

## **Anejo: UNIONES POR TORNILLOS**

---

## UNIONES POR TORNILLOS

### 1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los tornillos son piezas metálicas compuestas de una cabeza de forma exagonal, un vástago liso y una parte roscada que permite el sellado mediante una tuerca y una arandela. Su colocación se hace en frío.

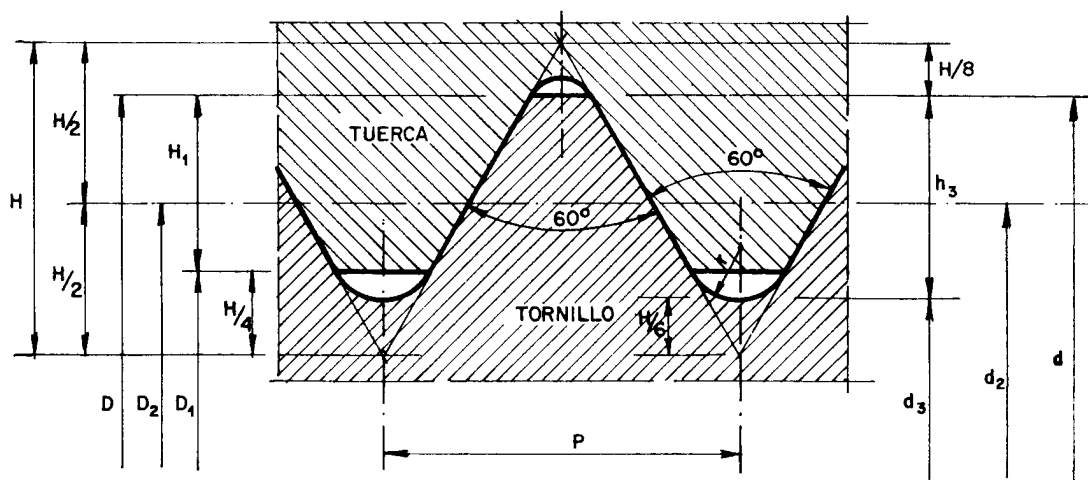
Los tornillos se utilizan en las construcciones desmontables y en la unión de elementos construidos en taller al llegar a la obra para facilitar su transporte y montaje.

Los tornillos se clasifican en tres tipos:

- Tornillos ordinarios T
- Tornillos calibrados TC
- Tornillos de alta resistencia TR

Los tornillos ordinarios y calibrados se diferencian básicamente en sus características geométricas. En los tornillos ordinarios el diámetro del agujero es 1 mm más grande que el del vástago, mientras que en los calibrados ambos diámetros están ajustados, por lo que se utilizan con preferencia para la formación de nudos rígidos.

Los tornillos y tuercas ordinarios y calibrados tienen rosca triangular ISO de paso grueso.



*Rosca triangular ISO.*

## Uniones por tornillos

Las características de los aceros empleados para los diferentes tipos de tornillos son:

Clase de tornillos y sus tuercas	Tipo de acero de productos a unir	Tipo de acero de los tornillos	Resistencia a tracción $\sigma_R$ mínima máxima kg/mm <sup>2</sup>	Límite de fluencia $\sigma_F$ mínima kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento de rotura $\delta$ mínima %	Dureza Brinell Diámetro de la huella mm
Ordinarios	A 37	A 4t	34 a 55	21	25	5,93 a 4,74
	A 42					
Calibrados	A 37	A 4t	34 a 55	21	25	5,93 a 4,74
	A 42					
	A 52	A 5t	50 a 70	28	22	4,96 a 4,21

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

### *Acero de los tornillos.*

Tipo del acero	Resistencia a tracción $\sigma_R$ mín. máx. kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico convencional $\sigma_F$ mínimo kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento de rotura $\delta_R$ mínimo %	Resiliencia a 20 °C $\rho$ mínimo kgm/cm <sup>2</sup>	Dureza Brinell	Utilización
A 6t	60 a 80	54	12	4	175 a 235	Sólo tuercas
A 8t	80 a 100	64	12	7	235 a 295	Tornillos y tuercas
A 10t	100 a 120	90	8	5	295 a 350	Sólo tornillos

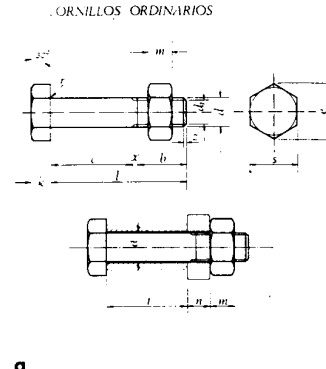
El número que designa el acero es indicativo de su mínima resistencia a tracción. La cifra de la dureza Brinell es solamente orientativa.

### *Características mecánicas de los aceros para tornillos y tuercas de alta resistencia.*

## 2. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS DE LOS TORNILLOS

**Tornillos ordinarios. Dimensiones.**

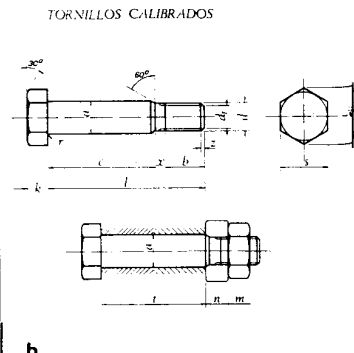
Tornillo Tipo	Vástago					Cabeza				Diámetro del agujero a mm	Área neta del núcleo An cm²	Área resistente Ar cm²
	Diámetro de la caña d mm	Diámetro interior d1 mm	Longitud rosca b mm	Longitud de la salida x mm	Longitud del chafán z mm	Espesor k mm	Medida entre caras s mm	Medida entre aristas e mm	Radio del acuerdo r mm			
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



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

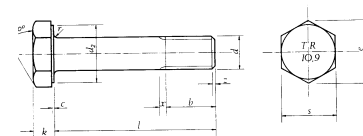
**Tornillos calibrados. Dimensiones.**

Tornillo calibrado Tipo	Vástago					Cabeza				Área neta del núcleo An cm²	Área resistente Ar cm²
	Diámetro de la caña y del agujero a mm	Diámetro exterior de la rosca d mm	Diámetro interior de la rosca d1 mm	Longitud rosca 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		
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	34,6	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 de alta resistencia. Dimensiones en milímetros.**

Tipo de tornillo	Diámetro de la caña d	Longitud rosca b en función de la longitud total l				Longitud de la salida x	Espesor k	Medida entre caras s	Medida entre aristas e ≈	Diámetro exterior de la base de la cabeza d2 min	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



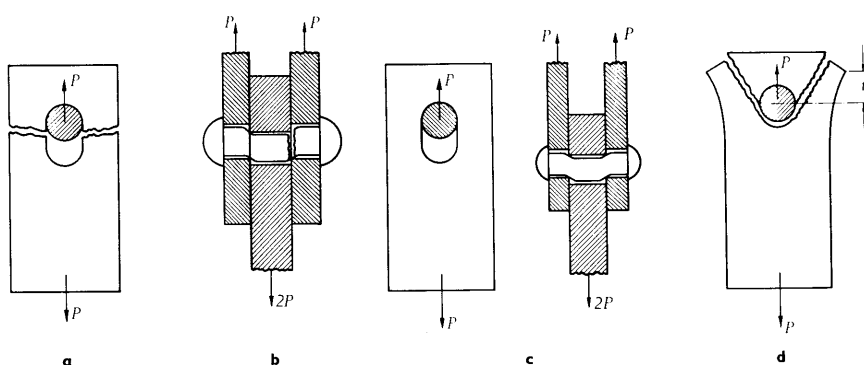
Se denomina área de la sección neta  $A_n = \pi \frac{d_3^2}{4}$

Se denomina área resistente de la rosca  $A_R = \left( \frac{d_3 + d_2}{2} \right) \frac{\pi}{4}$

### 3. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN

El fallo por rotura de una unión en que el esfuerzo sobre el tornillo tipo T o Tc es una fuerza normal a un eje puedes ser:

- Por rotura a tracción de la chapa (a).
- Por cortadura de la sección del tornillo (b).
- Por aplastamiento de la chapa a flexión del vástago del tornillo (c).
- Por desgarrar de la chapa, que se puede evitar normalmente con las disposiciones constructivas aconsejadas (d).



**3.1.** Se considera sollicitación de agotamiento de un perfil o chapa solicitados por aplastamiento contra la espiga del tornillo a la dada por:

$$2 \times \sigma_n \times A, \text{ para los T}$$

$$2.5 \times \sigma_n \times A, \text{ para los TC}$$

$$3 \times \sigma_n \times A, \text{ para los TR}$$

$A = \text{Área de la superficie en contacto} = \text{espesor de la chapa o perfil} \times \text{diámetro de la espiga del tornillo}$

$\sigma_n = \text{Resistencia de cálculo del acero}$

**3.2.** Se considera sollicitación de agotamiento de un tornillo solicitado a esfuerzo cortante a la dada por:

$$0.65 \times \sigma_n \times n \times A, \text{ para los T}$$

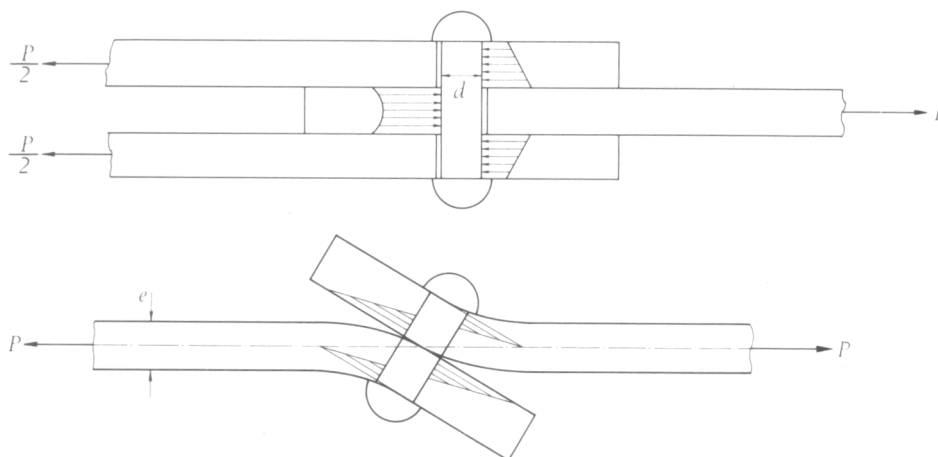
$$0.80 \times \sigma_n \times n \times A, \text{ para los TC}$$

$A = \text{Área de la sección de la espiga}$

$n = \text{Secciones transversales que resisten el cortante conjuntamente}$

$\sigma_n = 2400 \text{ Kg/cm}^2 \text{ para la calidad A4t y } 3000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ para la calidad A5t}$

Se aconseja realizar uniones con doble chapa para evitar momentos flectores como el del dibujo:



Los tornillos TR no deben estar sometidos a cortadura pues deben ser resistidos por la fuerza de rozamiento desarrollada al apretar fuertemente los tornillos.

El esfuerzo de agotamiento al corte por el tornillo y cara de contacto es:

$$T_u = 1'07 \times N_o \times \mu$$

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento (0'45 para el A37; 0'52 para el A42; 0'6 para el A52, en el caso de superficies no preparadas se adoptará 0'3)

$N_o$  = Esfuerzo axial de pretensado según la siguiente tabla:

Diámetro nominal de tornillo (mm).	Acero 10t		Acero 8t	
	$N_o$ (t)	$T_u$ (t)	$N_o$ (t)	$T_u$ (t)
12	5,5	5,88 $\mu$	3,9	4,17 $\mu$
16	10,3	11,02 $\mu$	7,3	7,81 $\mu$
20	16,2	17,3 $\mu$	11,5	12,30 $\mu$
22	20,2	21,60 $\mu$	14,4	15,40 $\mu$
24	23,3	24,90 $\mu$	16,6	17,76 $\mu$
27	30,6	32,8 $\mu$	21,8	23,32 $\mu$

$\mu$  coeficiente que depende del tipo de acero y del tratamiento de las superficies.

*Valores de  $N_o$  y  $T_u$ , en toneladas, por tornillo de alta resistencia y cara de deslizamiento.*

**3.3.** Se considera sollicitación de agotamiento de un tornillo T o TC solicitado a tracción a la dada por:

$$T_u = 0'8 \times \sigma_c \times A_R$$

$\sigma_c$  = Resistencia de cálculo del tornillo

$A_R$  = Área resistente del tornillo

En el caso de tornillos TR la fórmula es:

$$T_u = 0'8 \times \sigma_e \times A_n = \text{esfuerzo de pretensado } (N_o)$$

$\sigma_e$  = Límite elástico del tornillo

$A_n$  = Área neta del tornillo

**3.4.** Cuando un tornillo esté sometido conjuntamente a esfuerzo cortante y a tracción deberá verificarse además en la espiga del tornillo que:

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

$\sigma_t$  = Resistencia de cálculo del tornillo

$\sigma$  = Tensión normal

$\tau$  = Tensión tangencial producida por el cortante

En el caso de tornillo TR se considerará agotamiento cuando se cumplan los dos requisitos siguientes:

- La fuerza perpendicular al eje del tornillo T sea inferior a:

$$T_u = 1'07 (N_o - N_t) \times \mu \times n$$

$N_o$  = Esfuerzo de pretensado

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

$N_t$  = Esfuerzo de tracción en dirección al eje

$n$  = nº de secciones en contacto entre chapa o perfiles de la unión

- La fuerza de tracción límite sea:

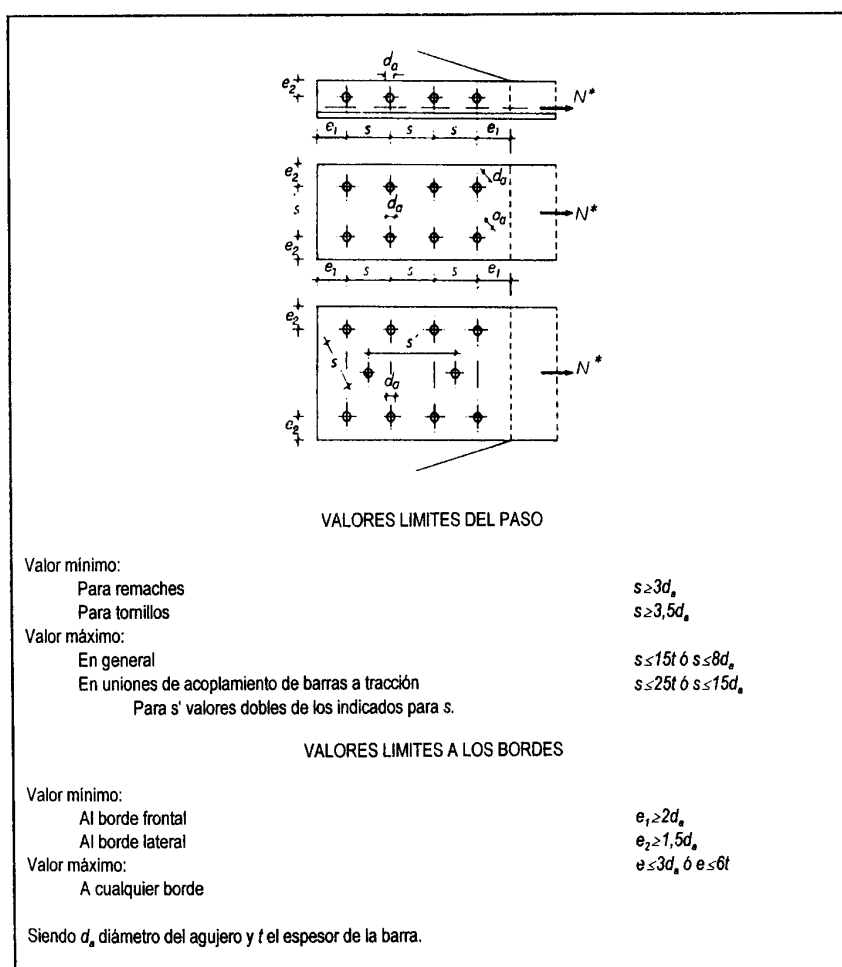
$$T < N_o$$

Cuando sobre la unión con TR actúan cortante y flector no se considerará reducción ninguna para el agotamiento en la dirección perpendicular al eje del tornillo,

es decir, que la comprobación a esfuerzo cortante puede considerarse como si no hubiera momento flector.

**3.5.** Como complemento a lo anterior diremos que las uniones con TR son más rígidas, menos deformables y con mejor comportamiento en estado límite de servicio que las realizadas con tornillos T o TC.

#### 4. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS



*Disposiciones constructivas (NBE EA95).*

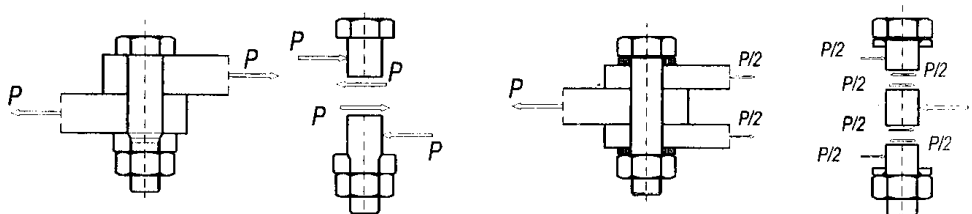
- A título orientativo la elección de los tornillos puede hacerse  $d = \sqrt{5 \cdot e} - 0,2$  ( $d$  y  $e$  en cm, siendo  $d$  el diámetro de la espiga y  $e$  el espesor menor de las piezas a unir).
- No se considera la colocación simultánea de más de 5 tornillos en la dirección paralela, y en una misma fila, a la del esfuerzo axial.

- La suma de espesores de las piezas unidas por un tornillo no excederá de  $4'5 \times d$  para tornillos ordinarios. Para tornillos calibrados esta suma no podrá superar  $6'5 \times d$ .
- Todas las uniones de fuerza deberán contar al menos con dos tornillos.

## 5. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS QUE SOLICITAN A LOS ELEMENTOS EN LA UNIÓN

### 5.1. SOLICITACIONES POR CORTANTE QUE PASE POR EL C.D.G. DE LOS TORNILLOS

El tornillo puede estar sometido a simple o doble cortadura.



Solicitación de un tornillo a cortadura.

Si tenemos  $n$  tornillos de sección en la caña  $A_i$ , la tensión media se obtiene:

$$\tau = \frac{P}{\sum A_i}$$

La fuerza cortante que soporta el tornillo será  $R_i = \tau \cdot A_i$

Se adjunta tablas que dan el agotamiento para simple y tracción:

Tipo	Diámetro de caña mm	Área de la sección		Solicitación de agotamiento	
		Espiga ( $A$ cm <sup>2</sup> )	Resist. ( $A_r$ cm <sup>2</sup> )	Simple cort. <sup>1)</sup> (t)	Tracción <sup>2)</sup> (t)
T 10	10	0,78	0,580	1,216	1,113
T 12	12	1,13	0,843	1,763	1,618
T 16	16	2,01	1,57	3,135	3,014
T 20	20	3,14	2,75	4,898	5,280
T 22	22	3,80	3,03	5,928	5,817
T 24	24	4,52	3,53	7,051	6,777
T 27	27	5,72	4,56	8,923	8,755
T 30	30	7,06	5,61	11,013	10,771
T 33	33	8,55	6,94	13,338	13,324
T 36	36	10,17	8,17	15,865	15,686

<sup>1)</sup> el agotamiento a simple cortadura se produce para:  $F_u = 0,65 \cdot \sigma_f \cdot A$

<sup>2)</sup> el agotamiento a tracción se produce para:  $F_u = 0,80 \cdot \sigma_f \cdot A_r$

Solicitaciones de agotamiento de tornillos ordinarios de acero A-37.

Tipo	Diámetro de caña mm	Área de la sección		Solicitud de agotamiento	
		Espiga ( $A$ cm <sup>2</sup> )	Resist. ( $A_r$ cm <sup>2</sup> )	Simple cort. <sup>1)</sup> (t)	Tracción <sup>2)</sup> (t)
TC 10	11	0,95	0,580	2,280	1,392
TC 12	13	1,32	0,843	3,168	2,023
TC 16	17	2,26	1,57	5,424	3,768
TC 20	21	3,46	2,75	8,304	6,600
TC 22	23	4,15	3,03	9,960	7,272
TC 24	25	4,90	3,53	11,760	8,472
TC 27	28	6,15	4,56	14,760	10,944
TC 30	31	7,54	5,61	18,096	13,464
TC 33	34	9,07	6,94	21,768	16,656
TC 36	37	10,75	8,17	25,800	19,608

<sup>1)</sup> el agotamiento a simple cortadura de TC se produce para:

$$F_u = 0,80 \cdot \sigma_T \cdot A$$

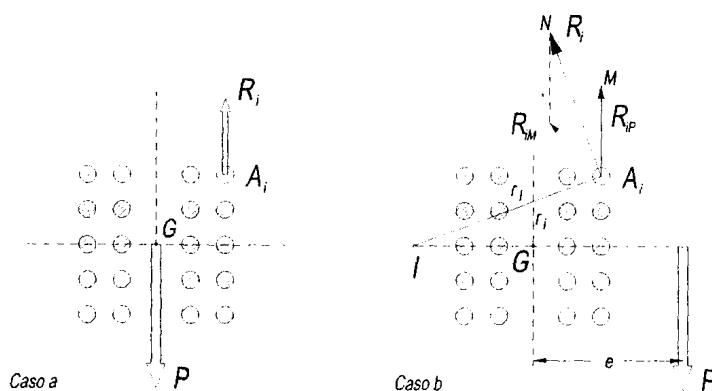
<sup>2)</sup> el agotamiento a tracción de TC se produce para:

$$F_u = 0,80 \cdot \sigma_T \cdot A_r$$

*Solicitaciones de agotamiento de tornillos calibrados de acero A-37.*

## 5.2. SOLICITACIONES POR CORTANTE QUE NO PASE POR EL C.D.G. DE LOS TORNILLOS

El sistema equivale a una carga  $P$  que pase por el c.d.g. y a un momento torsor de valor  $P \cdot e$



*Solicitud de un grupo de tornillos a cortadura.*

La fuerza  $P$  produce tensiones como en el caso anterior  $\tau_p = \frac{P}{\sum A_i}$  y  $R_p = \tau \cdot A_i$

El Momento torsor producirá tensiones  $\tau'_i = \frac{P \cdot e}{I_T} r_i$  en  $A_i$   $R'_i = \tau_i \cdot A_i$

siendo:  $r_i$  la distancia del tornillo  $i$  al c.d.g.

$I_T$  módulo de torsión del conjunto de tornillos de valor  $\sum A_i r_i^2$

Componiendo los dos resultantes  $R = R_p + R'_i$

De acuerdo con la figura, por semejanza entre los triángulos  $IGA_i$  y  $A_iMN$ , se tiene la relación  $\frac{x_i}{R_p} = \frac{r_i}{R'_i} = \frac{r_i}{R_i}$

El punto I es el centro instantáneo de rotación (donde se cortan las normales a los vectores R)

De lo anterior se deduce que:

$$x_i = \frac{\sum A_i r_i^2}{e \sum A_i} \quad R = \frac{(P \cdot e) r_i A_i}{\sum A_i r_i^2}$$

En el caso de que todos los tornillos  $n$  sean iguales:

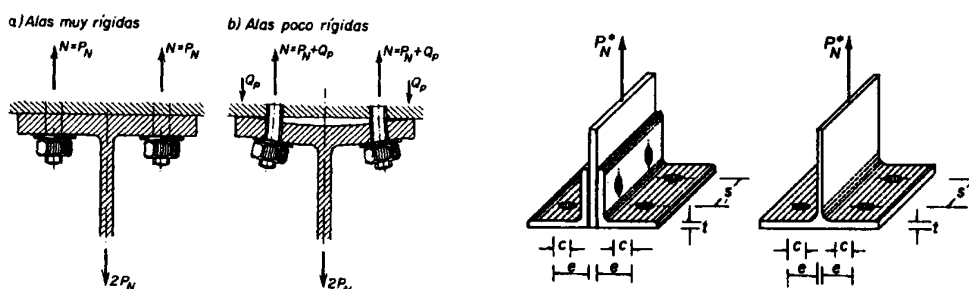
$$x_i = \frac{\sum r_i^2}{n \cdot e} \quad R = \frac{(P \cdot e) r_i}{\sum r_i^2}$$

donde  $R$  es la fuerza que actúa sobre cada tornillo y que deberá ser menor que las indicadas en los cuadros del apartado anterior.

En el caso de TR la fuerza de apriete de los tornillos es la que soporta el cortante. En el caso de que éste sea superior se agotaría la unión y no la cortadura en la espiga.

### 5.3. SOLICITACIONES A TRACCIÓN CENTRADA

En este caso nos encontramos dos situaciones diferentes según que los elementos unidos sean o no suficientemente rígidos. En el caso de no serlo, además de las fuerzas de tracción aparecen otros de apalancamiento, según se observa en la figura.



Fuerzas de apalancamiento.

Se considera que los elementos son suficientemente rígidos si:

$$F^* \leq 375 \cdot t \cdot \frac{e}{c} \cdot \frac{s}{(s+e)} \text{ en kp, y las dimensiones en mm.}$$

En este caso cada tornillo soportará una tracción  $F^* = \frac{P^*}{n}$  siendo  $n$  el número de tornillos.

### 5.4. SOLICITACIONES EN EL CASO DE TRACCIÓN EXCÉNTRICA

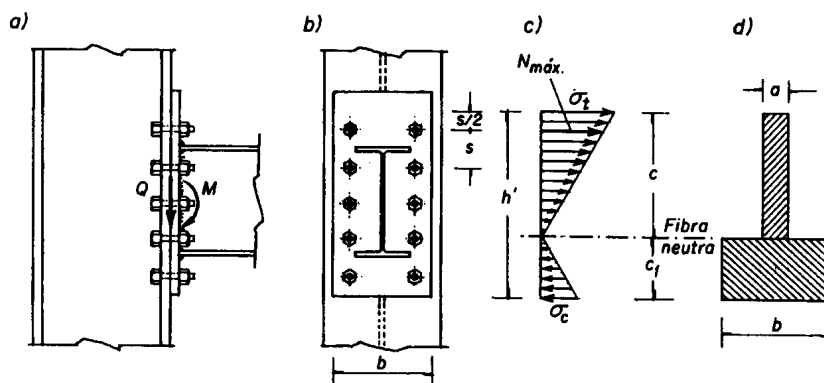
En este caso se producirá una tracción centrada y un momento flector. Para determinar los esfuerzos del momento flector se actuará de forma diferente según sean T y TC o TR.

#### a) En el caso de tornillos T y Tc.

Cuando actúe un momento flector los tornillos de la parte traccionada comenzarán a trabajar inmediatamente a tracción, mientras que la zona comprimida serán las chapas quienes resistirán los esfuerzos de compresión.

La fibra neutra queda definida por las ecuaciones siguientes:

$$\frac{c_1}{c} = \sqrt{\frac{a}{b}} \quad c + c_1 = h'$$



*Unión de tornillos ordinarios y calibrados resistiendo a flexión y cortante combinados.*

Donde  $a = A_r \times m/s$ ;  $m$  es el número de columnas posibles de tornillos.

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

$$N_{\max} = \frac{M \cdot a \cdot s}{I \cdot m} (h' - c_1 - s/2)$$

Y la máxima compresión sobre la chapa es  $\sigma = \frac{M \cdot c_1}{I}$

En ambas expresiones  $I = \frac{a \cdot c^3}{3} + \frac{b \cdot c_1^3}{3}$

El esfuerzo cortante se reparte por igual entre todos los tornillos.

La comprobación del tornillo más alejado es a tracción (suma de la tracción axial y la tracción de la flexión) y a cortante combinados.

#### b) En el caso de tornillos TR

En este caso la tracción de la flexión descomprimirá parcial o totalmente la compresión de ajuste de los tornillos. Suponiendo un estado de deformación plano en la flexión, el esfuerzo del tornillo más alejado de la fibra neutra será:

$$N = \frac{M \cdot d_i \cdot A_i}{I} \quad \text{siendo } I = \sum A_i d_i^2$$

siendo  $d_i$  la distancia de cada centro del tornillo al eje neutro.

Y si, como es habitual, los tornillos son iguales  $N = \frac{M \cdot d_i}{\sum d_i^2}$

Todos los esfuerzos de tracción a que esté sometido un tornillo deberán ser menores la tensión de agotamiento definida en el apartado 3.

En los tornillos de la zona comprimida no hace falta comprobación.

La comprobación a cortante se realiza sin tener en cuenta la descompresión por la flexión, es decir, como dice el apéndice 3.2.

## 6. TABLAS AUXILIARES

Tipo	Diámetro de caña mm	Área de la sección		Solicitud de agotamiento	
		Espiga ( $A \text{ cm}^2$ )	Resist. ( $A_r \text{ cm}^2$ )	Simple cort. <sup>1)</sup> (t)	Tracción <sup>2)</sup> (t)
T 10	10	0,78	0,580	1,216	1,113
T 12	12	1,13	0,843	1,763	1,618
T 16	16	2,01	1,57	3,135	3,014
T 20	20	3,14	2,75	4,898	5,280
T 22	22	3,80	3,03	5,928	5,817
T 24	24	4,52	3,53	7,051	6,777
T 27	27	5,72	4,56	8,923	8,755
T 30	30	7,06	5,61	11,013	10,771
T 33	33	8,55	6,94	13,338	13,324
T 36	36	10,17	8,17	15,865	15,686

<sup>1)</sup> el agotamiento a simple cortadura se produce para:

$$F_u = 0,65 \cdot \sigma_t \cdot A$$

<sup>2)</sup> el agotamiento a tracción se produce para:

$$F_u = 0,80 \cdot \sigma_t \cdot A_r$$

*Solicitaciones de agotamiento de tornillos ordinarios de acero A4.6.*

Tipo	Diámetro de caña mm	Área de la sección		Solicitud de agotamiento	
		Espiga ( $A \text{ cm}^2$ )	Resist. ( $A_r \text{ cm}^2$ )	Simple cort. <sup>1)</sup> (t)	Tracción <sup>2)</sup> (t)
TC 10	11	0,95	0,580	2,280	1,392
TC 12	13	1,32	0,843	3,168	2,023
TC 16	17	2,26	1,57	5,424	3,768
TC 20	21	3,46	2,75	8,304	6,600
TC 22	23	4,15	3,03	9,960	7,272
TC 24	25	4,90	3,53	11,760	8,472
TC 27	28	6,15	4,56	14,760	10,944
TC 30	31	7,54	5,61	18,096	13,464
TC 33	34	9,07	6,94	21,768	16,656
TC 36	37	10,75	8,17	25,800	19,608

<sup>1)</sup> el agotamiento a simple cortadura de TC se produce para:

$$F_u = 0,80 \cdot \sigma_t \cdot A$$

<sup>2)</sup> el agotamiento a tracción de TC se produce para:

$$F_u = 0,80 \cdot \sigma_t \cdot A_r$$

*Solicitaciones de agotamiento de tornillos calibrados de acero A4.6.*