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-ϕ 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.

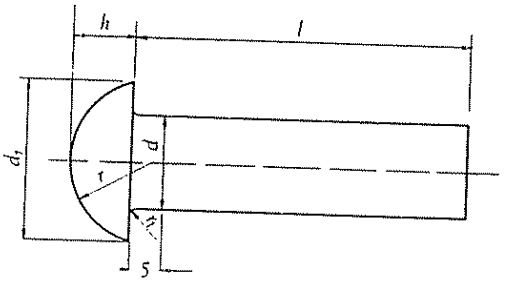
En su mayor parte, las uniones se realizan por medio de roblones, tornillos y soldadura. Estos son los procedimientos que contempla la Norma Básica MV-103 y a los que nos referimos en este Prontuario. Las uniones con bulones tienen un campo de aplicación más limitado y las uniones por medio de adhesivos 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.

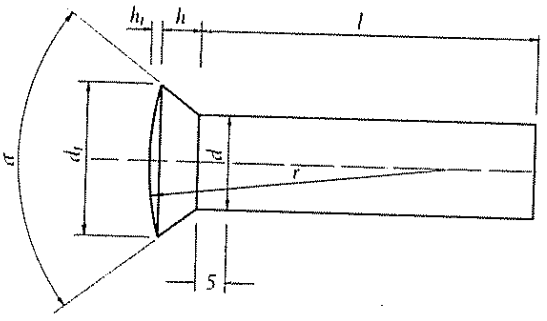
Roblón tipo	Diámetro de la caña d mm	Diámetro de la cabeza d_1 mm	Altura de la cabeza h mm	Radio de la esfera r mm	Radio del acuerdo r_1 mm	Diámetro del agujero a mm
E 10	10	16	6,5	8	0,5	11
E 12	12	19	7,5	9,5	0,6	13
E 14	14	22	9	11	0,6	15
E 16	16	25	10	13	0,8	17
E 18	18	28	11,5	14,5	0,8	19
E 20	20	32	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.

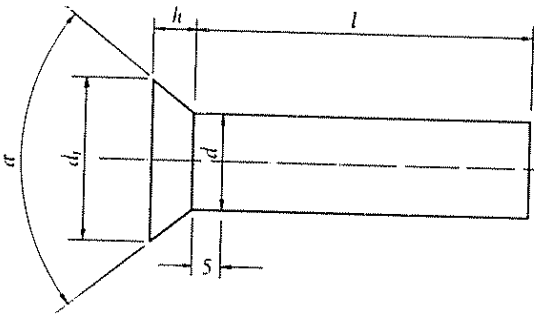
Roblón tipo	Diámetro de la caña d mm	Angulo del cono α grados	Diámetro de la cabeza d_1 mm	Altura de la cabeza h mm	Flecha de la cabeza h_1 mm	Radio de la esfera r mm	Diámetro del agujero a mm
B 10	10	75	14,5	3	1	27	11
B 12	12	75	18	4	1	41	13
B 14	14	75	21,5	5	1	58	15
B 16	16	75	26	6,5	1	85	17
B 18	18	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.

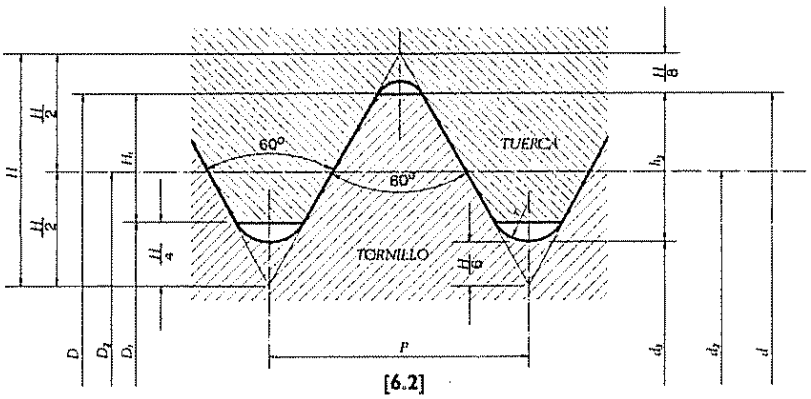
6.1 1 2. *Acero de los roblones.*

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 $\frac{s}{5}$ 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

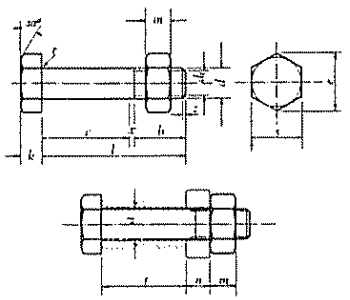


[6.2]

Tornillos ordinarios. Dimensiones.

Tornillo Tipo	Vástago					Cabeza				Diámetro del agujero	Area neta del núcleo	Area resistente
	Diámetro de la caña *d* mm	Diámetro interior d_1 mm	Longitud roscada *b* mm	Longitud de la salida *x* mm	Longitud del chaflán *z* mm	Espesor *k* mm	Medida entre caras *s* mm	Medida entre aristas *e* mm	Radio del acuerdo *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



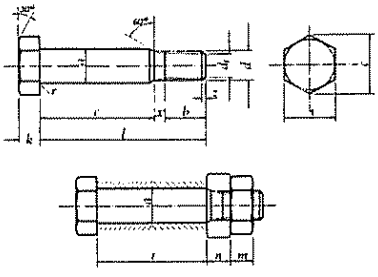
a

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 *a* mm	Diámetro exterior de la rosca *d* mm	Diámetro interior de la rosca d_1 mm	Longitud roscada *b* mm	Longitud de la salida *x* mm	Espesor *k* mm	Medida entre caras *s* mm	Medida entre aristas *e* mm	Radio del acuerdo *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:

$$A_n = \frac{\pi d^2_3}{4} \qquad A_r = \left(\frac{d_3 + d_2}{2}\right)^2 \frac{\pi}{4}$$

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].

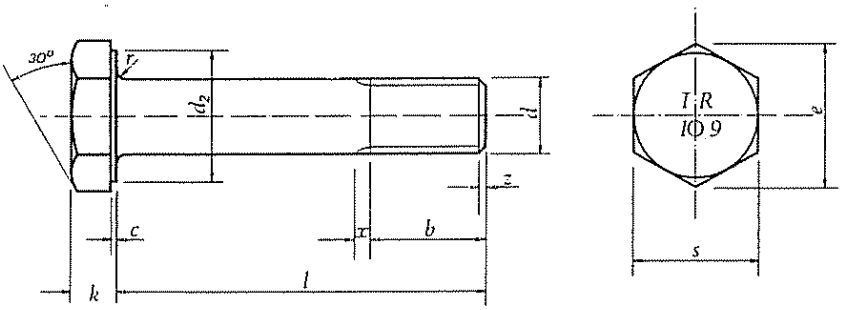
6.1 3 2. *Acero de los tornillos TR.*

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_a 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 ⌀ 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 $s \geq 3a$

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

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

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

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:*

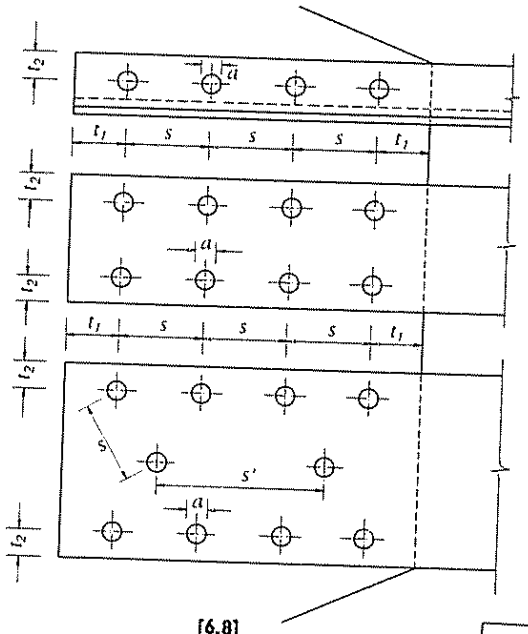
Valor mínimo: al borde frontal $t_1 \geq 2a$

al borde lateral $t_2 \geq 1{,}5a$

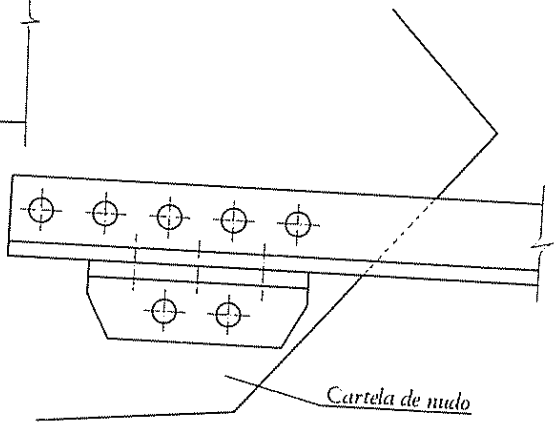
Valor máximo: a cualquier borde $t \leq 3a$; $t \leq 6e$

[1] Se representan en [6.8].

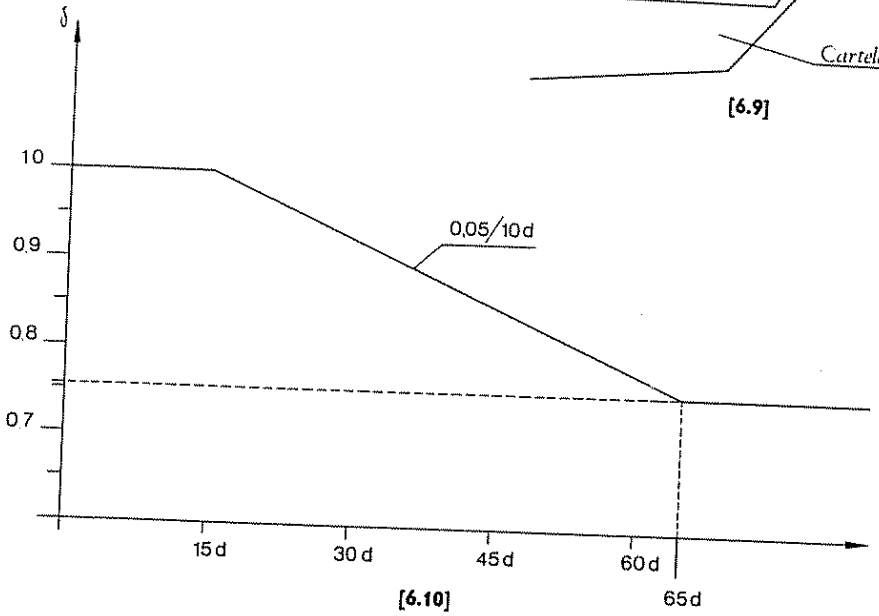
uniones roblonadas y atornilladas



[6.8]



[6.9]



[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].

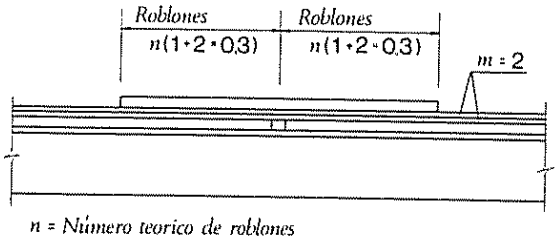
[1] La ya citada Recomendación Europea 1975, es menos exigente a este respecto, y distingue, como parece lógico, el caso en que se trata de esfuerzos distribuidos, para los cuales la limitación anterior no se justifica plenamente. Dice en su apartado R 81.05:

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].

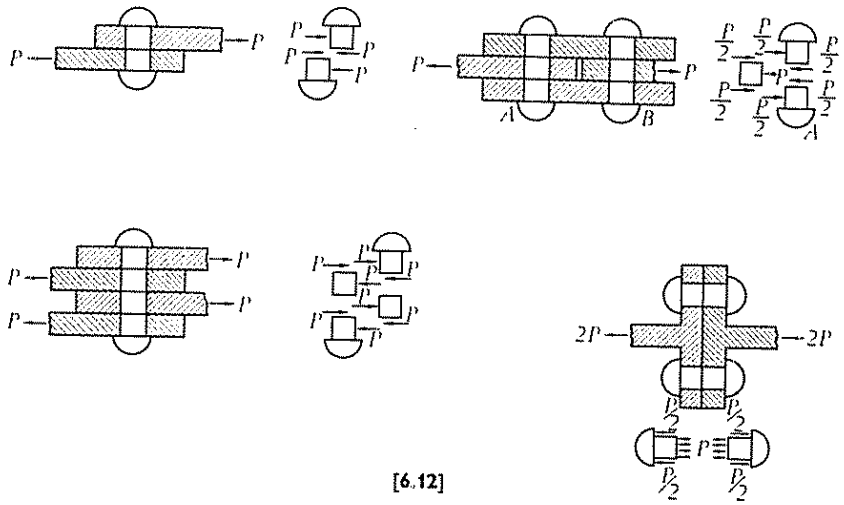
Obviamente no se aplicará esta limitación cuando las fuerzas estén uniformemente distribuidas sobre todos los tornillos en toda la longitud de la unión, por ejemplo, en el caso de transmisión de esfuerzos cortantes del alma al ala, o del alma a los rigidizadores en los apoyos de una viga armada.

[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.

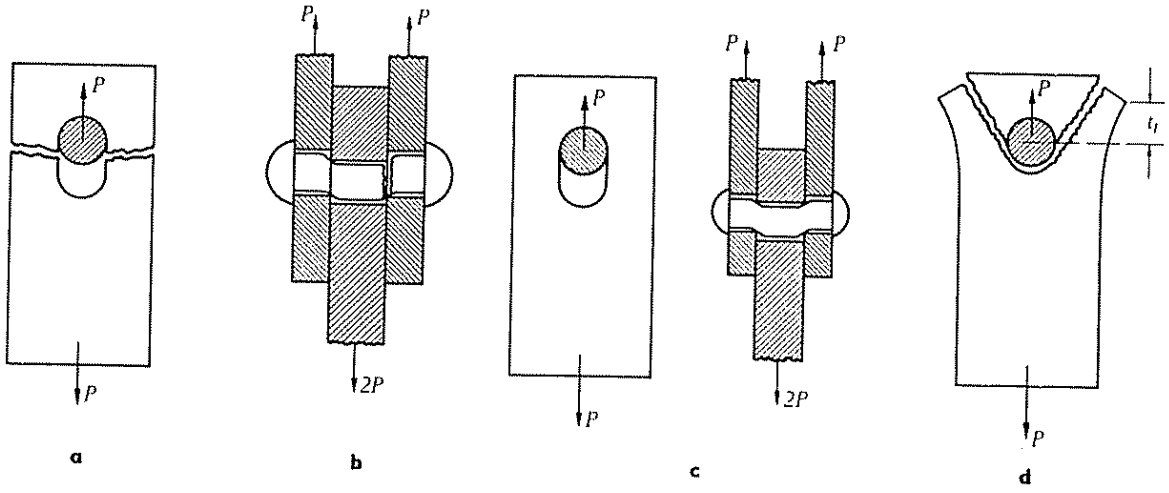
En el caso de los tornillos de alta resistencia pretensados [2], las fuerzas normales a su eje son contrarrestadas por el rozamiento entre las chapas, pero no someten el tornillo a esfuerzos adicionales. El valor límite de la fuerza exterior será el correspondiente a la iniciación del deslizamiento entre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

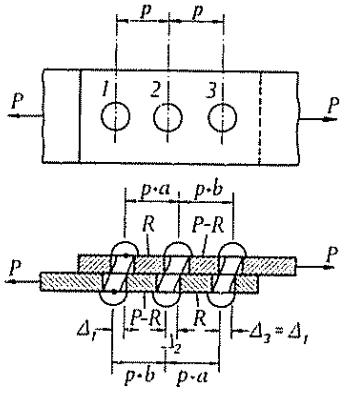
---

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

[6.13]


p
p
P
1
2
3
P
p·a
p·b
R
P-R
P
P
P-R
R
Δ_1
$\Delta_3 = \Delta_1$
$\frac{1}{2}$
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.

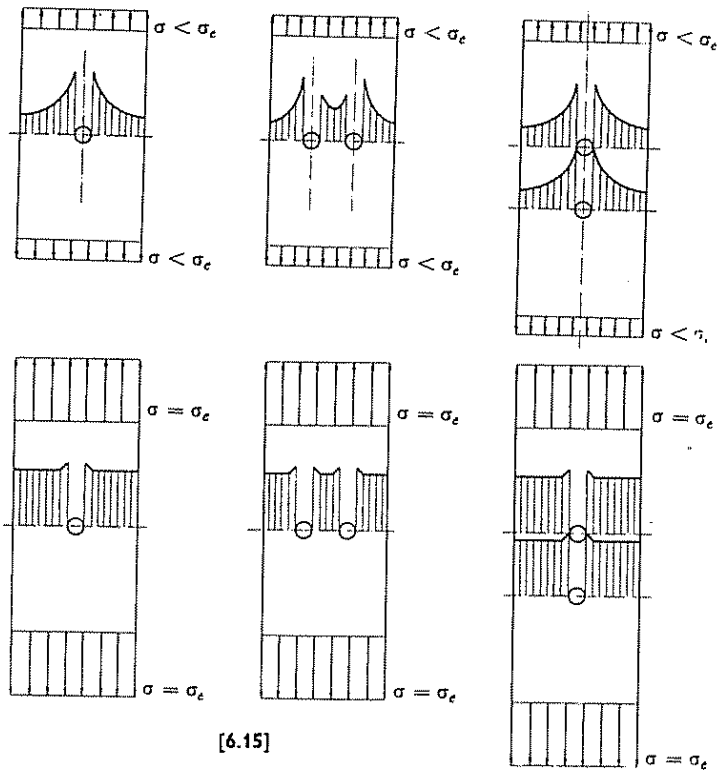
A_n Sección neta de la chapa.

Tensión cortante en el roblón o tornillo:

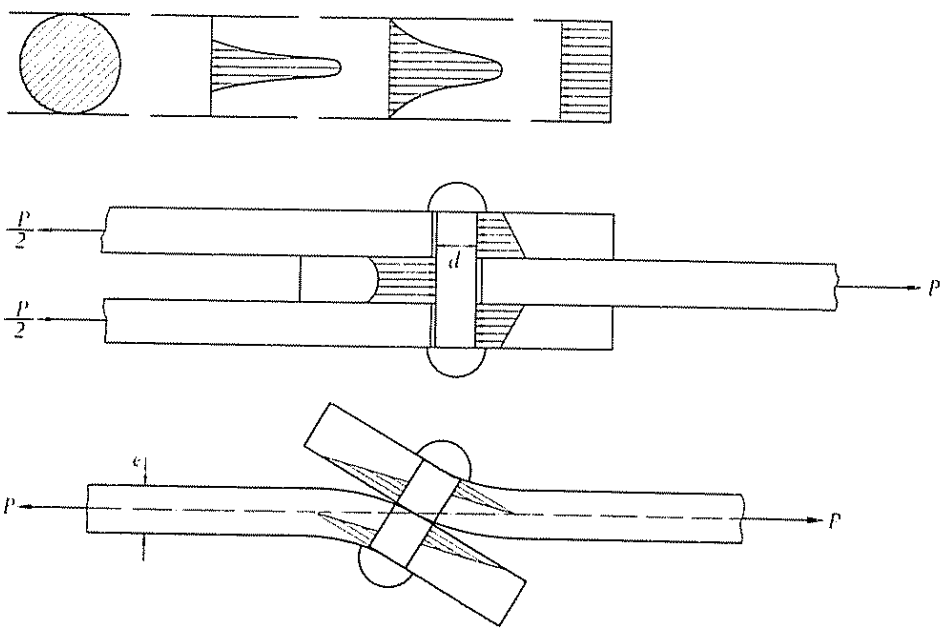
$$\tau^* = \frac{P^*}{A}$$

siendo:

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



[6.15]



[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.

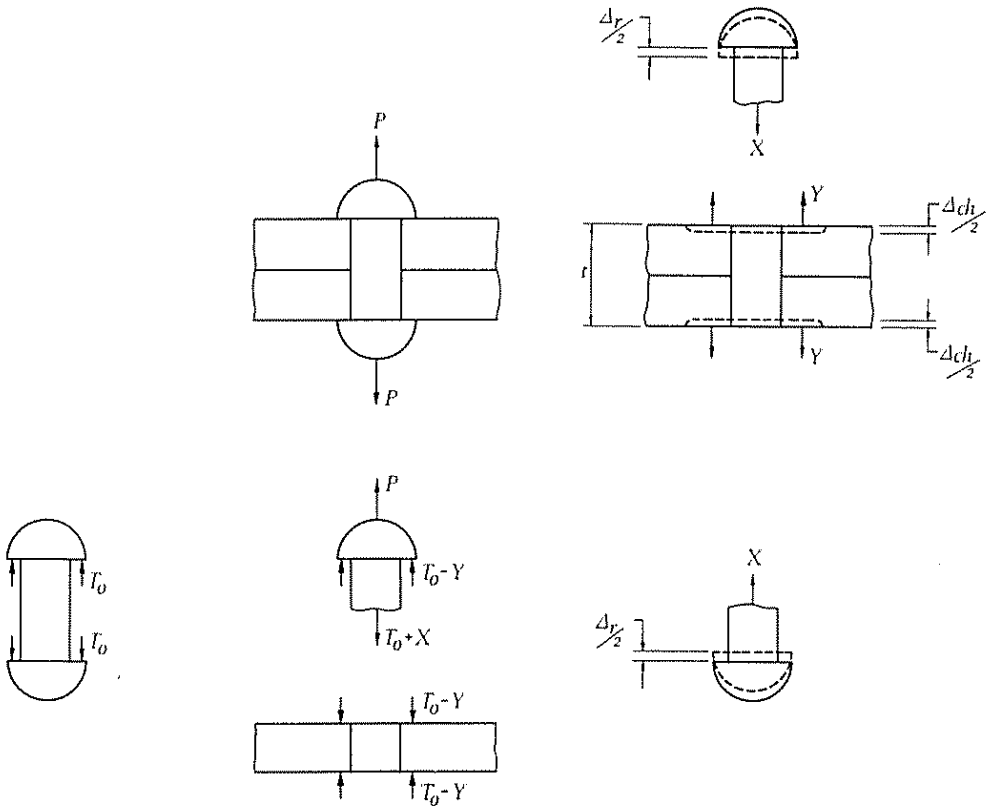
Ya hemos mencionado el sistema de trabajo de los tornillos de alta resistencia. Recordemos algunos conceptos para este tipo de solicitación. La fuerza de rozamiento, que ha de igualar la fuerza exterior normal al eje, se deduce a partir de la fuerza dirigida perpendicularmente a la superficie de rozamiento 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 robión debe ser igual a la dilatación de las chapas

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

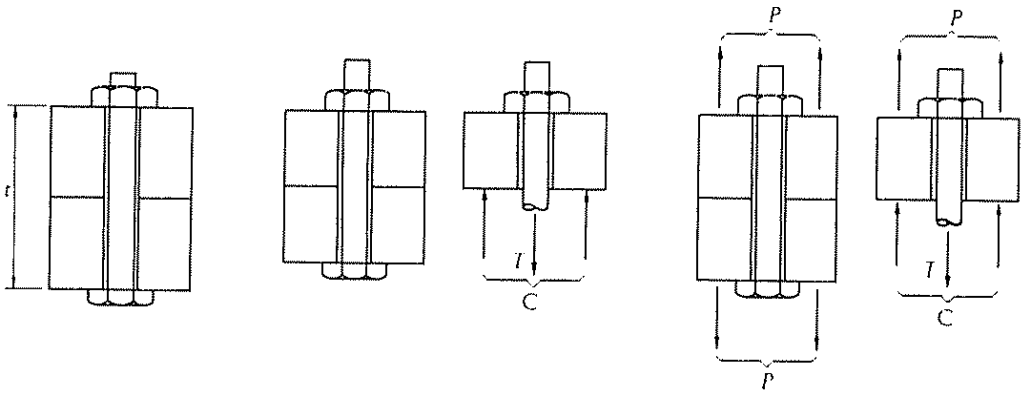
$$\Delta_{ch} = \frac{Y\,t}{A_{ch}\,E} \quad ; \quad Y = \frac{A_{ch}\,E}{t}\,\Delta_{ch} = K_{ch}\,\Delta_{ch}$$

siendo:

t Suma de los espesores de las chapas a unir.

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

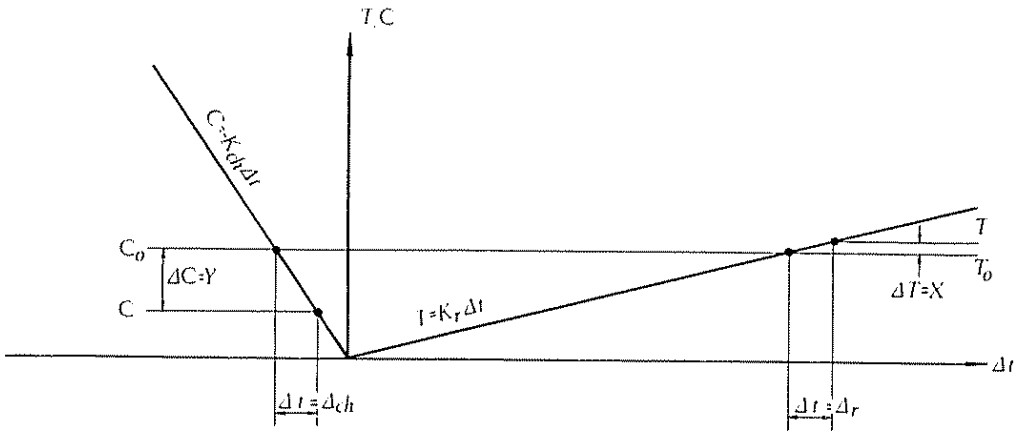
Tornillos TR



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:

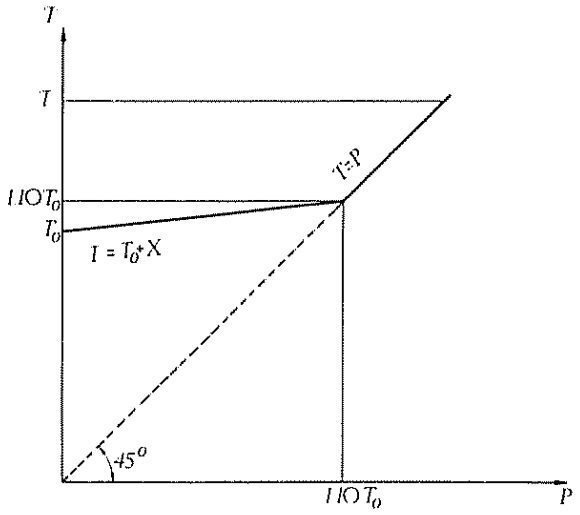
$$\frac{P}{A_r} \not> \sigma_e$$

siendo:

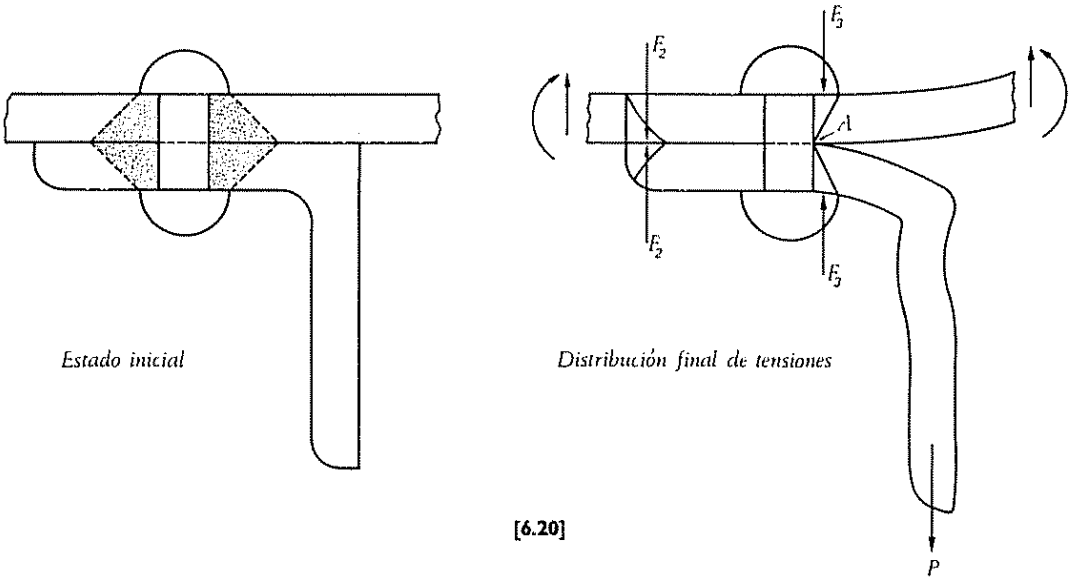
A_r Sección del roblón

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.*

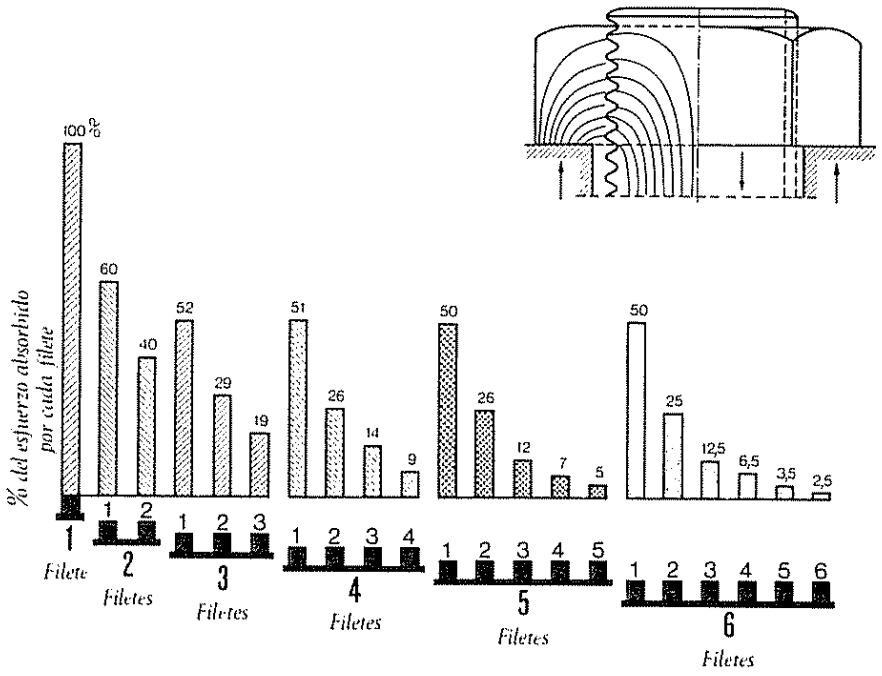
El hecho de que en las normas se fije una solicitación admisible de los tornillos T y TC superior a la de los roblones, se debe a su mejor conformación para trabajar a tracción y a que las dimensiones de los tornillos se ajustan más a las dimensiones teóricas de los mismos. Esta observación es cierta, 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** $\quad R_t = 8{,}75 > 8\ t$

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.

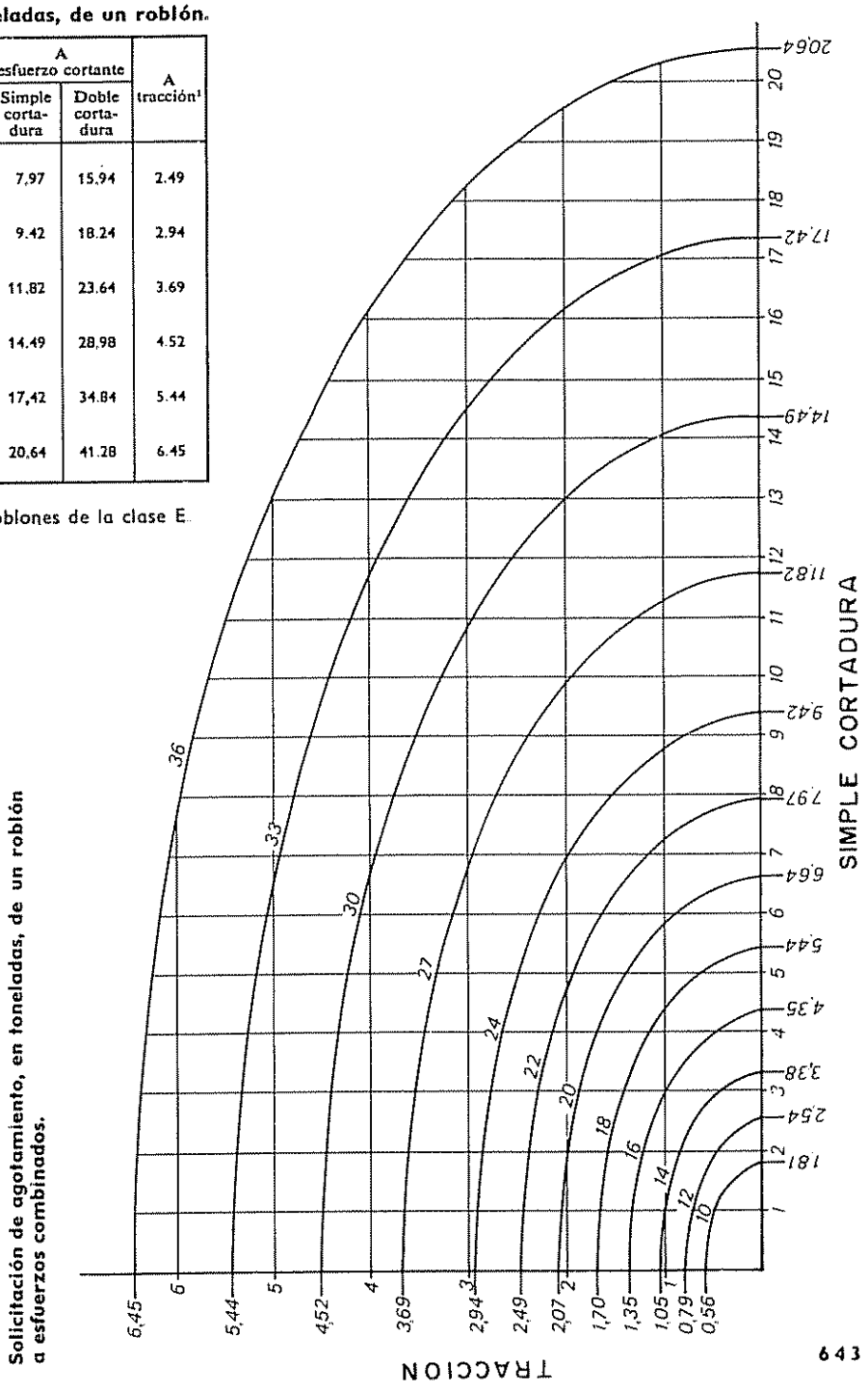
6.4 1

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



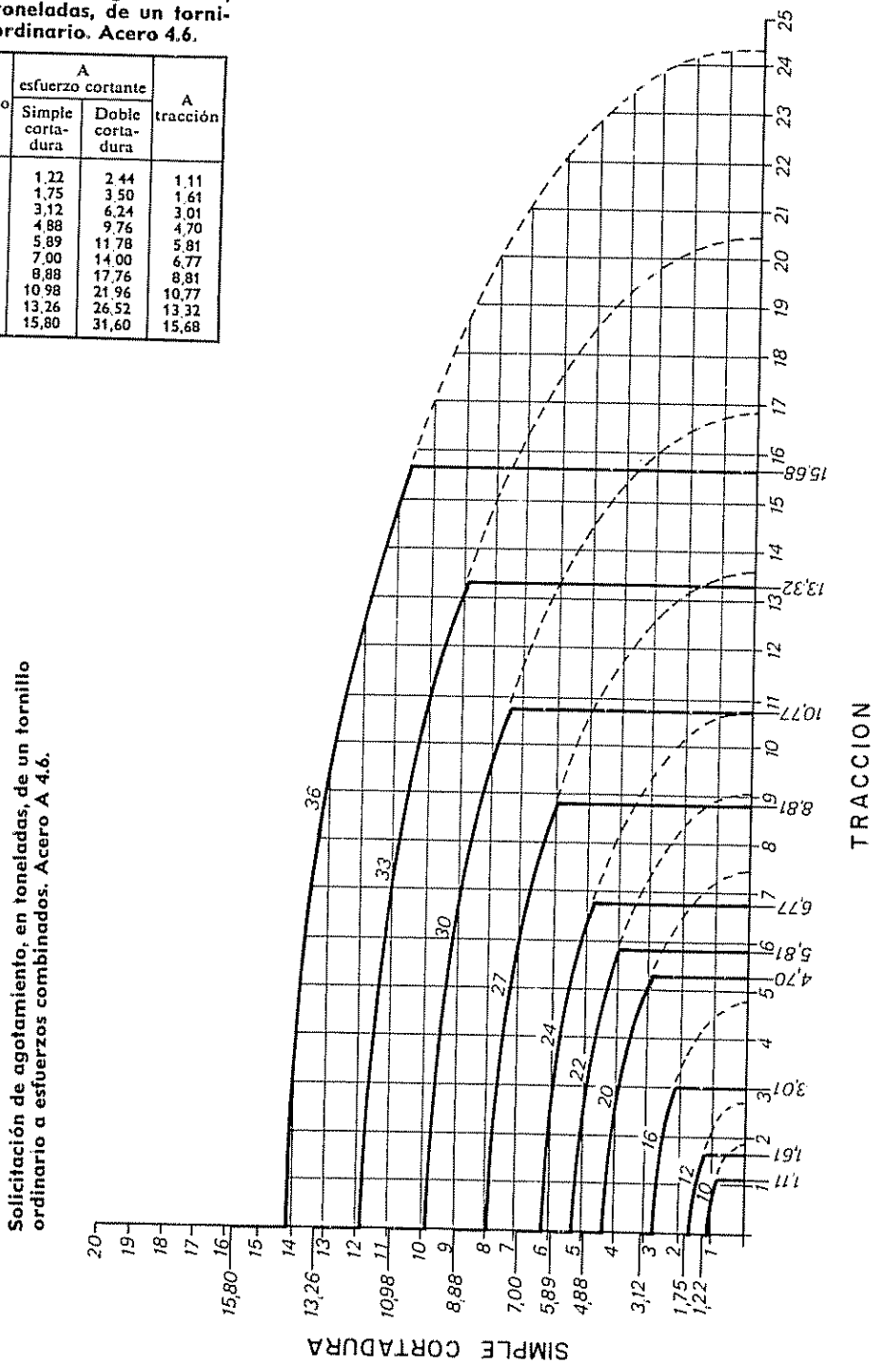
Solicitación de agotamiento, en toneladas, de un roblón a esfuerzos combinados.

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

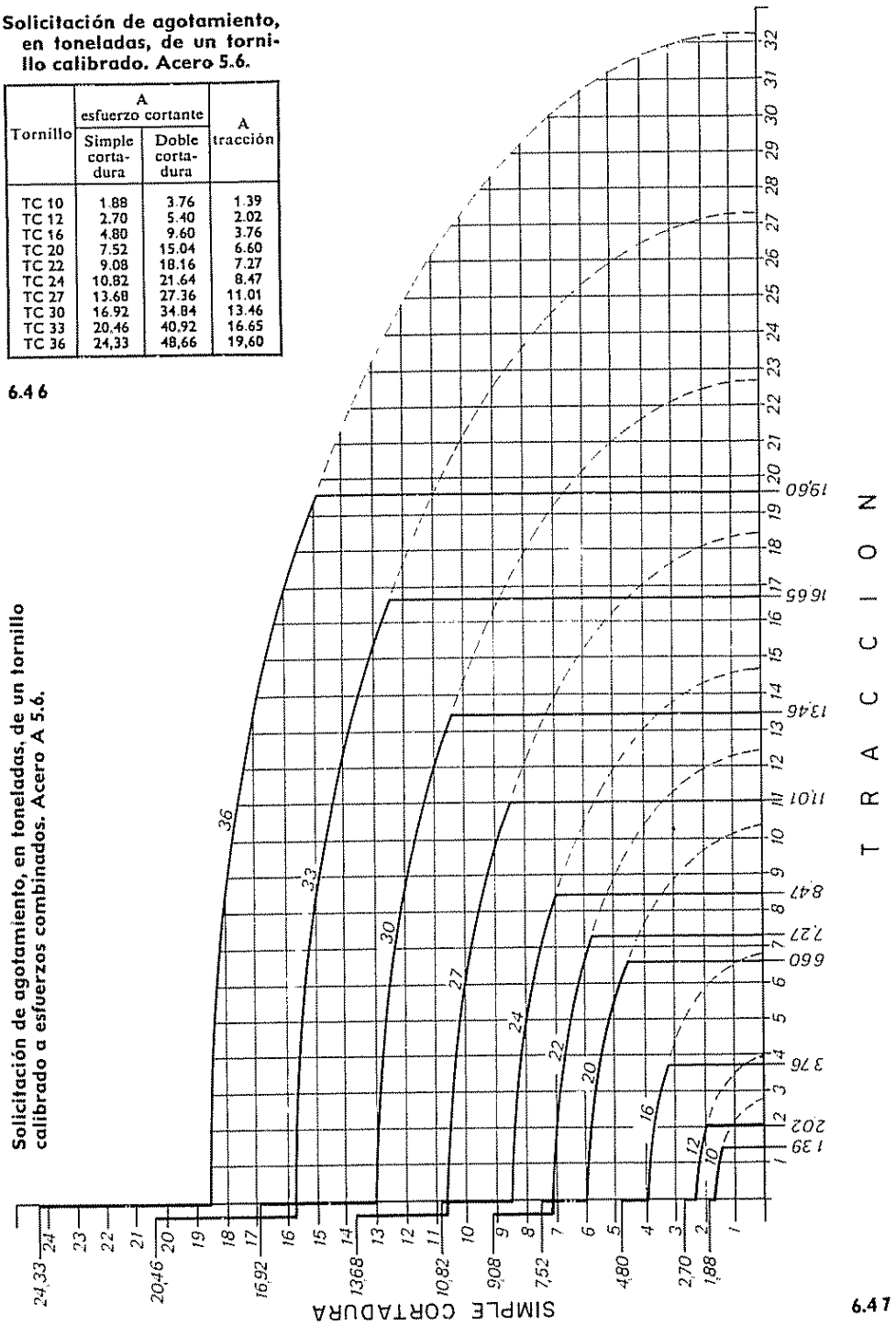


6.4.5

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

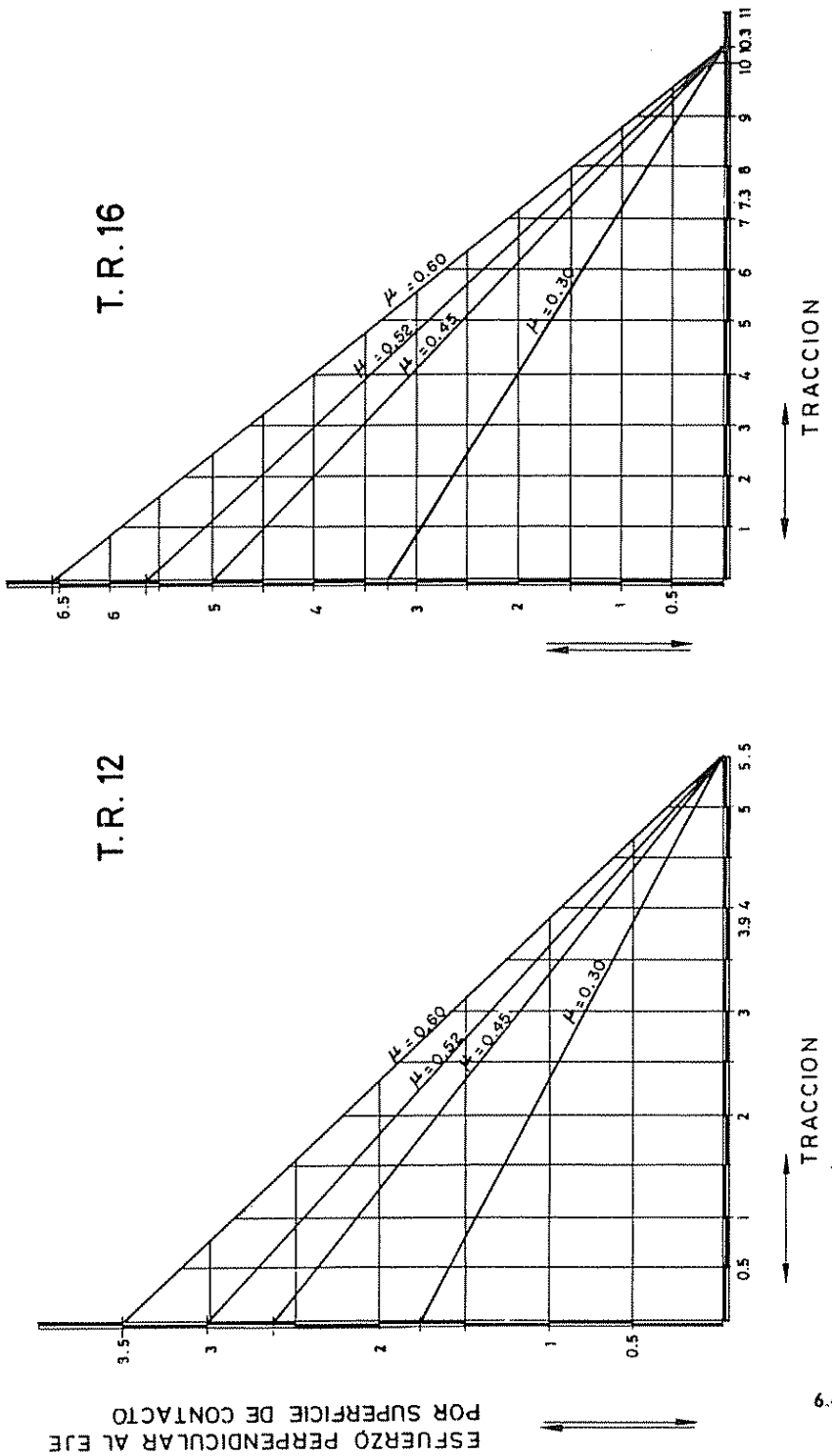


6.4 7

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

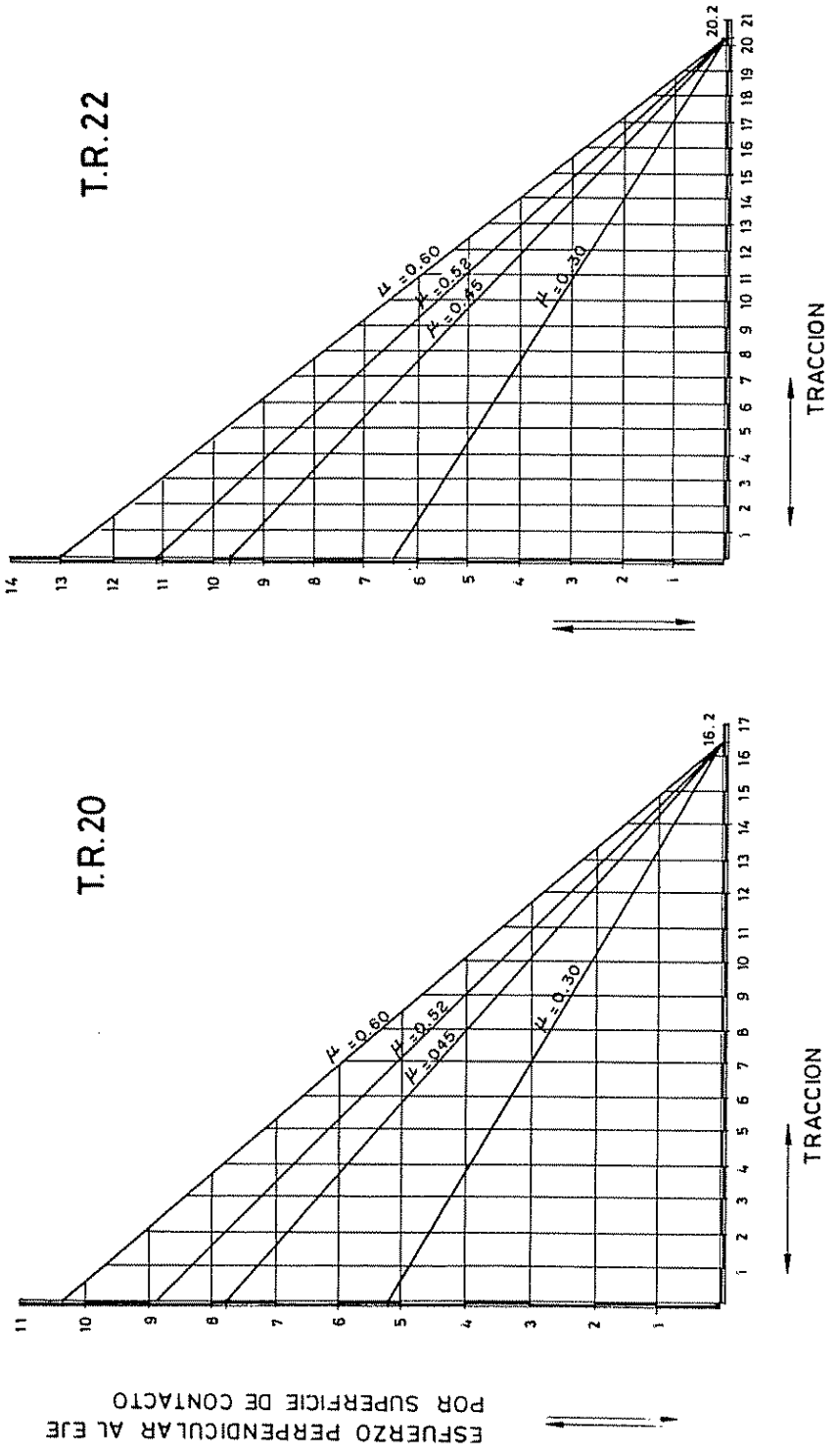
Tornillo	Esfuerzo perpendicular al eje por superficie de contacto				Esfuerzo en la dirección de su eje
	Superficie sin preparar	Superficies preparadas			
		A 37	A 42	A 52	
TR 12	1,70	2,64	3,05	3,52	5,5
TR 16	3,30	4,95	5,73	6,61	10,3
TR 20	5,19	7,79	9,01	10,39	16,2
TR 22	6.48	9,72	11,23	12,96	20,2
TR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



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

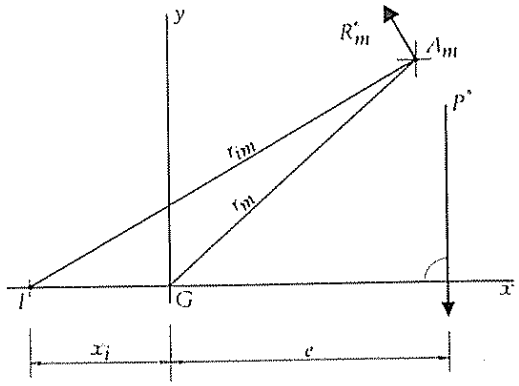
De **6.4 9**, el correspondiente al tornillo TR20 nos fija el punto de coordenadas (6,5 t) por debajo de la recta $\mu = 0{,}52$, luego el tornillo TR20 es válido. En el ábaco del tornillo TR16 se puede comprobar que este tornillo es insuficiente.

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

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

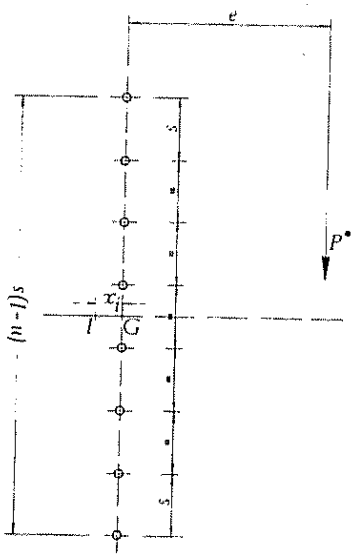
El valor máximo de R^*_m corresponde al mayor valor de r_{im} y puede ponerse en la forma

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

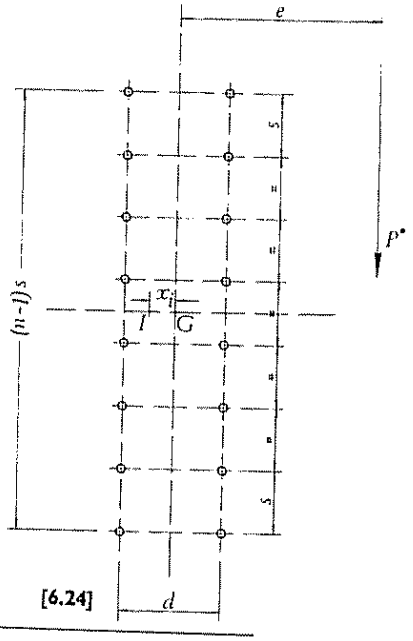
Solicitación máxima producida

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

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:

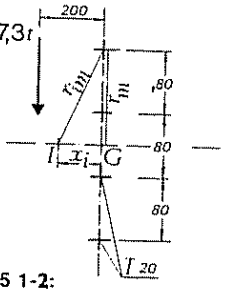
$$x_i = \frac{\Sigma A_m\, r_m^2}{e\,\Sigma A_m} = \frac{\Sigma r_m^2}{e\,n} = \frac{40^2 + 120^2 + 40^2 + 120^2}{200 \times 4} = 40 \text{ mm}$$

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 $\qquad R^*_m = 4{,}74$ t



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

Usando 6.5 1

De **6.5 1-1:** C = 1,26 $\qquad R^*_m = \frac{7{,}30}{1{,}26} = 5{,}79$ 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 $\qquad R^*_m = \frac{7{,}30}{1{,}54} = 4{,}74$ 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

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

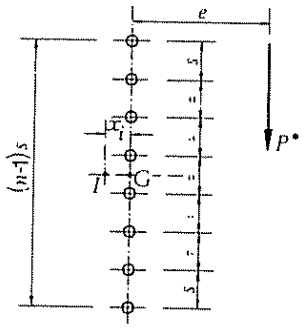
dos filas:

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

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.

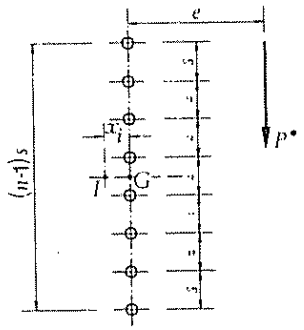


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

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

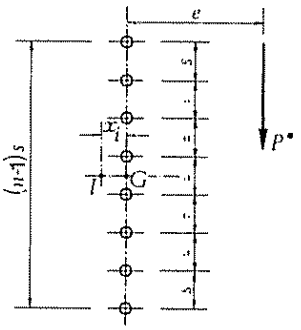


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

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

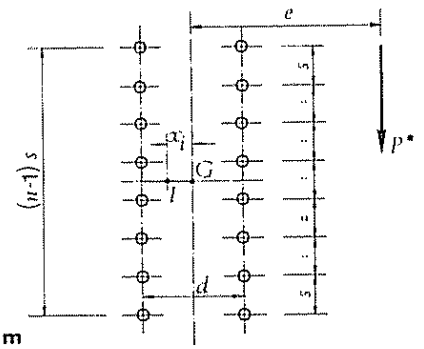


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

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

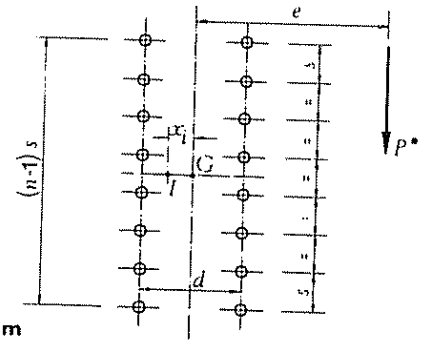


Solicitación máxima producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

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

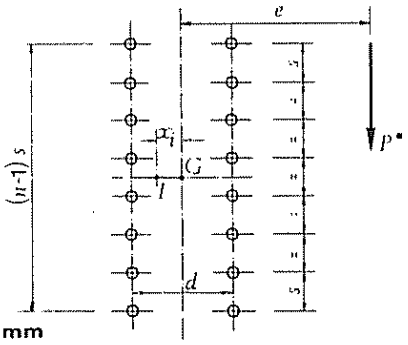


Solicitación máxima
producida en un elemento de unión $R^* = \frac{P^*}{C}$

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

6.5 1-6