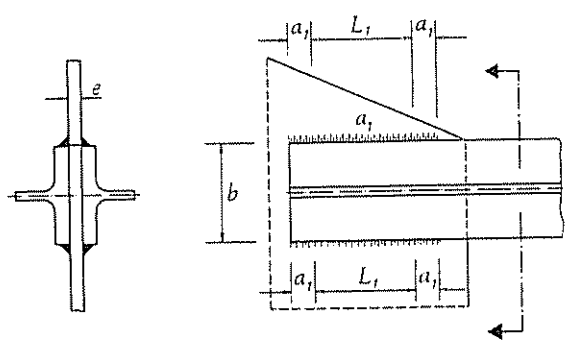
7.7 8 2-5

Dos medios perfiles HEA con cordón frontal.

HEA	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	5,5	130	8,0
140	5,5	164	8,5
160	6,0	185	9,0
180	6,5	198	9,5
200	7,0	218	10,0
220	7,5	243	11,0
240	8,0	274	12,0
260	8,5	201	12,5
280	9,0	307	13,0
300	9,5	340	14,0
320	10,5	337	15,5
340	11,5	328	16,5
360	12,0	340	17,5
400	13,0	351	19,0

7.7 8 2-6

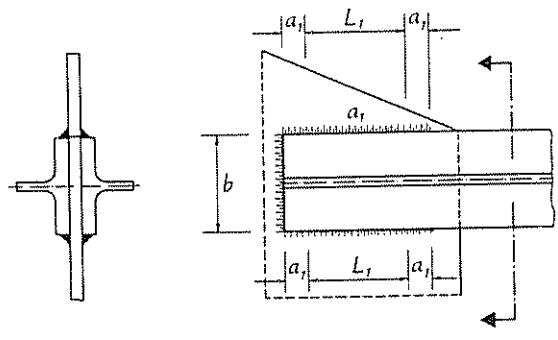
Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.



Dos medios perfiles HEM sin cordón frontal.

HEM	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	12,0	184	17,5
140	13,0	207	19,0
160	14,5	223	21,0
180	15,5	243	22,5
200	17,0	257	24,5
220	18,0	276	26,0
240	21,0	317	30,0
260	22,0	333	31,5
280	23,0	348	33,0
300	25,5	396	36,5
320	26,0	400	37,5
340	26,0	405	37,5
360	26,5	401	38,0
400	26,5	410	38,0

7.7 8 2-7



Dos medios perfiles HEM con cordón frontal.

HEM	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
120	12,0	160	17,5
140	13,0	179	19,0
160	14,5	192	21,0
180	15,5	208	22,5
200	17,0	218	24,5
220	18,0	233	26,0
240	21,0	270	30,0
260	22,0	282	31,5
280	23,0	293	33,0
300	25,5	337	36,5
320	26,0	341	37,5
340	26,0	346	37,5
360	26,5	342	38,0
400	26,5	351	38,0

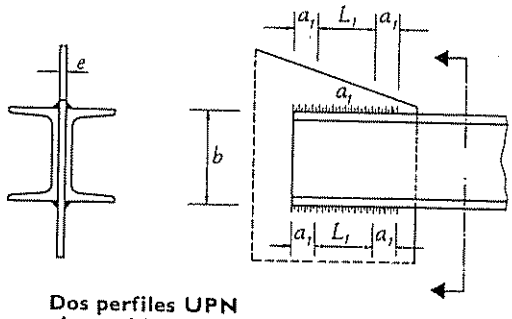
7.7 8 2-8

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Modelo	Soldadura	
			l	a
T [1]	— C [3]	— SF [3]	— 200	• 6,5

[1] Unión traccionada.
[2] Cartela.
[3] Sin cordón frontal (SF) o con cordón frontal (CF)

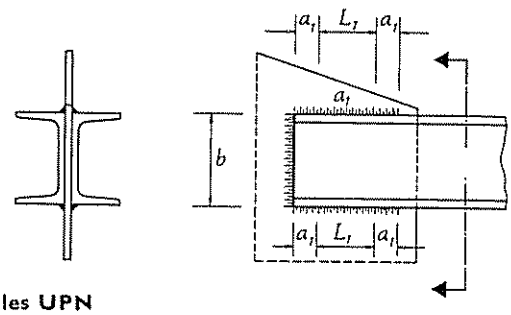
Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.



Dos perfiles UPN sin cordón frontal.

UPN	a_1 mm	L_1 mm	e (mín) mm
80	5,0	146	7,0
100	5,0	180	7,0
120	5,5	206	8,0
140	5,5	247	8,0
160	6,0	266	9,0
180	6,5	287	9,0
200	7,0	306	10,0
220	7,5	332	11,0
240	7,5	376	11,0
260	8,0	402	11,5
280	8,0	444	11,5
300	8,0	490	11,5

7.7 8 2-9



Dos perfiles UPN con cordón frontal.

UPN	a_1 mm	L_1 mm	a_2 mm	e (mín) mm
80	—	—	—	—
100	—	—	—	—
120	—	—	—	—
140	—	—	—	—
160	—	—	—	—
180	6,5	258	5,5	8,0
200	7,0	276	5,5	8,0
220	7,5	299	6,0	9,0
240	7,5	336	6,5	9,0
260	8,0	359	7,0	10,0
280	8,0	397	7,0	10,0
300	8,0	440	7,0	10,0

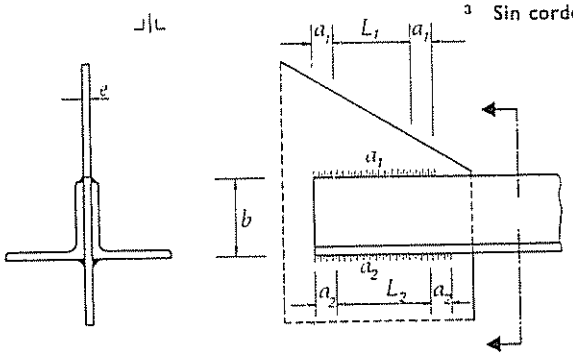
7.7 8 2-10

Ejemplo de notación:

Clase	Tipo	Modelo	Soldadura			
			l_1	a_1	l_2	a_2
T [1]	— C [2]	— SF [3]	— 93	• 5,5	— 205	• 6,5

[1] Unión traccionada.
[2] Cartela.
[3] Sin cordón frontal.

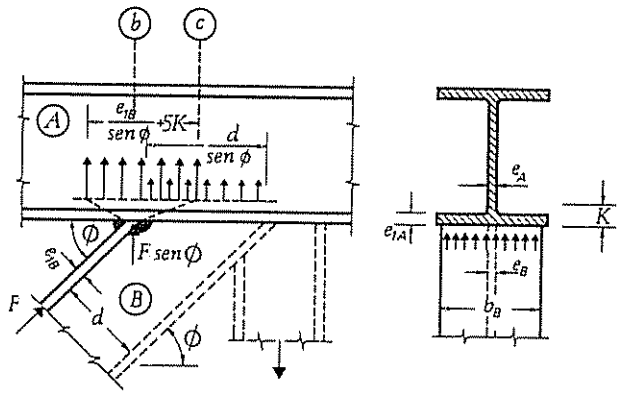
Uniones por medio de cartelas.
Barras sometidas a tracción, soldadas a una cartela.



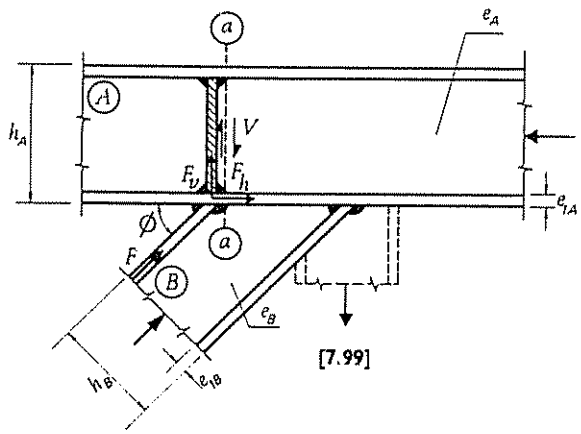
Dos perfiles L

L	a_1 mm	L_1 mm	a_2 mm	L_2 mm	e (mín) mm
50 · 4	2,5	56	3,0	125	3,5
50 · 5	3,5	52	4,0	118	5,0
50 · 6	4,0	50	6,0	117	6,0
60 · 5	3,5	60	4,0	141	5,0
60 · 6	4,0	64	5,0	132	6,0
60 · 8	5,5	82	6,5	166	8,0
70 · 6	4,0	74	5,0	157	6,0
70 · 7	4,5	78	5,5	163	6,0
70 · 8	5,5	82	6,5	173	8,0
80 · 8	5,5	84	6,5	181	8,0
80 · 10	7,0	105	8,0	222	10,0
90 · 8	5,5	93	6,5	205	8,0
90 · 10	7,0	105	8,0	228	10,0
100 · 8	5,5	103	6,5	230	8,0
100 · 10	7,0	105	8,0	233	10,0
120 · 10	7,0	121	8,0	280	10,0
120 · 12	8,0	129	10,0	262	11,5
150 · 12	8,0	159	10,0	336	11,5
150 · 15	10,0	162	12,0	342	14,0
180 · 15	10,0	192	12,0	418	14,0
200 · 16	11,0	206	13,0	458	16,0
200 · 18	12,0	215	15,0	552	17,0

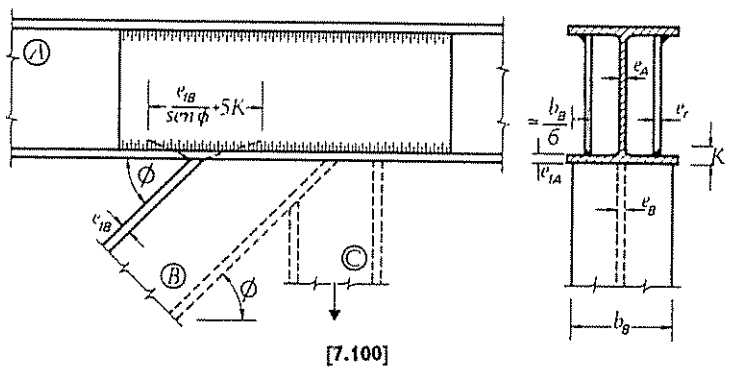
7.7 8 2-11


b
c
A
$\frac{e_{1B}}{sen\,\phi}+5K$
d
$sen\,\phi$
e_A
K
e_{1A}
e_B
b_B
ϕ
e_{1B}
$F\,sen\,\phi$
F
B
d
ϕ

[7.98]


a
e_A
A
h_A
V
F_v
F_h
e_{1A}
ϕ
a
F
B
e_B
h_B
e_{1B}

[7.99]


A
$\frac{e_{1B}}{sen\,\phi}+5K$
ϕ
e_{1B}
B
C
ϕ
e_A
$\frac{b_B}{6}$
e_r
K
e_{1A}
e_B
b_B

[7.100]

7.7.8.3. *Unión directa de barras. Rigidización del nudo.*

En los nudos de las cerchas del tipo [7.90d], se vuelven a encontrar los problemas que se estudiaron en el caso de las uniones viga-columna, cuando estos elementos eran de sección doble T [7.98].

El estudio que establece los valores mínimos del espesor de ala y alma del cordón de la viga triangular, puede realizarse análogamente sin más que tener en cuenta la oblicuidad de incidencia de la diagonal y la solicitación axil de la misma.

Los valores mínimos de estos espesores para que no sea necesaria la colocación de rigidizadores, son con la notación de [7.98] [1].

Espesor de ala

$$e_{1A} \geqslant \sqrt{\frac{b_B\, e_{1B}\,(sen\ \varnothing - 0{,}12)}{5{,}6}}$$

Espesor de alma

$$e_A \geqslant sen^2\ \varnothing \left[\frac{b_B\, e_{1B}}{e_{1B} + 5\ \mathrm{K}\ sen\ \varnothing} + e_B\right]$$

Si estos valores no se cumplen es necesario la colocación de rigidizadores, aunque en el caso de insuficiente espesor del alma el refuerzo puede consistir en el aumento de un espesor por medio de chapas soldadas.

Si se colocan dos rigidizadores verticales [7.99], la sección de los mismos debe ser como mínimo:

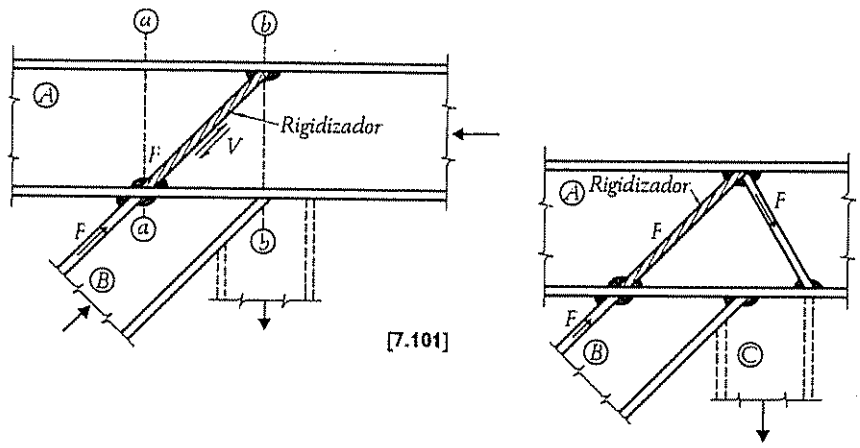
$$b_r\, e_r \geqslant \frac{e_A\, b_B\, e_B\, sen\ \varnothing}{e_A - e_B\, sen^2\ \varnothing} - \left(\frac{e_{1B}}{sen\ \varnothing} + 5\mathrm{K}\right) e_A$$

En el caso que se adopte la solución de rigidizadores longitudinales [7.100], el espesor total (suma de los dos) debe ser como mínimo:

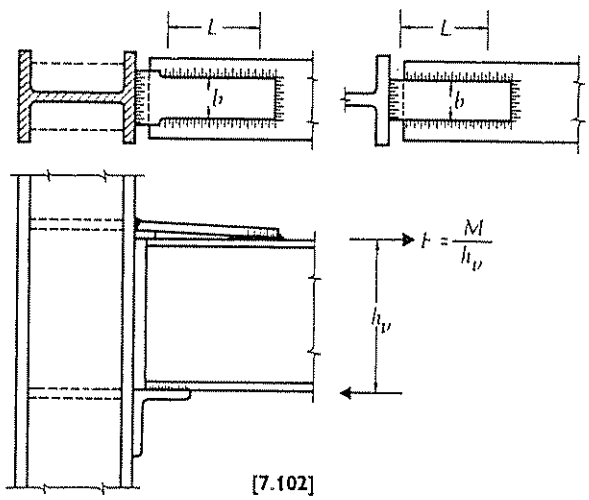
$$e_r \geqslant \frac{e_A\, b_B\, e_B\, sen\ \varnothing}{2\left(\frac{e_B}{sen\ \varnothing} + 5\mathrm{K}\right)(e_A - e_B\, sen^2\ \varnothing)} - \frac{e_A}{2}$$

---

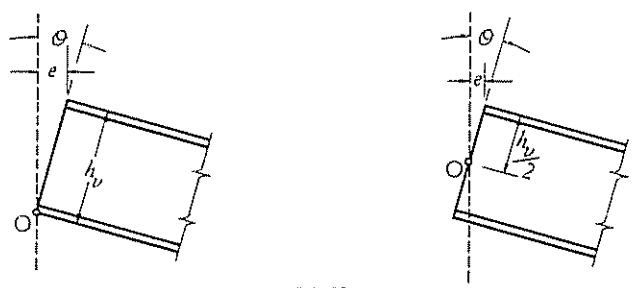
[1] *Design of Welded Structures*. OMER W. BLODGETT. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation Cleveland. OHIO.



[7.101]



[7.102]



[7.103]

Pueden emplearse otras disposiciones de rigidizadores [7.101] y efectuar su cálculo según los esfuerzos que realmente transmitan, aunque generalmente basta darles el mismo espesor y anchura que el del ala cuyo esfuerzo recogen.

7.7 9. Unión con empotramiento semirrígido.

Las uniones con empotramientos semirrígidos no son muy utilizadas en la práctica usual de las estructuras metálicas, sin embargo, son teóricamente interesantes, pues permiten al proyectista actuar sobre la cuantía de los momentos en los apoyos y, por tanto, limitar los que se transmiten a los pilares, reducir flechas o simplemente conseguir una mejor utilización de la capacidad resistente de la viga igualando los momentos positivos y negativos que la solicitan.

Una unión del tipo [7.102] permite fijar el grado de rigidez deseado, actuando sobre la longitud L y, por tanto, sobre la deformación de la chapa superior de continuidad, para una carga determinada sobre la viga.

El análisis de una unión de este tipo requiere la fijación de la posición del centro de rotación O que depende de la rigidez relativa de la parte superior e inferior de la unión. En las uniones más flexibles el centro de rotación estará en las proximidades de la parte inferior de la viga [7.103a] y en uniones más rígidas su posición se desplaza hacia el punto medio [7.103b].

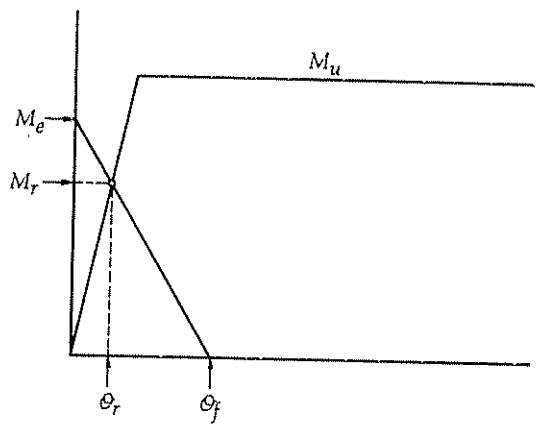
La fuerza que solicita la chapa de unión es:

$$F = \frac{M}{h_v}$$

y, por tanto, la sección necesaria para la misma será:

$$A_p = \frac{M}{\sigma h_v}$$

Este valor de A_p puede fijarse de manera que con el momento que agote la sección de la viga $M = M_u$ la tensión σ sea igual a σ_u.



[7.104]

La rotación de la viga, si su centro se supone en el punto medio de la altura, tiene por valor:

$$\theta = \frac{2\,e}{h_v} = \frac{2\,\varepsilon\,L}{h_v} = \frac{2\,\sigma\,L}{h_v\,E}$$

como

$$M = F\,h_v = \sigma\,A_p\,h_v$$

La relación entre ellas que nos fija la curva característica de la unión (ver 6.6 1 1), será:

$$\frac{M}{\theta} = \frac{A_p\,h_v^2\,E}{2\,L}$$

que es independiente de σ.

La curva característica viene limitada por el valor del momento que produce la fluencia

$$M_u = A_p\,\sigma_u\,h_v$$

Para una viga con una carga simétrica determinada y una vez calculada A_p, puede determinarse la longitud L que condiciona la deformación de la chapa de unión con el fin de obtener un momento real, M_r, en su extremo prefijado:

$$M_r = K\,M_e$$

En efecto, la recta característica que fija la deformación de la viga

$$M - M_e = \frac{-M_e}{\theta_f}\,\theta$$

viene definida por los valores M_e y θ_f correspondientes al momento en el extremo que para la carga considerada se produce, en el caso de biempotramiento, y el giro en el caso de biarticulación. Estos valores están relacionados por la expresión [1]:

$$\theta_f = \frac{M\,L}{2\,E\,I}$$

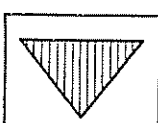
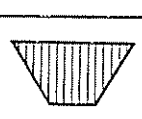
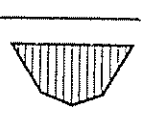
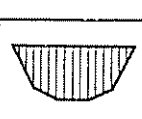
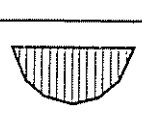
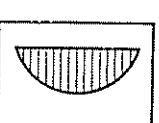
---

[1] Si transformamos la expresión

$$\frac{M_e}{\theta_f} = \frac{2\,E\,I}{L}$$

que nos indica que las curvas M-θ son para una viga de valores I y L fijos rectas paralelas, para diferentes tipos de cargas.

Momento y giro del extremo de la viga para distintas condiciones de carga.

						
Diagramas de momento Viga apoyada	*1 Fuerza* W	*2 Fuerzas* W	*3 Fuerzas* W	*4 Fuerzas* W	*5 Fuerzas* W	*Carga uniforme* W
Momento en el centro Viga apoyada	$+\frac{WL}{4}$	$+\frac{WL}{6}$	$+\frac{WL}{6}$	$+\frac{3WL}{20}$	$+\frac{3WL}{20}$	$+\frac{WL}{8}$
Giro del extremo Viga apoyada	$\frac{WL^2}{16EI}$	$\frac{WL^2}{18EI}$	$\frac{5WL^2}{96EI}$	$\frac{WL^2}{20EI}$	$\frac{7WL^2}{144EI}$	$\frac{WL^2}{24EI}$
Momento de empotramiento Viga empotrada	$-\frac{WL}{8}$	$-\frac{WL}{9}$	$-\frac{5WL}{48}$	$-\frac{WL}{10}$	$-\frac{7WL}{72}$	$-\frac{WL}{12}$
Momento en el centro para un grado de rigidez del empotramiento R	$\frac{WL}{8}(2-R)$	$\frac{WL}{18}(3-2R)$	$\frac{WL}{48}(8-5R)$	$\frac{WL}{20}(3-2R)$	$\frac{WL}{360}(54-35R)$	$\frac{WL}{24}(3-2R)$

[7.105]

El punto de intersección de ambas curvas características [7.104] nos da el valor del momento M_r realmente originado:

$$M_r = \frac{\theta_f}{\frac{2\,L}{A_p\,h^2_v\,E} + \frac{\theta_f}{M_e}}$$

Actuando sobre el valor de L puede obtenerse un valor de M_r prefijado o lo que es lo mismo, un valor del grado de rigidez

$$K = \frac{M_r}{M_e}$$

preestablecido.

En [7.105] se dan, para distintos tipos de cargas, valores que permiten dibujar la curva característica de la viga y el momento en el centro para un apoyo de rigidez K.

En todo lo anterior se ha supuesto una viga cargada simétricamente. En el caso de carga asimétrica y apoyos con factor de rigidez K conocido, la determinación de los momentos reales en los extremos puede hacerse por un procedimiento iterativo [1].

---

[1] *Design of Welded Structures*. OMER W. BLODGETT. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation. Cleveland. OHIO.

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

8. APOYOS Y APARATOS DE APOYO

Se tratan en este capítulo los apoyos de los pilares o vigas sobre otros elementos generalmente no metálicos, tales como cimentaciones, muros, columnas de hormigón o ladrillo.

El caso de apoyo de elementos metálicos entre sí ya se ha considerado en los capítulos 6 y 7, dedicados a uniones.

8.1. CLASIFICACION DE LOS APOYOS

Un aparato de apoyo es la materialización del enlace de un elemento estructural, o con más generalidad, de un sólido con el suelo o con otras partes exteriores a él.

Los enlaces pueden clasificarse por las coacciones que introducen, o sea, por los movimientos que pueden impedir. Limitándose a sistemas planos de estructuras un enlace puede ser simple, doble o triple, según impida uno, dos o tres de los movimientos posibles (traslaciones según dos ejes perpendiculares y giro alrededor de su punto de intersección) [8.1]. En el caso de estructuras espaciales las libertades o movimientos son seis (tres traslaciones y tres giros), y en consecuencia existe una mayor posibilidad de enlaces, que en la práctica se reducen a los siguientes:

Enlaces en el espacio. Los enlaces en el espacio se clasifican también según el número de movimientos que pueden impedir. Como existen seis movimientos posibles, pueden darse numerosas combinaciones. Sin embargo, los enlaces más empleados en la práctica se reducen a los pocos tipos siguientes:

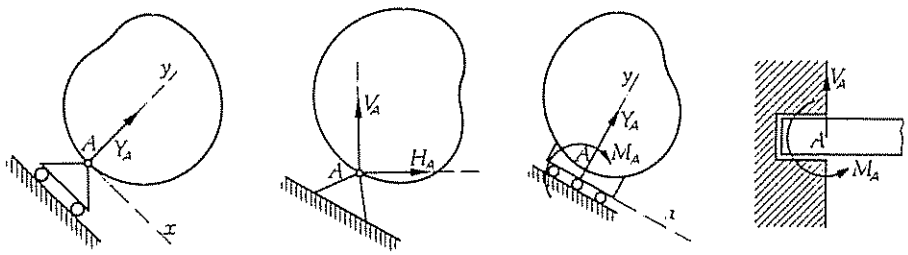
a) Apoyo deslizante sobre un plano, que impide la traslación según la normal al plano y permite las otras dos traslaciones y las tres rotaciones. La reacción actúa según la normal al plano por el apoyo, siendo su único parámetro la intensidad.

b) Apoyo deslizante sobre una línea, que impide las dos traslaciones normales a la línea y permite la traslación en dirección de la tangente y las tres rotaciones. La reacción está contenida en el plano normal a la línea, la corta y tiene dos componentes o parámetros.

c) Articulación esférica, que impide las tres traslaciones y permite los tres giros. La reacción pasa por la articulación y tiene tres componentes.

d) Articulación cilíndrica, que impide las tres traslaciones y dos rotaciones y permite la rotación alrededor de su eje. La reacción depende de cinco parámetros.

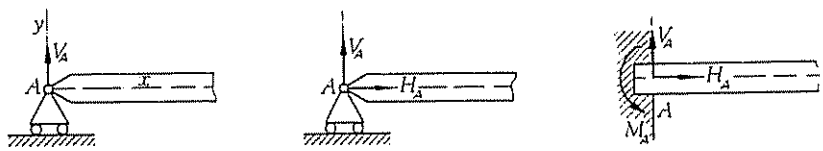
e) Empotramiento giratorio, que impide las tres traslaciones y la rotación alrededor de cualquier recta normal al eje de la barra, permitiendo a ésta girar alrededor de su eje. Solo difiere del enlace precedente en que el eje alrededor del cual está permitida la rotación coincide con el eje de la barra o con su tangente. La reacción depende de cinco parámetros.



a b c d

a Impedida la traslación y. Reacción Y_A.
b Impedidas las traslaciones x e y. Reacciones $X_A = H_A$, $Y_A = V_A$.
c y d Impedida la traslación y y el giro. Reacciones $Y_A = V_A$, M_A.

[8.1]



a b c

[8.2]

f) Empotramiento completo, que no permite ni siquiera el giro de la viga alrededor de su eje. La reacción depende de seis parámetros.

Si los enlaces b) y c) impiden también el giro de la viga alrededor de su eje, la rotación tiene un parámetro más, esto es, el momento respecto a este eje.

Cuando el elemento estructural es una viga o un pilar, los enlaces y por consiguiente los apoyos se reducen en la práctica a tres tipos [8.2]: apoyo móvil, apoyo simple y empotramiento. En el capítulo 9 de la Norma Básica MV-103, se tratan de los apoyos fijos y móviles, comprendiendo como apoyo fijo tanto los correspondientes a los enlaces de apoyo simple, como a los de empotramiento perfecto y atendiendo a esta clasificación se redactan los distintos artículos de la Norma. En el presente capítulo se ha preferido seguir otro criterio de clasificación, por lo cual no es posible, a semejanza de capítulos anteriores, intercalar y comentar en el texto los artículos correspondientes. Se ha considerado, por estas razones, más conveniente la inclusión como anejo a este capítulo, el ya citado número 9 de la Norma Básica.

Distinguiremos los siguientes apartados:

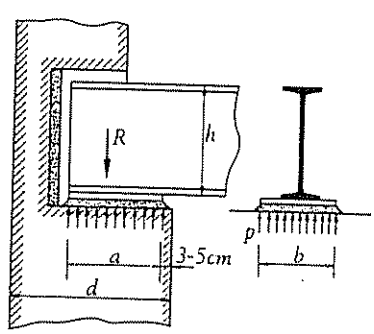
— Apoyos de vigas.
— Bases de columnas.
— Aparatos de apoyo en puentes.
— Apoyos elastoméricos.

En este capítulo trataremos generalmente de reacciones producidas por las cargas características, con el fin de poder utilizar los valores que para presiones admisibles en los materiales que constituyen los macizos y cimientos dan las normas e instrucciones correspondientes.

8.2. APOYOS DE VIGAS

Se considera en este apartado el apoyo de una viga sobre un muro o macizo de fábrica, bien directamente o por interposición de una placa de repartición. Ambas disposiciones son frecuentes en el caso de perfiles laminados. En el caso de vigas armadas con reacciones importantes es, en general, necesario crear un verdadero aparato de apoyo, de alguno de los tipos que se indican en 8.4 y 8.5.

El apoyo viene condicionado por la resistencia de la fábrica. Casi todas las normas, y entre ellas la Norma Básica MV-103, 9.2.2, admiten la hipótesis del reparto uniforme de la presión de apoyo para vigas laminadas o vigas armadas dotadas de los adecuados rigidizadores de apoyo.



[8.3]

Utilizando valores característicos y refiriéndonos a [8.3], la presión p sobre la fábrica tiene por valor:

$$p = \frac{R}{ab}$$

y debe emplearse $p \leqslant p_{adm}$

por tanto

$$b = \frac{R}{a\, p_{adm}} \qquad a = \frac{R}{b\, p_{adm}}$$

Para tener en cuenta el efecto de la carga concentrada y la distribución de presiones, algunas normas admiten un incremento, en determinadas condiciones, de la presión admisible.

La Norma DIN 1053, establece que cuando $b \leqslant \frac{d}{2}$ [8.3] puede elevarse el valor de la p_{adm} a vez y media su valor normal.

8 2 1. Apoyo directo sobre fábrica.

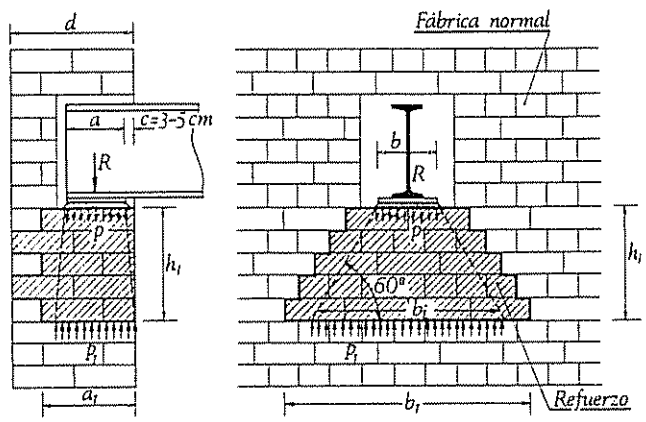
En el caso de reacciones no muy importantes puede considerarse el apoyo directo de la viga sobre el muro. Entonces, y para que la reacción pueda considerarse uniforme, no conviene que la entrega de la viga sobre el muro sea demasiado grande. A este efecto podemos fijar como valor recomendable de a:

$$a = 10 + \frac{h}{3}$$

con un máximo de

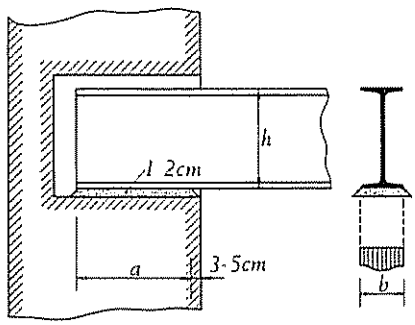
$$a = 20 + \frac{h}{3}$$

a y h en cm con valores mínimos de a entre 15 y 20 cm.

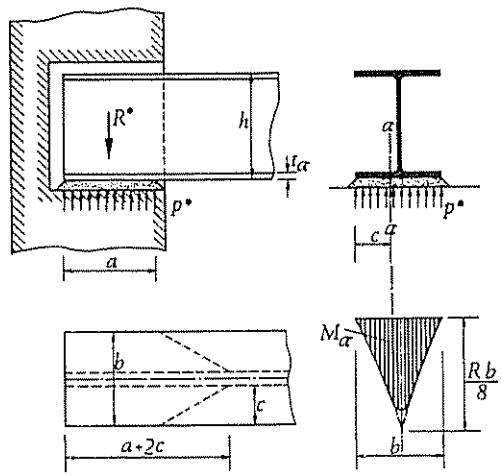


$a_1 \geq a$

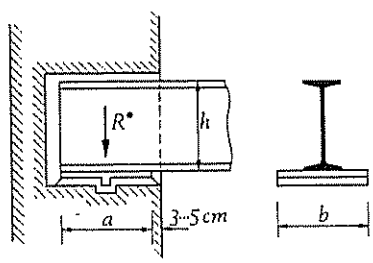
[8.4]



[8.5]



[8.6]



[8.7]

En el caso de que se quiera aumentar el valor de la presión admisible, pueden disponerse debajo de las vigas (también en el caso de **8.2 2**) elementos pétreos con valores más elevados de la presión admisible (sillares de piedra, placas de hormigón, u otros elementos) [8.4]

En **8.2 1-a** se recogen las dimensiones teóricas necesarias para estos refuerzos, también utilizables para el caso de apoyo con placa de reparto, **8.2 2.**

En todo caso y para obtener un mejor asiento, debe asentarse la viga sobre una capa de mortero de 1 a 2 cm de espesor, con la disposición de [8.5]. Esta capa de mortero no debe considerarse a efectos de aumento de la presión admisible.

En **8.2 1-b** se recogen los valores de las reacciones admisibles para las series **IPN, IPE, H** y para distintos valores de la presión admisible sobre la fábrica.

Además de la comprobación de la presión sobre la fábrica, es preciso la del ala a flexión. Lo que admitiendo el reparto uniforme, implica la de la sección α [8.6]

La comprobación de la viga la hacemos en agotamiento, como habitualmente, para lo cual utilizamos los valores de p^* y M^* obtenidos multiplicando los característicos por el coeficiente de ponderación correspondiente a la hipótesis de carga de que se trate.

El momento en la sección $\alpha - \alpha$ para el ancho total a, tiene por valor:

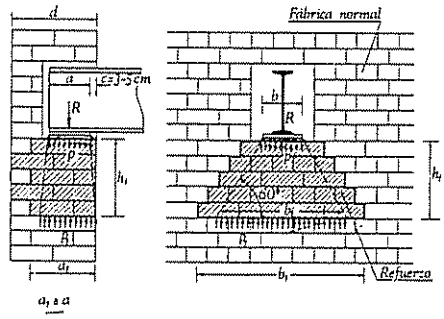
$$M^* = \frac{R^*}{b}\,\frac{c^2}{2} = p^* a\,\frac{c^2}{2} \qquad \sigma^* = \frac{M^*}{W_\alpha} \qquad \tau^* = \frac{R^*}{b\,t_\alpha}$$

$$\sqrt{\sigma^{*2} + 3\,\tau^{*2}} \leqslant \sigma_u$$

En la determinación de W_α interviene como ancho el valor de a de la entrega y el espesor t_α. Los valores de W_α para los distintos perfiles de las series **IPN, IPE** y **HEB** se dan en **8.2 1-c**, para un valor de a de 10 cm.

8 2 2. Apoyo con placa de reparto.

Con reacciones más importantes, y debido a la limitación anteriormente establecida para la longitud a de apoyo, puede no ser posible el apoyo directo. En este caso puede aumentarse el ancho b de apoyo por medio de una placa de asiento [8.7]. Esta, generalmente, es una chapa laminada, aunque a veces puede utilizarse el ala cortada de una I o una H, aprovechando el nervio constituido por el trozo de alma cortada para mejorar el anclaje.

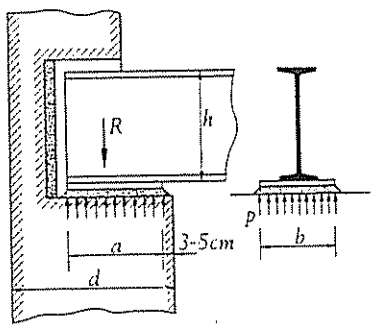


Dimensiones teóricas de b_t y h_t, para diversos valores de p_{adm} y p_{1adm}

Tensiones admisibles		Medidas teóricas del refuerzo		Tensiones admisibles		Medidas teóricas del refuerzo	
Del refuerzo p	De la fábrica normal p_1	$b_t = vb$ valores v	$h_t = kb$ valores de k	Del refuerzo p	De la fábrica normal p_1	$b_t = vb$ valores de v	$h_t = kb$ valores de k
8	6	1,33	0,286	16	12	1,33	0,286
9		1,50	0,433	22		1,83	0,719
10		1,67	0,580	30		2,50	1,30
12		2,00	0,886				
16		2,67	1,45	40		3,33	2,02
22		3,67	2,31	55		4,58	3,10
30		5,00	3,46	70		5,83	4,18
40		6,67	4,91	16	15	1,07	0,061
55		9,17	7,08	22		1,47	0,407
70		11,70	9,27	30		2,00	0,866
				40		2,67	1,45
				55		3,67	2,31
				70		4,67	3,18
9	8	1,13	0,113	22	18	1,22	0,191
10		1,25	0,217	30		1,67	0,580
12		1,50	0,433				
16		2,00	0,866	40		2,22	1,06
22		2,75	1,52	55		3,06	1,78
30		3,75	2,38	70		3,89	2,50
40		5,00	3,46	30	22	1,36	0,312
55		6,88	5,09				
70		8,75	6,71	40		1,82	0,710
				55		2,50	1,30
				70		3,18	1,89
12	10	1,20	0,173	40	30	1,33	0,286
16		1,60	0,520	55		1,83	0,719
22		2,20	1,04	70		2,33	1,15
30		3,00	1,73				
40		4,00	2,60	55	45	1,22	0,191
55		5,50	3,90	70		1,56	0,485
70		7,00	5,20				

b_1 y h_1 corresponden a un número entero de ladrillos y de hiladas. Deben ser: $h_1 \geq h_t$ y $b_1 \geq b_t$

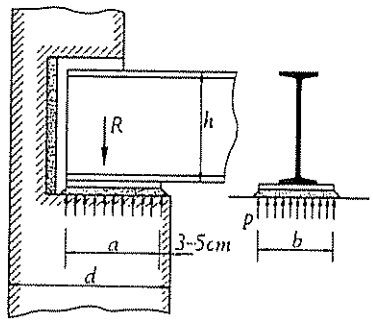
8.2 1-a



Reacción admisible en la viga, para distintos valores de la presión admisible en la fábrica

IPN	*a* mm	*b* mm	Presión admisible en la fábrica kg/cm²								
			6	8	10	12	15	18	22	30	45
80	150	42	0,38	0,50	0,63	0,76	0,95	1,13	1,39	1,89	2,84
100	150	50	0,45	0,60	0,75	0,90	1,13	1,35	1,65	2,25	3,38
120	150	58	0,52	0,70	0,87	1,04	1,31	1,57	1,91	2,61	3,92
140	200	66	0,79	1,06	1,32	1,58	1,98	2,38	2,90	3,96	5,94
160	200	74	0,88	1,18	1,48	1,78	2,22	2,66	3,26	4,44	6,66
180	200	82	0,98	1,31	1,64	1,97	2,46	2,95	3,61	4,92	7,38
200	200	90	1,08	1,44	1,80	2,16	2,70	3,24	3,96	5,40	8,10
220	200	98	1,18	1,57	1,96	2,35	2,94	3,53	4,31	5,88	8,82
240	250	106	1,59	2,12	2,65	3.18	3.98	4,77	5,83	7,95	11.9
260	250	113	1,70	2,26	2,83	3,39	4,24	5,09	6,22	8,48	12,7
280	250	119	1,79	2,38	2,98	3.57	4,46	5,36	6,55	8,93	13,4
300	250	125	1,88	2,50	3,13	3,75	4,69	5,63	6,88	9,38	14.1
320	250	131	1,97	2,62	3,28	3,94	4,91	5,90	7,22	9,84	14,7
340	250	137	2,06	2,74	3,43	4,11	5,14	6.17	7,54	10,3	15.4
360	300	143	2,57	3,43	4,29	5,15	6,44	7,72	9,44	12,9	19,3
380	300	149	2,68	3,58	4,47	5,36	6,71	8,05	9,83	13,4	20,1
400	300	155	2.79	3.72	4,65	5,58	6,98	8,37	10,2	14,0	20,9
450	300	170	3,06	4,08	5,10	6,12	7,65	9,18	11,2	15,3	23,0
500	350	185	3,89	5,18	6,48	7,77	9,71	11,7	14,2	19,4	29,1
550	350	200	4,20	5,60	7,00	8,40	10,5	12,6	15,4	21,0	31,5
600	350	215	4,52	6,02	7,53	9,03	11,3	13,5	16,6	22,6	33,9

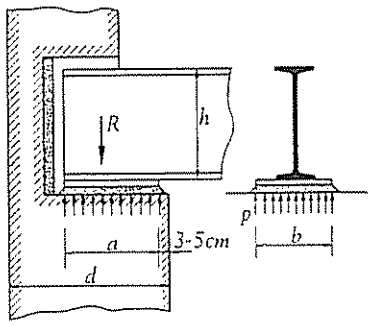
8.2 1-b



Reacción admisible en la viga, para distintos valores de la presión admisible en la fábrica

IPE	a	b	Presión admisible en la fábrica kg/cm²								
	mm	mm	6	8	10	12	15	18	22	30	45
80	150	46	0,41	0,55	0,69	0,83	1,03	1,24	1,52	2,07	3,11
100	150	55	0,50	0,66	0,83	0,99	1,24	1,49	1,82	2,48	3,71
120	150	64	0,58	0,77	0,96	1,15	1,44	1,73	2,11	2,88	4,32
140	200	73	0,88	1,17	1,46	1,75	2,19	2,63	3,21	4,38	6,57
160	200	82	0,98	1,31	1,64	1,97	2,46	2,95	3,61	4,92	7,38
180	200	91	1,09	1,46	1,82	2,18	2,73	3,28	4,00	5,46	8,19
200	200	100	1,20	1,60	2,00	2,40	3,00	3,60	4,40	6,00	9,00
220	200	110	1,32	1,76	2,20	2,64	3,30	3,96	4,84	6,60	9,90
240	250	120	1,80	2,40	3,00	3,60	4,50	5,40	6,60	9,00	13,5
270	250	135	2,03	2,70	3,38	4,05	5,06	6,08	7,43	10,1	15,2
300	250	150	2,25	3,00	3,75	4,50	5,63	6,75	8,25	11,3	16,9
330	250	160	2,40	3,20	4,00	4,80	6,00	7,20	8,80	12,0	18,0
360	300	170	3,06	4,08	5,10	6,12	7,65	9,18	11,2	15,3	23,0
400	300	180	3,24	4,32	5,40	6,48	8,10	9,72	11,9	16,2	24,3
450	300	190	3,42	4,56	5,70	6,84	8,55	10,3	12,5	17,1	25,7
500	350	200	4,20	5,60	7,00	8,40	10,5	12,6	15,4	21,0	31,5
550	350	210	4,41	5,88	7,35	8,82	11,0	13,2	16,2	22,0	33,0
600	350	220	4,62	6,16	7,70	9,24	11,6	13,9	16,9	23,1	34,7

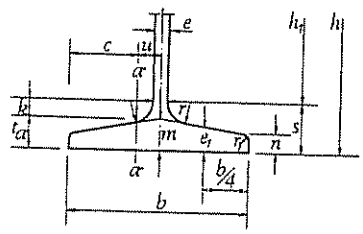
8.2 1-b



Reacción admisible en la viga, para distintos valores de la presión admisible en la fábrica

HEB HEA HEM	*a* mm	*b* mm	Presión admisible en la fábrica kg/cm²								
			6	8	10	12	15	18	22	30	45
100	150	100	0,90	1,20	1,50	1,80	2.25	2,70	3,30	4,50	6,75
120	150	120	1,08	1,44	1,80	2,16	2,70	3.24	3.96	5,40	8,10
140	200	140	1,68	2,24	2,80	3,36	4,20	5,04	6,16	8,40	12.6
160	200	160	1,92	2,56	3.20	3.84	4,80	5,76	7,04	9,60	14,4
180	200	180	2,16	2,88	3,60	4,32	5,40	6,48	7,92	10,8	16,2
200	200	200	2,40	3,20	4,00	4,80	6,00	7,20	8,80	12,0	18,0
220	200	220	2,64	3,52	4,40	5,28	6.60	7,92	9,68	13,2	19,8
240	250	240	3,60	4,80	6,00	7,20	9,00	10,8	13,2	18,0	27,0
260	250	260	3,90	5.20	6,50	7,80	9,75	11,7	14,3	19,5	29,3
280	250	280	4,20	5,60	7,00	8,40	10,5	12,6	15,4	21,0	31,5
300	250	300	4,50	6,00	7,50	9,00	11,3	13,5	16,5	22.5	33,8
320	250	300	4,50	6,00	7,50	9,00	11,3	13,5	16,5	22,5	33,8
340	250	300	4.50	6,00	7,50	9,00	11,3	13.5	16,5	22,5	33.8
360	300	300	5,40	7,20	9,00	10,8	13,5	16,2	19,8	27,0	40,5
380	300	300	5,40	7,20	9,00	10,8	13.5	16,2	19,8	27,0	40,5
400	300	300	5,40	7,20	9,00	10,8	13.5	16,2	19,8	27,0	40,5
450	300	300	5,40	7,20	9,00	10,8	13,5	16,2	19,8	27,0	40,5
500	350	300	6,30	8,40	10,5	12,6	15,8	18,9	23,1	31,5	47.3
550	350	300	6,30	8,40	10,5	12,6	15,8	18.9	23,1	31,5	47,3
600	350	300	6,30	8,40	10,5	12,6	15.8	18,9	23,1	31,5	47,3

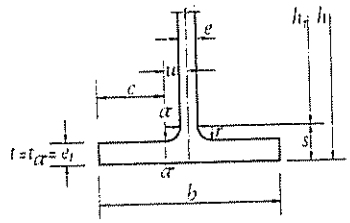
8.2 1-b



Dimensiones y valor del momento resistente W_α para $a = 10$ cm

IPN	Dimensiones mm													W_α cm^3
	h	b	$e = r$	e_1	r_1	m	n	k	s	h_1	u	c	t_α	
80	80	42	3,9	5,9	2,3	7,4	4,4	3,9	10,5	59	5,3	15,7	6,6	0,73
100	100	50	4,5	6,8	2,7	8,6	5,1	4,4	12,1	76	6,1	18,9	7,7	0,99
120	120	58	5,1	7,7	3,1	9,7	5,6	5,0	13,8	92	6,9	22,1	8,8	1,29
140	140	66	5,7	8,6	3,4	10,9	6,3	5,6	15,4	109	7,8	25,2	9,8	1,60
160	160	74	6,3	9,5	3,8	12,1	6,9	6,2	17,1	125	8,6	28,4	10,9	1,98
180	180	82	6,9	10,4	4,1	13,3	7,5	6,8	18,8	142	9,4	31,6	12,0	2,40
200	200	90	7,5	11,3	4,5	14,5	8,2	7,4	20,4	159	10,2	34,8	13,0	2,82
220	220	98	8,1	12,2	4,9	15,6	8,8	8,0	22,1	175	11,0	38,0	14,1	3,31
240	240	106	8,7	13,1	5,2	16,8	9,4	8,6	23,8	192	11,8	41,2	15,2	3,85
260	260	113	9,4	14,1	5,6	18,1	10,2	9,3	25,6	208	12,8	43,7	16,3	4,43
280	280	119	10,1	15,2	6,1	19,4	11,0	10,0	27,4	225	13,8	45,7	17,4	5,05
300	300	125	10,8	16,2	6,5	20,6	11,8	10,7	29,2	241	14,7	47,8	18,5	5,70
320	320	131	11,5	17,3	6,9	21,9	12,7	11,4	31,1	257	15,7	49,8	19,7	6,47
340	340	137	12,2	18,3	7,3	23,1	13,5	12,1	32,9	274	16,6	51,9	20,8	7,21
360	360	143	13,0	19,5	7,8	24,5	14,5	12,9	34,9	290	17,7	53,8	22,0	8,07
380	380	149	13,7	20,5	8,2	25,7	15,3	13,6	36,7	306	18,6	55,9	23,1	8,89
400	400	155	14,4	21,6	8,6	27,0	16,2	14,2	38,5	323	19,6	57,9	24,3	9,84
450	450	170	16,2	24,3	9,7	30,3	18,4	16,0	43,2	363	22,1	62,9	27,2	12,33
500	500	185	18,0	27,0	10,8	33,5	20,5	17,8	47,9	404	24,5	68,0	30,1	15,10
550	550	200	19,0	30,0	11,9	37,0	23,0	18,8	52,2	445	25,9	74,1	33,4	18,59
600	600	215	21,6	32,4	13,0	39,9	24,9	21,4	57,2	485	29,4	78,1	35,8	21,36

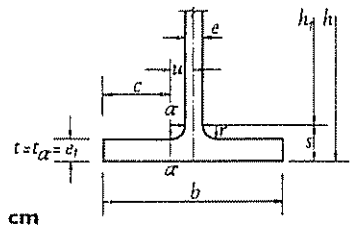
8.2 1-c



Dimensiones y valor del momento resistente W_α para $a = 10$ cm

IPE	Dimensiones mm									W_α cm³
	h	b	e	e_1	r	s	h_1	u	c	
80	80	46	3,8	5,2	5	11	59	6.9	16,1	0,45
100	100	55	4,1	5,7	7	13	74	9,0	18,5	0,54
120	120	64	4,4	6,3	7	14	93	9,2	22,8	0,66
140	140	73	4,7	6,9	7	14	112	9,3	27,2	0,79
160	160	82	5.0	7,4	9	17	127	11,5	29,5	0,91
180	180	91	5,3	8,0	9	17	146	11,6	33,9	1,06
200	200	100	5,6	8,5	12	21	159	14,8	35,2	1,20
220	220	110	5,9	9.2	12	22	177	14,9	40,1	1,41
240	240	120	6,2	9,8	15	25	190	18,1	41,9	1,60
270	270	135	6,6	10,2	15	26	219	18,3	49,2	1,73
300	300	150	7,1	10,7	15	26	248	18.5	56,5	1,90
330	330	160	7,5	11,5	18	30	271	21,7	58,3	2,20
360	360	170	8,0	12,7	18	31	298	22,0	63,0	2,68
400	400	180	8,6	13,5	21	35	331	25.3	64,7	3,03
450	450	190	9,4	14,6	21	36	378	25,7	69,3	3,55
500	500	200	10.2	16,0	21	37	426	26.1	73,9	4,26
550	550	210	11,1	17,2	24	42	467	29,5	75,5	4,93
600	600	220	12,0	19,0	24	43	514	30,0	80,0	6,01

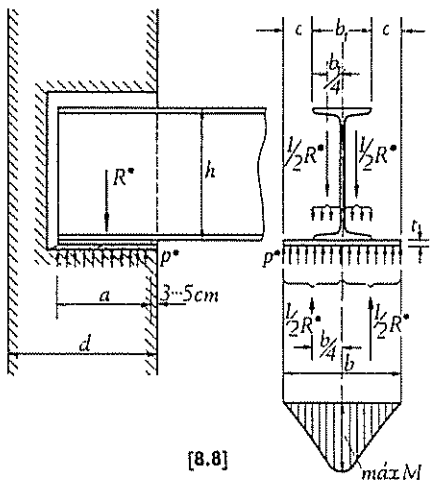
8.2 1-c



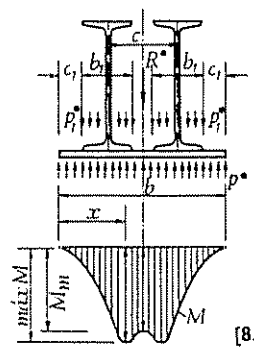
Dimensiones y valor del momento resistente W_α para $a = 10$ cm

HEB	Dimensiones mm									W_α cm³
	h	b	e	e_1	r	s	h_1	u	c	
180	180	180	9	14	14	28	124	18,5	71,5	3,27
200	200	200	10	16	15	31	138	20,0	80,0	4,27
220	220	220	10	16	15	31	158	20,0	90,0	4,27
240	240	240	11	18	17	35	170	22,5	97,5	5,40
260	260	260	11	18	17	35	190	22,5	107,5	5,40
280	280	280	12	20	18	38	204	24,0	116,0	6,67
300	300	300	12	20	18	38	224	24,0	126,0	6,67
320	320	300	13	22	20	42	236	26,5	123,5	8,07
340	340	300	13	22	20	42	256	26,5	123,5	8,07
360	360	300	14	24	21	45	270	28,0	122,0	9,60
380	380	300	14	24	21	45	290	28,0	122,0	9,60
400	400	300	14	26	21	47	306	28,0	122,0	11,27
450	450	300	15	28	23	51	348	30,5	119,5	13,07
500	500	300	16	30	24	54	392	32,0	118,0	15,00
550	550	300	16	30	24	54	442	32,0	118,0	15,00
600	600	300	17	32	26	58	484	34,5	115,5	17,07

8.2 1-c



[8.8]



[8.9]

Para evitar la rotura de la esquina de la fábrica, se aconseja remeter la placa de 3 a 5 cm respecto del paramento del muro.

La chapa de asiento se dimensionará a flexión. Refiriéndonos a [8.8] se tiene:

$$b = \frac{R^*}{a\,p^*} \qquad M^*_{máx} = \frac{R^*}{2}\,\frac{b}{4} - \frac{R^*}{2}\,\frac{b_1}{4} = \frac{R^* c}{4}$$

$$W = \frac{a\,t^2}{6}$$

y de aquí

$$t = \sqrt{\frac{1{,}5\,R^* c}{a\,\sigma_u}}$$

En **8.2.2** se dan para distintos valores de $p_{adm} = \dfrac{p^*}{\text{coeficiente de mayoración}}$ y del espesor t de la chapa los valores correspondientes de c para el acero A 42.

En el caso de apoyo de dos vigas sobre una misma placa de reparto, la ley de momentos es la que se indica en [8.9].

Los máximos momentos se producen en el punto medio de la placa en que el esfuerzo cortante es nulo y en el punto de abcisa x tal:

$$(x - c_1)\,p_1^* = x\,p^* \qquad x = \frac{p^*\,c_1}{p^*_1 - p^*}$$

En este punto el valor del momento es:

$$M^*_x = p^*\,\frac{x^2}{2} - p_1^*\,\frac{(x - c_1)^2}{2}$$

y en el punto medio

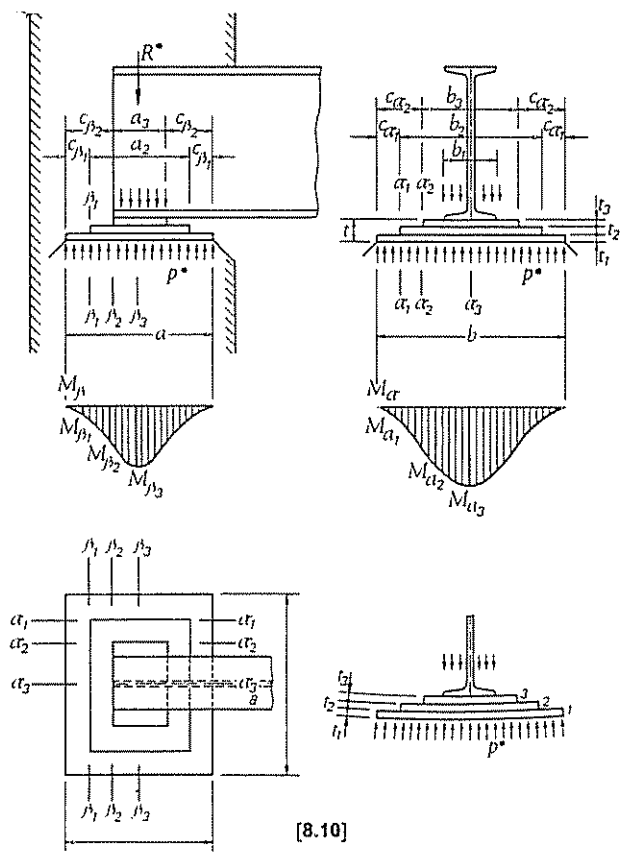
$$M^*_m = \frac{R^*}{4}\left(\frac{b}{2} - c\right)$$

El momento es máximo en el punto medio cuando la separación c entre las vigas es grande.

Longitud, c, en milímetros, para una presión admisible de la fábrica, p, [8 8]. **Acero A 42**

Espesor de la chapa t	Presión admisible de la fábrica kg/cm²								
	6	8	10	12	15	18	22	30	45
8	80	69	62	57	51	46	42	36	29
10	100	87	77	71	63	58	52	45	37
12	120	104	93	85	76	69	63	54	44
15	150	130	116	106	95	87	78	67	55
18	180	156	139	127	114	104	94	80	66
20	200	173	155	141	127	115	104	89	73
25	250	217	194	177	158	144	131	112	91
30	300	260	232	212	190	173	157	134	110
35	350	303	271	247	221	202	183	157	128
40	400	346	310	283	253	231	209	179	146
45	450	390	349	318	285	260	235	201	164
50	500	433	387	354	316	289	261	224	183

8.2.2



[8.10]

8.2.3. Caso de varias placas escalonadas.

En algunos casos pueden utilizarse varias placas escalonadas independientes. Entonces es necesario comprobar cada una de ellas para la flexión transversal y longitudinal.

Resumimos a continuación las fórmulas necesarias para la comprobación, refiriéndonos a [8.10]:

Flexión transversal:

$$M^*_{\alpha 1} = \frac{R^*}{b}\,\frac{c_{\alpha 1}^2}{2} \qquad M_{\alpha 2} = \frac{R^*}{b}\,\frac{c_{\alpha 2}^2}{2} \qquad M^*_{\alpha 3} = \frac{R^*\,(b - b_1)}{8}$$

Placa 1:

$$I_{\alpha 1} = \frac{a t_1^3}{12} \qquad W_{\alpha 1} = \frac{a t_1^2}{6}$$

Placa 2:

$$I_{\alpha 2} = \frac{a_2\, t_2^3}{12} \qquad W_{\alpha 2} = \frac{a_2\, t_2^3}{6}$$

Placa 3:

$$I_{\alpha 3} = \frac{a_3\, t_3^3}{12} \qquad W_{\alpha 3} = \frac{a_3\, t_3^2}{2}$$

$M^*_{\alpha 1}$ es absorbido solamente por la placa 1, $M^*_{\alpha 2}$ por las placas 1 y 2 proporcionalmente a sus momentos de inercia y análogamente $M^*_{\alpha 3}$ se distribuye entre las tres placas. Con ello resultan como tensiones en las diferentes placas y secciones:

Placa 1:

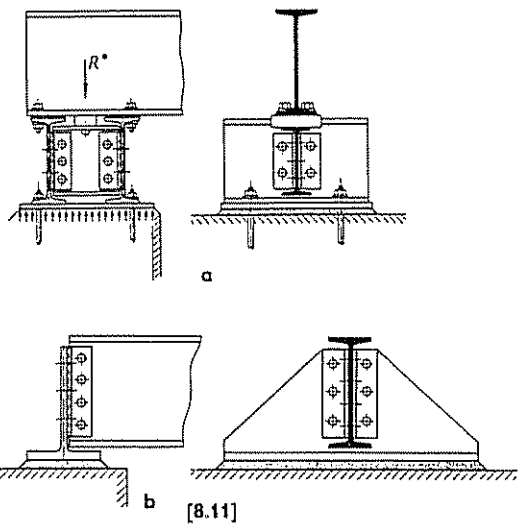
$$\sigma^*_{\alpha 1} = \frac{M^*_{\alpha 1}}{W_{\alpha 1}} \qquad \sigma^*_{\alpha 2} = \frac{M^*_{\alpha 2}}{W_{\alpha 1}}\,\frac{I_{\alpha 1}}{I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2}} \qquad \sigma^*_{\alpha 3} = \frac{M^*_{\alpha 3}}{W_{\alpha 1}}\,\frac{I_{\alpha 1}}{I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2} + I_{\alpha 3}}$$

Placa 2:

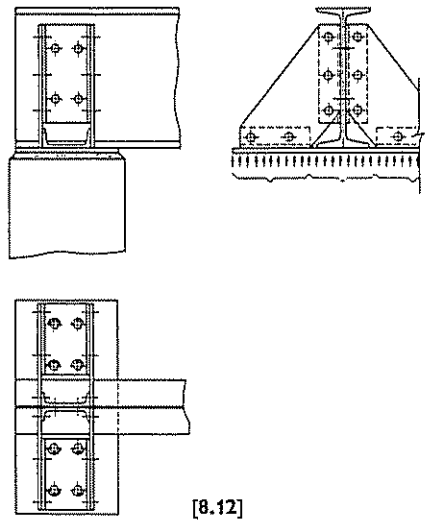
$$\sigma^*_{\alpha 2} = \frac{M^*_{\alpha 2}}{W_{\alpha 2}}\,\frac{I_{\alpha 2}}{I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2}} \qquad \sigma^*_{\alpha 3} = \frac{M^*_{\alpha 3}}{W_{\alpha 2}}\,\frac{I_{\alpha 2}}{I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2} + I_{\alpha 3}}$$

Placa 3:

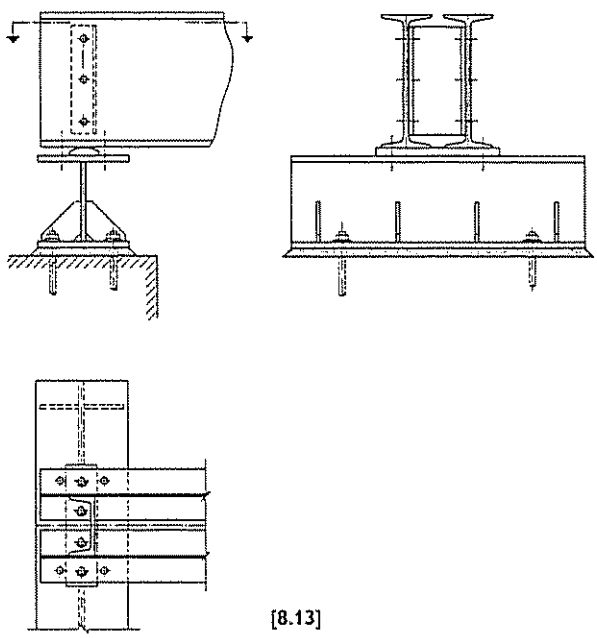
$$\sigma^*_{\alpha 3} = \frac{M^*_{\alpha 3}}{W_{\alpha 3}}\,\frac{I_{\alpha 3}}{I_{\alpha 1} + I_{\alpha 2} + I_{\alpha 3}}$$



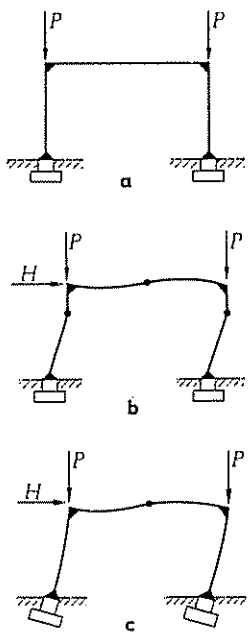
[8.11]



[8.12]



[8.13]



[8.14]

En la flexión longitudinal se tiene análogamente:

Placa 1:

$$\sigma^*_{\beta_1} = \frac{M^*_{\beta_1}}{W_{\beta_1}} \qquad \sigma^*_{\beta_2} = \frac{M^*_{\beta_2}}{W_{\beta_1}} \frac{I_{\beta_1}}{I_{\beta_1} + I_{\beta_2}} \qquad \sigma^*_{\beta_3} = \frac{M^*_{\beta_3}}{W_{\beta_1}} \frac{I_{\beta_1}}{I_{\beta_1} + I_{\beta_2} + I_{\beta_3}}$$

Placa 2:

$$\sigma^*_{\beta_2} = \frac{M^*_{\beta_2}}{W_{\beta_2}} \frac{I_{\beta_2}}{I_{\beta_1} + I_{\beta_2}} \qquad \sigma^*_{\beta_3} = \frac{M^*_{\beta_3}}{W_{\beta_2}} \frac{I_{\beta_2}}{I_{\beta_1} + I_{\beta_2} + I_{\beta_3}}$$

Placa 3:

$$\sigma^*_{\beta_3} = \frac{M^*_{\beta_3}}{W_{\beta_3}} \frac{I_{\beta_3}}{I_{\beta_1} + I_{\beta_2} + I_{\beta_3}}$$

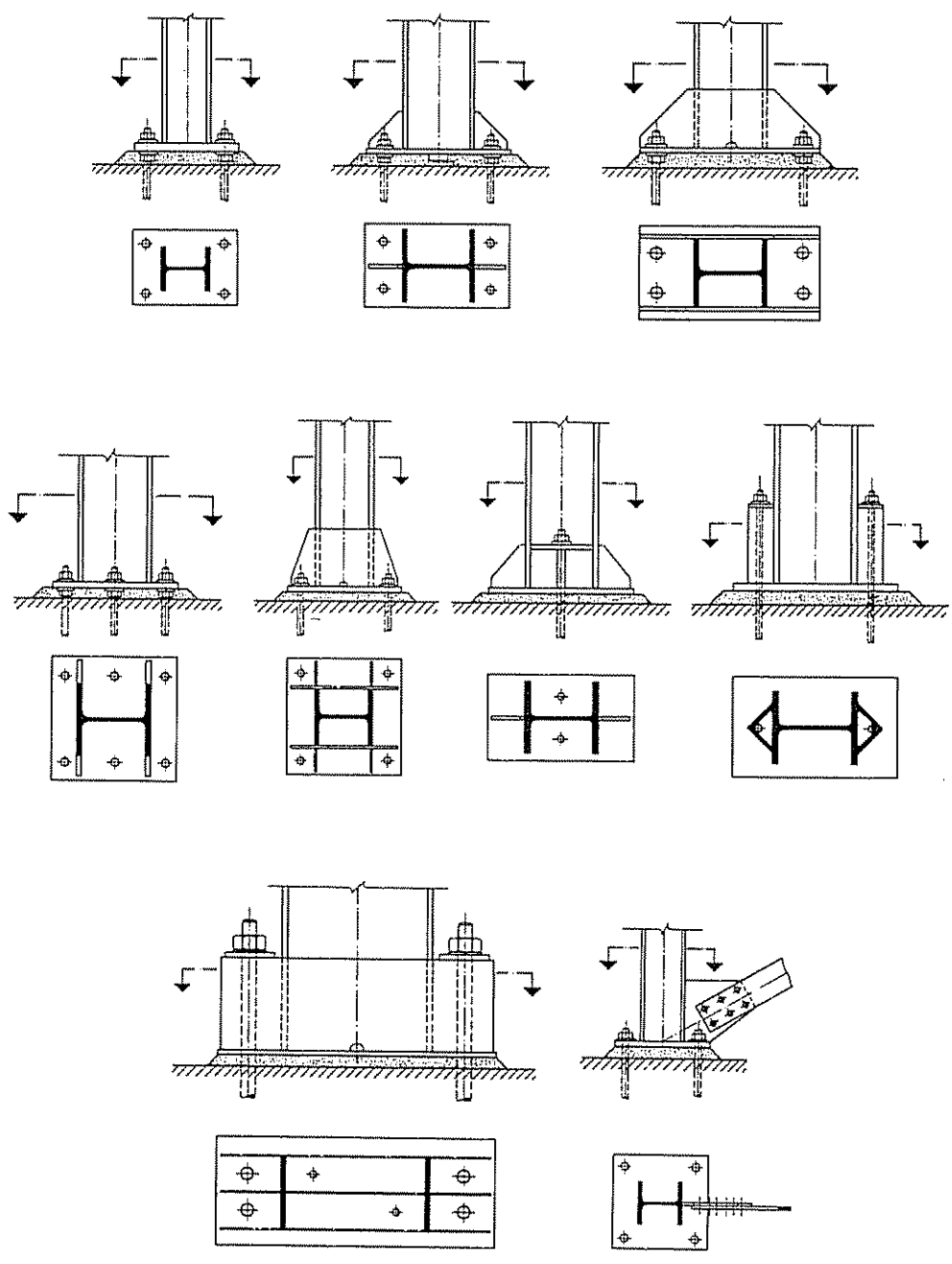
8.2.4. Otras disposiciones de apoyos.

En el caso en que sea necesario una superficie de reparto mayor, por la importancia de la reacción o porque se quieran disminuir las presiones sobre la fábrica, pueden emplearse otras disposiciones, [8.11], [8.12] y [8.13].

8.3. BASES DE COLUMNAS

Los pilares o columnas de una estructura, con solicitación predominantemente axil, deben transmitir su carga a un cimiento, generalmente constituido por un material de resistencia específica inferior al acero, de manera que las tensiones que en él se originen puedan ser resistidas por el mismo. Esto requiere normalmente el ensanchamiento del extremo o pie de la columna para permitir una distribución de las cargas. El elemento de transición entre la sección normal de la columna y el cimiento, se denomina base de la columna y según la importancia y naturaleza de los esfuerzos a transmitir [1] la base puede consistir en una simple placa, con el espesor y dimensiones

[1] Compresión simple, tracción, esfuerzos transversales, momento flector o alguna combinación entre ellos, en la que generalmente se incluye siempre la compresión. La solicitación de tracción, puede darse en columnas para alguna combinación de cargas (peso propio + viento).



[8.15] *continúa*

necesarias para repartir la presión (bases simples con o sin cartelas), o necesitar adicionalmente elementos de rigidización y transmisión con mayor o menor complicación e importancia (bases compuestas).

Los pilares pueden considerarse como articulados o empotrados en la cimentación. En el primer caso los esfuerzos que transmite al cimiento son exclusivamente axiles y cortantes. Esta condición, que debe ser una hipótesis previa en el cálculo de la estructura, puede exigir que la base constituya una verdadera articulación. También puede darse el caso que, como resultado del sistema estructural y las cargas aplicadas, el pilar trabaje exclusivamente a compresión y la base se considere como una articulación, aunque por su ejecución pudiera absorber eventualmente algún momento o excentricidad de la reacción [1].

En el caso de pilares considerados como empotrados en su base es preciso, independientemente del correcto dimensionamiento de la misma, comprobar que las dimensiones de la cimentación y la naturaleza del terreno no permitan giros o desplazamientos que invaliden la hipótesis de empotramiento perfecto [8.14].

8.3.1. **Disposiciones y recomendaciones generales.**

Refiriéndonos a bases simples con o sin cartelas, que son las que se utilizan en el caso de columnas constituidas por sección en H, generalmente laminadas, pueden darse una gran variedad de disposiciones. Las más usuales se representan en [8.15] y aunque correspondan en algunos casos a condicionamientos diferentes, la elección suele supeditarse a razones de economía.

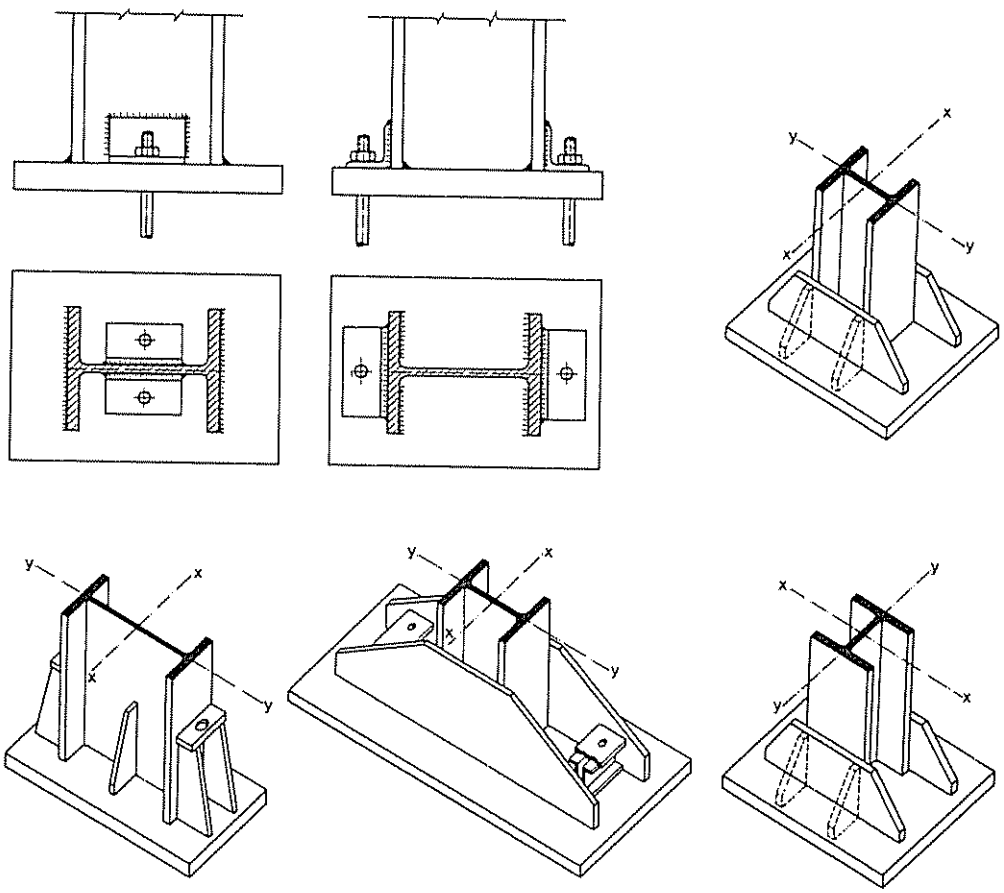
8.3.1.1. *Pernos de anclaje.*

Los pernos constituyen el elemento de unión entre el cimiento y la base. En los casos en que la columna transmite solo esfuerzos de compresión y no son por tanto teóricamente necesarios, deben también colocarse, aunque no sea más que a efectos de fijación y de facilidad de montaje.

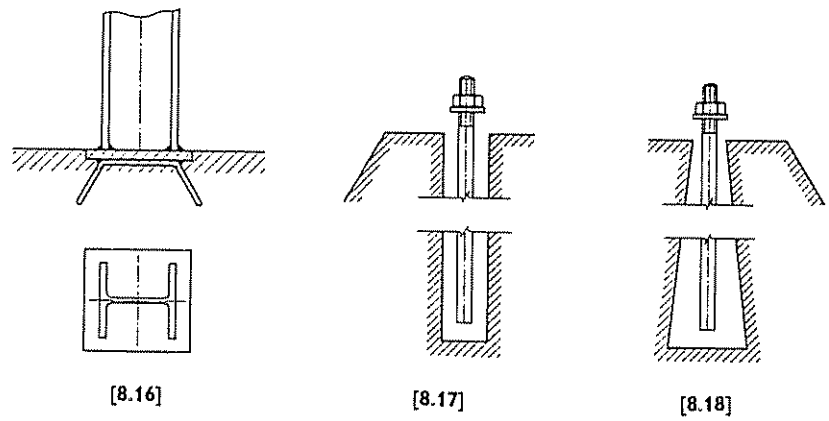
Asimismo se recomienda que salvo en casos excepcionales, no se empleen pernos o tornillos de diámetro inferior a 20 mm.

---

[1] Este es el caso de pilares exclusivamente comprimidos con cuatro pernos en su base, lo que facilita el montaje, y que tienen capacidad para absorber los esfuerzos anormales que pueden producirse en el mismo.



[8.15]



[8.16]

[8.17]

[8.18]

En algunos casos en estructuras ligeras y elementos de poca importancia, los pernos se sustituyen por patillas de anclaje soldadas a una placa de base recibida en el cimiento y a la que se suelda posteriormente la columna [8.16], bien directamente o por intermedio de angulares o cartelas. Este procedimiento, si bien bastante empleado en edificación ligera, no es recomendable para obras de alguna importancia y para que pueda considerarse correcto requiere un cuidadoso control de la fabricación y ejecución en obra.

Fundamentalmente pueden distinguirse dos tipos de pernos, según la forma en que transmiten el esfuerzo al macizo de anclaje: Pernos anclados por adherencia o pernos anclados a elementos embebidos en el macizo.

Pernos por adherencia.

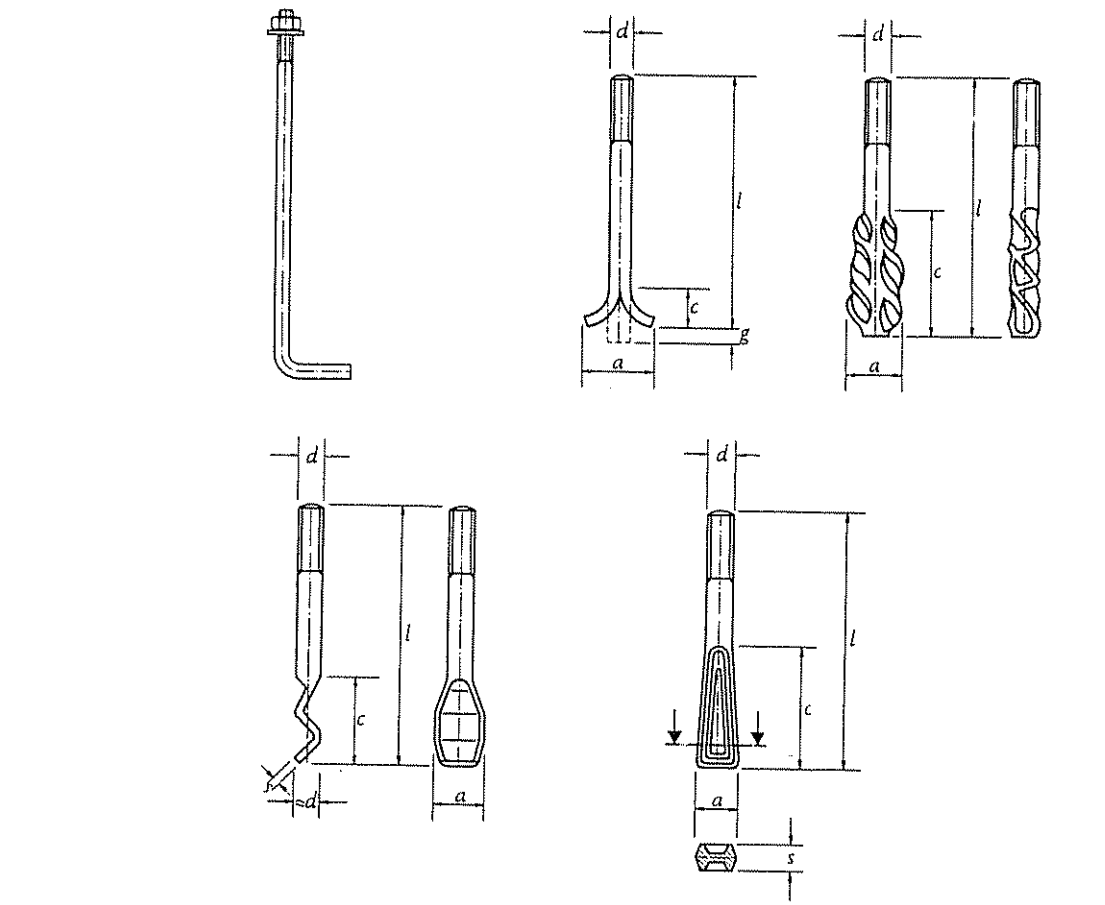
Son pernos que transmiten su carga al cimiento por adherencia con el hormigón, en masa o armado, que lo constituye y que pueden colocarse al tiempo del hormigonado del cimiento o posteriormente en unos cajetines dejados en el mismo y que se rellenan con mortero o material análogo cuando se colocan los pernos.

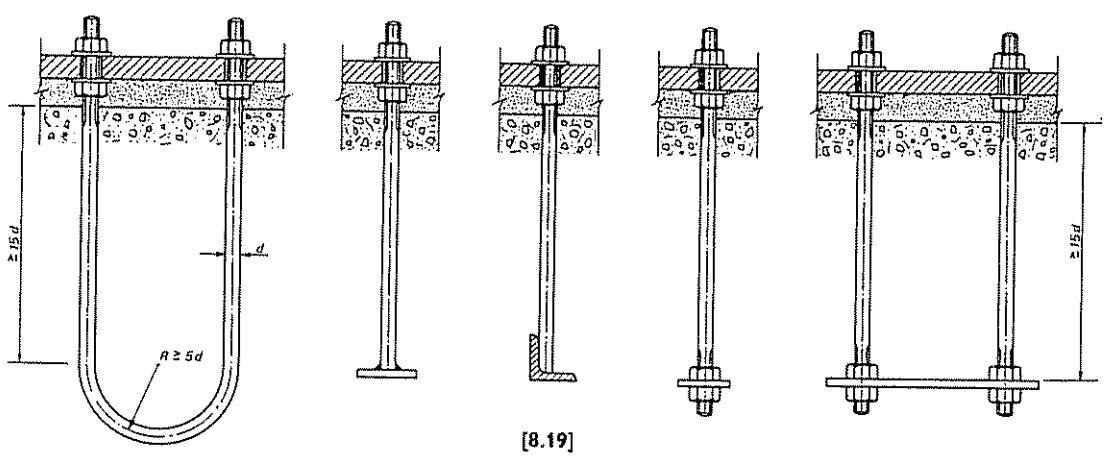
Los cajetines pueden ser prismáticos con paredes verticales [8.17], o de forma tronco cónica o tronco-piramidal con la parte inferior más ancha [8.18] (generalmente con el ensanchamiento en una sola dirección). Los primeros se utilizan en general para pernos de fijación, o para pequeños esfuerzos de tracción, en los segundos se consigue una buena transmisión de los esfuerzos aunque la ejecución es complicada, por lo que no se emplean demasiado para bases de columnas. Adicionalmente debe asegurarse la adherencia entre el hormigón (viejo) del cimiento y el mortero de relleno.

Para pernos que deban transmitir tracciones importantes se recomienda la primera modalidad, o sea, con colocación previa al hormigonado del cimiento, de manera que queden embebidos en él.

Sin embargo, actualmente existen productos especiales con los cuales se fabrican morteros sin retracción y con un valor muy elevado de las tensiones de adherencia, tanto entre perno y mortero como entre mortero y hormigón. Estos productos permiten el anclaje de pernos con cajetines de poca profundidad, con posibilidad de agotar la capacidad resistente de los pernos a tracción. En cierto modo conjugan las ventajas de los pernos recibidos en el hormigón (con longitudes de adherencia menores) con las de los pernos recibidos «a posteriori» en cajetines. Por existir diferentes productos fabricados por distintas casas especializadas, no damos datos y características precisas de ninguno de ellos, debiendo el proyectista, si estima conveniente una solución de este tipo, consultar con el fabricante.

Con algunos morteros de este tipo se consiguen tensiones de adherencia de 40 kg/cm^2 y superiores, lo que hace su empleo recomendable en muchos casos, y muy especial-





[8.19]

mente cuando es preciso crear nuevos anclajes de estructura o maquinaria en un cimiento existente.

Existen numerosas disposiciones [8.19]. La longitud l embebida debe ser tal que teniendo en cuenta la adherencia hormigón-acero, el perno se arranque para la misma fuerza que lo agote a tracción.

La Instrucción EH-73 para la ejecución de obras de hormigón en masa y armado, fija como resistencia de cálculo para adherencia τ_{bd}, el valor (para barras lisas):

$$\tau_{bd} = 1{,}6 \sqrt{f_{cd}}$$

siendo f_{cd} = resistencia de cálculo del hormigón a compresión.

El valor de f_{cd} se define a su vez como el valor de la resistencia de proyecto correspondiente, dividido por un coeficiente de minoración γ_c, cuyo valor medio es 1,5 y cuyo valor máximo, en el caso de que no se realicen probetas para controlar la calidad del hormigón, asciende a 1,7. En el caso de los pernos de anclaje, parece prudente adoptar este valor de 1,7, con el cual pueden obtenerse los valores límites de la tensión de adherencia para distintas clases de hormigón, definidos por sus resistencias características a compresión a los veintiocho días. Estos valores para los hormigones más usuales en la construcción de cimientos son:

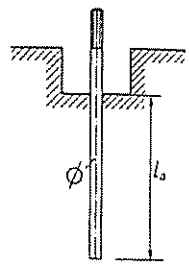
Hormigón	H 125	H 150	H 175	H 200	H 225	H 250
Tensión límite de adherencia τ^* kg/cm²	13,7	15,0	16.2	17,3	18,4	19,4

Longitud de adherencia en pernos rectos.

En **8.3 1 1-a** se da el mínimo de longitud de adherencia para diversas calidades de hormigón y para tornillos 4.6 y 5.6. Su cálculo se basa en las consideraciones siguientes:

Según la EH 73, con los valores de adherencia anteriormente determinados puede comprobarse la transmisión de esfuerzos tangenciales entre el hormigón y la armadura, pero especifica en el comentario al artículo 39.°

> *En las zonas de anclaje las tensiones tangenciales tienen que limitarse más, lo que se refleja en las longitudes de anclaje del artículo 37.°*
>
> y más adelante:
>
> *En piezas sometidas a acciones dinámicas debe reducirse la resistencia de cálculo.*



Longitud mínima de adherencia para pernos rectos

Diámetro del perno Ø	Calidad del perno 4.6							
	Esfuerzo de agotamiento en el perno T	Tensiones de adherencia τ						
		H 125 9,80	H 150 10,00	H 175 10,80	H 200 11,53	H 225 12,27	H 250 12,93	
20	5,28	91,76	84,03	77,81	72,86	68,51	64,97	6,
22	5,81	92,06	84,06	77,82	72,89	68,52	65,00	7,
24	6,77	98,31	89,78	83,13	77,85	73,19	69,18	8,
27	8,81	113,72	103,86	96,17	90,05	84,66	80,30	11,
30	10,77	125,12	114,27	105,80	99,08	93,15	88,35	13,
33	13,32	140,67	128,48	118,95	111,39	104,73	99,33	16,
36	15,68	151,80	138,63	128,37	120,20	113,01	107,19	19,
42	21,54	178,73	163,25	151,16	141,54	133,08	126,21	26,9
48	28,54	207,23	189,26	175,23	164,09	154,28	146,33	35,6
56	39,50	245,84	224,52	207,89	194,67	183,03	173,60	49,3
64	52,54	286,11	261,32	241,95	226,56	213,02	202,04	65,6
72	68,60	332,06	303,27	280,80	262,95	247,23	234,48	85,7
80	86,56	377,09	344,40	318,89	298,62	280,77	266,28	108,2
90	112,27	434,75	397,07	367,75	344,28	323,70	307,01	140,3
100	141,37	492,69	449,99	416,66	390,17	366,84	347,93	176,7

8.3 1 1-a

Esfuerzo de pretensamiento en el perno T	Calidad del perno 5.6 — Tensiones de adherencia, kg/cm² τ						Diámetro del perno ø mm
	H 125 9,80	H 150 10,00	H 175 10,80	H 200 11,53	H 225 12,27	H 250 12,93	
6,60	114,70	105,03	97,26	91,08	85,64	81,22	20
7,26	115,08	105,08	97,28	91,11	85,65	81,25	22
8,46	122,89	112,23	103,91	97,31	91,49	100,38	24
11,01	142,15	129,83	120,21	112,56	105,83	86,48	27
13,46	156,40	142,84	132,25	123,85	116,44	110,44	30
16,65	175,84	160,60	148,69	139,24	130,91	124,16	33
19,60	189,75	173,29	160,46	150,25	141,26	133,99	36
26,93	223,41	204,06	188,95	176,93	166,35	157,76	42
35,68	259,04	236,58	219,04	205,11	192,85	182,91	48
49,38	307,30	280,65	259,86	243,34	228,79	217,00	56
65,68	357,64	326,65	302,44	283,20	266,28	252,55	64
85,75	415,08	379,09	351,00	328,69	309,04	293,10	72
108,20	471,36	430,50	398,61	373,28	350,96	332,85	80
140,34	543,44	496,34	459,69	430,35	404,63	383,76	90
176,71	615,86	562,49	520,83	487,71	458,55	434,91	100

8.3 1 1-a

NOTAS

Por estas razones, para confeccionar **8.3 1 1-a**, en la que se expresan las longitudes mínimas de anclaje para barras lisas, se ha partido de una tensión límite de adherencia 1,5 veces menor de la calculada anteriormente.

Con este supuesto las longitudes de anclaje que se obtienen son ligeramente superiores a las que la EH 73 fija en su artículo 37.ª, como puede verse en la siguiente tabla comparativa (se escoge el valor n_2 que figura en 37.2 de la Instrucción):

Longitud de anclaje: L = K × diámetro.

	Valores de K					
	H 125	H 150	H 175	H 200	H 225	H 250
EH-73	44	40	36	32	28	24
Tabla **8.3 1 1-a**	45	42	38,9	36,4	34,2	32,4

Comparación que solo pretende dar una idea del orden de magnitud, ya que en ella hay que tener en cuenta dos circunstancias:

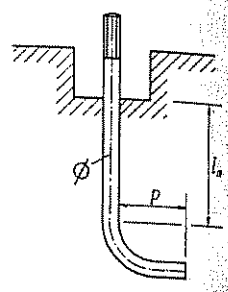
— Para las armaduras, la EH-73 indica que irán siempre provistas de gancho o patilla aunque no se valora específicamente su contribución a la resistencia.

— Las tracciones que agotan la sección de acero son inferiores en los pernos de anclaje que en las armaduras (supuestas, como es normal para barras lisas, con límite elástico de 2 400), ya que en los pernos la tracción se calcula referida al área resistente (inferior al área de la caña) y en la condición de agotamiento de un tornillo existe el factor 0,8 de reducción, mientras que en las armaduras el coeficiente de minoración es 1.15. Esta diferencia se pone de manifiesto en la tabla comparativa siguiente:

Tracción de agotamiento en toneladas para un diámetro determinado.

	Diámetro mm					
	20	22	24	27	30	36
Redondo $\sigma_e = 2\,400$ kg/cm²	6,55	7,93	9,43	11,96	14,75	21,42
Tornillo 4 6	5.28	5,81	6,77	8,81	10,77	15,68
Relación	1,24	1.36	1,39	1.36	1,37	1,37

Las longitudes de anclaje para pernos 5.6 se han calculado partiendo de las correspondientes a los 4.6 proporcionalmente a los esfuerzos de agotamiento del perno.



Longitud mínima de adherencia para pernos con patilla, cm.

Longitud mínima de la patilla	Diámetro del perno	Calidad del perno 4.6							
		Esfuerzo de agotamiento en el perno	Tensiones de adherencia, $\bar{\tau}$, kg/cm²						Esfuerzo de agotamiento en el perno
			H 125	H 150	H 175	H 200	H 225	H 250	
p	Ø mm	t	14,70	15,00	16,20	17,29	18,40	19,39	t
75	20	5,28	61,17	56,02	51,87	48,57	45,67	43,31	6,60
75	22	5,81	61,37	56,04	51,88	48,59	45,68	43,33	7,26
75	24	6,77	65,54	59,85	55,42	51,90	48,79	46,12	8,46
75	27	8,81	75,81	69,24	64,11	60,03	56,44	53,53	11,01
100	30	10,77	83,41	76,18	70,53	66,05	62,10	58,90	13,46
100	33	13,32	93,78	85,65	79,30	74,26	69,82	66,22	16,65
100	36	15,68	101,20	92,42	85,58	80,13	75,34	71,46	19,60
150	42	21,54	119,15	108,83	100,77	94,36	88,72	84,14	26,93
150	48	28,54	138,15	126,17	116,82	109,39	102,85	97,55	35,68
150	56	39,50	163,89	149,68	138,59	129,78	122,02	115,73	49,38
200	64	52,54	190,74	174,21	161,30	151,04	142,01	134,69	65,68
200	72	68,60	221,37	202,18	187,20	175,30	164,82	156,32	85,75
200	80	86,56	251,39	229,60	212,59	199,08	187,18	177,52	108,20
200	90	112,27	289,83	264,71	245,16	229,52	215,80	204,67	140,34
200	100	141,37	328,46	299,99	277,77	260,11	244,56	231,95	176,71

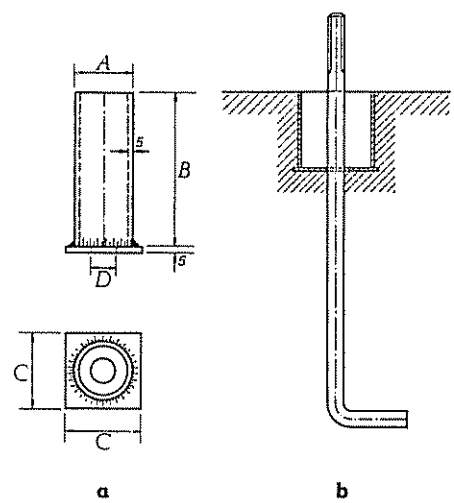
8.3 1 1-b

Calidad del perno 5 6							Diámetro del perno	Longitud mínima de la patilla
Esfuerzo de agotamiento en perno	Tensiones de adherencia, τ, kg/cm²							
	H 125 14,70	H 150 15,00	H 175 16,20	H 200 17,29	H 225 18,40	H 250 19.39	⌀ mm	*p* mm
6.60	76.46	70.02	64.84	60.72	57.09	54,14	20	75
7.26	76.72	70.05	64.85	60,74	57.10	54.16	22	75
8.46	81.92	74.82	69,27	64.87	60,99	66.92	24	75
11,01	94.76	86,55	80.14	75.04	70,55	57.65	27	75
13.46	104,26	95,22	88,16	82.56	77,62	73.62	30	100
16.65	177,22	107,06	99.12	92.82	87.27	82,77	33	100
19,60	126.50	115.52	106.97	100,16	94.17	89,32	36	100
26.93	148.94	136,04	125.96	117.95	110.90	105.17	42	150
35.68	172.69	157.72	146.02	136,74	128,56	121.94	48	150
49,38	204.86	187.10	173,24	162.22	152,52	144.66	56	150
65.68	238.42	217.76	201.62	188,80	177,52	168.36	64	200
85.75	276.62	252,72	234.00	219.12	206.02	195.40	72	200
108,20	314.24	287,00	265,74	248,85	233.97	221,90	80	200
140.34	362.29	330,89	306.46	286,90	269,75	255.84	90	200
176.71	410.57	374.99	347,22	325,14	305,70	289.94	100	200

8.3 1 1-b

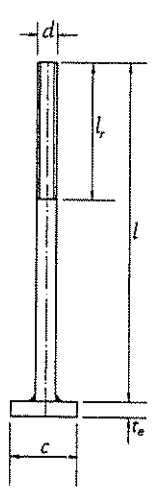
Manguitos tipificados

Manguito	Perno ø mm	A mm	B mm	C mm	D mm
M-1	20	60	250	90	22
	22				24
	24				26
M-2	27	80	280	100	29
	30				32
	33				35
	36				38
M-3	42	90	300	110	44
	48				50
M-4	56	100	400	120	58
	64				66
M-5	72	140	450	160	74
	80				82
	90				92
	100				102



a b

[8.20]



Dimensiones standard, en milímetros, recomendadas para pernos de anclaje con placa.

Diámetro del tornillo d	Longitud total del tornillo l	Longitud de la rosca superior l_r	Medida de la placa de anclaje $c \times c \times t_e$
20	400	150	60 × 60 × 15
22	450	150	70 × 70 × 18
25	500	160	90 × 90 × 20
32	550	170	110 × 110 × 25
38	650	180	130 × 130 × 30
45	750	190	150 × 150 × 35
50	800	200	170 × 170 × 40

8.3 1 1-c

Longitud de adherencia para pernos con patilla.

En **8.3 1 1-b** se da el mínimo de longitud de adherencia para diversas calidades de hormigón y para tornillos 4.6 y 5.6.

No es fácil cuantificar la contribución de un gancho o patilla a la resistencia al arrancamiento. En algunas especificaciones americanas se tiene en cuenta, incrementando en un 50 % las tensiones admisibles para adherencia, siempre que el anclaje cumpla unas determinadas condiciones [1]. Sobre esta base se ha confeccionado **8.3 1 1-b.**

Longitud de anclaje para pernos con placa.

En **8.3 1 1-c** se da el valor de la longitud adherente para pernos con placa. Valores basados en los que para los tornillos calidad 2 172 ($\sigma_e = 3\,200$ kg/cm^2) figuran en la publicación sueca *Pelarfot* [2], y que pueden aplicarse del lado de la seguridad a los tornillos 4.6 y 5.6.

Longitud de anclaje para pernos solicitados solo a esfuerzo cortante.

A título orientativo reproducimos los valores siguientes [3]:

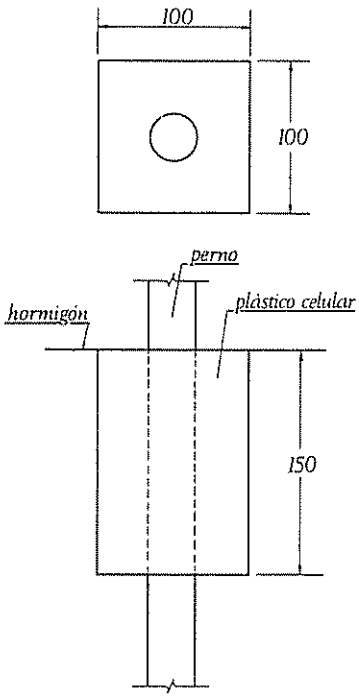
Para diámetros $\leqslant 36$ mm $\quad L = 45$ cm
Para diámetros > 36 mm $\quad L = 75$ cm

El mayor inconveniente de los pernos embebidos es la gran exactitud que se requiere para su colocación, ya que al estar recibidos en el hormigón admiten pocas posibilidades de corrección de posición en el montaje. Para permitir un pequeño juego correctivo por flexibilidad de la longitud libre del perno, suele aumentarse ésta con distintos dispositivos. El más corriente es la colocación de un tubo o manguito [8.20] que evita el hormigonado de la zona del perno situada en su interior. Otro procedimiento es el de protección de esta zona por un aditamento de plástico celular, que se quema posteriormente al hormigonado [8.21].

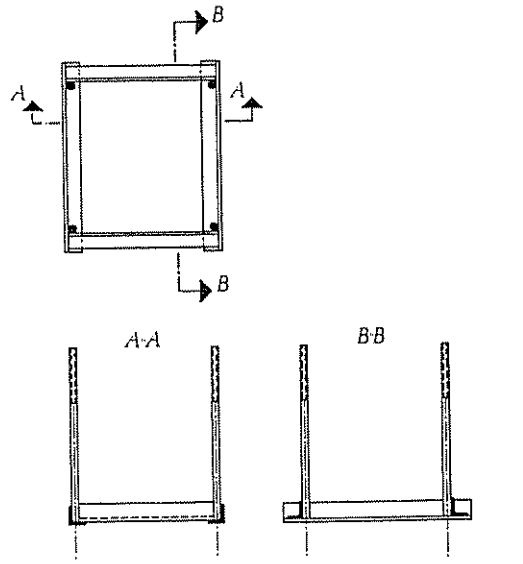
Después del ajuste de los tornillos en el montaje, estas zonas se rellenan de mortero, preferiblemente de mortero expansivo o sin retracción.

---

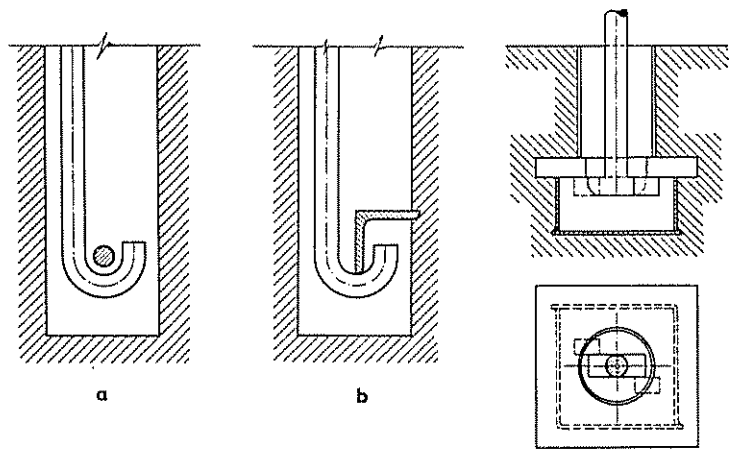
[1] Ver esquema de **8.3 1 1-b**
[2] *Pelarfot* Stalbyggnadsinstitutet (Instituto de edificios de acero) Estocolmo, 1971.
[3] Tomados de los que indican algunas casas vendedoras de equipos.



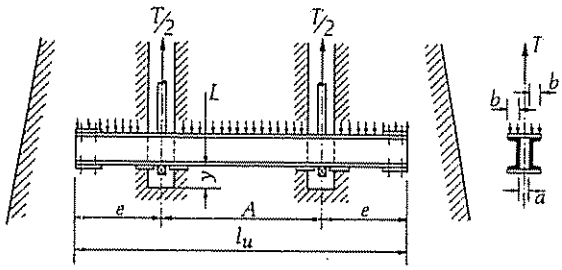
[8.21]



[8.22]



[8.23]



[8.24]

La distancia entre pernos de una misma base de columna puede asegurarse uniéndolos entre sí, creando una especie de bastidor que asegure las separaciones mutuas y hasta su inmovilidad durante el hormigonado [8.22]. Muy frecuente también es la utilización de una plantilla superior que no se hormigona y es, por tanto, recuperable.

Pernos anclados [1].

Son pernos que transmiten su tracción a elementos o bastidores de anclaje embebidos en el cimiento y que se colocan a través de cajetines posteriormente rellenos.

El elemento de anclaje puede ser un redondo o angular [8.23a] y [8.23b] cuando se trata de pernos de fijación o pequeñas tracciones. Para anclajes de bases de columna con tracciones de cierta importancia los bastidores están formados por dos U, en los que se anclan pernos de cabeza de martillo, generalmente un mismo bastidor sirve para los dos pernos de un lado de la base [2].

En la Norma DIN 7992-61 se fijan las dimensiones y características de este tipo de pernos. Parte de esta norma se reproduce en **8.3 1 1-d**.

El dimensionado del bastidor se hace prescindiendo de la adherencia entre el perno y el mortero de relleno y suponiendo que la tracción es soportada íntegramente por dicho bastidor.

La tracción T^* del conjunto de los dos pernos produce una compresión uniforme del bastidor contra el hormigón, y consecuentemente una flexión del mismo [8.24].

Debe comprobarse que

$$\frac{T^*}{2b\ l_u} \leqslant f_{cd}$$

f_{cd} Resistencia de cálculo del hormigón a compresión.

$$\frac{M^*_{máx}}{2\ \sigma_u} \leqslant W_x$$

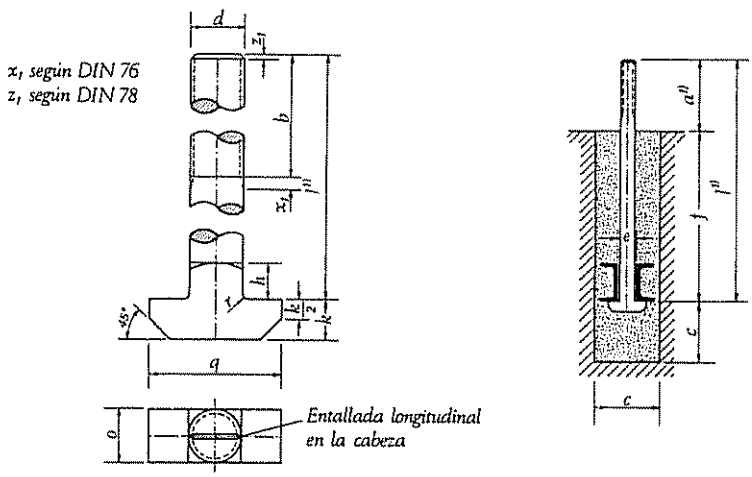
W_x Módulo resistente de una de las U o I que componen el bastidor.

---

[1] En el empleo de uno u otro tipo de pernos, e independientemente de las ventajas e inconvenientes que cada uno de ellos presenta, influye grandemente la tradición constructiva de cada país. Concretamente en EE. UU. se emplean casi con exclusividad los pernos embebidos, mientras que en Alemania es práctica normal la utilización de pernos anclados, e incluso se desecha el uso de pernos embebidos (*Acero en la Construcción*, pág. 327. Editorial Reverté, 1972).

[2] A veces se sustituye el bastidor por un disco de fundición o de chapa con rigidizadores [8.23c].

Pernos con cabeza de martillo, cabeza grande, DIN 7992 Edic. marzo 1961



Designación de un perno con cabeza de martillo de rosca d M 36 y longitud l = 1 200 mm[1]:

Perno con cabeza de martillo M 36 × 1 200 DIN 7992.

Rosca d DIN 13 DIN 244	b	h	k	o	q	r	Peso cabeza k en kg/unidad ≈	Peso por cada 20 mm long., de espárrag. kg/unid. ≈	Esfuerzo que soporta * kg	Agujero de anclaje			
										c	e	f** ≈	Perfil U DIN 1 026
M 24	100	18	18	24	65	1,6	0,205	0,071	3 550	140	30	800	65
M 30	120	20	22	30	75	1,6	0,360	0,111	5 700	150	35	1 000	65
M 36	140	25	25	36	85	2	0,555	0,160	8 340	170	42	1 200	80
M 42	170	30	30	42	95	2	0,850	0,218	11 400	190	50	1 400	100
M 48	200	30	35	48	110	2	1,34	0,284	15 100	210	58	1 600	120
M 56	220	30	40	56	125	3	2,00	0,386	20 900	220	65	1 800	120
M 64	240	30	50	64	140	3	3,21	0,506	27 800	240	75	2 000	140
M 72 × 6	260	30	55	72	155	4	4,40	0,640	36 200	260	85	2 200	140
M 80 × 6	290	30	60	80	170	4	5,80	0,790	45 800	280	95	2 400	160
M 90 × 6	320	30	70	90	185	4	8,30	0,998	59 400	300	105	2 600	160
M 100 × 6	350	30	75	100	205	5	11,0	1,23	76 800	320	115	2 800	180

[1] La longitud l se calcula por la profundidad f del anclaje más la longitud saliente a. Debe indicarse en el pedido redondeando a múltiplo de 20 mm. Si no pueden evitarse largos intermedios se escalonan de 10 en 10 mm.

Resistencia (material): 4 D
Ejecución: g
} según DIN 267.

Tuercas hexagonales, ver DIN 555 hoja 1.

* El esfuerzo que soporta el perno se ha calculado para una fatiga de tracción admisible de σ_{adm} = 1 120 kg/cm² de acuerdo con DIN 1050 tabla 4.

** Si hay que sobrepasar este esfuerzo hay que rellenar los agujeros con hormigón de calidad B 225 o B 300 respectivamente y hacerlos cónicos.

8.3 1 1-d

$M^*_{máx}$ Tendrá por valor

$$M^*_1 = \frac{T^* e^2}{2\ l_u} \quad \text{si} \quad e > 0{,}207\ l_u \quad \text{o}$$

$$M^*_2 = \frac{T^*}{2}\left(\frac{l_u}{4} - e\right) \quad \text{si} \quad e < 0{,}207\ l_u$$

En **8.3 1 1-d** se fijan las dimensiones del bastidor de anclaje necesario para distintos ø de pernos de martillo y calidades de hormigón en la hipótesis de que la tracción sea íntegramente soportado por el bastidor.

8.3 1 2. *Arandelas y tuercas.*

Las tuercas serán las correspondientes a cada tornillo (ver 6.1 4). En cuanto a las arandelas no se recomienda el empleo de arandelas negras. Muy conveniente es simplificar el número de tipos. En arandelas cuadradas pueden utilizarse las dimensiones tipo que figuran en [8.25] [1]. En [8.26] se recogen las distancias mínimas que deben observarse para la colocación de los tornillos de anclaje en el caso de arandelas redondas y cuadradas.

8.3 1 3. *Chapa o placa de base.*

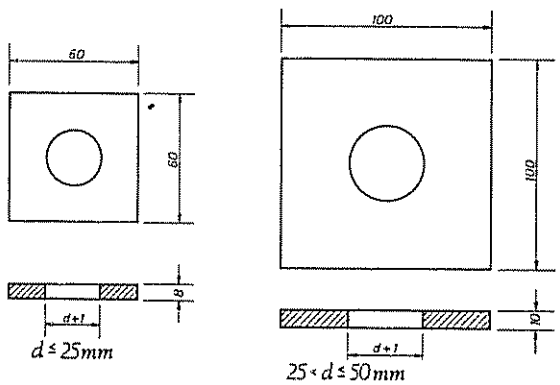
Las chapas o placas de base deben elegirse normalmente entre la serie de espesores recomendados en la Norma Básica MV-102: 20-22-25-30-35-40-45-50-55-60-70-80-90 y 100 mm.

En algunos casos la base de la columna puede consistir exclusivamente en una chapa o placa de base, a la que se une directamente el pie de la columna. En el caso en que, con esta disposición, resulten espesores de placa que se consideren excesivos, pueden reducirse éstos, colocando cartelas de rigidización que disminuyen la flexión de la placa.

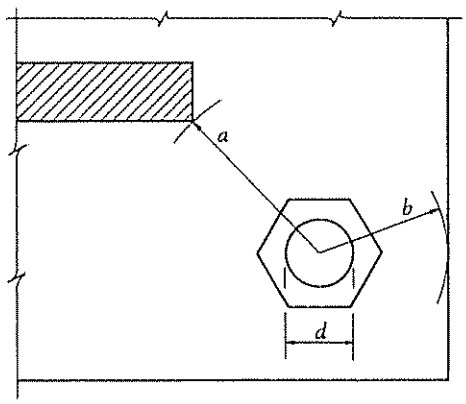
Las tensiones de tracción en el extremo de la columna se transmiten a la placa de base produciendo tensiones normales a la dirección de laminado, por ello es necesario que la chapa esté libre de segregaciones y otros defectos que pudieran reducir considerablemente la resistencia en el sentido del espesor. Con pruebas por ultrasonido puede controlarse la no existencia de este tipo de defectos. No obstante, por estas razones algunas recomendaciones indican la conveniencia de no usar espesores superiores a 60 mm cuando existen tensiones de tracción en la columna.

---

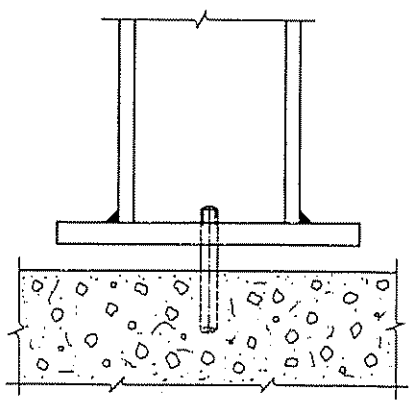
[1] De la mencionada publicación *Pelarfort*.



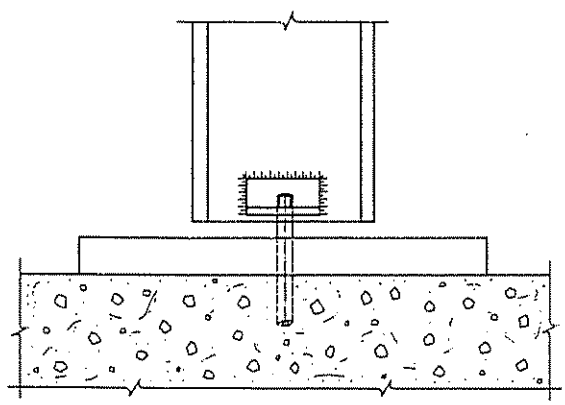
[8.25]



[8.26]



[8.27]



[8.28]

La situación de los tornillos de anclaje debe hacerse de forma que se puedan apretar teniendo en cuenta el diámetro de las arandelas y las distancias al borde de la placa [8.26].

Los agujeros de la placa base pueden hacerse algo superiores a los correspondientes a los tornillos en otro tipo de unión, si no es necesario que los esfuerzos horizontales se transmitan por presión de contacto entre el tornillo de anclaje y chapa de base. Con ello se consigue una cierta posibilidad de corrección de disposición, sobre todo en el caso de tornillos embebidos. Aún en este caso pueden transmitirse esfuerzos horizontales utilizando arandelas cuadradas ajustadas, si éstas se sueldan a la chapa de la base después del montaje y ajuste.

8.3.1.4. *Unión entre la columna y la placa de base.*

Las tensiones de compresión pueden considerarse que se transmiten directamente por contacto, si el extremo de la columna está mecanizado, por aserrado en frío o por fresado. De lo contrario es la soldadura entre columna y placa la que deberá dimensionarse para absorberlas [1], lo que en todo caso será necesario cuando la sección o parte de ella transmita esfuerzos de tracción. Suelen emplearse cordones de soldadura de garganta igual a la mitad del espesor de las chapas de la columna. No se recomiendan cordones con garganta inferior a 5 mm, ni superiores a 12 mm. Si fuesen necesarios espesores superiores deben utilizarse soldaduras a tope con preparación de bordes.

Las placas de base suelen soldarse a la columna en taller [8.27], sin embargo, cuando éstas son de grandes dimensiones y, por tanto, muy pesadas, pueden constituir elementos independientes [8.28] que después se sueldan en obra.

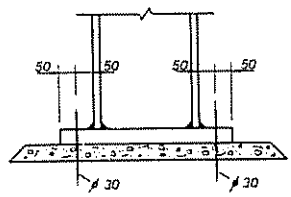
8.3.1.5. *Hormigonado y montaje.*

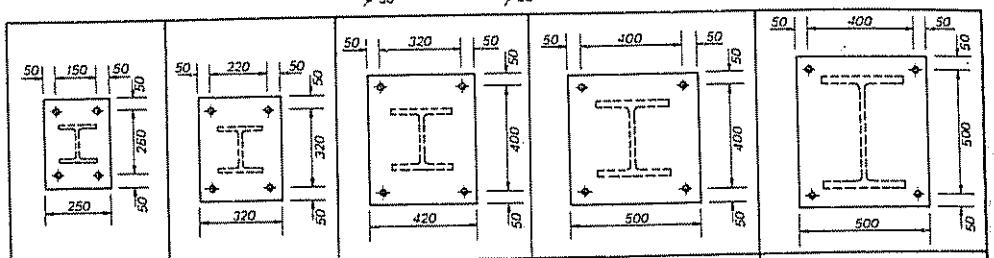
En el caso de pernos de adherencia ya se ha indicado las precauciones que pueden tomarse para asegurar su correcta colocación. La tolerancia en la distancia entre centros de tornillos debe normalmente mantenerse dentro de $\pm$ 4 mm. Las diferencias dentro de esta tolerancia puede compensarse con agujeros de diámetro superior al necesario en la placa base

En el caso de cuatro tornillos de anclaje, las tuercas inferiores pueden servir para la nivelación de la columna durante el montaje, lo cual puede hacerse también mediante cuñas

---

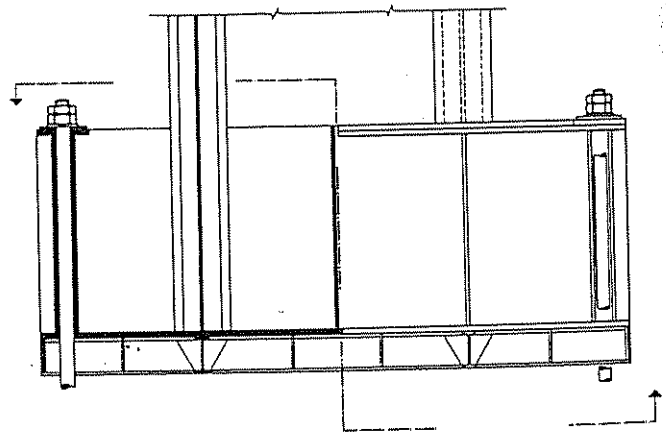
[1] La Norma AISC así lo indica taxativamente en la Sec. 1.15.8

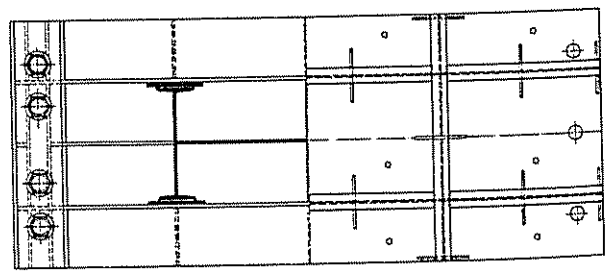




Placa núm.	1	1'	2	2'	3	4	5
Dimensiones mm	360 × 250 × 25	360 × 250 × 30	420 × 320 × 30	420 × 320 × 35	500 × 420 × 35	500 × 500 × 40	600 × 500 × 45

[8.29]





[8.30]

El hormigonado de la zona entre la chapa base y el cimiento debe efectuarse lo antes posible después del montaje. El espesor de esta capa [1] oscila entre 25 a 60 mm, según las dimensiones de la placa, y debe realizarse con sumo cuidado con el fin de asegurar una buena penetración y un perfecto contacto entre placa y cimiento. Se realiza con mortero de cemento, en el que a veces se emplean aditivos para su mejor penetración y para evitar o disminuir la retracción.

Si es posible el hormigonado debe tener superficies laterales con una inclinación de 45°.

En el caso de chapas de base grandes (dimensiones superiores a 750 × 400 mm) debe hacerse uno o más agujeros de control de 50 mm de diámetro para que pueda comprobarse la penetración del mortero.

8.3 1 6. *Bases de columnas tipificadas.*

En el caso de columnas simples, preferentemente en las columnas constituidas por perfiles laminados de las series **HEA** y **HEB,** entre 140 y 450, se obtiene una gran simplificación de cálculo y ejecución con la consiguiente economía, reduciendo a un número limitado de placas tipo las infinitas posibilidades para las placas de base. Con este propósito se han considerado los tipos de placas que figuran en [8.29], con las disposiciones de tornillos, que allí se indican. Los tornillos se suponen siempre de calidad 5.6 y diámetro de 30 mm y trabajan siempre por adherencia. Su longitud será la correspondiente al hormigón del cimiento y a la existencia o no de patilla de anclaje. Para estas bases se proporcionan en **8.3 2 8** ábacos para su rápido dimensionamiento en función de los esfuerzos que actúan en el pie de la columna y para distintos valores de la resistencia del hormigón.

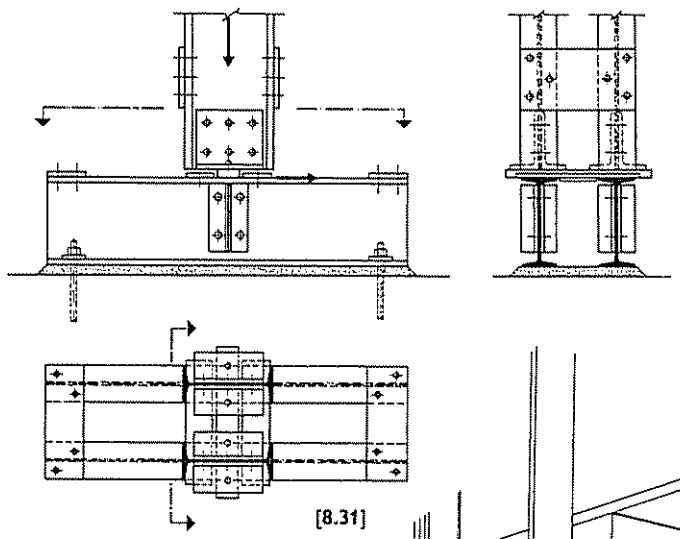
8.3 1 7. *Bases compuestas para columnas de alma llena o de celosía.*

Las bases de columnas hasta ahora consideradas, son adecuadas para columnas de sección simple, generalmente perfiles **H**, con solicitación de compresión centrada o con una excentricidad moderada. Cuando la excentricidad es muy grande, conviene que los pernos de anclaje estén situados a la mayor distancia posible del eje del pilar, para disminuir la tracción solicitante y consecuentemente su sección. En estos casos [2] los pilares suelen estar constituidos por dos cabezas unidas por un alma o una celosía, y por tanto con gran canto, y la solución de placa simple de base conduce a espesores excesivos.

---

[1] *Grouting*, según la palabra inglesa.

[2] Uno de ellos, frecuente, es el de pilares de naves industriales, con puentes grúas importantes.



[8.31]

[8.32]

[8.33]

Una disposición muy frecuente es la de empotrar la columna en una viga horizontal que transmite sus reacciones al cimiento y a los pernos de anclaje [8.30].

En pies de columnas articuladas importantes, cuando la presión admisible en el cimiento es baja, también se suelen utilizar vigas en la base para la repartición de la carga [8.31].

A veces cuando las tracciones son grandes, se sustituyen los pernos por pletinas ancladas en un bastidor y a las que conviene dar una pequeña tensión inicial [8.32].

8.3.1.8. *Empotramiento directo de la columna.*

Un tipo particular de cimentación de columnas cuando están poco solicitadas, consiste en prolongarla dentro del cimiento, en el hueco que previamente se dispone en el mismo y que posteriormente se hormigona. En este caso [8.33] hay que comprobar que son absorbidos con seguridad por el macizo de cimentación tanto los esfuerzos verticales como los momentos de empotramiento, siendo entonces oportuno armar el macizo de cimentación sobre todo en su cabeza.

8.3.2. **Cálculo de las bases.**

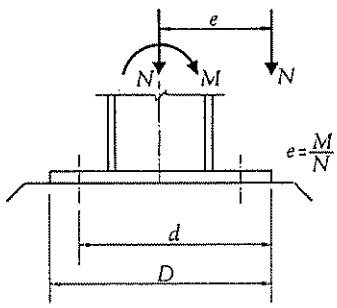
8.3.2.1. *Cálculo de la presión sobre el hormigón y de la tracción de los pernos.*

Se parte de la hipótesis de que la presión de contacto debajo de la chapa base se distribuye según una ley lineal, y que la tracción, si existe, es absorbida por los pernos de anclaje. Según la excentricidad de la solicitación respecto al eje del pilar (en el caso más frecuente, de pilar y placa de base concéntricos) se distinguen los tres casos que se representan en [8.34]. En el caso 3 además de la presión máxima en el hormigón, y la extensión de la zona comprimida, aparece una tercera incógnita que es la tracción en los pernos.

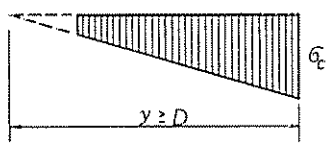
Para este caso 3 existen varios métodos de cálculo, basados en hipótesis distintas [8.35], complementarias de las generales que la Norma Básica MV-103 indica en su apartado 9.2.5 [1].

---

[1] Ver **Apéndice I** de este capítulo



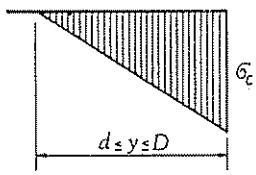
1)



$$0 \leqslant e \leqslant \frac{D}{6}$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{BD}\left(1 + 6\frac{e}{D}\right)$$

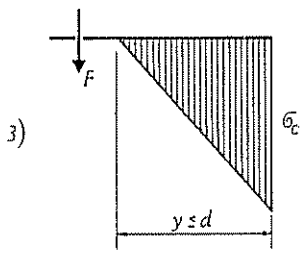
2)



$$\frac{D}{6} < e \leqslant \frac{D}{2} - \frac{d}{3}$$

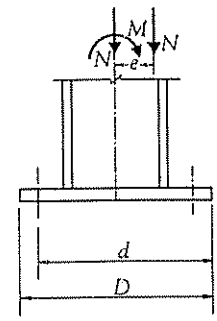
$$\sigma_c = 2\frac{N}{By} = \frac{N}{BD}\frac{4}{3\left(1 - 2\frac{e}{D}\right)}$$

3)

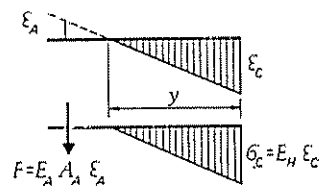


$$e > \frac{D}{2} - \frac{d}{3}$$

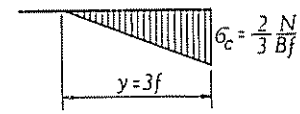
[8.34]



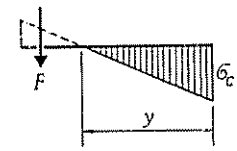
3a)



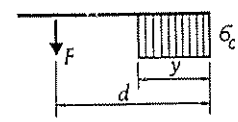
3b)



3c)



3d)



[8.35]

— El método 3a, corresponde exactamente al método clásico de cálculo de secciones de hormigón armado, basado en la deformación plana y la absorción de las tracciones exclusivamente por la armadura, constituida en este caso por los pernos que se encuentran en la zona de tracción.

— El método 3b, no considera la existencia de pernos y supone una distribución triangular tal que su resultante equilibre exactamente la compresión N, es decir, con la misma magnitud y línea de acción y distinto sentido. Solo es teóricamente aplicable cuando $e < \frac{D}{2}$.

— El método 3c, supone en principio que el hormigón resiste tracciones, estableciendo la ley de tensiones, correspondiente. Se calcula, después, la resultante de las tensiones de tracción y se supone que esta resultante es la fuerza que solicita a los pernos.

— El método 3d, convencional, pero admitido por diversas instrucciones, entre ellas la Norma Básica MV-103, supone que las presiones de compresión sobre el hormigón se distribuyen uniformemente en una zona cuya extensión es el cuarto de la longitud de la placa, y que la tracción es absorbida por los pernos.

Los métodos 3b y 3c, corresponden a una extrapolación de los casos 1 y 2. El método 3b puede aplicarse en el caso de excentricidades pequeñas, y es el único aplicable cuando no existen pernos de anclaje. El método 3c es inseguro y no tiene fundamento racional, por lo que se cita solo a efectos comparativos. El método 3d, aunque convencional, tiene la justificación de su sencillez.

En [8.36] se representa de manera adimensional la tensión de borde en función de la excentricidad relativa, calculado con los diversos métodos indicados para el caso 3.

Cálculo basado en la hipótesis de deformación plana. Método 3a.

El método 3a es el más recomendable, aunque conduce a cálculos numéricos de cierta complicación que a continuación se desarrollan.

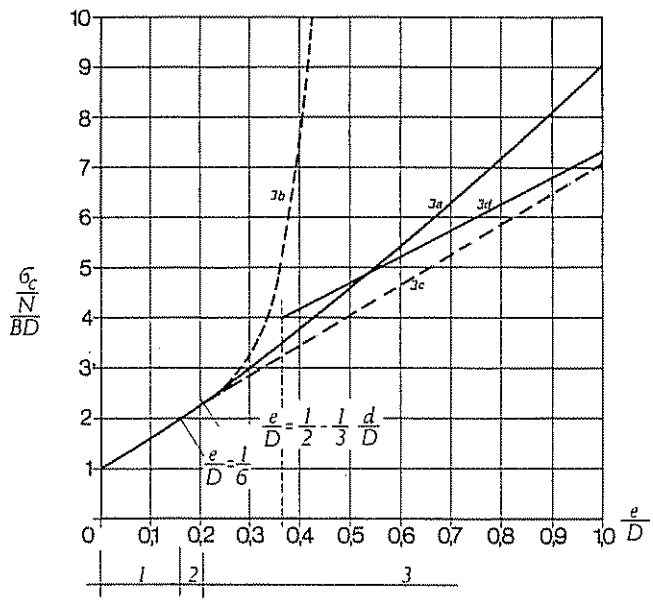
Existen tres ecuaciones y tres incógnitas (T, y, σ_c) [8.37].

1. Equilibrio de fuerzas: $\Sigma V = 0$

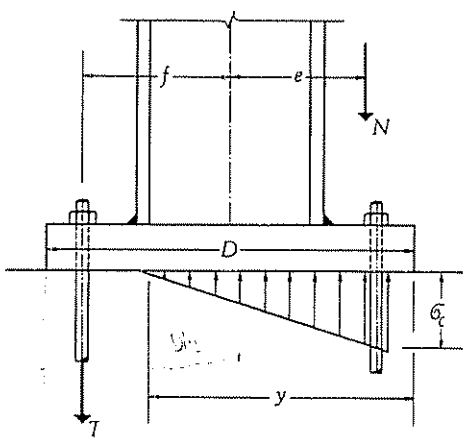
$$1/2\, y\, \sigma_c B - T - N = 0$$

$$N + T = \frac{\sigma_c\, B\, y}{2} \qquad \sigma_c = \frac{2\,(N + T)}{y\, B}$$

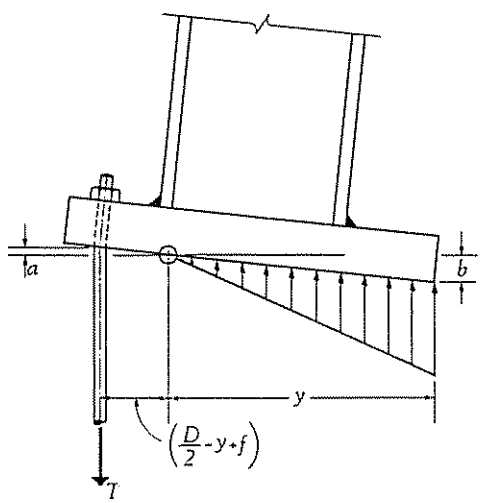
B Anchura de la placa.


10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
$\frac{e}{D}$
$\frac{\sigma_c}{\frac{N}{BD}}$
3b
3a
3d
3c
$\frac{e}{D}=\frac{1}{2}-\frac{1}{3}\frac{d}{D}$
$\frac{e}{D}=\frac{1}{6}$
1
2
3

[8.36]


f
e
N
D
σ_c
y
T

[8.37]


a
b
y
$\left(\frac{D}{2}-y+f\right)$
T

[8.38]

2. Equilibrio de momentos, respecto al eje del pilar

$$T f + (N + T)\left(\frac{D}{2} - \frac{y}{3}\right) - Ne = 0$$

de donde se deduce:

$$N = -T\,\frac{\dfrac{D}{2} - \dfrac{y}{3} + f}{\dfrac{D}{2} - \dfrac{y}{3} - e} \qquad T = -N\,\frac{\dfrac{D}{2} - \dfrac{y}{3} - e}{\dfrac{D}{2} - \dfrac{y}{3} + f}$$

Con ello se expresan σ_c y T en función de y (profundidad de la fibra neutra), que se determina teniendo en cuenta la hipótesis de deformación plana.

3. Refiriéndonos a [8.38], la hipótesis de deformación plana permite establecer:

$$\frac{a}{b} = \frac{\dfrac{D}{2} - y + f}{y}$$

pero

$$\frac{a}{b} = \frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_H} = \frac{\dfrac{\sigma_A}{E_A}}{\dfrac{\sigma_H}{E_H}} = \frac{\sigma_A E_H}{\sigma_H E_A}$$

llamando:

A_A Area de los pernos de tracción.
E_A Módulo de elasticidad del acero.
E_H Módulo de elasticidad del hormigón.

$$n = \frac{E_A}{E_H}$$

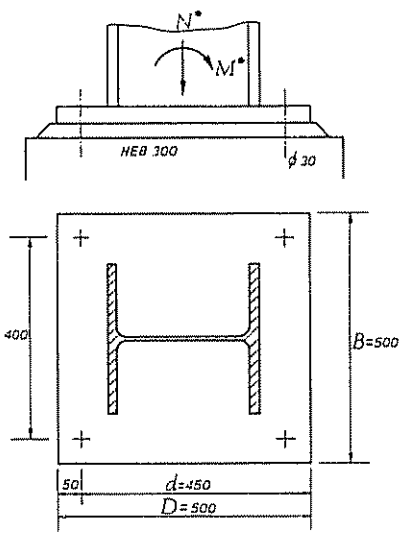
$$\sigma_H = \sigma_C$$

y como

$$\sigma_A = \frac{T}{A_A}$$

8.3 2 1. EJEMPLO DE APLICACION

Un pilar HEB 300 está solicitado en su base por una compresión N = 50 t y un momento M* =11 m t. Se desea dimensionar una placa de apoyo para dicho pilar y los pernos necesarios.*



La comprobación se puede realizar por el método directo estableciendo el sistema de ecuaciones de equilibrio y deformación de la placa, o bien los ábacos **8.3 2-a** derivados de este sistema de ecuaciones.

a) METODO DIRECTO

La placa de 500 × 500 × 35 y los pernos Ø 30, con la disposición de la figura son los elementos elegidos para dimensionar El acero de la placa es A 42, el de los pernos A 5 6 y el hormigón de la zapata H150.

La excentricidad equivalente *e* tiene por valor:

$$e = \frac{M^*}{N^*} = \frac{1\,100}{50} = 22{,}0 \text{ cm}$$

Sistema de ecuaciones:

$$\left.\begin{aligned} N^* + T^* &= \frac{1}{2}\, y\, B\, \sigma_c^* \\ \frac{1}{2}\, y\, B\, \sigma_c^* \left(d - \frac{y}{3}\right) &= \left(\frac{D}{2} - t + e\right) N^* \\ \frac{y}{d-y} &= \frac{\frac{\sigma_c^*}{E_H}}{\frac{\sigma_A^*}{E_A}} \end{aligned}\right\}$$

La resolución conduce al cálculo de la fibra neutra por medio de la ecuación:

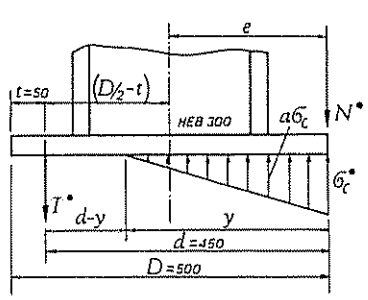
$$y^3 - 9\, y^2 + 681{,}4\, y - 30\,618 = 0$$

que tiene por solución $y = 26{,}62$ cm

Los valores de σ_c^* y T^* son:

$$\sigma_c^* = \frac{252}{y\ (135 - y)} = \frac{252}{26{,}62\ (135 - 26{,}62)} = 0{,}087 \text{ t/cm}^2 < f_{cd} = 0{,}093 \text{ t/cm}^2$$

$$T^* = \frac{45 - y}{y}\, \sigma_c^*\ 135 = \frac{45 - 26{,}62}{26{,}62} \times 0{,}087 \times 135 = 8{,}11 \text{ t} < S_u = 26{,}92 \text{ t}$$



Para la comprobación del espesor se fija primero la zona en voladizo por [8 43], y considerando 1 cm de ancho de chapa, el momento de empotramiento M_B según el tomo del Prontuario I, en su apartado «Vigas simples en voladizo», es

$$M_B = -\frac{l^2}{6}\,(p_2 + 2p_1) = -\frac{10{,}75^2}{6}\,(52{,}7 + 2 \times 85) = 4\,289 \text{ cm kg}$$

$$W_x = \frac{1}{6}\, 1 \times 3{,}5^2 = 2{,}04 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 2\,102 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_u = 2\,500 \text{ kg/cm}^2$$

(Sigue en la página 540)

resulta

$$\frac{a}{b} = \frac{T}{A_A \sigma_c n} = \frac{\frac{D}{2} - y + f}{y}$$

por tanto:

$$\sigma_c = \frac{T y}{A_A n \left(\frac{D}{2} - y + f\right)}$$

Para eliminar σ_c puede utilizarse su expresión deducida del equilibrio de fuerzas, obteniendo:

$$N + T = \frac{T y^2 B}{2A_A n \left(\frac{D}{2} - y + f\right)}$$

Sustituyendo N por su valor en función de T, deducido del equilibrio de momentos resulta:

$$-T \frac{\frac{D}{2} - \frac{y}{3} + f}{\frac{D}{2} - \frac{y}{3} - e} + T = \frac{T y^2 B}{2A_A n \left(\frac{D}{2} - y + f\right)}$$

que permite eliminar T, obteniendo para la determinación de y, la ecuación:

$$y^3 + 3\left(e - \frac{D}{2}\right) y^2 + \frac{6n A_A}{B}(f + e)\, y - \frac{6n A_A}{B}\left(\frac{D}{2} + f\right)(f + e) = 0$$

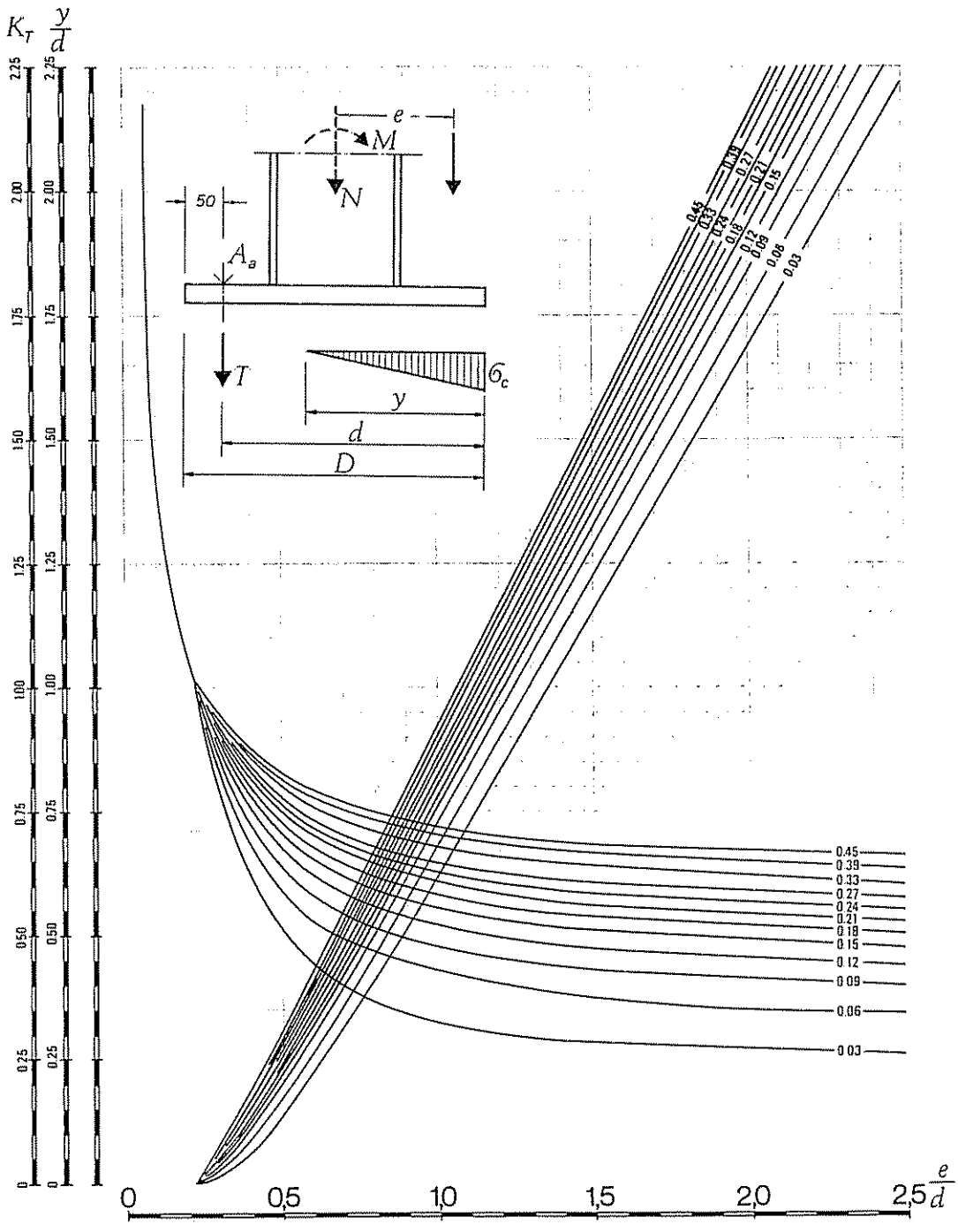
haciendo:

$$K_1 = 3\left(e - \frac{D}{2}\right) \qquad K_2 = \frac{6n A_A}{B}(f + e) \qquad K_3 = -K_2\left(\frac{D}{2} + f\right)$$

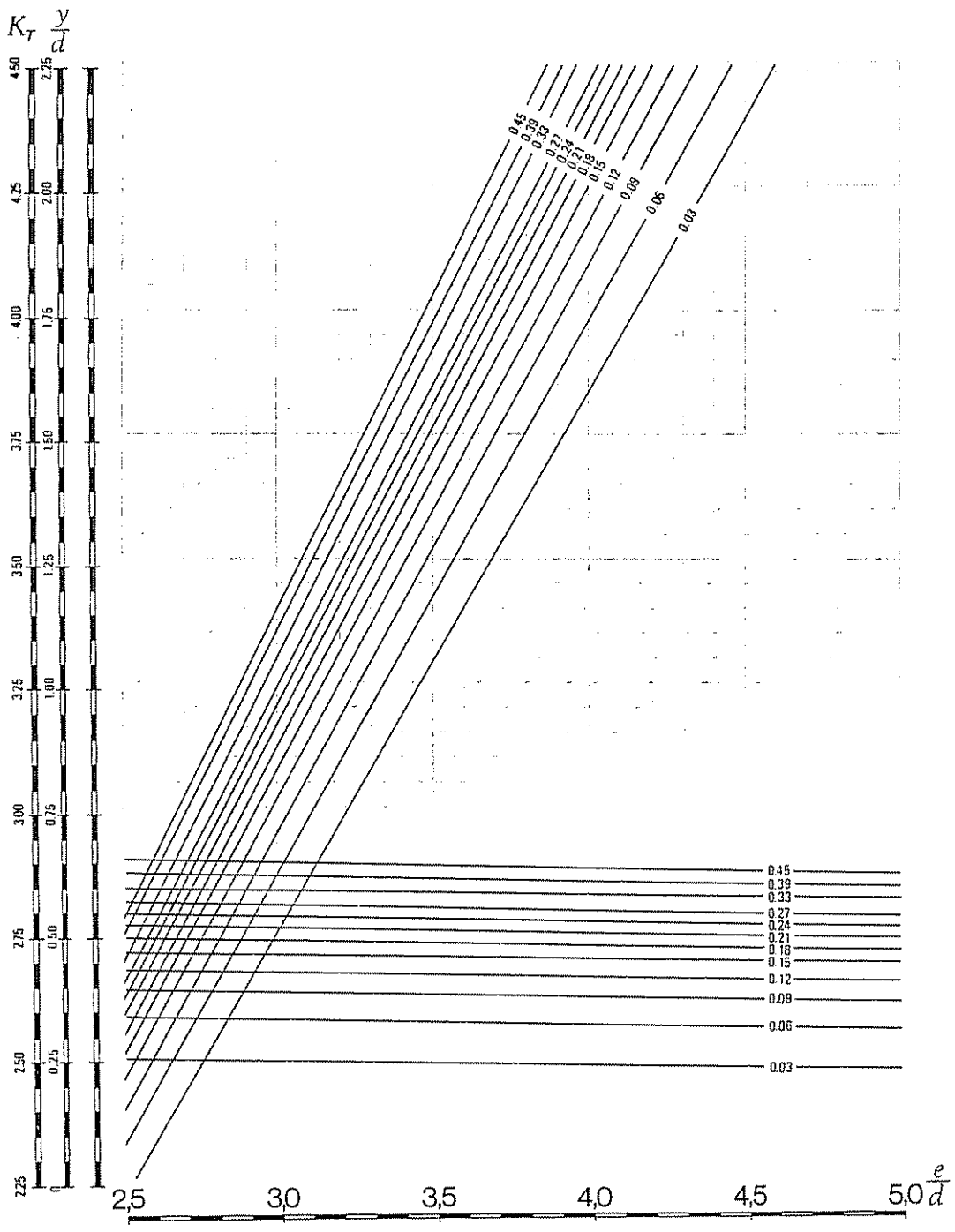
resulta:

$$y^3 + K_1 y^2 + K_2 y + K_3 = 0$$

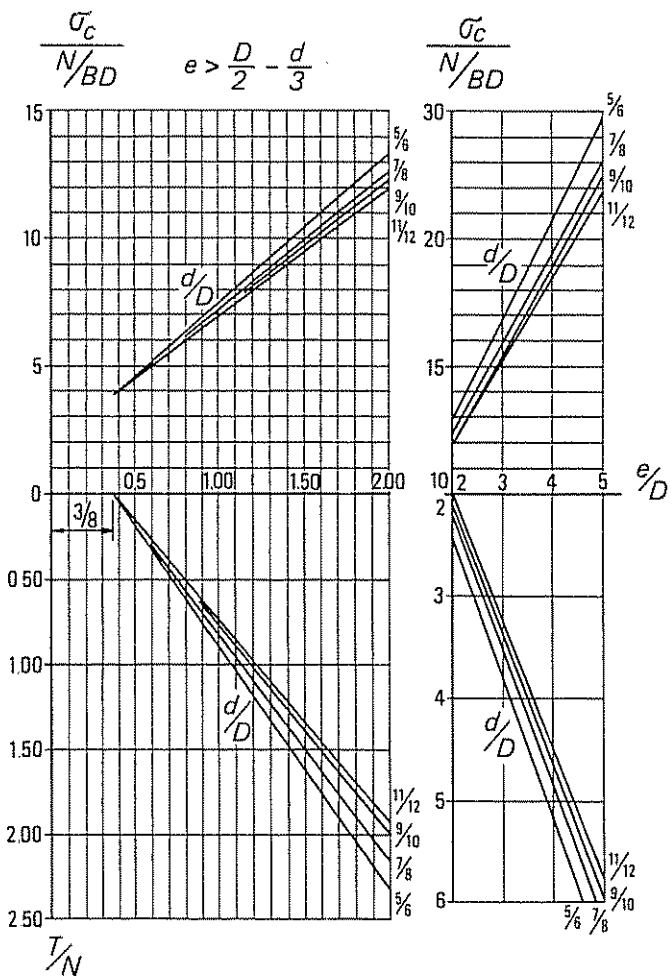
Ecuación de tercer grado que puede resolverse por varios métodos. El más fácil, quizás, es el método gráfico, que consiste en atribuir diversos valores enteros a y, dibujando


K_T
$\frac{y}{d}$
$\frac{e}{d}$
e
M
N
50
A_a
T
σ_c
y
d
D
0.45
0.39
0.33
0.27
0.24
0.21
0.18
0.15
0.12
0.09
0.06
0.03
0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5

8.32-a


K_T
$\frac{y}{d}$
4.50
4.25
4.00
3.75
3.50
3.25
3.00
2.75
2.50
2.25
2.75
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0
0.45
0.39
0.33
0.27
0.24
0.21
0.18
0.15
0.12
0.09
0.06
0.03
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
$\frac{e}{d}$

8.32-a


$\frac{\sigma_c}{N/BD}$
$e > \frac{D}{2} - \frac{d}{3}$
$\frac{\sigma_c}{N/BD}$
15
10
5
0
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
0.5
1.00
1.50
2.00
3/8
5/6
7/8
9/10
11/12
d/D
T/N
30
20
15
10
2
3
4
5
e/D
6

8.3 2-b

por puntos la curva correspondiente al primer miembro y determinando su intersección con el eje x ($y = 0$).

El ábaco **8.3 2-a,** proporciona un método rápido para la comprobación de las dimensiones en planta de la placa de base y de la sección de los pernos. Se parte de unas dimensiones B × D de la placa de base y de unos pernos de sección prefijada. Se conoce naturalmente las solicitaciones M y N o lo que es lo mismo N, e, siendo e la excentricidad de la reacción $e = \dfrac{M}{N}$.

En abcisas se entra con valores de la excentricidad relativa e/d, pudiéndose obtener en ordenadas los siguientes valores:

y/d que fija la posición de la fibra neutra [8.37].

$K_c = \dfrac{\sigma_c}{N/bd}$ relación entre la presión máxima del hormigón y la presión media $\dfrac{N}{bd}$

$K_T = \dfrac{T}{N}$ relación entre la tracción que actúa sobre los pernos traccionados y la compresión N solicitante.

El valor buscado debe leerse sobre la curva $n\lambda$ correspondiente, pudiendo interpolarse entre ellas.

Las curvas se dibujan para distintos valores de $n\lambda$, siendo n la relación entre módulos de elasticidad de acero y hormigón, y λ la cuantía o relación entre el área de los pernos a tracción A_A y el área de la placa de base B × D, es decir:

$$n\lambda = \frac{E_A}{E_H} \times \frac{A_A}{B \times D}$$

Si σ_c es excesiva, para el hormigón supuesto para el cimiento, deberá aumentarse las dimensiones, D, B o ambas.

Si $\dfrac{T}{A_a}$ es superior a la tensión admisible o a la del agotamiento del acero, deberá aumentarse A_A y efectuar la nueva comprobación con el valor $n\lambda$ correspondiente.

Los ábacos son adimensionales y pueden, por tanto, utilizarse tanto en el cálculo en agotamiento como en el de tensiones admisibles.

(Viene de la página 534)

b) METODO DE LOS ABACOS

b1) Por el ábaco **8.3 2-a** se comprueba la dimensión en planta

H150 → $n = 12{,}2$

Ø 30 → $A_r = 5{,}61 \times 2 = 11{,}22\ cm^2$

placa 500 × 500 → B = 50 cm, $d = 45$ cm

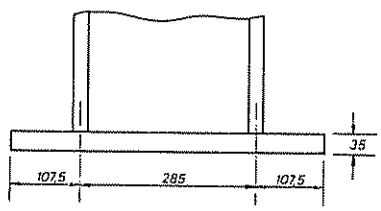
$$n\lambda = n\ \frac{A_r}{Bd} = 12{,}2\ \frac{11{,}22}{45 \times 50} = 0{,}06$$

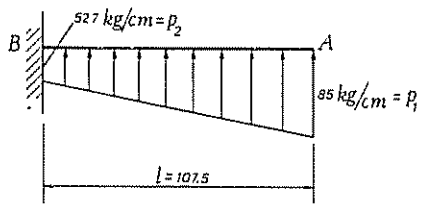
$n\lambda = 0{,}06$

$\dfrac{e}{d} = \dfrac{22}{45} = 0{,}48$ ⟶ $K_T = 0{,}157$ $\quad K_c = 3{,}864$ $\quad \dfrac{y}{d} = 0{,}593$

$y = 0{,}593 \times 45 = 26{,}68$ cm $\qquad T^* = 0{,}157 \times N^* = 0{,}157 \times 50 = 7{,}85$ t

$$\sigma_c^* = 3{,}864 \times \frac{N^*}{Bd} = 3{,}864 \times \frac{50}{45 \times 50} = 0{,}085\ t/cm^2$$





b2) Por el ábaco **8.3 2 4-a** se dimensiona el espesor t de la placa:

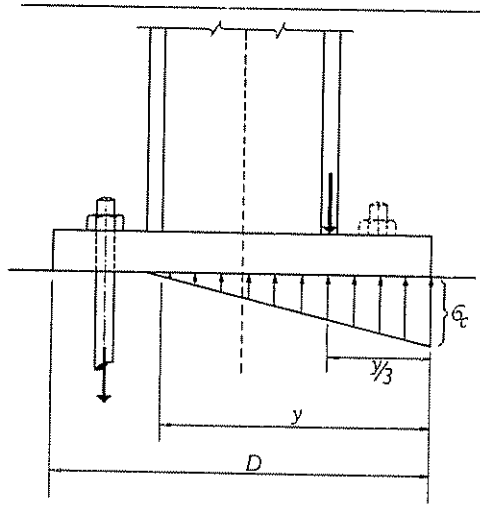
$$\alpha = \frac{266{,}8 - 107{,}5}{266{,}8} = 0{,}59 \qquad \sigma_c^*\ (2 + \alpha) = 85\ (2 + 0{,}59) = 220{,}15$$

para este valor la ordenada $\dfrac{t}{L} = 0{,}30$

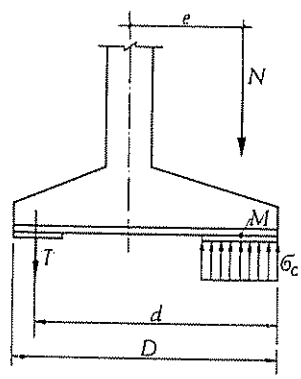
$t = 0{,}30 \times 107{,}5 = 32{,}25$ mm

Por todos estos cálculos la placa 500 × 500 × 35 es válida

Las tablas **8.3 1 1-a, 8.3 1 1-b** y **8.3 1 1-c** definen algunos tipos de anclaje para los pernos



[8.39]



[8.40]

También como se dijo anteriormente, pueden utilizarse tablas o ábacos para el cálculo de secciones de hormigón armado a flexión compuesta El valor de *n*. relación entre módulos de elasticidad, depende de la calidad del hormigón, y de si las cargas y. por tanto, las solicitaciones. son instantáneas o duraderas Sus valores en función de estas variables se indican a continuación.

Hormigón	H 100	H 125	H 150	H 175	H 200	H 225
Cargas instantáneas	10	8,9	8,1	7,5	7.0	6,7
Cargas duraderas	15	13,4	12,2	11.3	10,6	10,0

Un método simplificado aproximado es el que se representa en [8 39], que supone que el centro de gravedad del triángulo de presiones se encuentra en el eje del ala comprimida del pilar Tomando momentos puede entonces calcularse la tracción en los pernos y consiguientemente la presión máxima σ_c

Este método es útil sobre todo para el predimensionado, necesario para el uso de los ábacos

Cálculo basado en la concentración de las compresiones en una zona de la placa, Método 3d

Refiriéndonos a [8 40] se obtiene tomando momentos respecto al punto M:

$$\left(d - \frac{D}{8}\right) T = \left(e - \frac{3D}{8}\right) N$$

o sea

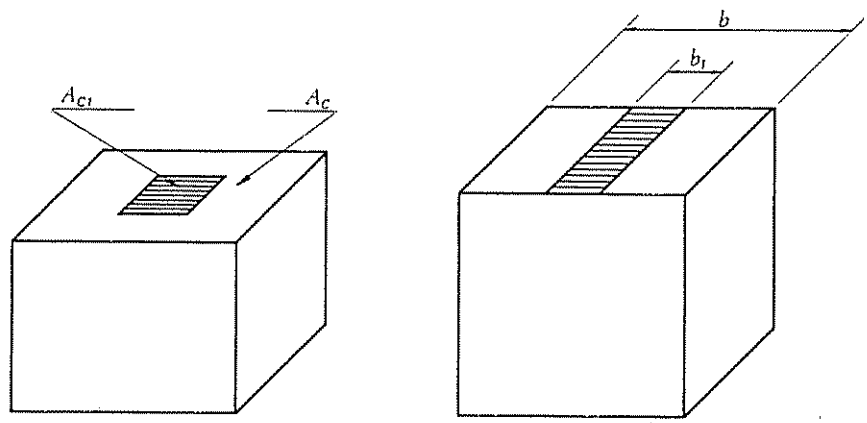
$$T = \frac{8e - 3D}{8d - D} N = \frac{8\left(\frac{e}{D}\right) - 3}{8\left(\frac{d}{D}\right) - 1} N$$

y

$$\sigma_c = \frac{N + T}{\frac{D}{4} B}$$

8.3 2-b da en forma adimensional los resultados de este cálculo en función de la excentricidad relativa $\frac{e}{D}$ para diversos valores de $\frac{d}{D}$, o sea, de la distancia de los pernos al borde de la placa.

Ver ejemplo de aplicación en la página 534.



[8.41]

Presiones límites, σ_c, sobre el hormigón para el cálculo con cargas ponderadas

	Resistencia de cálculo del hormigón a compresión					
$\frac{A_c}{A_{c1}}$	H 125 f_{cd} 78,13	H 150 f_{cd} 93,75	H 175 f_{cd} 109,38	H 200 f_{cd} 125,00	H 225 f_{cd} 140,63	H 250 f_{cd} 156,25
1,0	78,13	93,75	109,4	125,0	140,6	156,3
1,2	93,75	99,38	115,9	132,5	149,1	165,7
1,4	87,50	105,0	122,5	140,0	157,5	175,0
1,6	91,41	109,7	127,9	146,3	164,6	182,9
1,8	95,32	114,4	133,5	152,5	171,6	190,7
2,0	98,44	118,2	137,9	157,5	177,2	196,9
2,2	101,6	121,9	142,2	162,5	182,9	203,2
2,4	104,7	125,7	146,6	167,5	188,5	209,4
2,6	107,8	129,4	150,9	172,5	194,1	215,7
2,8	110,2	132,2	154,2	176,3	198,3	220,4
3,0	112,5	135,0	157,5	180,0	202,6	225,0
3,2	114,8	137,9	160,8	183,8	206,8	229,7
3,4	117,2	140,7	164,1	187,5	210,9	234,4
3,6	119,5	143,5	167,4	191,3	215,2	239,1
3,8	121,9	146,3	170,7	195,0	219,4	243,8
4,0	124,2	149,1	173,9	198,8	223,6	248,5
> 4,0	125,0	150,0	175,0	200,0	225,0	250,0

[8.42]

8.3.2.2. *Presión sobre el hormigón.*

Las dimensiones de la placa base son en general muy inferiores a las de la zapata o plinto de hormigón que la sustenta, se trata, por tanto, del caso de una carga actuando sobre un macizo y son aplicables las disposiciones del artículo 53.1 de la EH-73, que se reproduce a continuación:

> *Esfuerzo longitudinal de compresión: Cuando sobre la superficie A_c de un macizo de apoyo o elemento análogo, de forma aproximadamente cúbica, actúa una carga repartida en una superficie A_{c1} [1], el cálculo a compresión de dicho elemento podrá realizarse con la carga mayorada, suponiendo que la resistencia de cálculo f_{cd} del hormigón alcanza un valor β veces superior al ordinario, con*
>
> $$\beta = \sqrt[3]{\frac{A_c}{A_{c1}}} \not> \gamma_c$$
>
> *siendo γ_c el coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.*
>
> *Las mismas hipótesis de cálculo son aplicables al caso de una pieza prismática de sección aproximadamente cuadrada, sobre la que actúa una carga repartida en una faja central. En este caso, el coeficiente β se tomará igual a:*
>
> $$\beta = \sqrt[3]{\frac{b}{b_1}} \not> \gamma_c$$
>
> *siendo b y b_1 las anchuras de la sección total y de la faja cargada, respectivamente* [1]

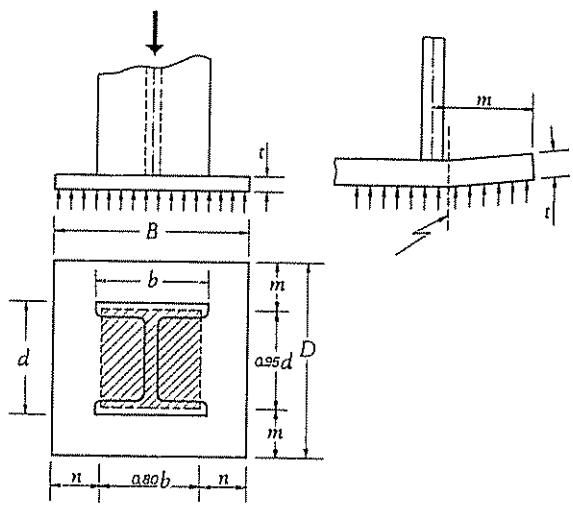
En [8.42] se dan los valores de las presiones de cálculo para distintas relaciones entre $\frac{A_c}{A_{c1}}$ y distintas clases de hormigón definidos por sus resistencias características. Los valores corresponden a resistencias de cálculo del hormigón a compresión, y deben, por tanto, ser utilizados con solicitaciones ponderadas.

8.3.2.3 *Tracción en los pernos.*

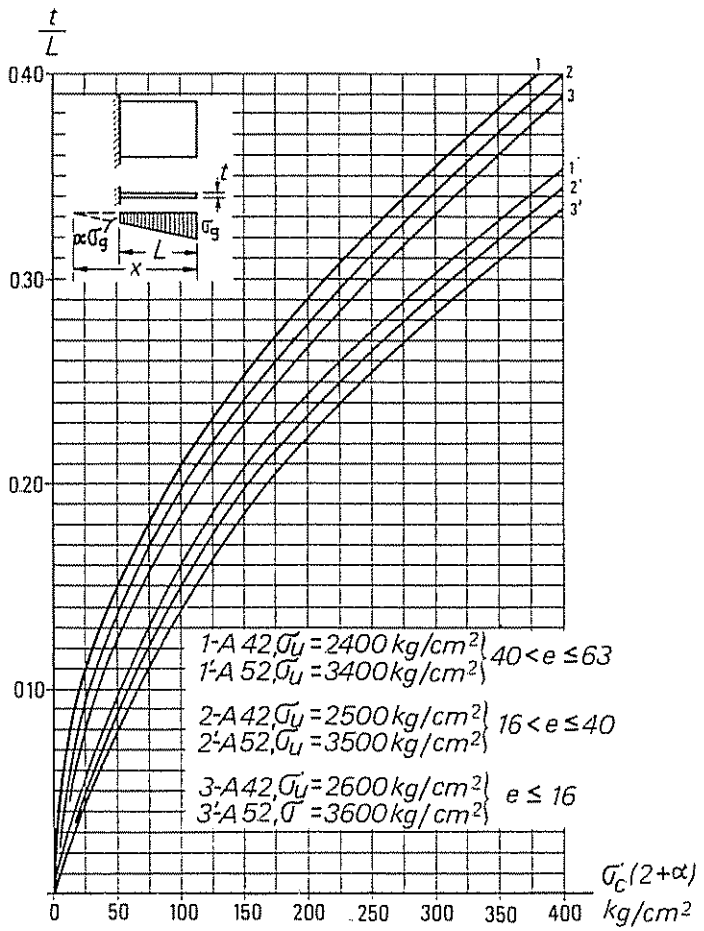
El trabajo de los pernos corresponde al de tornillos a tracción, son de aplicación, por tanto, los valores de 6.4 para el cálculo con solicitaciones ponderadas.

---

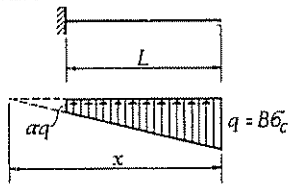
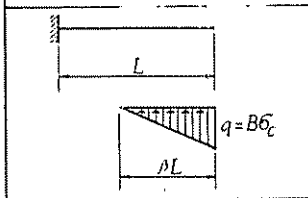
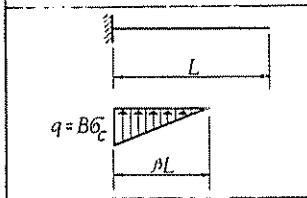
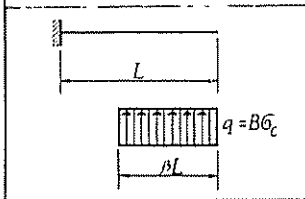
[1] Ver figura [8.41]



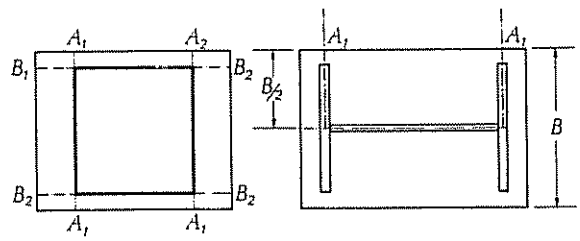
[8.43]


t/L
0.40
0.30
0.20
0.10
0
50
100
150
200
250
300
350
400
σc(2+α)
kg/cm²
1-A 42, σu = 2400 kg/cm²
1'-A 52, σu = 3400 kg/cm²
40 < e ≤ 63
2-A 42, σu = 2500 kg/cm²
2'-A 52, σu = 3500 kg/cm²
16 < e ≤ 40
3-A 42, σu = 2600 kg/cm²
3'-A 52, σ = 3600 kg/cm²
e ≤ 16
ασg
σg
L
x
t

8.3.2.4-a

	Momento máximo	Espesor de la placa
	$M = \frac{q\,L^2}{6}(2+\alpha) =$ $= \frac{q\,L^2}{6}\left(3-\frac{1}{\beta}\right)$	$t \geq L\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}(2+\alpha)} =$ $= L\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}\left(3-\frac{1}{\beta}\right)}$
	$M = \frac{q\,L^2}{6}\beta\,(3-\beta)$	$t \geq L\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}\beta\,(3-\beta)}$
	$M = \frac{q\,L^2}{6}\beta^2$	$t \geq L\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}\beta^2}$
	$M = \frac{q\,L^2}{2}\beta\,(2-\beta)$	$t \geq L\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}3\,\beta\,(2-\beta)}$

[8.44]



[8.45]

8.3.2.4 *Espesor de la chapa base en el caso de placa simple*

La chapa de base debe dimensionarse considerando la flexión a que está sometida, debida a las presiones de reacción del cimiento. En general son determinantes las partes que sobresalen del contorno de la columna. La chapa se considera empotrada en la columna y trabaja, por tanto, en voladizo. Para determinar la longitud de estos voladizos se puede seguir las recomendaciones de la AISC, que fija unas longitudes m y n según se indica en [8.43]

En [8.44] se recopilan distintos casos de carga triangular uniforme o trapecial sobre una ménsula, con los valores correspondientes de los momentos máximos producidos, y el espesor necesario de chapa t, en los diversos casos, para lo que se ha tenido en cuenta:

$$\sigma_u = \frac{M}{W_x} \qquad W_x = \frac{1 \times t^2}{6} \qquad t^2 = \frac{6M}{\sigma_u}$$

En el caso más frecuente de reacción trapecial σ_c

$$t = L \sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_u}(2 + \alpha)}$$

si el pilar está sometido a compresión simple ($\alpha = 1$) el valor del espesor es:

$$t = L \sqrt{\frac{3\sigma_c}{\sigma_u}}$$

Siendo L el mayor de los valores m o n.

En **8.3.2.4-a** se dan los valores de $\frac{t}{L}$ para los aceros A 42 y A 52 para distintos valores de $\sigma_c\ (2 + \alpha)$ en el caso de reacción trapecial.

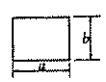
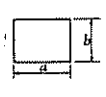
Si los voladizos de la placa base son pequeños con relación a las zonas interiores de la misma, éstas pueden ser determinantes para la fijación del espesor. Como valor solamente orientativo, puede decirse que debe hacerse esta comprobación cuando la longitud de los voladizos sea inferior a $\frac{B}{6}$ [8.45].

El cálculo de los momentos en las zonas interiores no es sencillo. Pueden calcularse de acuerdo con la teoría de las líneas de rotura, por desarrollos en serie, métodos energéticos o aproximados.

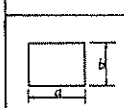
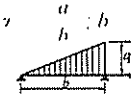
Placas con diversas condiciones de carga y contorno

Valor σ^* de la tensión máxima. $\nu = 0{,}3$; t = espesor de la placa

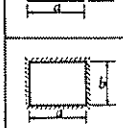
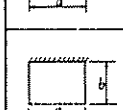
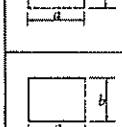
——— *Apoyado*
..... *Empotrado*
_____ *Libre*

Condiciones de contorno	Hipótesis de carga	$\sigma^*_{máx}$
	$\alpha = \frac{b}{a}$, $b < a$ uniforme q	$\frac{0{,}75\, q\, b^2}{t^2(1 + 1{,}61\,\alpha^3)}$ fórmula aproximada
	$\alpha = \frac{a}{b}$, $b < a$ 	$\beta \frac{q\, b^2}{t^2}$

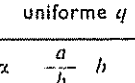
a/b	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
β	0,16	0,26	0,34	0,38	0,43	0,44	0,45

	$\alpha = \frac{a}{b}$, $b < a$ 	$\beta \frac{q\, b^2}{t^2}$

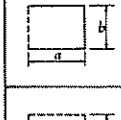
a/b	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
β	0,16	0,26	0,32	0,35	0,37	0,38	0,38

	$\alpha = \frac{b}{a}$, $b < a$ uniforme q	$\frac{0{,}5\, q\, b^2}{t^2(1 + 0{,}623\,\alpha^6)}$ fórmula aproximada
	$\alpha = \frac{b}{a}$ uniforme q	Centro borde empotrado: $\frac{3\, q\, b^2}{t^2(1 + 3{,}2\,\alpha^3)}$ Centro borde libre: $\frac{0{,}8\, q\, a^2}{t^2\left(1 + \frac{0{,}285}{\alpha^4}\right)}$
	$\alpha = \frac{a}{b}$ $b < a$ uniforme q	$\beta \frac{q\, b^2}{t^2}$

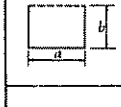
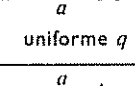
a/b	1,0	1,5	2,0	4,0
β	0,67	0,77	0,79	0,80

	$\alpha = \frac{a}{b}$ $b < a$ 	$\beta \frac{q\, b^2}{t^2}$

a/b	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
β	0,20	0,28	0,32	0,35	0,36	0,37	0,37

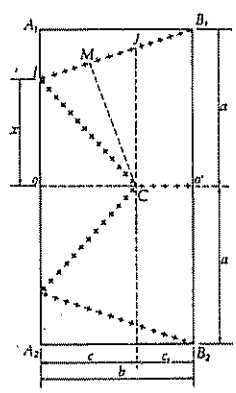
	$\alpha = \frac{b}{a}$ $b > a$ uniforme q	$\beta \frac{q\, a^2}{t^2}$

b/a	1,0	1,5	2,0
β	0,67	0,50	0,36

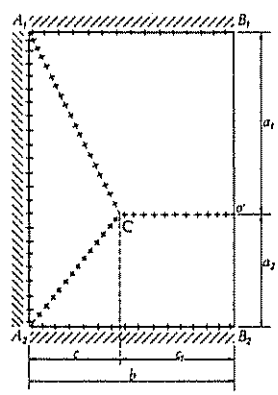
	$\alpha = \frac{a}{b}$; $b < a$ 	$\beta \frac{q\, a^2}{t^2}$

a/b	1,0	1,5	2,0
β	0,20	0,16	0,12

8.3 2 4-b



[8.46]



En la obra de TIMOSHENKO, *Theory of plates and shells*, se estudian teóricamente gran número de casos de carga y sustentación de borde. De ellos se han entresacado y tabulado los que consideramos de posible aplicación en el cálculo de placas de base. Los momentos y reacciones de borde correspondientes, pueden obtenerse de las Tablas **8.3 2-4b.**

Aunque generalmente el espesor de la placa viene determinado por las presiones que le transmite el cimiento, en algunos casos, en que existen fuertes tracciones en los pernos de anclaje, bien sea debido a una gran excentricidad en la compresión que solicita al pilar, o a que el pilar, en este caso un tirante, esté solicitado a tracción, puede ser necesario dimensionar la placa de base, para la acción del perno sobre ella. El problema es el del dimensionamiento de una placa rectangular con un borde libre solicitada por una carga concentrada.

En el artículo de H. DELESQUES, *Resistance a une charge concentrée d'une plaque rectangulaire ayant un bord libre* [1], se estudia este problema en plasticidad, considerando el estado último de la placa cuando se forma un número suficiente de charnelas plásticas, que descomponen la placa en una serie de caras planas que la convierten en un mecanismo [8.46].

En el artículo se estudian las diversas configuraciones posibles de redes de charnelas. Para cada condición de carga la configuración real será la que corresponde a un mínimo de energía interna de plastificación de la placa. Con ello el autor llega a la confección de unos ábacos en que en función de las características geométricas de la placa y de la posición de la carga concentrada se obtienen unos valores de $\frac{P^*}{m}$, siendo P^* la carga concentrada ponderada y m el momento de plastificación por unidad de longitud de charnela.

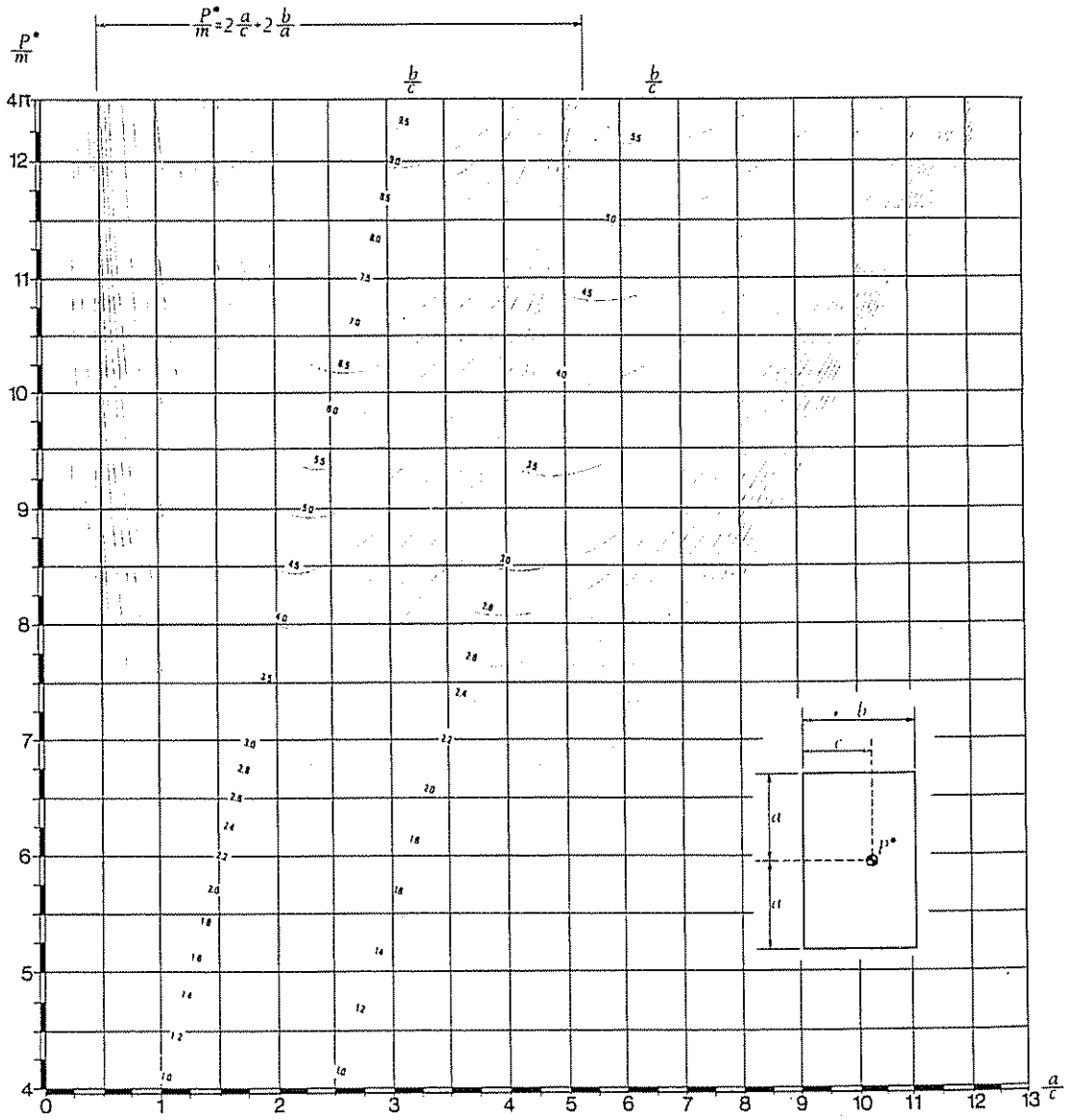
Este momento, función del espesor e de la placa y del límite de elasticidad del acero, tiene por expresión

$$m = \frac{e^2}{4}\sigma_e$$

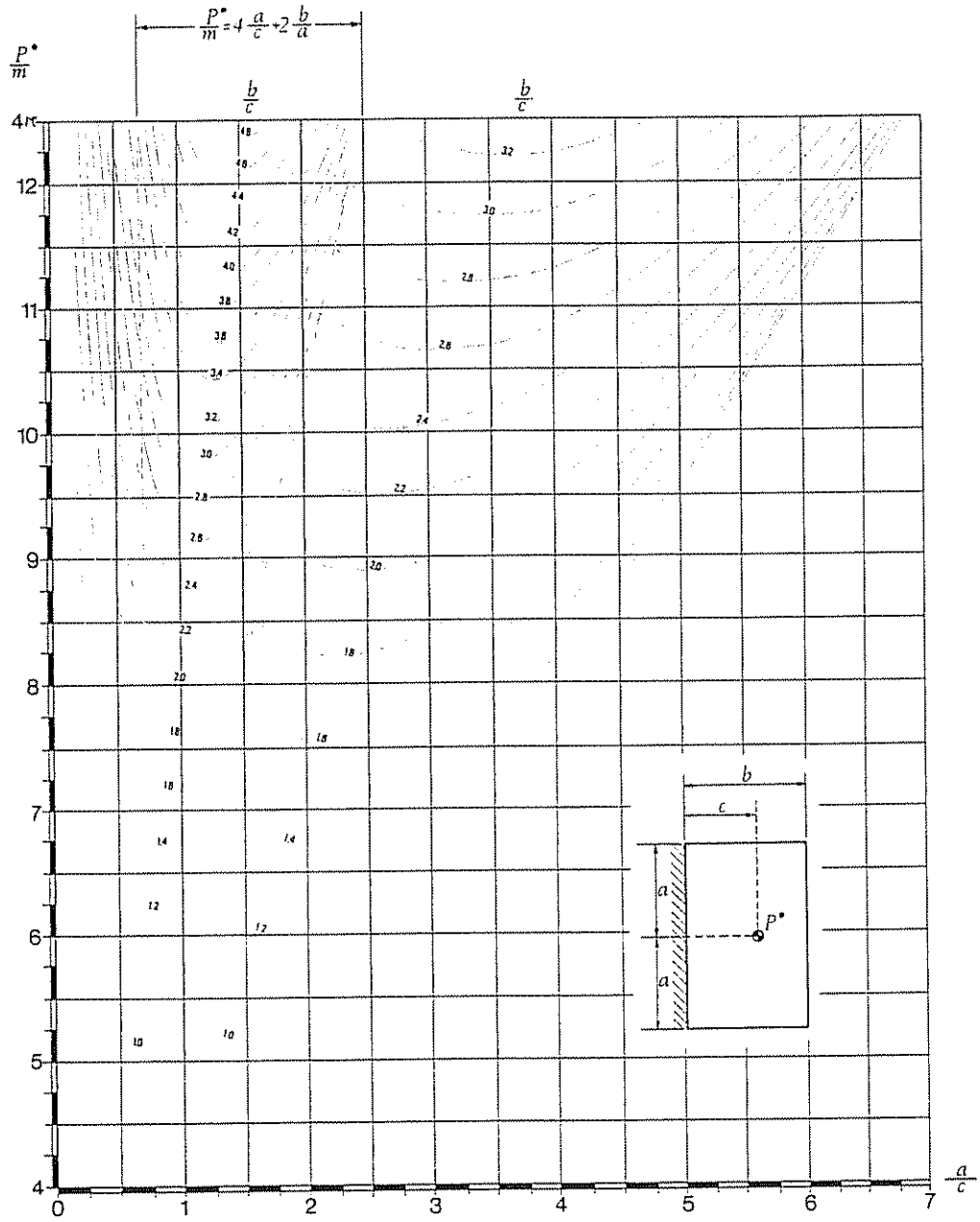
y corresponde al momento de plastificación completa de un elemento de placa de ancho unitario y espesor e.

---

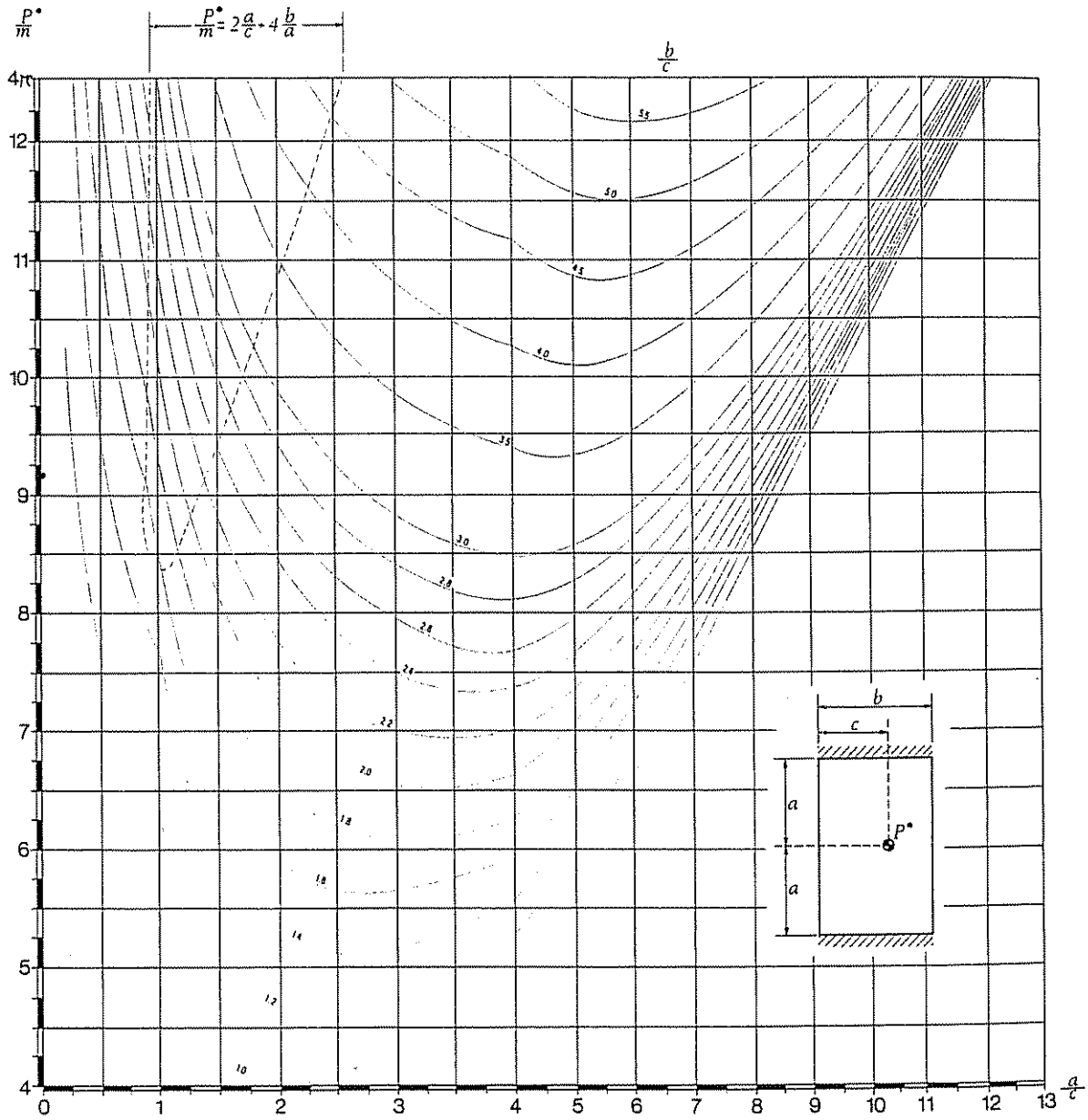
[1] *Construction metallique*, núm. 2, 1976.


$\frac{P^*}{m} = 2\frac{a}{c} + 2\frac{b}{a}$
$\frac{P^*}{m}$
$\frac{b}{c}$
$\frac{b}{c}$
4π
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
$\frac{a}{c}$
b
c
c1
c1
P*

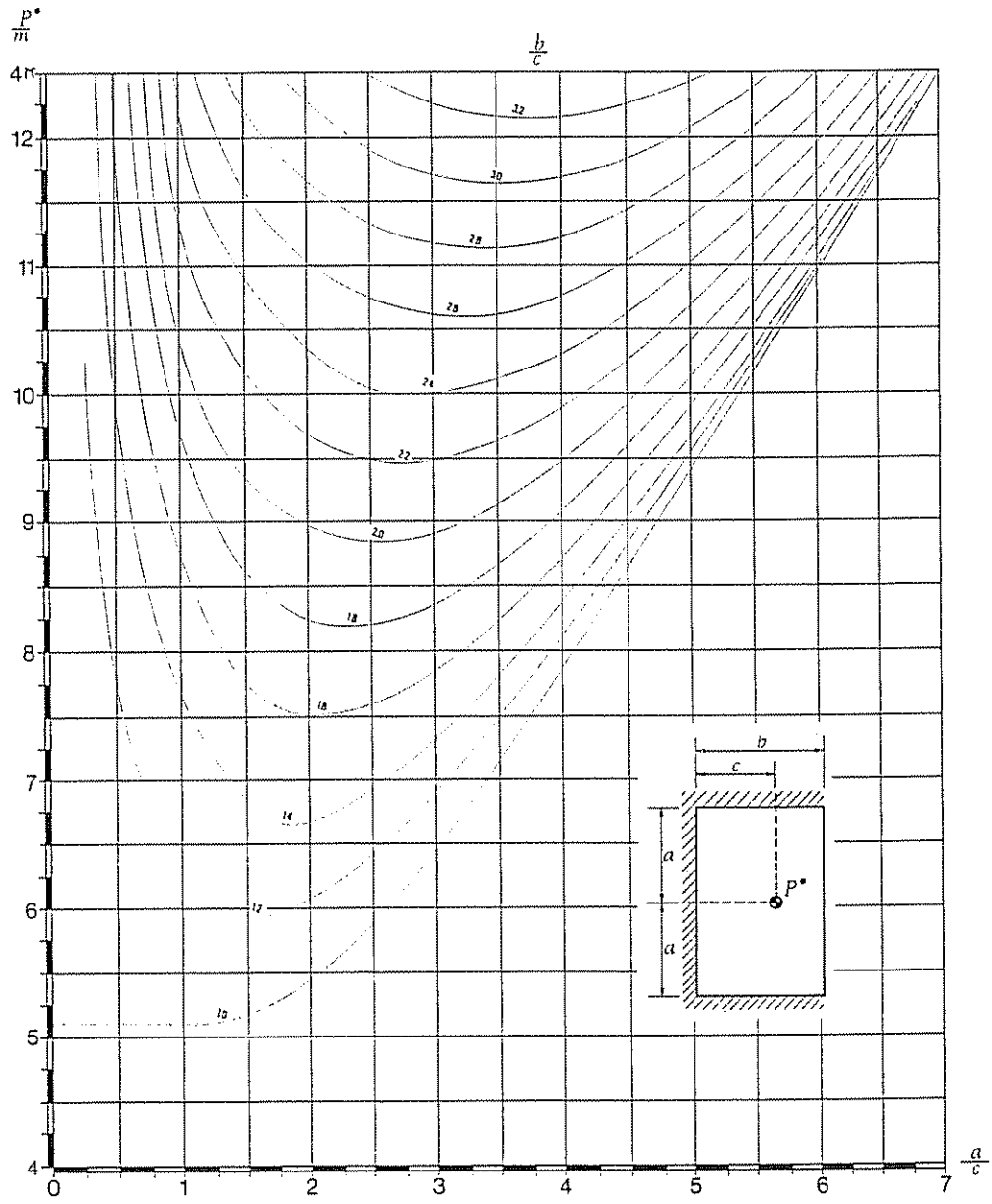
8.3 2 4-c1


$\frac{P^*}{m} = 4\frac{a}{c} + 2\frac{b}{a}$
$\frac{P^*}{m}$
$\frac{b}{c}$
$\frac{b}{c}$
4
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
1
2
3
4
5
6
7
$\frac{a}{c}$
b
c
a
a
P^*

8.3 2 4-c2

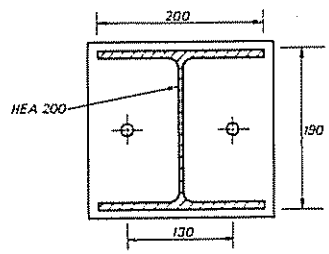

P*/m
P*/m = 2 a/c + 4 b/a
b/c
a/c
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
b
c
a
a
P*

8.3 2 4-c3



8.3 2 4-c4

8.3 2 4. EJEMPLO DE APLICACION



La placa de apoyo de un pilar HEA 200 está fijada a la zapata por dos pernos según la figura. El pilar, en una de sus hipótesis de cálculo, está sometido a una tracción N = 22 t. Dimensionar el espesor necesario de la placa.*

El cálculo según las curvas de Delesques es:

$$P^* = \frac{22\,000}{2} = 11\,000 \text{ kg} \qquad c = \frac{130 - 6{,}5}{2} = 61{,}75 \text{ mm}$$

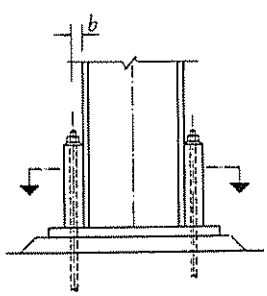
$$a = \frac{190}{2} - 10 = 85 \text{ mm} \qquad \frac{a}{c} = 1{,}38$$

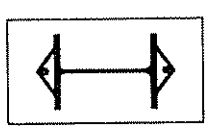
$$b = \frac{200 - 6{,}5}{2} = 96{,}75 \text{ mm} \qquad \frac{b}{c} = 1{,}56$$

Por la simetría de cargas se puede admitir la placa empotrada a lo largo de su intercesión con el alma, pudiendo aplicar el ábaco **8.2 3 4-c 2**, de donde se obtiene:

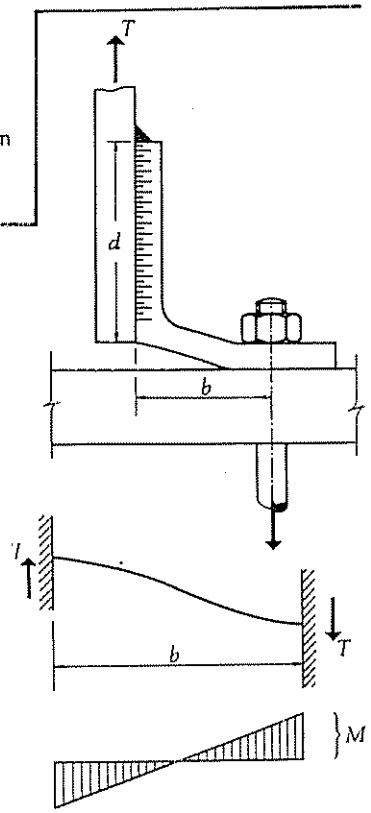
$$\frac{P^*}{m} = 7{,}6$$

$$e = \sqrt{\frac{P^*}{4{,}74\left(\frac{P^*}{m}\right)}} = \sqrt{\frac{11\,000}{4{,}74 \times 7{,}6}} = 17{,}5 \text{ mm}$$





[8.47]



[8.48]

En el cálculo elástico se considera como estado último, no el de la plastificación completa, sino el de iniciación de la misma.

$$m = \frac{e^2}{6}\sigma_e$$

que es el valor que adoptaremos.

Para el acero A 42

$$m = \frac{26}{6}e^2 = 4{,}33\,e^2$$

e en mm.

Obtenido del ábaco el valor de $\frac{P^*}{m} = K$ y conocido P^*, que es dato del problema, el valor del espesor necesario e resulta:

$$\frac{P^*}{m} = K \qquad e \geqslant \sqrt{\frac{P^*}{4{,}33\ K}} = 0{,}48\sqrt{\frac{P^*}{K}}$$

e en mm y P en kg.

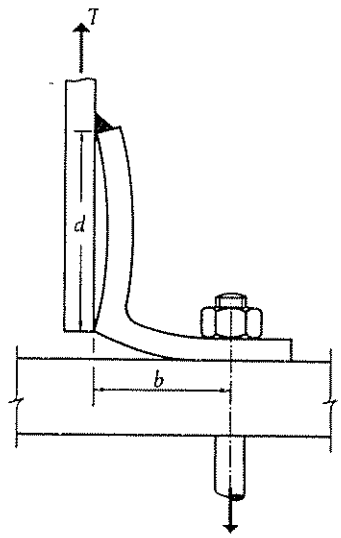
Ver ejemplo de aplicación en la página 554.

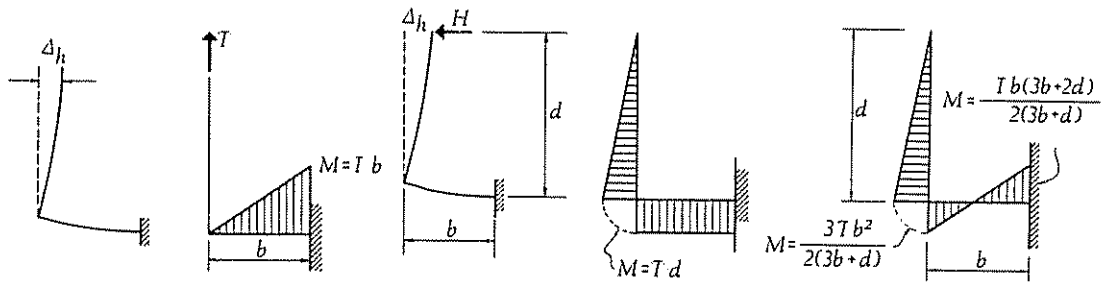
8.3.2.5. *Unión entre columna y placa de base.*

Ya se indicó en 8.3.1.4 las condiciones para que las compresiones de la columna puedan transmitirse por contacto a la placa y las dimensiones mínimas aconsejables para las soldaduras en el caso de transmisión de esfuerzos de tracción.

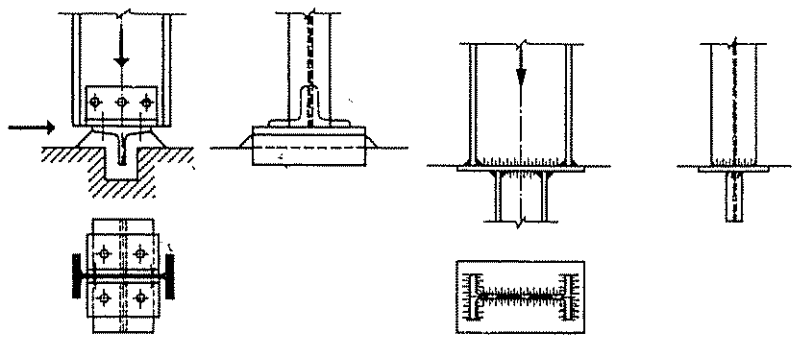
En el cálculo de las soldaduras se puede considerar que la carga se distribuye de tal manera que el esfuerzo de tracción de la columna es transmitido por las soldaduras de ala y el esfuerzo horizontal es transmitido por las soldaduras de alma.

En los casos en que los tornillos no descansen directamente sobre la placa, sino a través de un elemento intermedio [8.47], es preciso calcular los cordones laterales de unión de este elemento a la columna para que sean capaces de absorber la tracción transmitida por los tornillos. Los cordones de soldadura deberán calcularse para un esfuerzo cortante en su plano igual a dicha tracción y el momento $T \cdot b$, debido a la excentricidad.





[8.49]



[8.50]

Un caso frecuente, cuando existe una tracción apreciable en el ala de la columna (y sobre todo cuando la placa de base no está soldada en taller), es la colocación de un angular intermedio. Debido a la tracción el angular está sometido a flexión. Puede suponerse que el ala horizontal del angular trabaja como una viga biempotrada y que, por tanto, el momento máximo es [8.48].

$$M = \frac{T\,b}{2}$$

que es el que sirve de base para el dimensionamiento del angular.

Otros autores consideran que no es correcta la hipótesis de trabajo del angular anteriormente supuesta y que su deformación corresponde más bien a la que se indica en [8.49]. En este caso la ley de momentos es la dibujada y el valor del momento máximo correspondiente a la sección de agujeros es:

$$M = \frac{T\,b\,(3b + 2d)}{2\,(3b + d)}$$

y el espesor correspondiente es fácilmente deducible (con cargas ponderadas):

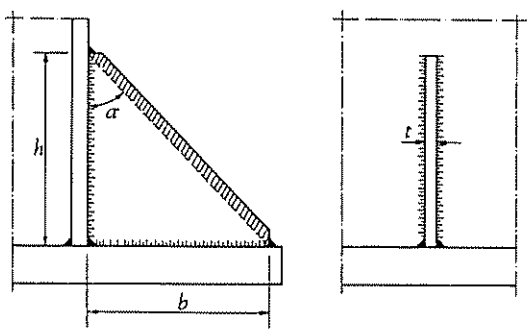
$$W_x = \frac{M^*}{\sigma_u} \qquad W_x = \frac{L\,e^2}{6}$$

$$e = \sqrt{\frac{3Tb\,(3b + 2d)}{L\,(3b + d)\,\sigma_u}}$$

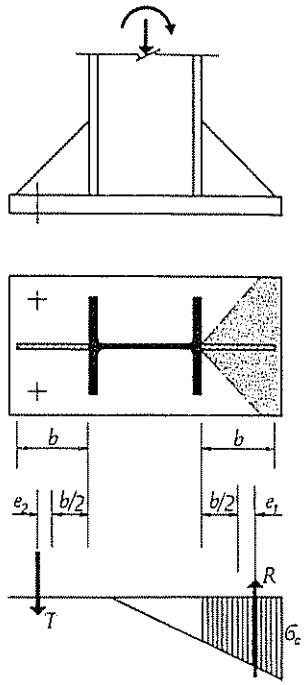
8.3.2.6. *Esfuerzos horizontales en la base de la columna.*

Si los esfuerzos son pequeños pueden ser absorbidos por rozamiento entre la placa y el cimiento o a cortadura por los pernos de anclaje.

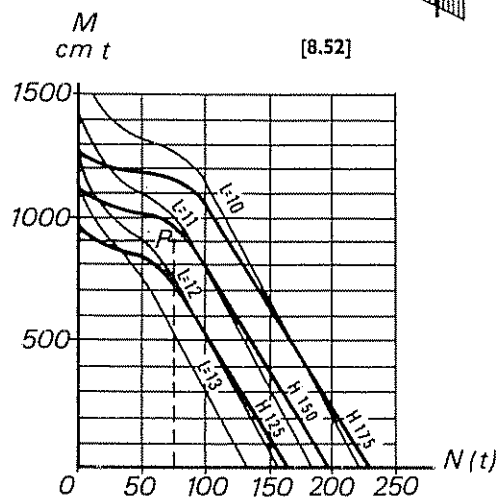
En el caso de esfuerzos horizontales grandes, es necesario dispositivos especiales [8.50], como puede ser el soldar un taco o un casquillo por debajo de la placa base y absorber el esfuerzo por compresión de este elemento contra el cimiento. En este caso debe comprobarse tanto la tensión de compresión en el hormigón, como las soldaduras de unión del casquillo.

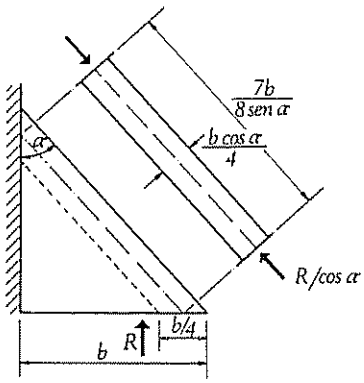


[8.51]

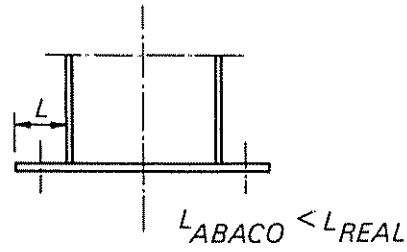


[8.52]





[8.53]



[8.54]

8.3.2.7 *Bases rigidizadas por cartelas.*

En columnas con solicitaciones importantes, se suelen utilizar cartelas en la base para una mejor distribución de la compresión en un área mayor sin aumentar excesivamente el espesor de la placa base, ni la de los cordones que resisten la tracción, así como una mejor transmisión de la tracción de los pernos a la columna. Algunas disposiciones de este tipo se recogen en [8.15]

Para el cálculo de los momentos en la placa base y consecuentemente las tensiones máximas y el espesor necesario puede utilizarse **8.3.2.4-b.**

Para su uso se suelen utilizar las presiones máximas de borde como uniformemente distribuidas, con lo que el cálculo se realiza del lado de la seguridad.

El cálculo de las cartelas se suele realizar para las de la zona comprimida, ya que por predominar en los pilares las solicitaciones de compresión suele ser determinante para el dimensionamiento.

Aunque constructivamente se aconseja realizar las cartelas con la forma que se indica en [8.51], para el cálculo se suponen las cartelas triangulares despreciando la zona rayada en la figura.

Se supone que sobre la cartela actúa una zona de presiones correspondiente a un área de reparto triangular como se indica en [8.52]. La ley de presiones por unidad de longitud que solicita la cartela será parabólica. La posición de la resultante de dicha ley de presiones se fija, por su distancia e_1 al centro de la cartela.

Un procedimiento aproximado de cálculo, muy del lado de la seguridad, consiste en suponer que la componente de la resultante de las presiones en la dirección de la cartela $\frac{R}{\cos \alpha}$ solicita como carga centrada a la zona de cartela correspondiente a $\frac{1}{4}$ del ancho total [8.53].

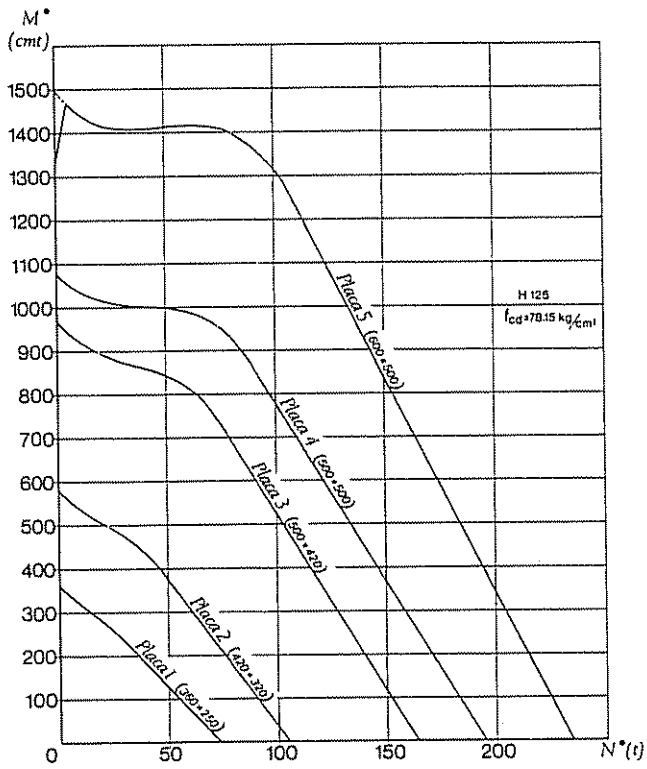
Se tiene:

Longitud real de la pieza

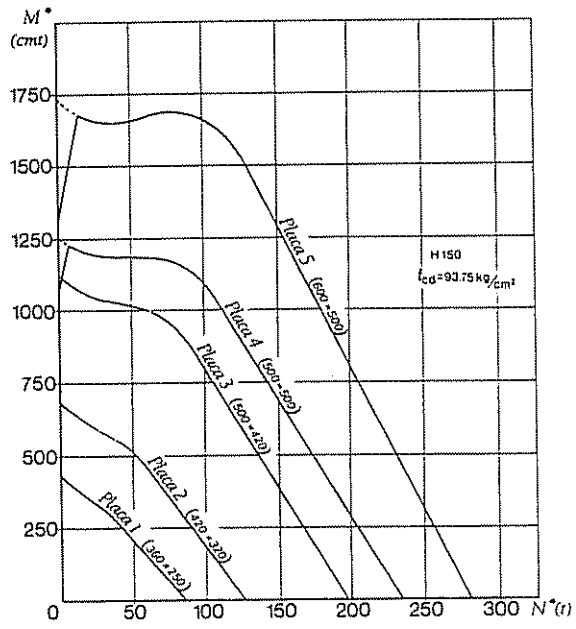
$$L = \frac{7b}{8 \operatorname{sen} \alpha}$$

Sección:

$$A = \frac{bt \cos \alpha}{4}$$



8.3.2.8-a1



8.3.2.8-a2

Radio de giro:

$$i = \frac{t}{\sqrt{12}}$$

Longitud de pandeo:

$$L_K = \beta L \qquad L_K = \beta \frac{7b}{8 \operatorname{sen} \alpha}$$

$$\lambda = \frac{L_K}{i} = \beta \frac{7\sqrt{3}}{4} \frac{b}{t \operatorname{sen} \alpha} = K \frac{b}{t \operatorname{sen} \alpha}$$

Si se toma para β el valor 2/3, que corresponde a una vinculación de semiempotramiento no perfecto, se obtiene

$$\lambda = \frac{2}{3} \times \frac{7\sqrt{3}}{4} \times \frac{b}{t \operatorname{sen} \alpha} = 2{,}02 \frac{b}{t \operatorname{sen} \alpha}$$

Con este valor de λ se calcula el ω correspondiente, resultando:

$$\sigma^* = \frac{\omega \, 4 \, R^*}{b \, t \cos^2 \alpha} < \sigma_u$$

si se trabaja con tensiones ponderadas.

Se aconseja que a efectos de estabilidad, las proporciones de la cartela cumplan las condiciones siguientes:

$$\frac{b}{t} \leqslant \frac{150}{\sqrt{\sigma_e}} \quad \text{para} \quad 0{,}5 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 1$$

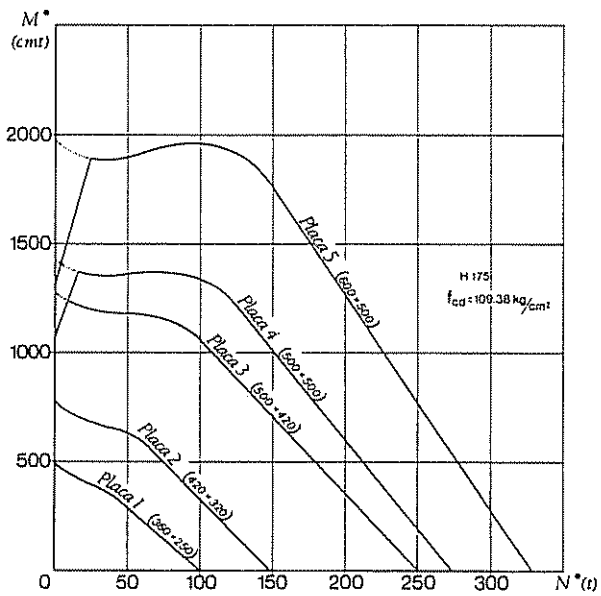
$$\frac{b}{t} \leqslant \frac{50 + 100 \frac{b}{h}}{\sqrt{\sigma_e}} \quad \text{para} \quad 1 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 2$$

σ_e en kg/mm^2.

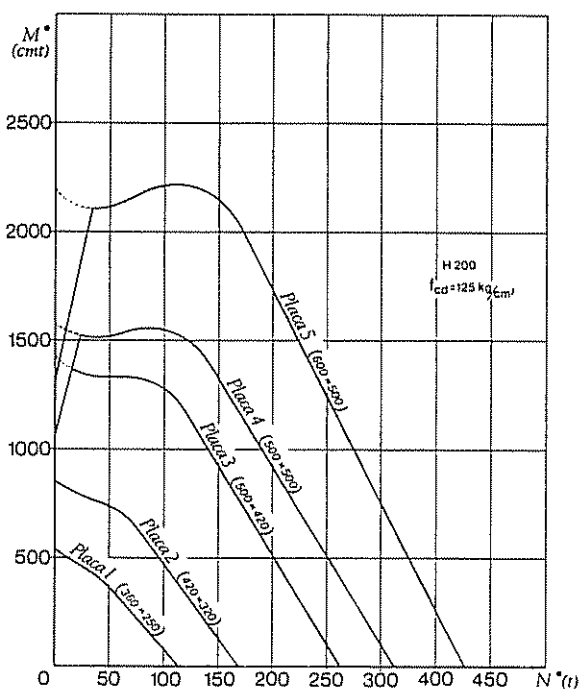
Para el acero A 42 con $\sigma_e = 26$ kg/mm^2 estas limitaciones son aproximadamente:

$$\frac{b}{t} \leqslant 30 \qquad \text{para} \qquad 0{,}5 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 1$$

$$\frac{b}{t} \leqslant 10 + 20 \frac{b}{h} \qquad \text{para} \qquad 1 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 2$$



8.3 2 8-a3



8.3 2 8-a4

8.3.2.8. *Abacos para el cálculo de bases tipificadas.*

Para el dimensionamiento inmediato de bases tipificadas para columnas constituidas por perfiles de las series **HEA**, **HEB** y **HEM**, principalmente, se han confeccionado dos tipos de ábacos:

— Abacos **8.3.2.8-a**. En ellos entrando con los valores de las solicitaciones en pie de columna N^* y M^* (la N sin multiplicar por el coeficiente de pandeo ω) se obtiene la placa tipo, para la cual no se rebasa la resistencia de cálculo del hormigón a compresión, ni la tracción de agotamiento de los pernos. Se han confeccionado cuatro ábacos correspondientes a hormigones H125, H150, H175 y H200.

— Abacos **8.3.2.8-b**. Se dibuja un ábaco para cada una de las dimensiones de base tipificado. Entrando con el valor de M^* y N^* en pie de pilares se determina la compresión en el hormigón y máximo vuelo admisible L. [8.54], de la placa sobre la cara exterior del perfil.

Para el uso del ábaco es preciso tener en cuenta que el valor mínimo de L. que permite la colocación de los pernos es 90 mm. El valor del vuelo L. que se obtiene en el ábaco [8.54], debe ser igual o superior al vuelo real L_R obtenido considerando las dimensiones de la placa base y el canto de la columna.

Las dimensiones de las placas y pernos corresponden a las descritas en **8.3.1.6.**

Ver ejemplo de aplicación en la página 564.

8.3.2.9. *Cálculo de bases compuestas.*

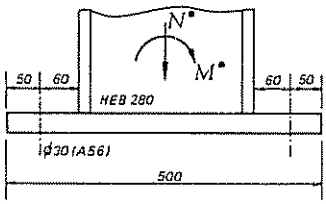
La variedad de posibles disposiciones no permite establecer reglas generales para su dimensionamiento que por lo demás, se reduce en general al de los tornillos, placa base, elementos de rigidización y uniones de éstos al fuste de la columna. En muchos casos, como viga de reparto, se utilizan además de perfiles en **U**, perfiles **I** o **H**, a los que para su unión fuste, se corta la mitad del ala superior o la totalidad de la misma. Este procedimiento tiene como ventaja la del aprovechamiento de los perfiles cortos [8.55]. Para facilitar el cálculo de estos elementos en **8.3.2.9** se dan los valores estáticos de las secciones así obtenidas, para las series **IPN** y **HEB**.

Los perfiles **IPE** por el débil espesor del alma no son en general apropiados para la constitución de estos elementos, de esfuerzos cortantes elevados (vigas cortas).

8.3.3.10 *Empotramiento por prolongación del fuste*

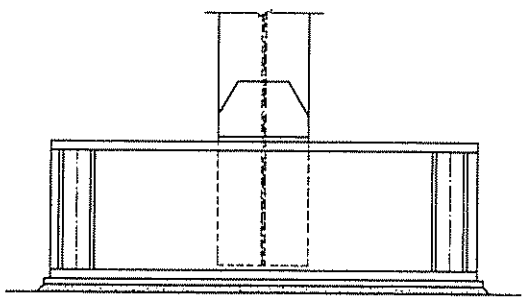
Al nivel de la cara superior del cimiento las solicitaciones son una fuerza vertical N, un cortante H y un momento M

8.3 2 8. EJEMPLO DE APLICACION

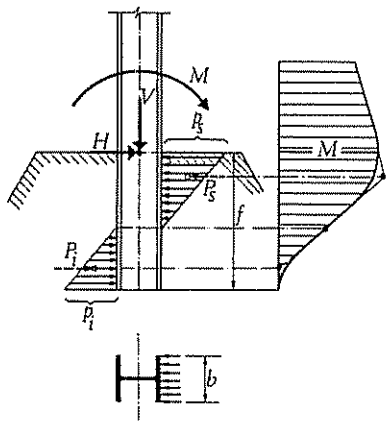


Se desea conocer la placa base tipificada adecuada para un pilar HEB 280, solicitado por una compresión N = 70 t y un momento M* = = 900 cm·t. El hormigón de la zapata es un H150.*

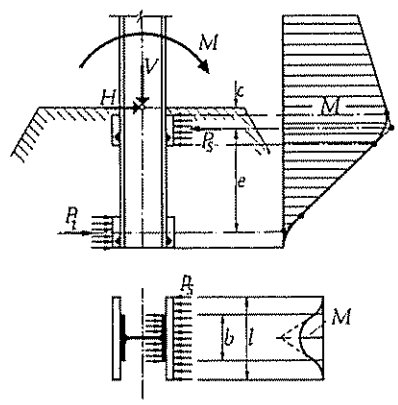
Del ábaco **8.3 2 8-a** (H150) se deduce que las dimensiones adecuadas son 500 × 420, placa número 3 y en el ábaco correspondiente a esta placa, de los **8.3 2 8-b** se puede comprobar que la placa tipificada número 3, de dimensiones 500 × 420 × 35, es válida para este caso, por permitir un vuelo L ~ 115 mm, superior al que produce el pilar del ejemplo sobre esta placa (L = 110 mm).



[8.55]



[8.56]



[8.57]

El esfuerzo vertical se transmite directamente al hormigón por rozamiento o contacto. La transmisión del esfuerzo cortante y el momento a través de presiones horizontales contra el hormigón. Refiriéndonos a [8.56], y siendo f la longitud del fuste dentro del cimiento.

$$p_s = \frac{H}{bf} + \frac{M + H\frac{f}{2}}{\frac{1}{6}f^2 b} \qquad \text{de resultante } P_s$$

$$p_i = \frac{H}{bf} - \frac{M + H\frac{f}{2}}{\frac{1}{6}f^2 b} \qquad \text{de resultante } P_i$$

verificándose $H - P_s + P_i = 0$.

Si se parte de una presión sobre el hormigón p, admisible o límite para el hormigón, la longitud f viene dada por:

$$f = \frac{2H}{bp}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{3\,M\,bp}{2\,H^2}}\right]$$

Se trabaja con esfuerzos ponderados o característicos, según si el valor de p sea límite o admisible.

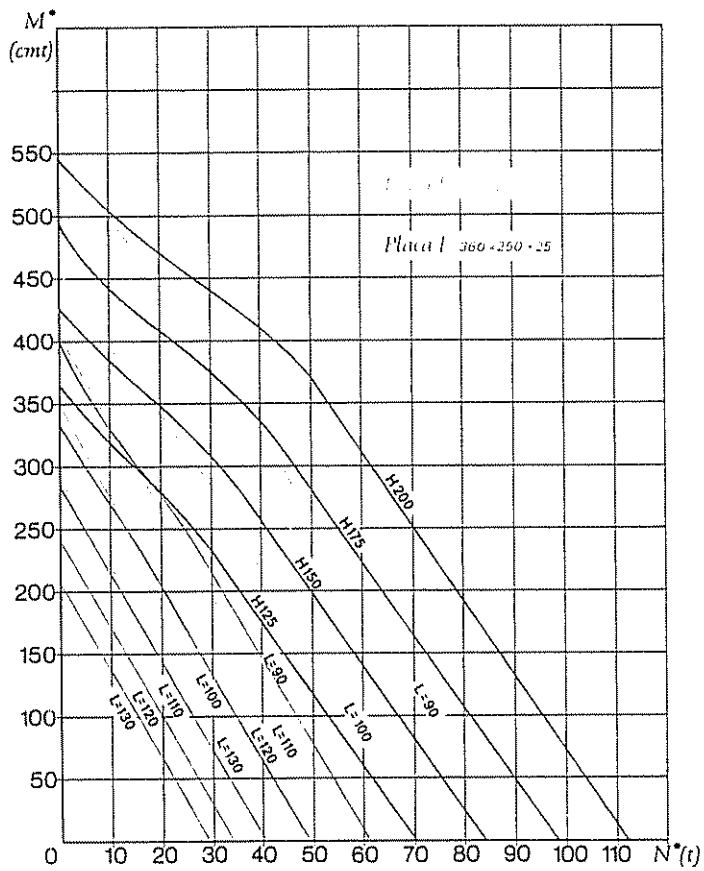
Si se quiere disminuir la longitud f, sin sobrepasar el valor de p, puede recurrirse a una disposición como la representada en [8.57]. En este caso puede suponerse una concentración de las presiones en las placas, con distribución uniforme.

Tomando momentos en el centro de la placa superior, se tiene

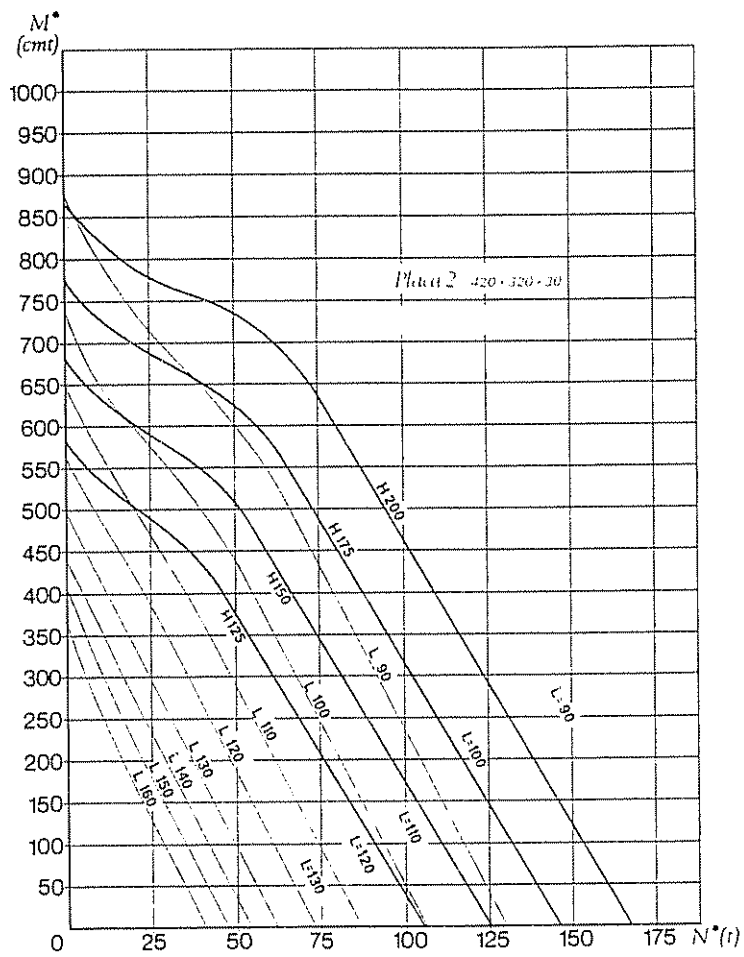
$$P_i = \frac{M + He}{e} \qquad P_s = H + P_i$$

Las placas deben dimensionarse para los voladizos. El momento correspondiente a la placa superior, más cargada, es:

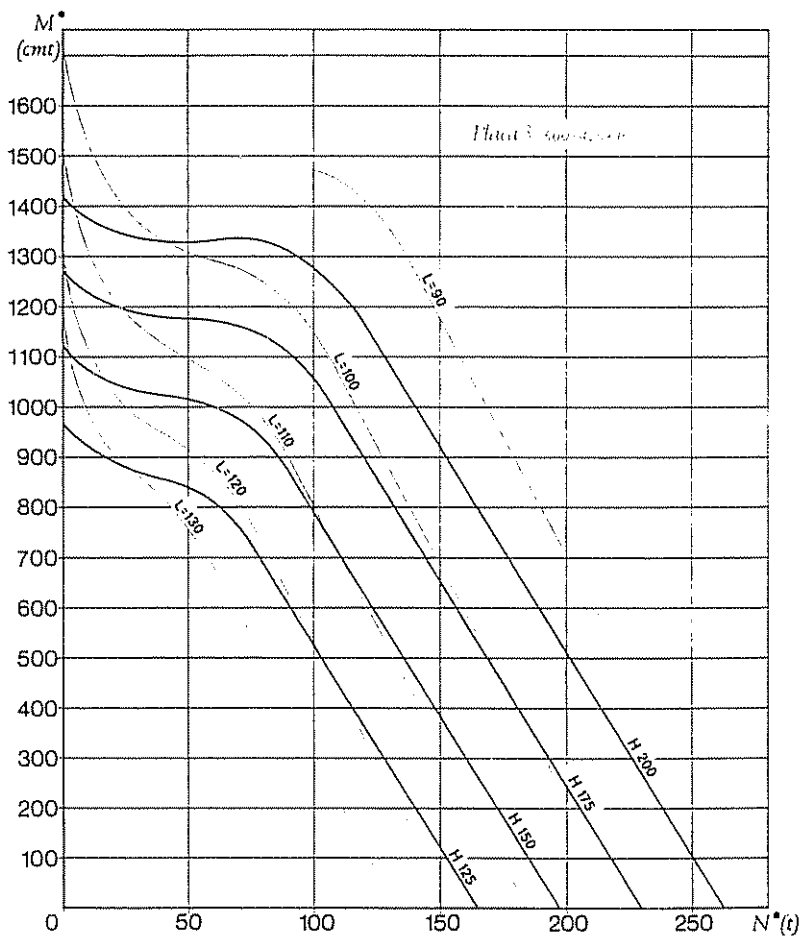
$$M = \frac{P_s}{2}\left(\frac{l}{4} - \frac{b}{4}\right) = \frac{P_s}{8}(l - b)$$


M*
(cmt)
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
N*(t)
Placa I 360 x 250 x 35
H200
H175
H150
H125
L=90
L=100
L=110
L=120
L=130

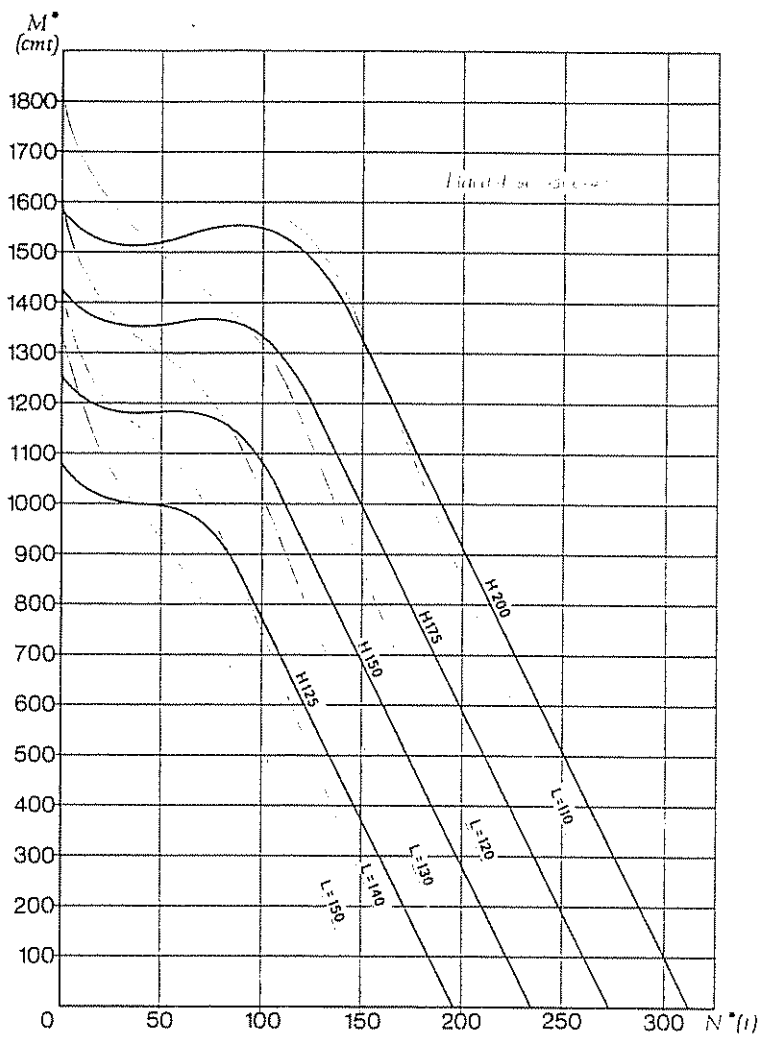
8.3 2 8-b1


M*
(cmt)
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
25
50
75
100
125
150
175
N*(t)
Placa 2 420 · 320 · 30
H 200
H 175
H 150
H 125
L 90
L 100
L 110
L 120
L 130
L 140
L 150
L 160
L=90
L=100
L=110
L=120
L=130

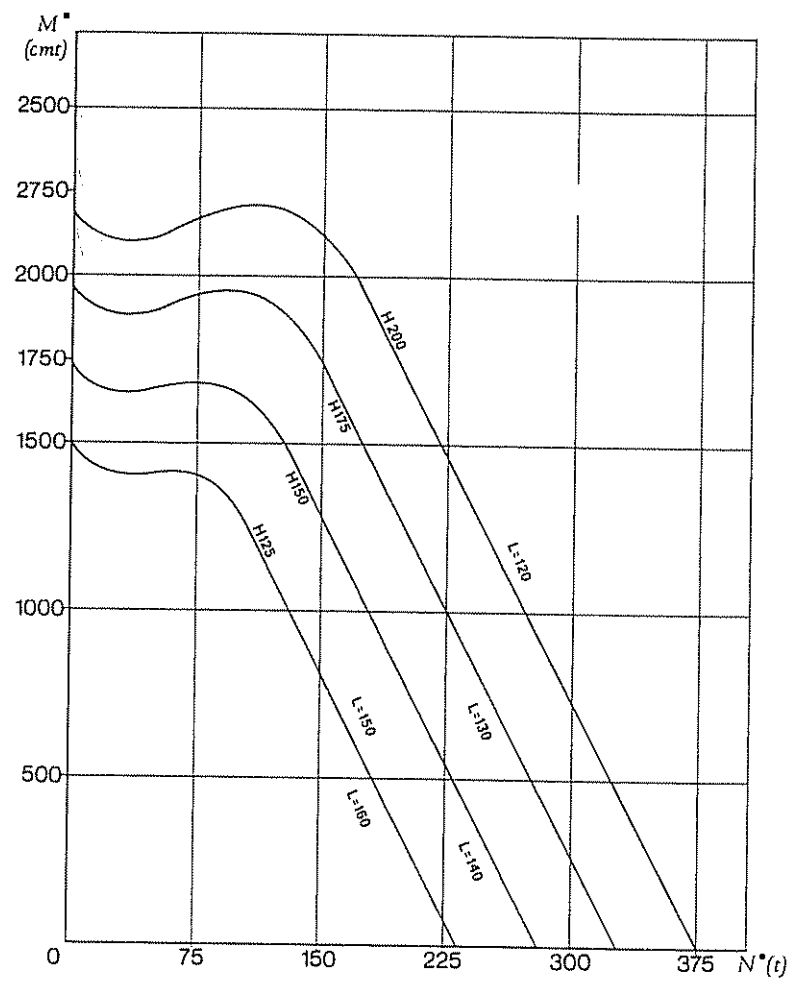
8.3 2 8-b2


M*
(cmt)
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
50
100
150
200
250
N*(t)
L=90
L=100
L=110
L=120
L=130
H 200
H 175
H 150
H 125

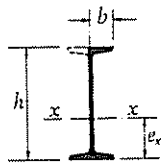
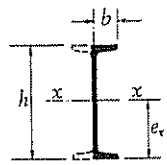
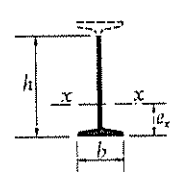
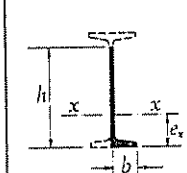
8.3 2 8-b3


M*
(cmt)
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
50
100
150
200
250
300
N*(t)
H200
H175
H150
H125
L=110
L=120
L=130
L=140
L=150

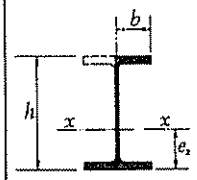
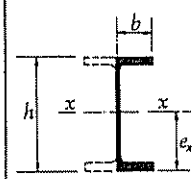
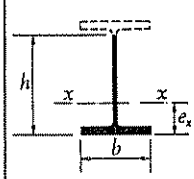
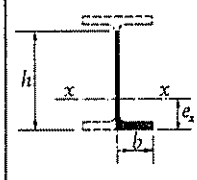
8.3 2 8-b4


M*
(cmt)
2500
2750
2000
1750
1500
1000
500
0
75
150
225
300
375
N*(t)
H200
H175
H150
H125
L=120
L=130
L=140
L=150
L=160

8.3 2 8-b5

	IPN	h mm	b mm	Sección A cm^2	Peso P kg/m	e_x cm	I_x cm^4	W_x cm^3
	30	300	67,9	59,9	47,0	12,8	7 690	448
	32	320	71.25	67,6	53,0	13,7	9 810	536
	34	340	74,6	75,5	59,2	14,6	12 340	636
	36	360	78,0	84,5	66,4	15,5	15 420	751
	38	380	81,35	93,3	73,2	16,4	18 910	874
	40	400	84,7	103	80,8	17,2	23 060	1 010
	45	450	93,1	128	101	19,4	36 180	1 410
	50	500	101,5	158	124	21,7	54 540	1 920
	55	550	109,5	186	146	23,7	78 390	2 510
	60	600	118,3	223	175	26,1	110 700	3 260
	30	300	67,9	50,8	39.8	15,0	6 120	408
	32	320	71.25	57,3	45,0	16,0	7 830	489
	34	340	74,6	64,1	50,4	17,0	9 850	579
	36	360	78,0	72,0	56,5	18,0	12 330	685
	38	380	81,35	79,8	62,7	19,0	15 140	797
	40	400	84.7	87,8	68,9	20,0	18 440	922
	45	450	93,1	110	86,3	22,5	29 080	1 290
	50	500	101.5	135	106	25,0	43 750	1 750
	55	550	109,5	159	125	27,5	62 760	2 280
	60	600	118.3	192	151	30,0	88 940	2 960
	30	270	125	47,5	37,3	8,62	3 580	195
	32	285	131	53.3	41,8	9,12	4 470	231
	34	305	137	59,9	47,0	9,84	5 770	279
	36	320	143	66,8	52,4	10,4	7 080	327
	38	340	149	74,1	58,2	11,1	8 890	388
	40	360	155	82,0	64,4	11.8	11 040	456
	45	405	170	103	80.6	13,4	17 510	646
	50	450	185	126	98,9	15,0	26 540	885
	55	495	200	148	116	16,3	37 700	1 140
	60	540	215	179	140	18,2	54 430	1 520
	30	270	67,9	38,3	30.1	10,5	2 890	175
	32	285	71,25	43,0	33,8	11,1	3 610	207
	34	305	74,6	48,5	38,1	11,9	4 660	251
	36	320	78,0	54,2	42,5	12,5	5 730	294
	38	340	81,35	60,3	47,4	13.4	7 190	349
	40	360	84.7	66,9	52,5	14,2	8 920	409
	45	405	93,1	84,1	66,0	16,1	14 230	583
	50	450	101,5	104	81,3	17,9	21 450	792
	55	495	109,5	121	95,1	19,6	30 450	1 020
	60	540	118,3	148	116	21,7	44 040	1 360

8.329

	HEB	h mm	b mm	Sección A cm^2	Peso P kg/m	e_x cm	I_x cm^4	W_x cm^3
	36	360	157	157	123	14,2	32 990	1 520
	38	380	157	159	125	15,1	37 350	1 630
	40	400	157	171	134	15,8	44 400	1 840
	45	450	157,5	191	150	18,0	62 000	2 300
	50	500	158	211	166	20,1	84 120	2 820
	55	550	158	219	172	22,3	104 900	3 210
	60	600	158,5	242	190	24,5	135 900	3 830
	65	650	158,5	250	196	26,7	164 000	4 280
	70	700	159	274	215	29,0	205 700	5 020
	75	750	159	283	223	31,3	242 000	5 530
	36	360	157	121	95,1	18,0	25 510	1 420
	38	380	157	124	97,0	19,0	28 680	1 510
	40	400	157	133	104	20,0	34 050	1 700
	45	450	157,5	150	118	22,5	47 810	2 120
	50	500	158	168	131	25,0	64 930	2 600
	55	550	158	176	138	27,5	81 240	2 950
	60	600	158,5	196	153	30,0	105 700	3 520
	65	650	158,5	204	160	32,5	127 800	3 930
	70	700	159	225	177	35,0	160 900	4 600
	75	750	159	234	184	37,5	189 800	5 060
	36	315	300	115	90,0	6,83	9 390	381
	38	335	300	117	92,1	7,44	11 200	430
	40	350	300	125	98,2	7,66	12 840	470
	45	390	300	141	110	8,96	18 600	619
	50	440	300	158	124	10,7	27 750	832
	55	490	300	166	130	12,4	37 550	1 030
	60	540	300	185	145	14,2	52 120	1 310
	65	590	300	194	152	16,1	66 660	1 550
	70	630	300	212	167	17,6	84 330	1 860
	75	680	300	221	174	19,6	104 200	2 150
	36	315	157	79,4	62,4	9,32	7 800	352
	38	335	157	82,2	64,6	10,1	9 250	396
	40	350	157	87,1	68,4	10,4	10 630	432
	45	390	157,5	99,5	78,2	12,1	15 310	568
	50	440	158	114	89,7	14,2	22 690	760
	55	490	158	122	96,0	16,3	30 520	932
	60	540	158,5	139	109	18,5	42 240	1 190
	65	590	158,5	147	115	20,7	53 820	1 400
	70	630	159	163	128	22,5	68 030	1 680
	75	680	159	172	135	24,7	83 830	1 940

8.3 2 9

8.4. APOYOS DE PUENTES

Su misión es transmitir a las pilas o cimentaciones las reacciones horizontales y verticales producidas por las cargas

Los aparatos de apoyo deberán responder lo más fielmente posible a las condiciones de vinculación establecidas en las hipótesis de cálculo. Deberán ser diseñados de tal manera que puedan hacer posible los movimientos previsibles de la estructura, tales como los cambios de longitud originados por las variaciones térmicas, o los acortamientos o giros consecuencia de la flexión.

Los aparatos de apoyo han de estar previstos para distribuir lo más uniformemente posible hacia la cimentación y hacia la estructura los esfuerzos que se transmiten por las superficies de contacto. Para ello deben tener gran rigidez para que su deformación por flexión sea mínima.

En los aparatos de apoyo móviles, se deberán tener en cuenta las fuerzas originadas por el rozamiento al deslizamiento en el caso de placas, por la resistencia a la rodadura en el caso de rodillos o el producido por la deformación elástica en los apoyos de goma o elastoméricos.

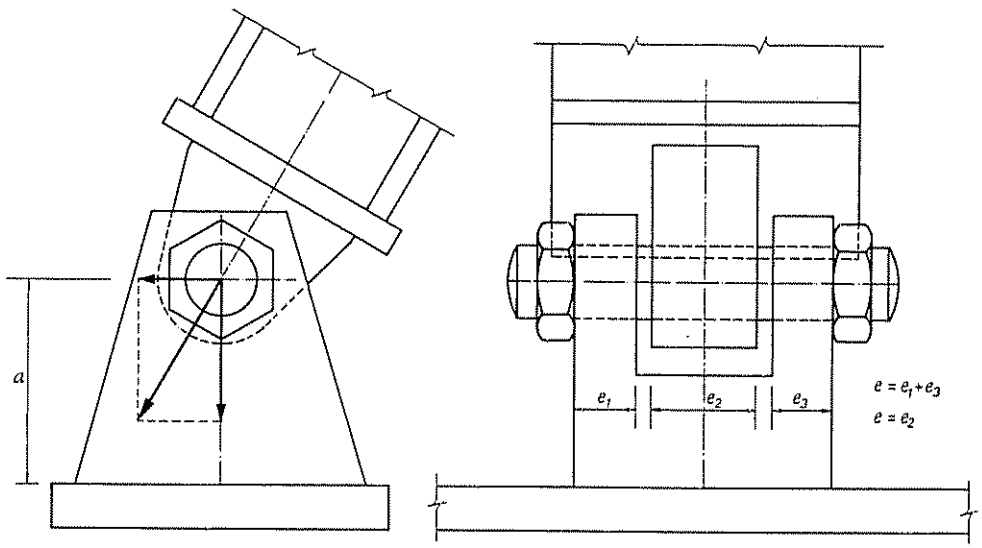
Aunque se ha designado como apoyos de puentes a los aparatos de apoyo descritos en este apartado, no pueden considerarse como exclusivos para este tipo de construcciones, sino adecuados para una cuantía de las reacciones y unas exigencias funcionales que aunque más frecuentes en los puentes, pueden darse en estructuras industriales o de edificación de cierta importancia (cubiertas de grandes luces, caminos de rodadura de puentes grúa, etc.)

De hecho en los puentes, según las luces de sus vanos, se emplean desde apoyos simples de chapa sobre chapa hasta los aparatos de apoyo más complicados y sofisticados.

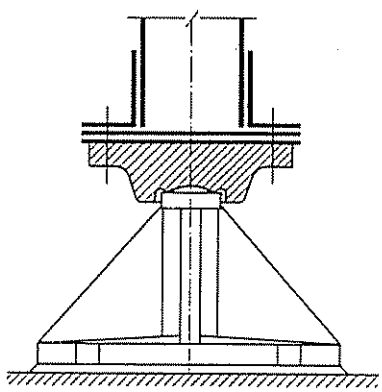
La elección del tipo del mismo, debe hacerla el proyectista teniendo en cuenta el valor de las reacciones y movimientos posibles, así como el de la altura disponible para su inserción.

El empleo de aparatos de apoyo simple está limitado en algunas instrucciones La norma AASHO dice a este respecto:

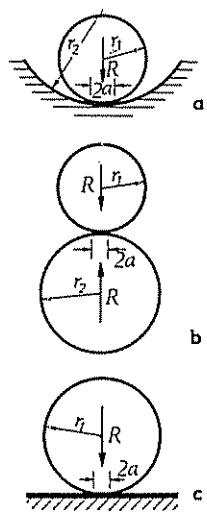
> 1.7.50. *Apoyos fijos.*
>
> *Los apoyos fijos deben estar firmemente anclados. Apoyos de vanos menores de 50 pies (15 metros), no necesitan previsión para la deformación por flexión. En vanos de 50 pies o mayores debe emplearse un apoyo, dotado de articulaciones, placas abombadas, apoyos elastoméricos, o rótulas, que permitan la adecuada flexión de las vigas*



[8.58]



[8.59]



[8.60]

1 7 51. *Apoyos móviles.*

En vanos de menos de 50 pies (15 metros), puede admitirse el deslizamiento entre chapas con superficies lisas, y sin previsión para la flexión. Los vanos de más de 50 pies deben estar provistos de rodillos, o placas especiales para el deslizamiento. El apoyo deberá estar dotado de articulaciones, chapas abombadas o rótulas, que permitan la adecuada flexión de las vigas

Existen unos aparatos de apoyo que podríamos calificar como clásicos, que relacionaremos en 8.4 1 dando las fórmulas habituales que se utilizan para su dimensionamiento.

En ellas se utilizarán en lo posible valores ponderados de las reacciones, sin embargo, en algunas de ellas derivadas de los estudios de Hertz, por no ser homogéneas y no existir proporcionalidad entre la fuerza aplicada y la presión máxima en la superficie de contacto, deben ser utilizadas con los valores característicos de las fuerzas, sin mayorar.

Sobre el esquema de estos aparatos de apoyo clásicos, algunas casas constructoras han creado series de aparatos tipificados, introduciendo dispositivos o materiales especiales. Un tipo de apoyo que transmite reacciones horizontales y permite desplazamientos son los elastoméricos, hoy en día cada vez más empleados y de los cuales se trata en 8.5.

8 4 1. Aparatos de apoyos clásicos.

8.4 1 1. *Placas simples de apoyo.*

Para el cálculo de las mismas se tendrá en cuenta los apartados anteriores, tanto en el caso de compresión centrada como en el de compresión excéntrica.

8.4 1 2. *Apoyo móvil con placas deslizantes.*

En estructuras de poca importancia, puede un apoyo móvil estar constituido por dos placas deslizantes. Estas, independientemente de su comprobación a flexión, se dimensionarán de manera que se cumpla:

$$\frac{R^*}{A} \leqslant 0{,}8\ \sigma_u$$

R^* Reacción máxima ponderada del apoyo.
A Superficie teórica de contacto entre ambas placas.
σ_u Resistencia de cálculo del acero de las placas.

Cuando las superficies de contacto estén debidamente lubricadas se podrá tomar como coeficiente de rozamiento por deslizamiento el valor:

$$\mu = 0{,}20$$

8.4.1.3. *Apoyo fijo por bulón o charnela.*

En este tipo de apoyo [8.58] no deberán rebasarse los límites siguientes, para la comprobación del bulón y las chapas que lo contienen:

Tensión de cortadura

$$\tau^* \leqslant 0{,}7\,\sigma_u$$

σ_u correspondiente al acero del bulón.

Tensión de aplastamiento

$$\sigma^* \leqslant 0{,}7\,\sigma_u$$

σ_u correspondiente al más bajo de los elementos en contacto en la comprobación a aplastamiento. En ésta se considerará el área resultante de multiplicar el diámetro del bulón por el espesor de la chapa.

Cuando la reacción sea inclinada para el cálculo de la placa de apoyo, se tendrá en cuenta el momento debido a la altura a del bulón sobre la placa.

8.4.1.4. *Rótulas esféricas.*

Constituyen un apoyo fijo que permite la flexión en cualquier dirección [8.59].

Su dimensionamiento se basa en los estudios de Hertz sobre las presiones que se producen en la zona de contacto de dos esferas de radios r_1 y r_2 tangentes en un punto, cuando actúa una fuerza R según la normal común a las dos esferas en su punto de tangencia [8.60].

HERTZ [1] estudió las tensiones que nacen entre dos cuerpos en contacto, oprimidos el uno contra el otro. Cuando dos cuerpos limitados por superficies curvas y que inicialmente se tocan en un punto o a lo largo de una línea, son oprimidos entre sí por una fuerza normal al plano tangente común, se deforman de modo que el contacto se produce en un área muy pequeña pero finita. Este área es una elipse en el caso general, un círculo en algún caso particular o un rectángulo en el caso de contacto a lo largo de una recta.

[1] H. HERTZ: *Ueber die Berührung fester elastiche körper.* Journal f. Math (Crelle), 1881.

Los elementos del problema son: la magnitud del área de contacto, la ley de variación de la presión mutua p sobre este área, el valor de $p_{máx}$ y el acercamiento que sufren los cuerpos.

Para el caso de dos esferas el área de contacto es un círculo de radio a. En el caso [8.60-a] si r_1, r_2, E_1 y E_2 son los radios y los módulos de elasticidad de las dos esferas, se tiene (para un valor del módulo de POISSON de 0,30):

$$a = 1{,}11 \sqrt[3]{\frac{R}{2}\,\frac{\frac{1}{E_1}+\frac{1}{E_2}}{\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}}}$$

y suponiendo $E_1 = E_2 = 2\,100\,000$ kg/cm², valor que es constante para todos los aceros, resulta:

$$a = 0{,}00867 \sqrt[3]{\frac{R}{\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}}}$$

R expresada en kg

r_1 y r_2 en cm.

En el caso de [8.60-b] la fórmula se transforma en:

$$a = 0{,}00867 \sqrt[3]{\frac{R}{\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}}}$$

La presión mutua p varía según las ordenadas de la semiesfera que tiene por base el área de contacto, por lo que se puede establecer:

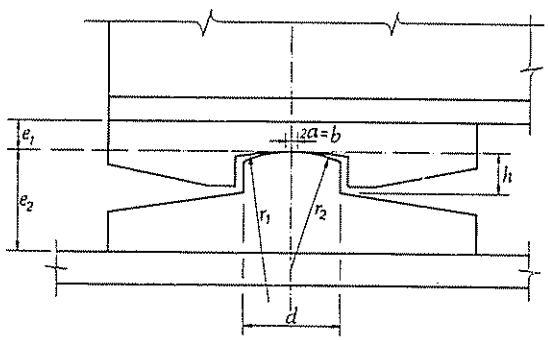
$$p_{máx} = 1{,}5\, p_{med} = 1{,}5\,\frac{R}{\pi a^2}$$

que en el caso [8.60-a] se convierte en:

$$p_{máx} = 63{,}63 \sqrt[3]{R\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)^2}$$

R expresada en toneladas, r_1, r_2 en centímetros y $p_{máx}$ en t/cm².

El valor admisible para $p_{máx}$ es mucho mayor que la p_{adm}, en el caso de compresión simple, debido principalmente a que como el valor de $p_{máx}$ se alcanza solo en el centro de la zona de contacto y disminuye rápidamente a su alrededor, el material circundante a los puntos con presiones más altas y que está sometido a tensiones inferiores, ejerce una eficaz acción de zunchado que aumenta grandemente su resistencia.



[8.61]

Consecuencia de ello puede establecerse que

$$\gamma_s \, p_{máx} \leqslant 5 \, \sigma_u$$

siendo: σ_u la resistencia del acero utilizado en la construcción de las rótulas, y γ_s el coeficiente de ponderación correspondiente a la hipótesis de carga considerada que en este caso tiene el carácter de un coeficiente de seguridad.

El valor de $p_{máx}$ es el deducido anteriormente

$$p_{máx} = 63{,}63 \sqrt[3]{\mathrm{R} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)^2}$$

R en toneladas, es la reacción producida por las cargas características.

Al no ser homogénea la fórmula que da la presión máxima no puede utilizarse indistintamente con reacciones ponderadas [1].

Cuando una de las superficies es un plano, la expresión se reduce a

$$p_{máx} = 63{,}63 \sqrt[3]{\frac{\mathrm{R}}{r^2}}$$

$p_{máx}$ expresada en t/cm².

Si la esfera de menor radio se limita por una superficie cilíndrica de diámetro d, se tendrá que comprobar además que [8.61]:

$$\gamma_s \frac{\mathrm{R}}{\pi \, (a + h)^2} \leqslant \sigma_u \qquad \text{si} \qquad d > 2 \, (a + h)$$

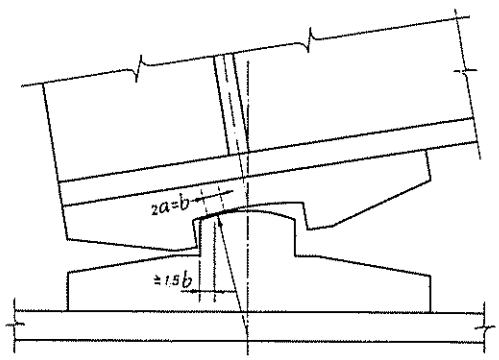
$$\gamma_s \frac{4 \, \mathrm{R}}{\pi \, d^2} < \sigma_u \qquad \text{si} \qquad d \leqslant 2 \, (a + h)$$

siendo h la altura de la rótula.

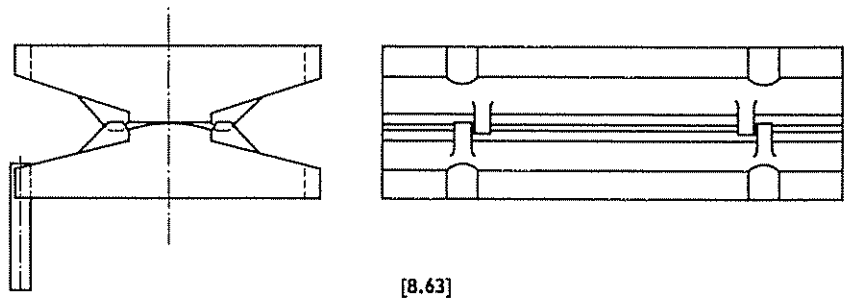
---

[1] En la Norma Básica MV-103 figura esta fórmula con valores ponderados, lo que equivale a que la condición de agotamiento sería:

$$p_{máx} \sqrt[3]{\gamma_s} \leqslant 5 \, \sigma_u$$



[8.62]



[8.63]

El diámetro b de la superficie de contacto en centímetros, cuyo valor es:

$$b = 2\,a = 0{,}1734 \sqrt[3]{\frac{R}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}}$$

debe satisfacer las dos condiciones siguientes en cada una de las dos esferas de contacto.

$$b \leqslant \frac{e}{10} \qquad b \leqslant \frac{r}{10}$$

siendo:

r Radio, en centímetros, r_1 o r_2 de la esfera.

e Espesor, en centímetros, (e_1 o e_2) de la pieza en el punto de contacto.

También debe cumplirse, que considerando las posiciones extremas [8.62], la superficie de contacto esté al menos a 1,5 b de los bordes de la pieza. Esta limitación es necesaria puesto que las fórmulas de Hertz, suponen que las dimensiones del área de contacto son pequeñas respecto a los cuerpos que se oprimen uno contra el otro.

8.4.1.5. *Rótula cilíndrica.*

Constituye un apoyo fijo que permite la flexión en un plano [8.63].

El dimensionamiento se basa también en los estudios de Hertz mencionados en 8.4.1.4.

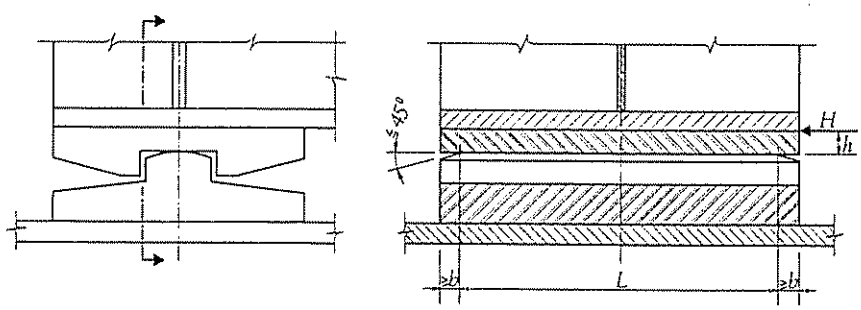
Las rótulas cilíndricas se dimensionarán de modo que la máxima presión teórica $p_{máx}$ en la superficie de contacto, cumpla la condición siguiente:

$$\gamma_s \; p_{máx} \leqslant 5\,\sigma_u$$

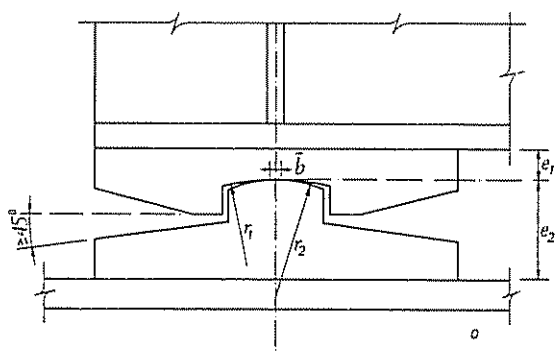
siendo:

γ_s Un coeficiente de seguridad cuyo valor sería el coeficiente de ponderación medio de la hipótesis considerada.

σ_u Tensión de cálculo del acero utilizado en las rótulas.



[8.64]



[8.65]

La presión máxima teórica se determinará mediante la expresión [1]:

$$p_{máx} = 19{,}16 \sqrt{\left(\frac{R}{L} + \frac{6\,H\,h}{L^2}\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}$$

$p_{máx}$ expresada en t/cm².

donde:

R Carga total transmitida (en toneladas).
L Longitud real de la generatriz de contacto (en centímetros)
H Empuje paralelo a las generatrices de la superficie cilíndrica (en toneladas).
h Distancia entre el punto de aplicación de H y la generatriz de contacto (en centímetros) [8.64]
r_1, r_2 Radios de las dos superficies cilíndricas (en centímetros).

En el caso frecuente de que una de las superficies sea plana, la fórmula se reduce a:

$$p_{máx} = 19{,}16 \sqrt{\left(\frac{R}{L} + \frac{6\,H\,h}{L^2}\right)\frac{1}{r}}$$

La anchura de la superficie de contacto $\overline{b}$ (en centímetros) [8.65]

$$\overline{b} = 0{,}0665 \sqrt{\frac{R}{L\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)}}$$

debe satisfacer las dos condiciones siguientes en cada una de las superficies en contacto:

$$\overline{b} \leqslant \frac{e}{10}$$

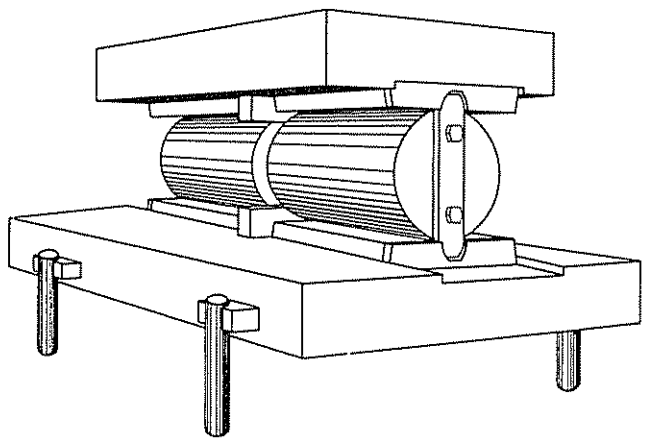
$$\overline{b} \leqslant \frac{r}{10}$$

siendo:

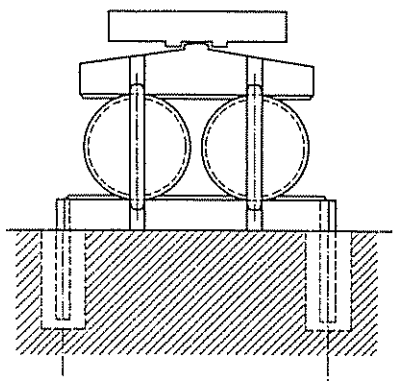
r Radio (r_1 o r_2) de la superficie de contacto en cada caso.
e Espesor (e_1 o e_2) de la pieza en el punto de contacto.

---

[1] Se supone que una de las superficies es cóncava y la otra convexa. Si ambas fuesen convexas, debe cambiarse el signo (—) por (+) dentro del paréntesis.



[8.66]



[8.67]

La longitud real L de la generatriz de contacto será la longitud del rodillo disminuido en $2\,\overline{b}$, salvo si sus bordes están biselados en una longitud de al menos b y con un ángulo menor de 45° con el eje

La rótula cilíndrica debe tener unas dimensiones tales que la superficie de contacto para las posiciones extremas de apoyo, esté al menos a 1,5 b de los bordes de la pieza [8.62].

8.4.1.6. *Apoyo de rodillos.*

Constituye un apoyo móvil, con posibilidad de desplazamiento en una dirección. La importancia de la reacción y la altura disponible para el aparato dan lugar a distintas disposiciones.

Apoyo de un solo rodillo.

Un apoyo de este tipo consta esencialmente de un rodillo colocado entre dos placas [8.66].

La placa inferior tiene un nervio en su parte central perpendicular al eje del cilindro y los agujeros o escotaduras necesarios para los pernos de sujeción.

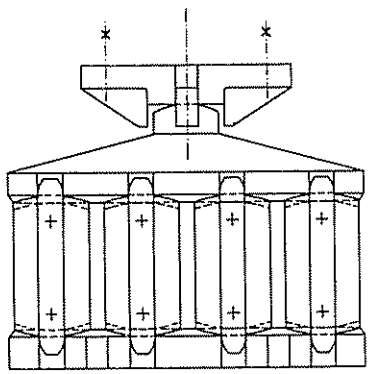
En la parte central del rodillo existe una ranura circunferencial en correspondencia con los nervios de las placas, y en sus superficies laterales se insertan y fijan con tornillos unos elementos verticales que terminan en cada extremo por un diente, que se alojan en las ranuras existentes en las placas inferior y superior. La finalidad de este dentado es asegurar la correcta rodadura del rodillo y debe preverse en su colocación un pequeño juego lateral.

Apoyo de dos rodillos.

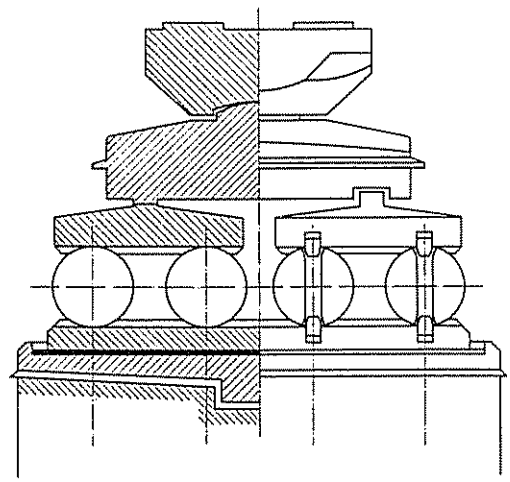
En este caso, es necesario intercalar una silleta de reparto, como muestra la figura [8.67].

Apoyo de cuatro rodillos.

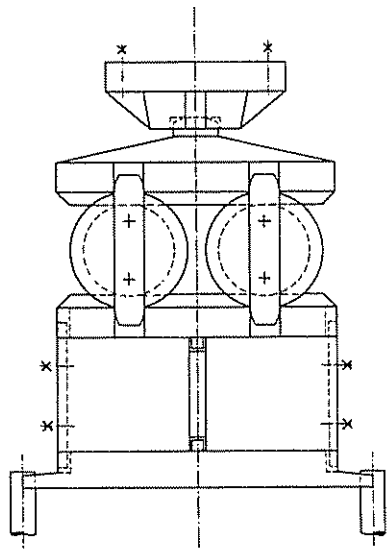
Cuando la reacción es muy importante, sería necesario, en el caso de apoyo de uno o dos rodillos, que éstos fuesen de gran diámetro, para disminuir la presión de contacto, con lo que resulta un aparato de gran altura. Se puede disminuir esta altura multiplicando el número de rodillos. No es aconsejable el empleo de tres rodillos de-



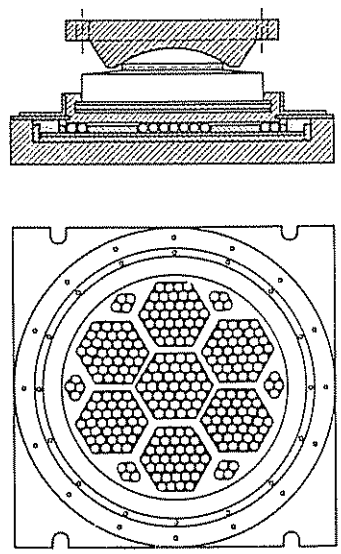
[8.68]



[8.69]



[8.70]



[8.71]

bido a que a pesar de la rigidez de la silleta de reparto, el rodillo central está mucho más cargado que los extremos. Mejor reparto se obtiene con cuatro rodillos. Para evitar una excesiva longitud del apoyo, los cilindros se hacen de sección incompleta [8.68]

El reparto, aunque mejor que en el caso de tres rodillos, es siempre desigual, sobrecargándose ligeramente los rodillos centrales. Cuando se quiere llegar a un reparto completamente uniforme, se usan disposiciones del tipo de la que se representa en [8.69]

Apoyo de rodillos, móvil en todas direcciones.

Para conseguir movilidad en todas direcciones pueden disponerse rodillos en dos alturas con sus ejes perpendiculares. No se emplea mucho este sistema por requerir una altura demasiado grande [8.70].

Apoyo sobre rodamientos cilíndricos y sobre bolas.

En algunos casos, en lugar de cilindros pueden utilizarse rodamientos cilíndricos (rodillos de pequeño diámetro) y rodamientos de bolas [8.71], que son móviles en dos direcciones. También se consigue esta doble movilidad con rodamientos cilíndricos disponiéndoles en dos capas perpendiculares [8.72]. Este tipo de apoyo requiere una altura menor. Los rodamientos están encerrados en cajas para preservarlos de la suciedad y la humedad. La grasa lubricante no será resinificable. Las cajas deben ser desmontables para poder inspeccionar los rodamientos y renovar la grasa.

Para los rodamientos se emplean aceros con resistencia de 70 kg/mm² y superiores.

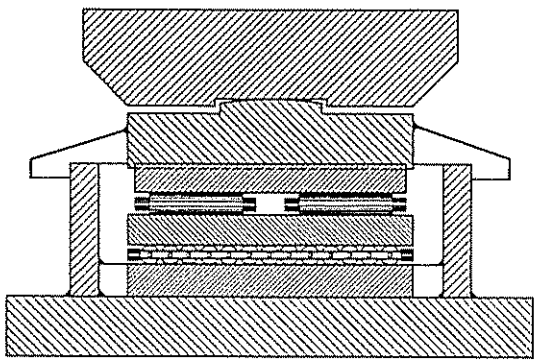
Dimensionamiento.

El dimensionamiento de los rodillos de un aparato móvil se puede hacer según 8.4.1.5, tomándose como reacción individual, R_i, sobre el rodillo más cargado el valor R_i dado por la fórmula:

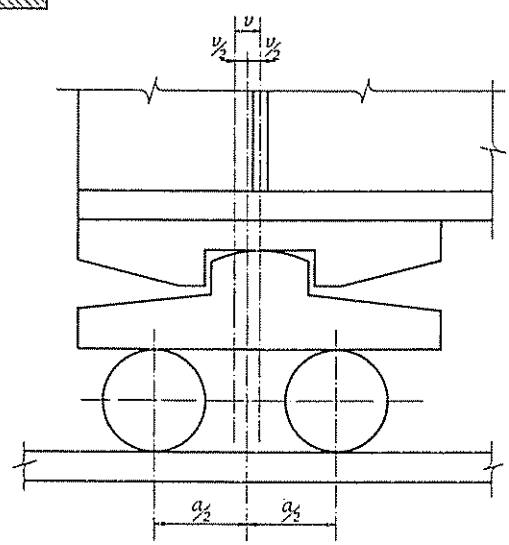
$$R_i = R\left(\frac{1}{n} + \frac{v}{2a}\right)$$

siendo [8.73]:

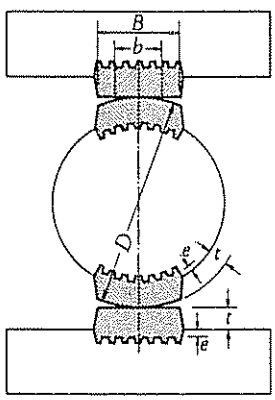
- n Número de rodillos.
- v Recorrido máximo previsto para el aparato.
- a Distancia entre los ejes de los dos rodillos exteriores.



[8.72]



[8.73]



[8.74]

Rodillos con soldadura de recargue [8.74].

Para aumentar la presión admisible se utilizan, a veces, rodillos con un revestimiento o capa depositada por soldadura, de material de mayor dureza generalmente aceros aleados al Cr y Mo [1]

Las soldaduras, tanto en las placas de apoyo como en los rodillos, tendrán sus superficies mecanizadas.

El espesor deberá cumplir la siguiente condición

$$t > 0{,}07\ \mathrm{D} - e$$

siendo D el diámetro del rodillo.

La penetración e deberá alcanzar en general 2 mm.

La anchura B de las placas de apoyo deberá cumplir las siguientes condiciones:

$$\mathrm{B} \geqslant b + \frac{2\,\mathrm{D}}{7} \qquad \mathrm{B} \geqslant b + 4\ (\mathrm{cm})$$

siendo b el recorrido máximo previsto para el rodillo.

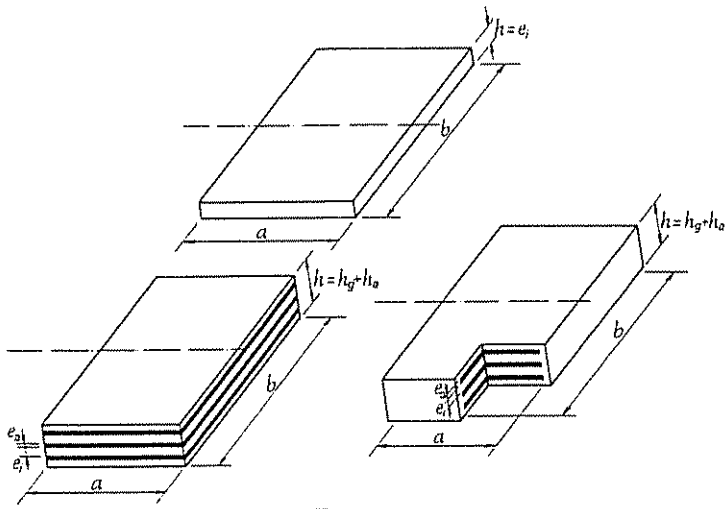
Las placas de cabeza y base pueden ser de acero laminado, moldeado o forjado. El acero será soldable y su resistencia mínima a tracción será de 5 000 kg/cm^2.

Para el cálculo de los aparatos de apoyo de rodillos con recargues de soldadura son aplicables las fórmulas establecidas en 8.4.1.5, introduciendo en ellos como valor de σ_u la tensión de cálculo del acero utilizado en el recargue y rodillos.

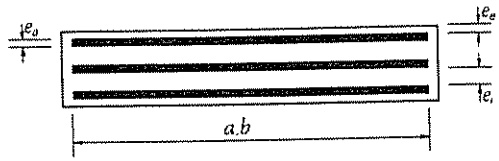
8.5. APOYOS ELASTOMERICOS

Los apoyos constituidos por placas de goma, naturales o artificiales y a los que designamos en general como apoyos elastoméricos, constituyen un tipo especial que podríamos designar como apoyos elásticos, situándolos en un punto intermedio entre los apoyos fijos y móviles. En efecto, al igual que los apoyos fijos pueden absorber esfuerzos horizontales, si bien con un cierto desplazamiento, previamente determinable, de la viga o elemento que apoya y al igual que los apoyos móviles, admite

[1] Algunas casas fabrican tipificados este tipo de apoyos, como, por ejemplo, el apoyo CORROWEL D de Maschinenfabrik Esslingen - GHH



[8.75]



[8.76]

Ensayo	Características		
	En estado de suministro	Variaciones después de tratamiento en aire a 100° C	
		Durante 24 h	Durante 96 h
Ensayo de dureza Shore A:			
— Valor medio	60 ± 5	—	⩽ 10
— Desviación máxima del valor medio en los puntos singulares de apoyo	± 3	—	—
Ensayo de tracción:			
— Tensión de rotura	$\sigma_R \geqslant 130$ kg/cm²	—	$-0{,}2 \leqslant \frac{\Delta \sigma_R}{\sigma_R} \leqslant 0{,}2$
— Alargamiento de rotura	A ⩾ 250 %	—	$-20\ \% \leqslant \Delta A \leqslant 0$
Ensayo de deformación permanente a compresión	—	⩽ 20 %	—

desplazamientos horizontales, produciendo sobre las pilas o cimientos empujes que pueden limitarse a unos valores determinados, dimensionando convenientemente el espesor o número de capas de goma a emplear. Permiten asimismo el giro de las secciones extremas de la viga no coaccionando su deformación por flexión.

8.5.1. **Constitución del elemento de apoyo.**

Los apoyos de forma paralepipédica, están constituidos por una capa de goma o por varias capas de goma separadas por chapas de acero [8.75]. Las capas de goma y acero deberán estar firmemente pegadas entre sí, ya que la función de las chapas de acero es de contrarrestar las deformaciones transversales de la goma. La goma puede ser a base de elastómeros naturales o artificiales.

En el caso de apoyos armados, el conjunto puede estar rodeado de goma [8.76]. En este caso cuando el revestimiento de goma exterior tiene un espesor e_e menor de la mitad de los espesores de goma intermedios e_i y no mayor de 3 mm puede considerarse esta capa como una simple protección y no tenerse en cuenta en la determinación del espesor total que interviene en el cálculo. Si este revestimiento tiene un espesor mayor, se considerará en la determinación del espesor total con un espesor 1,4 veces el real. Es decir:

$$\text{Si } e_e \leqslant \frac{1}{2} e_i \qquad \text{o} \qquad e_e \leqslant 3 \text{ mm}$$

se considerará $e_e = 0$, para efectos de cálculo,

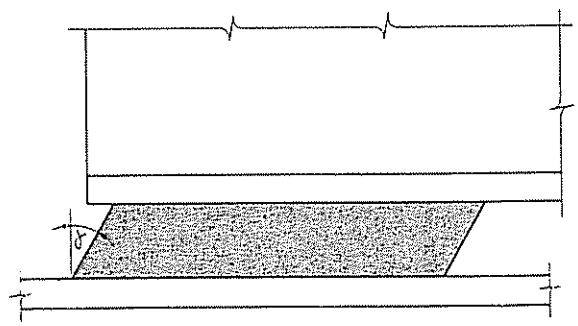
$$\text{Si } e_e \geqslant \frac{1}{2} e_i \qquad \text{o} \qquad e_e \geqslant 3 \text{ mm}$$

se tomará como recubrimiento $e_e = 1{,}4\ e_e$

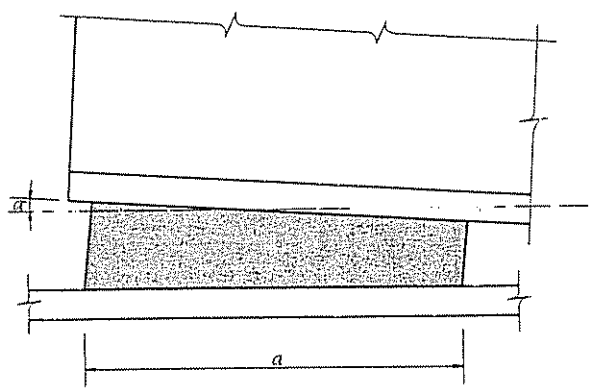
Es aconsejable disponer el apoyo de manera que su mayor dimensión sea perpendicular al eje del tramo.

8.5.2. **Materiales.**

La goma puede estar constituida por elastómeros naturales o artificiales. Con relación a sus características, y a título orientativo, incluimos las que especifica la norma italiana CNR-UNI 10018-68 [8.77].



[8.78]



[8.79]

La goma debe presentar buena resistencia a la acción de aceites minerales, de la intemperie, del ozono y de las temperaturas extremas, entre las cuales el apoyo deba funcionar.

Desde el punto de vista mecánico la característica principal de la goma es su módulo de elasticidad transversal G. El valor de éste está relacionado con la dureza SHORE según la mencionada norma:

Módulo G kg/cm²	7,5	9	10,5
Dureza Shore A	55	60	65

En general, y en ausencia de indicaciones más precisas, puede tomarse para G un valor de 9 ó 10 kg/cm² (MV-103).

8.5 3. **Dimensionamiento.**

Se distinguen dos casos, según se trate de apoyos constituidos con materiales elásticos (goma o neopreno) con chapas de acero intercaladas (apoyos armados), o de apoyos sin armar. Las comprobaciones que se indican a continuación se refieren a valores característicos de las cargas y las reacciones correspondientes. Se utilizan por tanto tensiones de trabajo para los materiales.

8.5 3 1. *Apoyos armados*

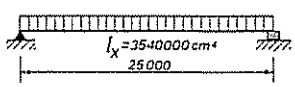
Comprobación de la tensión normal. La tensión normal de trabajo σ_v originada por la reacción vertical V, será menor de 100 kg/cm².

$$\sigma_v = \frac{V}{A} \leqslant 100 \text{ kg/cm}^2$$

$A = a\,b$ área del apoyo [8.76].

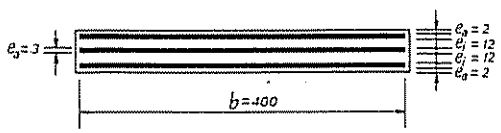
No obstante, para la compresión que produce la reacción originada por las cargas permanentes, algunos fabricantes de este tipo de apoyos aconsejan limitar la tensión normal a valores menores (de 30 a 35 kg/cm²).

8.5 3. EJEMPLO DE APLICACION



Dimensionar un apoyo de tipo elastomérico en una viga simplemente apoyada con las dimensiones de la figura, de 25 m de luz.

La carga permanente caracteristica es de 1,5 t/m y la sobrecarga caracteristica es de 4,5 t/m. La viga tiene un apoyo fijo de otro tipo y está sometida a una variación de temperatura de ± 40°



Comprobación de la tensión normal

Reacción carga permanente: $V_p = \frac{1}{2}\ 1{,}50 \times 25 = 18{,}75$ t

Tensión admisible para carga permanente: 30 kg/cm²

Area necesaria: $\frac{18\,750}{30} = 625$ cm²

Reacción carga total: $V_T = \frac{1}{2}\ (1{,}5 + 4{,}5)\ 25 = 75$ t

Tensión admisible para carga total: 100 kg/cm²

Area necesaria: $\frac{75\,000}{100} = 750$ cm²

Se adopta una placa de 400 × 200 mm, con lo cual

$$\sigma_{v,p} = 23{,}43 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad \sigma_v = 93{,}75 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobación de la deformación tangencial

$\operatorname{tg} \gamma = \frac{U}{e_t} < 0{,}7$ $\qquad U = \alpha\ \Delta t L = 0{,}000012 \times 40 \times 25\,000 = 12$ mm

$e_t > \frac{U}{0{,}7} = \frac{12}{0{,}7} = 17{,}14$ mm

Adoptamos $e_t = 24$ mm, con la disposición de la figura, y por tanto

$\operatorname{tg} \gamma = \frac{12}{24} = 0{,}5 < 0{,}7$

Comprobación de la tensión tangencial

$\tau = \tau_v + \tau_h + \tau_\alpha < 5G$

El factor de forma μ tiene por valor

$$\mu = \frac{ab}{2e_i\ (a + b)} = \frac{20 \times 40}{2 \times 1{,}2\ (20 + 40)} = 5{,}55$$

$\tau_v = \frac{1{,}5}{\mu}\ \sigma_v = \frac{1{,}5}{5{,}55}\ 93{,}75 = 25{,}33$ kg/cm²

$\tau_h = G\ \operatorname{tg} \gamma = 9 \times 0{,}5 = 4{,}5$ kg/cm²

$\tau_\alpha = \frac{G\ a^2}{2e_i\ e_t}\ \operatorname{tg} \alpha$ $\qquad \operatorname{tg} \alpha \simeq \alpha = \frac{(p + q)\ L^3}{24\ E\ I} = 0{,}005254$

(Sigue en la página 596)

Comprobación de la deformación tangencial. La deformación tangencial máxima $tg\ \gamma$ [8.78] producida tanto por los desplazamientos térmicos como por las reacciones horizontales, deberá cumplir la limitación:

$$tg\ \gamma_x = \frac{U_x}{e_t} + \frac{H_x}{GA}$$

$$tg\ \gamma_y = \frac{U_y}{e_t} + \frac{H_y}{GA}$$

$$tg\ \gamma_{xy} = \sqrt{tg^2\ \gamma_x + tg^2\ \gamma_y} \leqslant 0{,}7$$

siendo:

- U Desplazamiento térmico $= \alpha\ \Delta t\ L$.
- e_t Espesor total de las capas de goma (para la consideración de las capas exteriores, tener en cuenta 8.5.1).
- H_x Reacción horizontal longitudinal producida por las cargas características.
- H_y Reacción horizontal transversal producida por las cargas características

Comprobación de la tensión tangencial. La tensión tangencial máxima τ deberá ser inferior a cinco veces el valor del módulo de elasticidad transversal G:

$$\tau = \tau_v + \tau_h + \tau_\alpha < 5\ G$$

en donde:

$$\tau_v = \frac{1{,}5}{\mu}\ \sigma_v$$

$$\tau_h = G \cdot tg\ \gamma_{xy}$$

$$\tau_\alpha = \frac{G\ a^2}{2e_i\ e_t}\ tg\ \alpha$$

siendo:

- μ Factor de forma de la capa $\mu = \dfrac{a\ b}{2e_i\ (a + b)}$
- e_i Espesor de la capa que se estudia.
- α Angulo de giro del apoyo [8.79].

(Viene de la página 594)

$$\tau_n = \frac{9 \times 20^2}{2 \times 1{,}2 \times 2{,}4} \times 0{,}005254 = 3{,}28 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau = 25{,}33 + 4{,}5 + 3{,}28 = 33{,}11 \text{ kg/cm}^2 < 5\ G = 45 \text{ kg/cm}^2$

Comprobación para que no se levante el borde menos cargado

$$\text{tg } \alpha < 6\ \frac{\Sigma\ \delta_i}{a} \qquad \delta_i = \frac{\sigma_v\ e_i}{8\ G\ \mu^2 + 3\sigma_v} = \frac{93{,}75 \times 1{,}2}{8 \times 9 \times 5{,}55^2 + 3 \times 93{,}75} = 0{,}045 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \alpha = 0{,}005254 < 6 \times \frac{2 \times 0{,}045}{20} = 0{,}027$$

Comprobación de la estabilidad

$$\text{Si } e_t > \frac{a}{5} \qquad e_t = 24 \not> \frac{200}{5} = 40$$

Por tanto, no es necesaria la comprobación de

$$\sigma_v < \frac{2a}{3e_t}\ \mu_m\ G$$

Comprobación de la armadura metálica

$$e_a > \frac{2\ (e_1 + e_2)\ V}{A\ \sigma_{adm.\ F}}$$

Suponemos $\sigma_{adm.\ F} = \sigma_{adm} = 1\,600 \text{ kg/cm}^2$

$$e_a = 3 \text{ mm} > \frac{2 \times 24 \times 93{,}75}{1\,600} = 2{,}8 \text{ mm}$$

Reacción horizontal sobre pilares o cimentaciones

$H = G\ A\ \text{tg } \gamma = 9 \times 40 \times 20 \times 0{,}5 = 3\,600 \text{ kg}$

Este valor puede disminuirse aumentando el número de capas y, por tanto, e_t, lo que equivale a disminuir tg γ

Comprobación al deslizamiento

Para carga permanente + dilatación térmica

$\sigma_{v.p} = 23{,}43 \text{ kg/cm}^2 > 20 \text{ kg/cm}^2$

$$f = 0{,}1 + \frac{2}{\sigma_{v.p}} = 0{,}1 + \frac{2}{23{,}43} = 0{,}19 \qquad \frac{H}{V} = \frac{3{,}6}{18{,}75} = 0{,}19 = f$$

Para carga permanente + sobrecarga + dilatación térmica

$\sigma_v = 93{,}75 > 20$

$$f = 0{,}1 + \frac{2}{\sigma_v} = 0{,}12 \qquad \frac{H}{V} = \frac{3{,}6}{75} = 0{,}048 < 0{,}12$$

Comprobación para que no se levante el borde menos cargado.

Se deberá cumplir que: $tg\,\alpha < 6\,\dfrac{\Sigma\,\delta_i}{a}$

siendo δ_i el acortamiento elástico de cada capa de goma

Como valor de δ_i se tomará $\dfrac{\sigma_v\,e_i}{8\,G\,\mu^2 + 3\,\sigma_v}$

Comprobación al deslizamiento

Para que no se produzca deslizamiento del conjunto del apoyo se deberá cumplir:

— $\sigma_v \not< 20$ kg/cm², de lo contrario será preciso adoptar dispositivos para inmovilizar el apoyo.

— $\left(\dfrac{H}{V}\right)_{máx} \leqslant f$, siendo f el coeficiente de rozamiento, para cuyo valor puede tomarse:

$$f = 0{,}1 + \frac{2}{\sigma_v} \not> 0{,}2 \qquad \sigma_v \text{ en kg/cm}^2$$

Comprobación de la estabilidad.

Si $e_t > \dfrac{a}{5}$ se comprobará que $\sigma_v < \dfrac{2a}{3\,e_t}\,\mu_m\,G$ siendo μ_m el factor de forma de la capa de menor espesor e_m

$$\mu_m = \frac{ab}{2\,e_m\,(a + b)}$$

Comprobación de la armadura metálica.

El espesor e_a de la placa de acero situada entre dos capas de material elastómero de espesores e_1 y e_2, deberá satisfacer la condición:

$$e_a > \frac{2\,(e_1 + e_2)\,V}{A\,\sigma_{adm,F}}$$

$\sigma_{adm,F}$ tensión admisible del acero por consideraciones de fatiga.

8.5 3 2. *Apoyos no armados.*

Las comprobaciones necesarias son a semejanza del caso anterior:

Tensión normal: $\sigma_{v,máx} = \dfrac{V_{máx}}{A} < 2\,\mu\,G$

Tensión tangencial: $\tau_h \leqslant 0{,}7\,G$

Para que no se levante el borde menos cargado:

$$tg\alpha < \frac{2\delta}{a} \qquad \delta = \frac{e\,\sigma_v}{10\,G\,\mu + 2\,\sigma_v}$$

Deslizamiento:

$$\sigma_{v,min} \geqslant \frac{a+b}{b} \times 10$$

$$\left(\frac{H}{V}\right)_{máx} \leqslant f \qquad f = 0{,}1 + \frac{2}{\sigma_v} \not> 0{,}2 \qquad \sigma_v\,(kg/cm^2)$$

8.5 4. **Reacción horizontal sobre las pilas o cimentaciones.**

Cuando sobre el apoyo actúa una fuerza horizontal, éste se deforma pero transmite la totalidad de la fuerza al cimiento.

Una deformación de origen térmico, origina un desplazamiento horizontal U de la viga y el apoyo, produciéndose una reacción horizontal H, de valor

$$H = G\,A\,tg\,\gamma = G\,A\,\frac{U}{e_t}$$

Este esfuerzo debe tenerse en cuenta para el dimensionado de las pilas y cimentaciones.

El empuje originado por el desplazamiento horizontal, es función del número y espesor de capas de goma que se adopten.

En algún caso puede resultar interesante aumentar la altura del aparato, por encima de la que condiciona la deformación tangencial máxima, con el fin de reducir el valor de este empuje horizontal de apoyo.

Apéndice. Norma Básica MV-103

Capítulo IX. Aparatos de apoyo

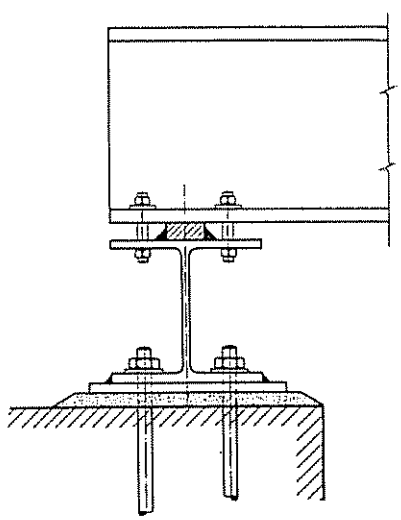


Fig. 9.1

APARATOS DE APOYO

9.1. Generalidades.

En este capítulo se deberá tener presente el utilizar los esfuerzos y tensiones adecuados (característicos o ponderados) para las comprobaciones de los elementos no metálicos (macizos de cimentación, apoyos de goma, etc.).

9.1.1. Se denominan aparatos de apoyo a aquellos elementos cuya misión es transmitir las cargas desde la estructura propiamente dicha a la cimentación o infraestructura.

9.1.2. Los aparatos de apoyo deberán responder lo más fielmente posible a las condiciones de vinculación adoptadas en las hipótesis de cálculo.

9.1.3. En particular, se deberán tener en cuenta las fuerzas originadas por el rozamiento (rodillos) o deformación elástica (apoyos de goma) de los aparatos de apoyo móviles.

Se comprobarán los esfuerzos adicionales introducidos en la estructura debidos a las reacciones reales de los vínculos de apoyo.

9.1.4. Las superficies mecanizadas de los aparatos de apoyo se cubrirán de grasa grafitada u otro lubricante que asegure el juego suave del aparato y la protección de los elementos móviles.

Deberán adoptarse medidas para la reposición y conservación de aquellos lubricantes.

9.2. Apoyos fijos.

9.2.1. Las placas de apoyo deberán estar constituidas de modo que transmitan los esfuerzos lo más uniformemente posible hacia la estructura y el macizo de cimentación.

Deberán estar dotadas de gran rigidez a fin de considerar las deformaciones despreciables a efectos del reparto de las cargas

9.2.2. Cuando se desee transmitir únicamente un esfuerzo de compresión y el elemento de apoyo esté constituido por una placa rigidizada por cartelas de chapa, ésta se comprobará a flexión en el supuesto de que la reacción del macizo de apoyo es uniforme

Las compresiones que se originen en el macizo de apoyo no deben exceder de las presiones máximas admisibles para el material de que se trate.

9.2.3. Cuando la reacción de apoyo sea importante y en particular cuando se producen fuertes inclinaciones de la directriz en virtud de la flexión, se recomienda intercalar un taco de compresión (figura 9.1).

9.2.4. Cuando se trate de transmitir una compresión excéntrica y no se dispongan elementos de anclaje, la placa se dimensionará a flexión suponiendo una ley lineal para la reducción del macizo.

En el borde más comprimido de la placa, la tensión sobre el macizo de cimentación no deberá exceder a la presión máxima admisible en el material de que se trate

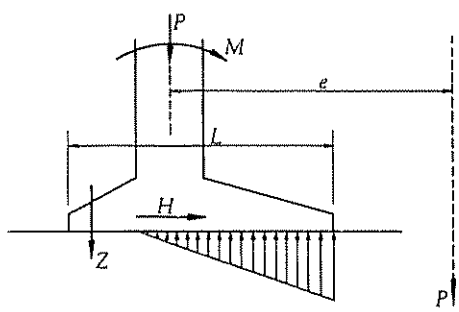


Fig. 9.2

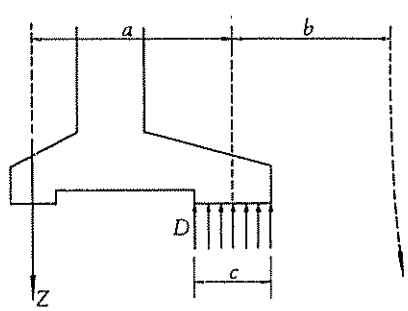


Fig. 9.3

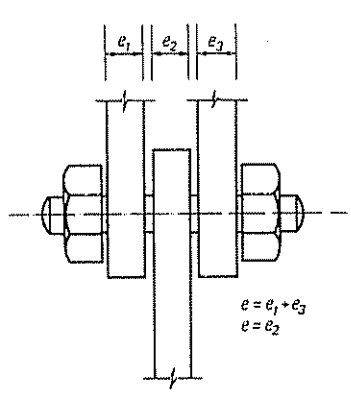


Fig. 9.4

En la comprobación de la estabilidad al deslizamiento deberán tenerse en cuenta los coeficientes de rozamiento entre la placa del acero y el material del macizo de cimentación. Salvo justificación especial, podrán tomarse los siguientes valores:

— *Acero con acero*	$\mu = 0{,}30$
— *Acero con hormigón*	$\mu = 0{,}45$

9.2.5. *Cuando se trate de materializar un empotramiento, y se disponga una placa de apoyo anclada al macizo de cimentación, se podrán adoptar, tanto para el cálculo de la compresión máxima sobre el macizo como para el esfuerzo de tracción en el anclaje, cualquiera de las dos hipótesis de cálculo siguientes:*

— *Ley triangular (figura 9.2).*
— *Ley uniforme, en una extensión no superior al cuarto de la longitud de la placa y situada junto al borde comprimido de la misma (figura 9.3).*

En ambas hipótesis, la tensión máxima en el borde más comprimido no deberá exceder de la presión máxima admisible en el material del macizo.

9.2.6. *Cuando el anclaje de la placa se realice mediante espárragos, serán válidas para el dimensionamiento de los mismos las reglas previstas para los tornillos ordinarios (apartados 7.5.6, 7.5.7 y 7.5.8).*

9.2.7. *La resistencia a los esfuerzos cortantes siempre que no se dispongan otros elementos capaces de resistirlos, tales como nervaduras, bastidores, etc., deberá ser confiada exclusivamente a los espárragos de anclaje, prescindiendo de la colaboración del rozamiento entre placa y macizo.*

9.2.8. *Se dispondrán siempre arandelas entre la placa de apoyo y las tuercas de los espárragos. Estas se inmovilizarán mediante puntos de soldadura o cualquier otro método eficaz.*

9.2.9. *En el caso de que el apoyo se realice por bulón o charnela, no deberán rebasarse los límites siguientes:*

— *Tensión de aplastamiento* $\sigma^* \leqslant 1{,}4\ \sigma_u$ *(en apoyos no sujetos a rotación).*
— *Tensión de aplastamiento* $\sigma^* \leqslant 0{,}7\ \sigma_u$ *(en apoyos sujetos a rotación).*
— *Tensión de cortadura* $\tau^* \leqslant 0{,}7\ \sigma_u$

Como valor de σ_u *se tomará el correspondiente al bulón en la comprobación de cortadura y el más bajo del de los elementos en contacto en la comprobación de aplastamiento.*

Para el cálculo de la tensión de aplastamiento, se adoptará como valor del área la resultante de multiplicar el diámetro del pasador o bulón por el espesor de la chapa (figura 9.4).

Para el cálculo de la tensión de cortadura se adoptará como área la del pasador o bulón.

9.2.10. *Las rótulas esféricas se dimensionarán para que la presión teórica,* p^*, *en la superficie de contacto no exceda del valor:*

$$5\ \sigma_u$$

siendo:

σ_u *La tensión de cálculo del acero utilizado en la construcción de las rótulas.*

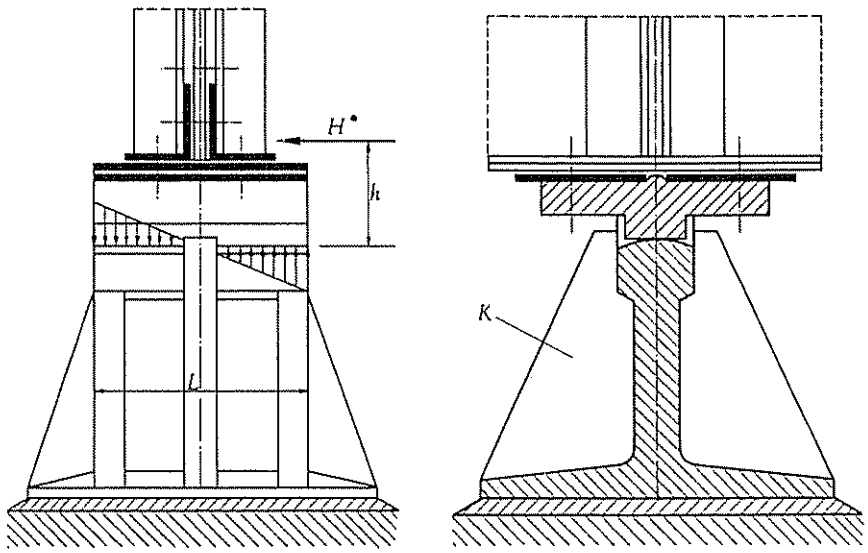


Fig. 9.5

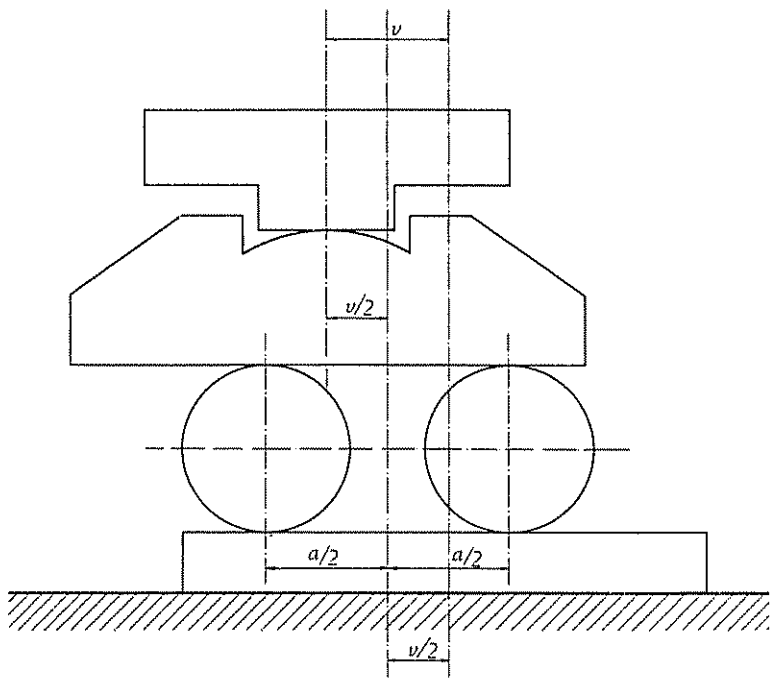


Fig. 9.6

Como valor de la presión teórica se tomará:

$$p^* = 63{,}63 \sqrt[3]{F^* \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)^2} \text{ t/cm}^2 \text{ (1)}$$

siendo:

F^* *La carga total ponderada transmitida (en toneladas).*
r_1 y r_2 *Los radios (en cm) de las dos superficies esféricas en contacto.*

Cuando una de las superficies es un plano, la expresión se reduce a:

$$p^* = 63{,}63 \sqrt[3]{\frac{F^*}{r^2}} \text{ t/cm}^2$$

Si la esfera de menor radio se limita por una superficie cilíndrica de diámetro d, se deberá comprobar, además, que:

$$\frac{4\,F^*}{\pi \cdot d^2} \leqslant \sigma_u$$

9.2.11 *Las rótulas cilíndricas se dimensionarán de modo que la máxima presión, p*, en la superficie de contacto cumpla la condición siguiente:*

$$p^* \leqslant 5\,\sigma_u$$

siendo:

σ_u *La tensión de cálculo del acero utilizado en las rótulas*

La presión máxima teórica se determinará mediante la expresión:

$$p^* = 19{,}16 \sqrt{\left(\frac{F^*}{L} + \frac{6\,H^* \cdot h}{L^2}\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} \text{ t/cm}^2 \text{ (1)}$$

donde:

F^* *La carga total ponderada transmitida (en toneladas).*
L *La longitud real de la generatriz de contacto (en centímetros).*
H^* *El empuje ponderado paralelo a las generatrices de la superficie cilíndrica (en toneladas).*
h *La distancia entre el punto de aplicación de H y la generatriz de contacto (en centímetros).*
r_1 y r_2 *Los radios de las dos superficies cilíndricas (en centímetros)*

---

1 Se supone que una de las superficies es cóncava y la otra convexa. Si ambas fueran convexas, debe cambiarse el signo — por + dentro del paréntesis.

En el caso frecuente de que una de las superficies sea plana, la fórmula se reduce a:

$$p^* = 19{,}16 \sqrt{\left(\frac{F^*}{L} + \frac{6\ H^* \cdot h}{L^2}\right)\frac{1}{r}}\ t/cm^2$$

(figura 9.5).

9.3. Apoyos móviles.

9.3.1. *Cuando por la pequeña importancia de la estructura, un apoyo móvil esté constituido por dos placas deslizantes, además de su comprobación a flexión según el artículo 9.2.2, cumplirán la condición siguiente:*

$$\frac{F^*}{A} \leqslant 0{,}8\ \sigma_u$$

siendo:

F^* *El esfuerzo total ponderado transmitido.*
A *La superficie teórica de contacto entre ambas placas.*
σ_u *La resistencia de cálculo del acero de que están constituidas.*

9.3.2. *No se aconseja el empleo de apoyos móviles constituidos por placas deslizantes, salvo en el caso en que el deslizamiento producido y la reacción sean de débil cuantía.*

En el supuesto de que ambas superficies están debidamente lubricadas, se podrá adoptar como valor del coeficiente de rozamiento por deslizamiento:

$$\mu = 0{,}20$$

9.3.3. *Para el dimensionamiento de los rodillos de un aparato móvil se seguirán las prescripciones del artículo 9.2.11, tomándose como valor de* F^*:

$$F^* = F^*_{total}\left(\frac{1}{n} + \frac{v}{2\,a}\right)$$

(figura 9.6).

siendo:

n *El número (siempre par) de rodillos.*
v *Recorrido máximo, previsto para el aparato.*
a *La distancia entre los ejes de los dos rodillos exteriores.*

9.3.4. *El movimiento de traslación de los rodillos deberá ser guiado convenientemente. Cuando éstos no sean de sección completa, se comprobará que el contacto entre placas y rodillos tiene lugar dentro de la superficie cilíndrica en las posiciones extremas del aparato. La distancia entre ejes de rodillos debe ser tal que evite los acodalamientos durante los movimientos del aparato.*

9 3 5. *En el dimensionamiento de los apoyos móviles constituidos por materiales elásticos (goma, neopreno) con bajos módulos de elasticidad y reforzados con una armadura de acero a fin de coaccionar el asentamiento bajo carga, se tendrán en cuenta las siguientes limitaciones:*

a) Tensión máxima de trabajo bajo las cargas permanentes.

b) Tensión máxima de trabajo bajo las cargas permanentes y las sobrecargas máximas.

c) Máxima distorsión angular admisible en el material:

$$tg\ \gamma = \frac{\Sigma u}{h}$$

siendo:

Σu *El desplazamiento total máximo del apoyo.*
h *El espesor total de las capas de goma que contiene el apoyo.*

d) Estabilidad al deslizamiento entre las capas que componen el apoyo.

e) Estabilidad al deslizamiento entre las capas exteriores y la estructura o macizo de cimentación.

Es aconsejable disponer el lado mayor del apoyo perpendicular al eje del tramo, a fin de evitar un aumento de las tensiones debido al giro de la estructura sobre el apoyo.

9.3 6. *Dichos apoyos, sometidos a un desplazamiento máximo de valor Σu, dan lugar a una reacción H, que se deberá tener en cuenta en el cálculo, de valor:*

$$H = A\ G\ \frac{\Sigma u}{h}$$

siendo:

H *La reacción del apoyo (en kg).*
A *El área total del apoyo (en cm^2)*
G *El módulo de elasticidad transversal del material constituyente del apoyo (en general G = 9 a 10 kg/cm^2).*
Σu *El desplazamiento total máximo del apoyo.*
h *El espesor total de las capas de goma que contiene el apoyo.*

La altura total del apoyo vendrá, en general, condicionada por la máxima distorsión angular admisible, sin perjuicio de que algunas veces resulte interesante el aumentar dicha altura a fin de reducir el valor de la reacción horizontal del apoyo.

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	1.308×10^{-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	$4,403 \times 10^{-3}$
Metro	Centímetro	100,0
Metro	Pie	3,281
Metro	Pulgada	39,37
Metro	Milla (náutica)	$5,396 \times 10^{-4}$
Metro	Milla (terrestre)	6.214×10^{-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	$2,778 \times 10^{-2}$
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	7.716×10^{-4}
Pulgada cúbica	Centímetro cúbico	16.39
Pulgada cúbica	Pie cúbico	$5,787 \times 10^{-4}$
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	$2,458 \times 10^{-3}$
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	2.063×10^5
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	$2,778 \times 10^{-4}$
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	2.778×10^{-4}
Segundo (ángulo)	Minuto	0,01667
Segundo (ángulo)	Cuadrante	3.087×10^{-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	$9,144 \times 10^{-4}$
Yarda	Metro	0,9144
Yarda	Milla (náutica)	4.934×10^{-4}
Yarda	Milla (terrestre)	5.689×10^{-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	$8,361 \times 10^5$
Yarda cúbica	Centímetro cúbico	$7,646 \times 10^5$
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