

## TEMA 11

### UNIONES ATORNILLADAS

CE, Anejo 26, apdo. 3 “Conexiones con tornillos o bulones”  
y apdo. 6 “Uniones estructurales entre secciones en H o en I”

1. INTRODUCCIÓN
2. MEDIOS DE UNIÓN
3. ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DE LA UNIÓN
4. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA UNIÓN
5. DISPOSICIONES PARA UNIONES ATORNILLADAS

# 1. INTRODUCCIÓN

## • Uniones de fuerza

- Transmiten esfuerzos entre los elementos estructurales que unen.
- Empalmes: Se utilizan para prolongar elementos estructurales.
- Comprobar el ELU de agotamiento por tensión en el elemento de unión y en los elementos estructurales unidos.

## • Uniones de atado o de acoplamiento

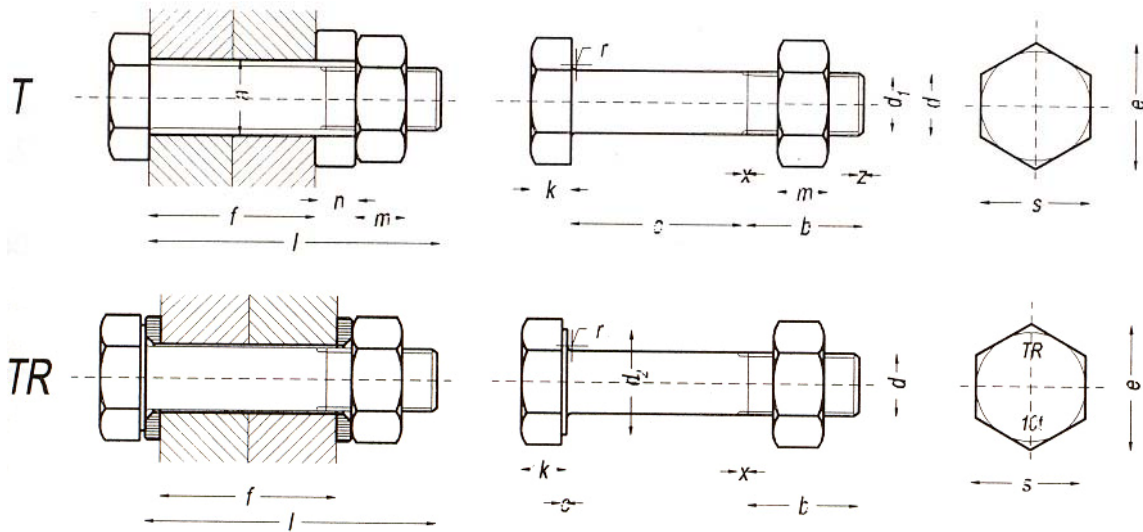
Sólo mantienen la posición de los elementos a unir.

## • Empleo uniones atornilladas frente a uniones soldadas

- En obra conllevan un montaje más rápido, seguro y económico, además de un fácil control de ejecución
- Permiten absorber deficiencias dimensionales, debidas a errores de fabricación, interponiendo forros y cuñas entre los elementos estructurales
- Construcción desmontable
- Uniones provisionales y de montaje
- Cuando no se dispone de energía eléctrica para ejecutar soldadura

## 2. MEDIOS DE UNIÓN

### • Tornillos ordinarios (T) y de alta resistencia (TR)



Fuente: Garcimartín MA, 2000

Prontuario CEDEX, Tabla 1.8:  $d = \varnothing$  espiga, vástago, caña;  $d_0 = \varnothing_{\text{taladro}}$   
 $f = \text{longitud apretadura} = \sum t_i$ ;  $l = \text{long. espiga}$

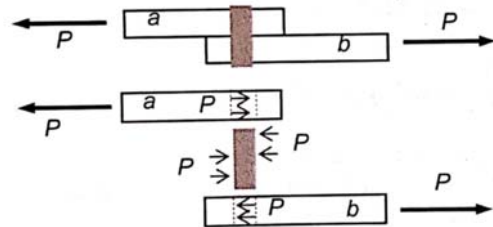


### Diferencia entre uniones no pretensadas y pretensadas ante esfuerzo tangente

#### Uniones no pretensadas (T o TR):

Trabajan a cortante

Resistentes a cortante y aplastamiento  
(categoría A)



#### Uniones pretensadas (solo TR):

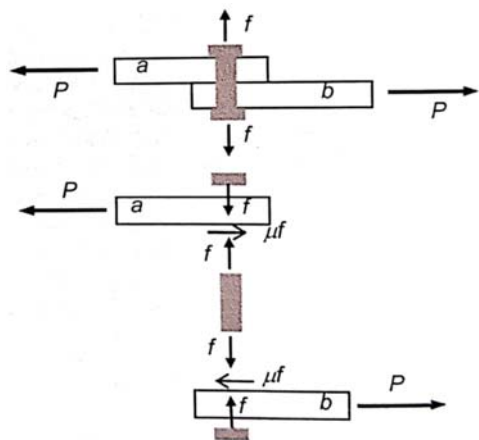
Se comprimen las chapas unidas (mediante pretensado -tracción- de la espiga), provocando fza. rozamiento en las chapas.

Resistentes a deslizamiento en ELS  
(categoría B) o en ELU (categoría C)

Métodos de apriete (CE, Art. 93.7, 2021):

¡Ojo! sólo 60-70 % Fuerza teórica de pretensado →

→ Homologar el procedimiento y cuidar el control en obra



Fuente: Gil LM,  
Hernández E, 2020

## • Diámetros

T o TR	$d$ (mm)	$d_0$ (mm)
12	12	(+1) 13
16	16	(+2) 18
20	20	(+2) 22
22	22	(+2) 24
24	24	(+2) 26
27	27	(+3) 30
30	30	(+3) 33
36	36	(+3) 39

Nota: Los diámetros más usuales van del 12 al 27

## • Aceros

Tabla 85.2.a Límite elástico mínimo  $f_{yb}$  y resistencia a tracción mínima  $f_{ub}$  de los tornillos (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Tornillos ordinarios			Tornillos de alta resistencia	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$	240	300	480	640	900
$f_{ub}$	400	500	600	800	1000

Fuente: CE, Art. 85, 2021

Recomendación del tipo de acero del tornillo en función del acero de las chapas:

Clase de tornillos	Acero de chapas a unir	Acero de tornillos
T	S 235	4.6
	S 275	5.6
	S 355	6.8
TR	Cualquiera	8.8 o 10.9

## • Designación

T o TR +  $\varnothing_{\text{caña}} \times \text{long. espiga, acero}$

Ejemplos:

T 16 × 80, 4.6

TR 20 × 55, 10.9

## • Uso

Unión no pretensada (T o TR):

- Uniones realizadas en obra de elementos no muy solicitados, de acero S235 o S275 y sin acciones dinámicas

Unión pretensada (TR):

- Inmovilidad de la unión (nudos rígidos)
- Buen comportamiento a tracción, fatiga y acciones dinámicas
- La unión trabaja siempre bajo la misma tensión, independiente de los esfuerzos exteriores existentes

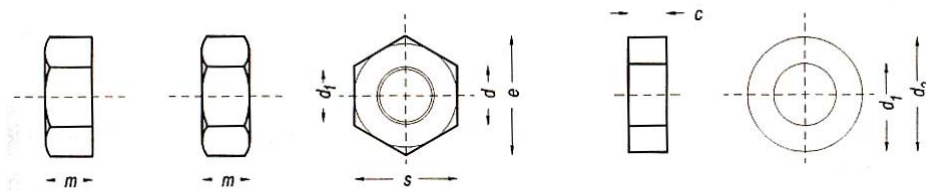
## • Tuercas y arandelas

FORMA  $\Rightarrow$  Arandelas: Circular o en cuña (ajuste a alas IPN/UPN)

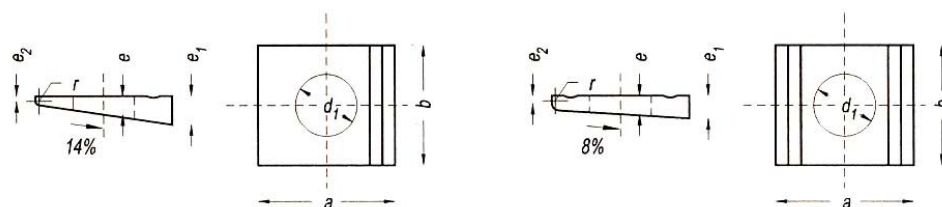
ACERO  $\Rightarrow$  - Tuercas: Igual que el de los tornillos excepto para TR

- Arandelas: Se viene empleando F115 ( $f_y = 10$  MPa)

### Tornillos ordinarios (T)



Tuercas y Arandelas para T y TC.



Arandelas para tornillos T y TC sobre perfiles IPN y UPN.

Fuente: Garcimartín MA, 2000

Tipos arandelas: - Negras (A)

- Para perfiles IPN (AI) o UPN (AU)

Designación: Tuercas **M + d**, Acero

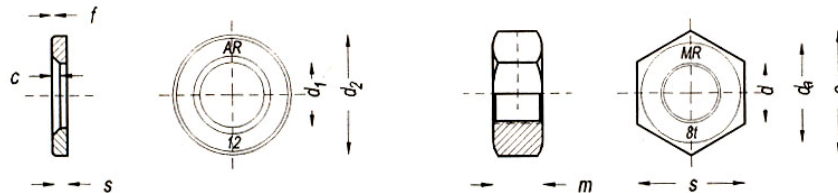
Arandelas **A o AI o AU + d**

Ejemplos: Tuerca M 16, 4.6

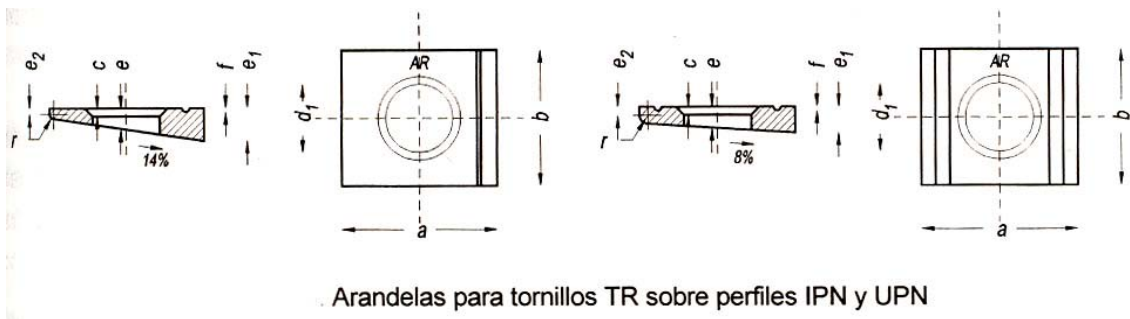
Arandela A 16

Arandela AU 16

### Tornillos de alta resistencia (TR)



Tuercas y Arandelas para tornillos TR



Arandelas para tornillos TR sobre perfiles IPN y UPN

Fuente: Garcimartín MA, 2000

Tipos arandelas: - Normales (AR)

- Para perfiles IPN (ARI) o UPN (ARU)

Designación: Tuercas **MR + d**, Acero

Arandelas **AR o ARI o ARU + d**

Ejemplos: Tuerca MR 27, 8.8

Arandela AR 12

Arandela ARI 20

### 3. ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DE LA UNIÓN

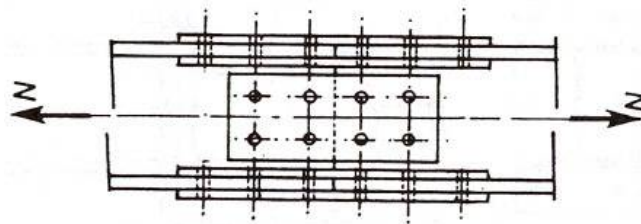
(NBE EA-95, 3.A5 y CTE DB SE-A, apdo. 8.8)

- UNIONES PLANAS:

- No pretensadas → Cortantes en tornillos

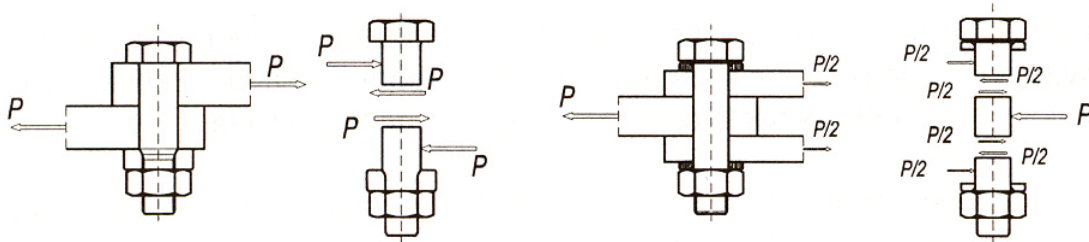
- Pretensadas → Esfuerzos tangenciales en zonas de tornillos

#### CORTANTE CENTRADO



Fuente: Argüelles R, 1975

Empalme de piezas traccionadas mediante cubrejuntas



Fuente: Garcimartín MA, 2000

El esfuerzo se reparte entre cada conector  $i$  proporcional a su sección  $A_i$ :

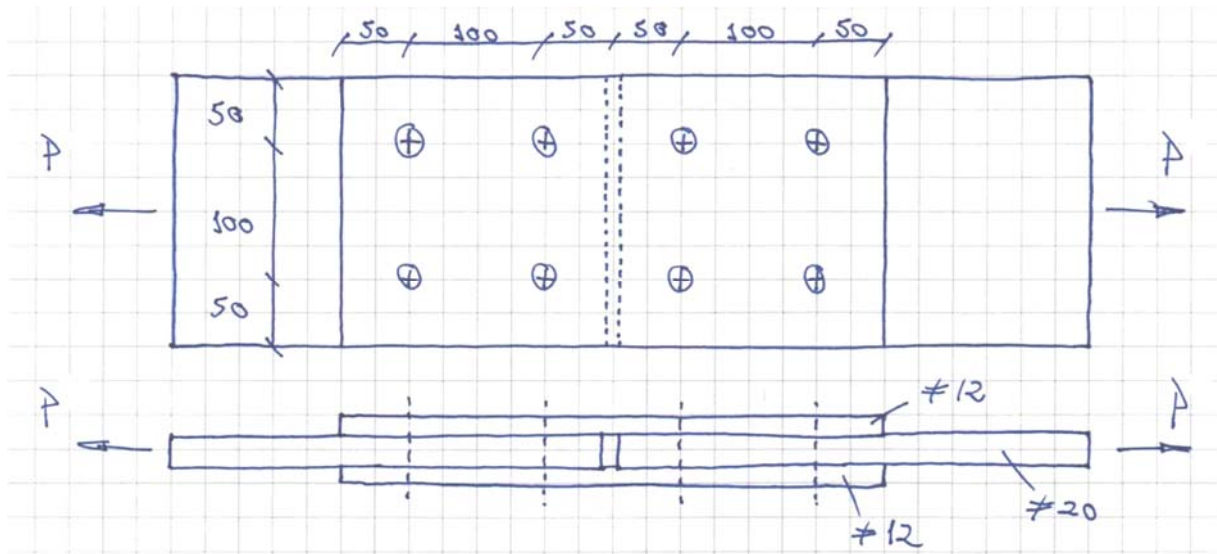
$$R_i = \frac{A_i}{\sum_i A_i} P$$

En el caso habitual de que todos los  $n$  tornillos tengan la misma sección:

$$R_i = \frac{P}{n}$$

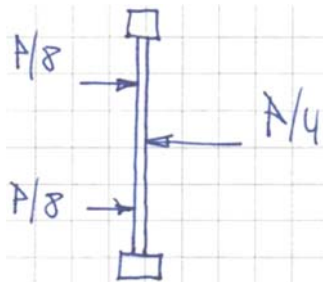
CTE DB SE-A, apdo. 8.8.2 ⇒ Empalmes con tornillos en piezas a axil

**Ejemplo:** Se pretende empalmar dos chapas de 20 mm de espesor mediante sendos cubrejuntas de 12 mm de espesor unidos con 8 tornillos.



Se pide obtener los esfuerzos en los elementos de la unión.

### 1) Caso de unión **no pretensada**:



Cortante en el tornillo  $F_{v,Ed}$  :

$P/8$  (resistido por un plano de corte), o bien

$P/4$  (resistido por dos planos de corte)

Aplastamiento en chapa  $\neq 20$   $F_{b,Ed} = P/4$

Aplastamiento en chapa  $\neq 12$   $F_{b,Ed} = P/8$

Tracción en chapa  $\neq 20$   $F_{t,Ed} = P$

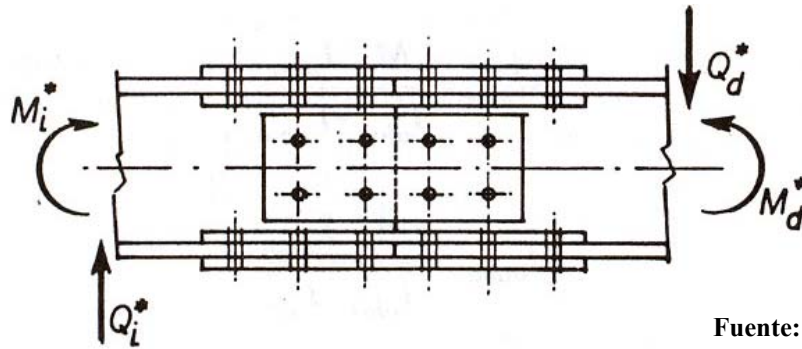
Tracción en chapa  $\neq 12$   $F_{t,Ed} = P/2$

### 2) Caso de unión **pretensada**:

- no se consideraría el aplastamiento en las chapas,
- el cortante sería un esfuerzo tangencial a considerar en la zona donde está ubicado cada tornillo (no un cortante en el tornillo), y
- la tracción en chapas sería la misma.

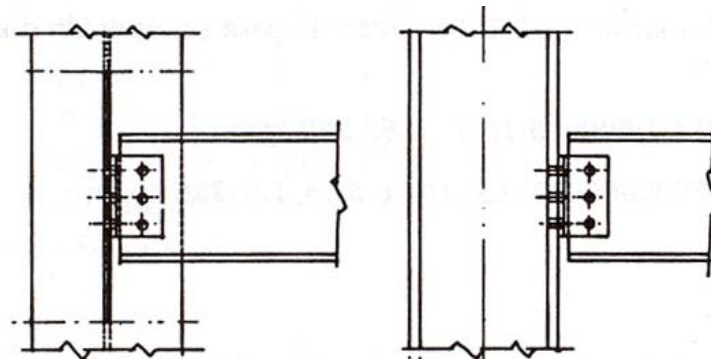


## CORTANTE EXCÉNTRICO (momento torsor en la unión)



Fuente: Argüelles R, 1975

Empalme de vigas mediante cubrejuntas de alma y alas



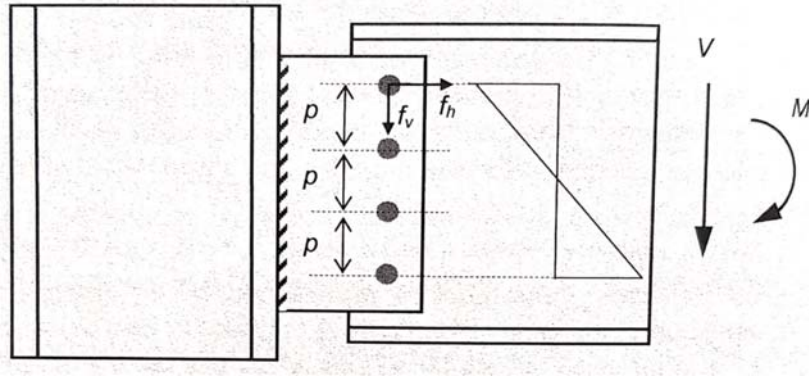
Fuente: Argüelles R, 1975

Unión articulada viga-columna

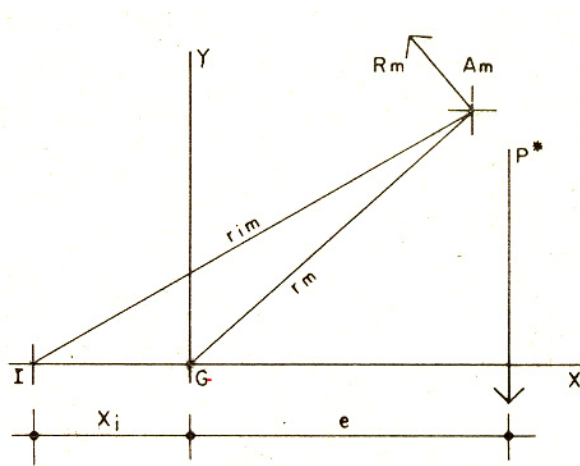
CTE DB SE-A, apdo. 8.8.4  $\Rightarrow$  Empalmes en piezas flectadas (con cubrejuntas)

CTE DB SE-A, apdo. 8.8.5  $\Rightarrow$  Uniones viga-viga o viga-soporte con doble casquillo de angular atornillado

## Distribución (reparto) LINEAL de esfuerzos entre tornillos



Fuente: Gil LM, Hernández E, 2020



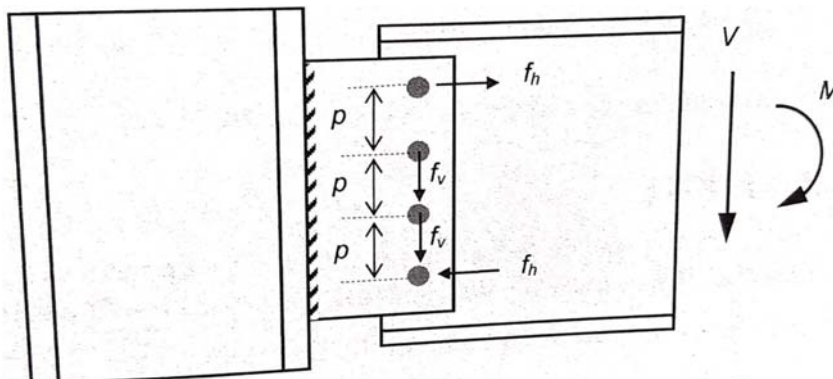
$$X_i = \frac{\sum r_m^2}{e \cdot n}$$

$$R_m = \frac{r_{im}}{\sum r_m^2} P^* e$$

Fuente: NBE EA-95, 1996

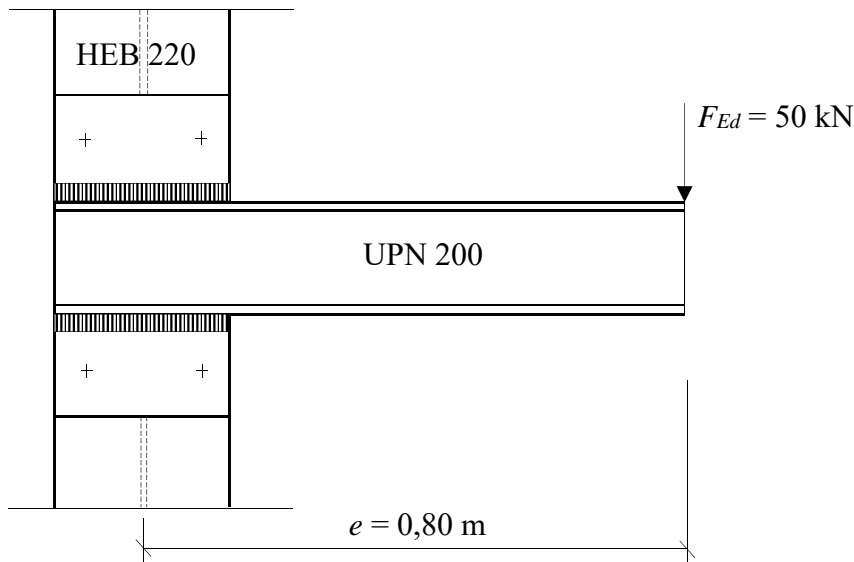
## Distribución (reparto) PLÁSTICA de esfuerzos entre tornillos

El **momento** se suele repartir entre los tornillos más exteriores y el **cortante** entre los más interiores, sin perjuicio de que también puedan repartirse entre todos.

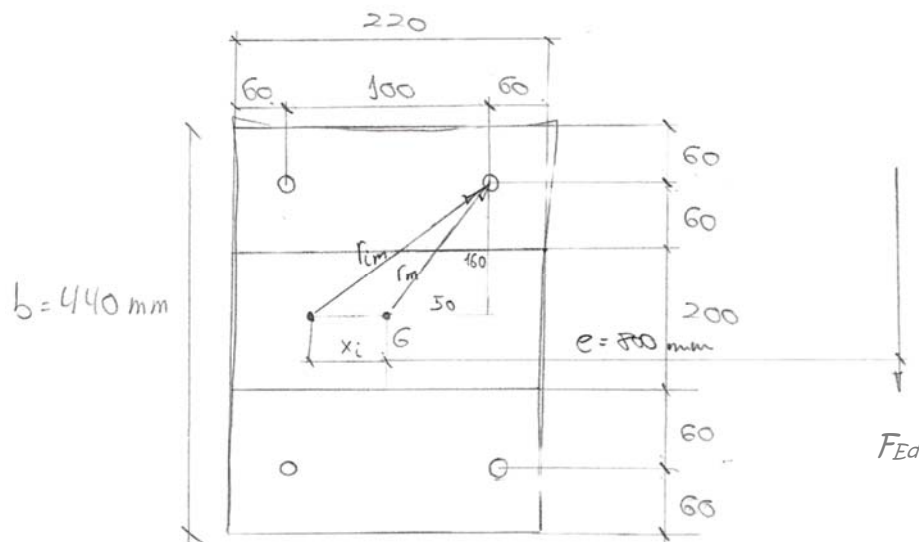


Fuente: Gil LM, Hernández E, 2020

**Ejemplo:** La unión atornillada cartela-soporte de la figura consta de 4 tornillos, dos superiores y dos inferiores dispuestos simétricamente. Los dos superiores están situados a una distancia 60 mm del perfil UPN 200 y a esa misma distancia (60 mm) del borde de la chapa, tanto frontal como lateralmente. La separación entre ambos tornillos es 100 mm. Obtener los esfuerzos en los tornillos.



1) Si se adopta distribución LINEAL de esfuerzos entre tornillos:



$$X_i = \frac{\sum r_m^2}{e \cdot n} = \frac{4(50^2 + 160^2)}{800 \cdot 4} = \frac{112400}{800 \cdot 4} = 35,125 \text{ mm}$$

$$R_m = \frac{r_{im}}{\sum r_m^2} F_{Ed} \cdot e = \frac{\sqrt{(35,125 + 50)^2 + 160^2}}{112400} 50 \cdot 800 = \underline{\underline{64,50 \text{ kN}}}$$

## 2) Si se adopta distribución PLÁSTICA de esfuerzos entre tornillos:

La unión está solicitada a momento  $M_{Ed}$  y a cortante  $F_{Ed}$

$$M_{Ed} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ kNm}$$

$$F_{Ed} = 50 \text{ kN}$$

El momento se puede descomponer en un par de fuerzas horizontales  $f_h$  aplicadas, una en la fila superior de tornillos, y la otra, en la inferior:

$$f_h = M_{Ed} / (60+200+60) = 40 \cdot 10^6 / 320 = 125.000 \text{ N} = 125 \text{ kN}$$

Esta fuerza hay que dividirla entre los dos tornillos de la fila:

$$125/2 = 62,5 \text{ kN/tornillo}$$

El cortante  $F_{Ed}$  se puede distribuir entre todos los tornillos:

$$50/4 = 12,5 \text{ kN/tornillo}$$

Cada tornillo resiste, entonces, dos fuerzas, una horizontal 62,5 kN y otra vertical 12,5 kN. Componiendo ambas fuerzas resulta un cortante en cada tornillo:

$$R_m = \sqrt{62,5^2 + 12,5^2} = \underline{63,74 \text{ kN}}$$

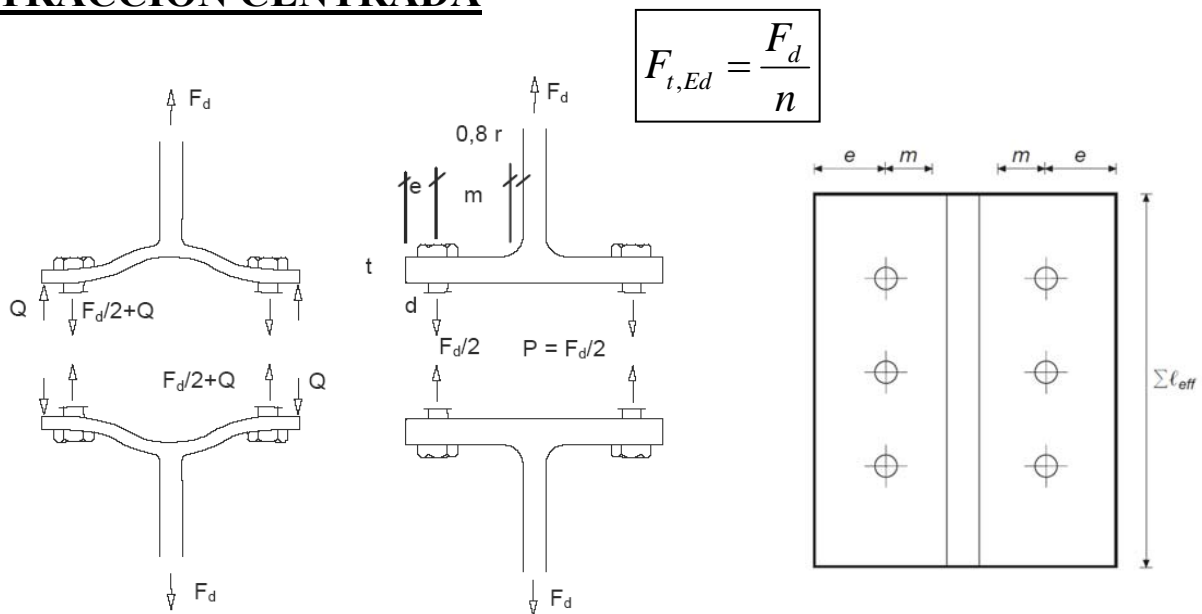
Este valor ha resultado ser muy similar al de la distribución lineal por existir solo cuatro tornillos, dispuestos simétricamente, y haber repartido el momento y el cortante entre los cuatro.

Por último, en el caso de tratarse de una unión **no pretensada**,  $R_m$  sería el cortante en el tornillo más solicitado y, debido a la reacción de la chapa, también sería el esfuerzo de aplastamiento en la chapa.

Pero en el caso de tratarse de una unión **pretensada**,  $R_m$  sería un esfuerzo tangencial en la zona de ubicación del tornillo más solicitado (no un cortante en el tornillo), y el aplastamiento en la chapa no tendría sentido considerarlo.

## • UNIONES FRONTALES → TRACCIONES EN TORNILLOS

### TRACCIÓN CENTRADA



Fuente: CTE DB SE-A, 2006

Fuente: CE, Anejo 26, 2021

### Efecto palanca:

Aparecen modos o mecanismos de rotura por formación de rótulas plásticas

Comprobación: CE, An. 26, apdo.6.2.4 “Sección en T equivalente a tracción”

### No efecto palanca (condición de chapa suficientemente rígida):

$$L_b > \frac{8,8m^3 A_s n_b}{\sum l_{eff} t_f^3}$$

$L_b$  longitud de elongación del tornillo (distancia entre ejes de la cabeza a la tuerca) o del perno de anclaje ( $8d + \text{mortero} + \text{placa} + \text{arandela} + \text{eje tuerca}$ )

$m$  distancia desde eje del taladro al comienzo del redondeo o soldadura (ver figura)

$A_s$  área traccionada del tornillo o del perno de anclaje

$n_b$  número de filas<sup>(\*)</sup> de tornillos, considerando 2 tornillos por fila<sup>(\*)</sup>

$\sum l_{eff}$  longitud eficaz en flexión del ala de la T (suele ser el ancho del ala)

$t_f$  espesor del ala (de una chapa)

<sup>(\*)</sup>Nota: En adelante, la palabra “fila” debe entenderse como “alineación” de tornillos, pudiendo tratarse de una fila (o alineación) horizontal o vertical, según sea el caso resistente estudiado.

## **TRACCIÓN EXCÉNTRICA (momento flector en la unión)**

### **Caso de uniones pretensadas (categoría E):**

TR: Piezas comprimidas  $\Rightarrow$  El momento tiende a descomprimir la parte traccionada y a comprimir más la zona comprimida

### **Caso de uniones no pretensadas (categoría D):**

T: Piezas no comprimidas

CTE DB SE-A, apdo. 8.8.4  $\Rightarrow$  Empalmes en piezas flectadas con chapa frontal

CTE DB SE-A, apdo. 8.8.6  $\Rightarrow$  Uniones viga-pilar con chapa frontal

En la página siguiente se reproduce el Anejo 3.A5, p. 199, NBE EA-95 con los métodos de obtención de la tracción en los tornillos en ambos casos.

### Uniones pretensadas (categoría E):

Uniones a flexión con roblones o tornillos de alta resistencia

El esfuerzo en un elemento de sección  $A_m$ , a una distancia  $d_m$  del centro de gravedad (figura 3.A5.3) es:

$$F_m^* = \frac{M^* d_m A_m}{I}; I = \sum_{m=1}^n A_m d_m^2$$

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

$$F_m^* = \frac{M^* d_m}{I}$$

donde:

$$I = \sum_{m=1}^n d_m^2$$

y el valor  $F_m^*$  se utilizará para la comprobación del roblón o tornillo de alta resistencia, considerando únicamente, en los casos normales en la práctica, los situados en la zona de tracción.

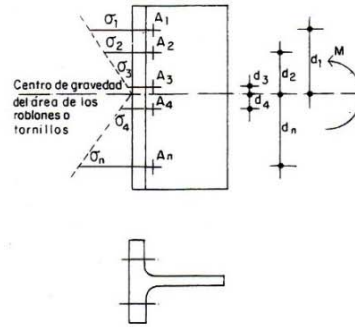


Figura 3.A5.3 Centro de gravedad de los roblones o tornillos

### Uniones no pretensadas (categoría D):

Uniones a flexión con tornillos ordinarios o calibrados

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

La posición del eje neutro viene determinada por la ecuación:

$$\left. \begin{aligned} c + c_1 &= h \\ \frac{c_1}{c} &= \sqrt{\frac{a}{b}} \end{aligned} \right\} \rightarrow c, c_1$$

donde: *área de 1 tornillo*

$a = \frac{A}{s} \cdot m$  es el ancho del área equivalente de la sección de los tornillos supuestos uniformes;

$m$  es el número de filas paralelas de tornillos (véase figura 3.A5.4). (normalmente  $m = 2$ )

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

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

La máxima tensión de compresión en la placa es:

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

donde:

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

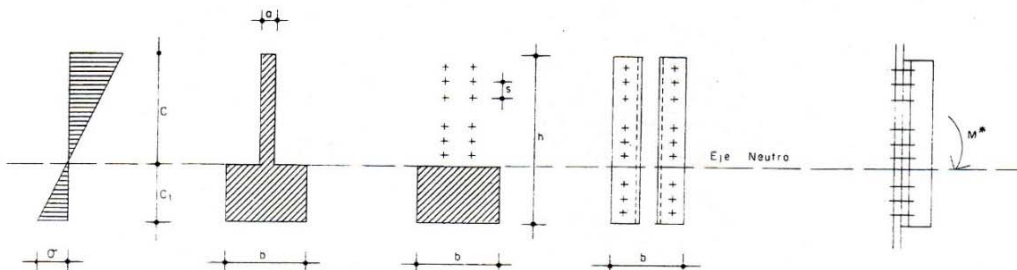
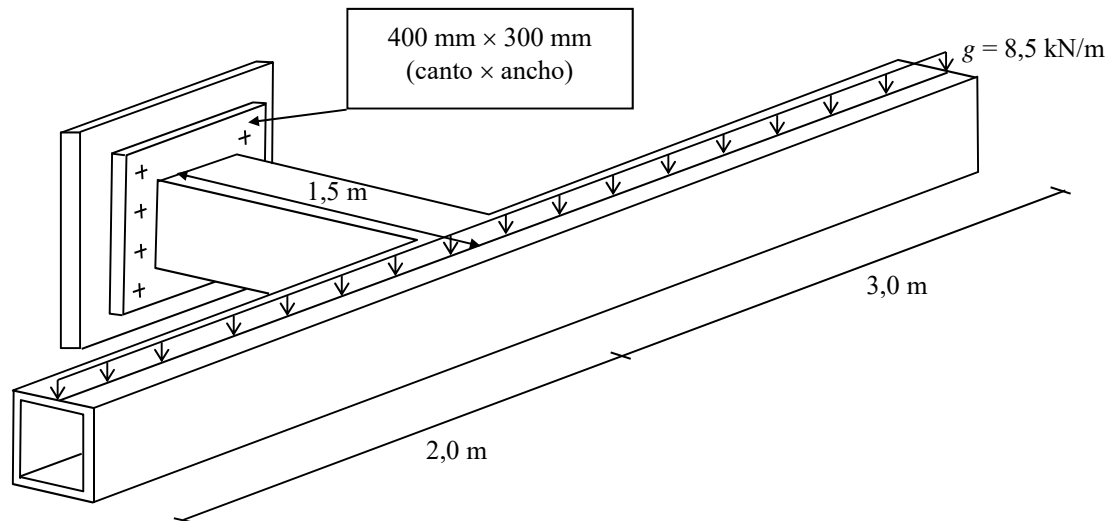


Figura 3.A5.4 Posición del eje neutro

Fuente: NBE EA-95, 1996

- $A = A_s$  área resistente a tracción del tornillo
- $h$  canto de la chapa, medido desde la primera fila de tornillos traccionados
- $b$  ancho de la chapa

**Ejemplo:** Obtener los esfuerzos en los elementos de la unión de la figura (pieza con sección en cajón y planta en T unida a una placa frontal), considerando las dimensiones y la acción permanente característica indicadas. La unión está compuesta por 8 tornillos M22, separados entre sí verticalmente 100 mm y horizontalmente 200 mm, y distanciados 50 mm de cada borde (lateral y frontal).



### Esfuerzos en la unión:

$$\text{Acción de cálculo } g_d = 1,35 \cdot 8,5 = 11,48 \text{ kN/m}$$

$$\text{Cortante } V_{Ed} = 11,48 \cdot 5 = 57,40 \text{ kN}$$

$$\text{Flector } M_{Ed} = 1,5 \cdot V_{Ed} = 86,10 \text{ kNm}$$

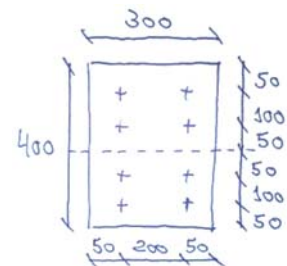
$$\text{Torsor } T_{Ed} = 3 \cdot g_d \cdot 1,5 - 2 \cdot g_d \cdot 1 = 28,70 \text{ kNm}$$

**Esfuerzos en el tornillo  $m$**  (más solicitado, el más alejado):

**Tracción (caso unión pretensada):**

$$F_m = \frac{M_{Ed}}{I'} d_m = \frac{86,10}{0,10} 0,15 = \underline{\underline{129,15 \text{ kN}}}$$

$$\text{siendo } I' = \sum d_m^2 = 4(0,05^2 + 0,15^2) = 0,10 \text{ m}^2$$





**Tracción (caso unión no pretensada):**

$A = A_s = 303 \text{ mm}^2$       área resistente a tracción del tornillo M22

$h = 350 \text{ mm}$       canto de la chapa, medido desde la primera fila de tornillos traccionados

$b = 300 \text{ mm}$       ancho de la chapa

$s = 100 \text{ mm}$       separación vertical entre tornillos

$m = 2$       número de filas verticales paralelas de tornillos

$$a = A \cdot m / s = 303 \cdot 2 / 100 = 6,06 \text{ mm}$$

Para obtener los parámetros  $c$  y  $c_1$  se plantea el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} c + c_1 = h \\ \frac{c_1}{c} = \sqrt{\frac{a}{b}} \end{array} \right\}$$

de donde se despeja:

$$c = \frac{h}{1 + \sqrt{\frac{a}{b}}} = \frac{350}{1 + \sqrt{\frac{6,06}{300}}} = \frac{350}{1 + 0,1421} = 306,45 \text{ mm}$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{a}{b}} \cdot c = 0,1421 \cdot 306,45 = 43,55 \text{ mm}$$

Momento de inercia  $I$ :

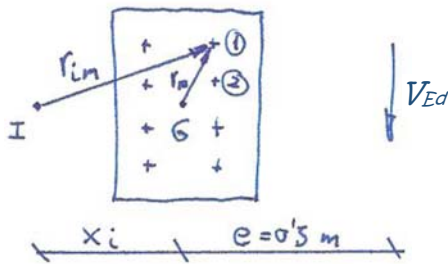
$$I = \frac{a \cdot c^3}{3} + \frac{b \cdot c_1^3}{3} = \frac{6,06 \cdot 306,45^3}{3} + \frac{300 \cdot 43,55^3}{3} = 66,39 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

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

$$F_m = \frac{M_{Ed} \cdot c}{I} \cdot \frac{a \cdot s}{m} = \frac{86,10 \cdot 10^6 \cdot 306,45}{66,39 \cdot 10^6} \cdot \frac{6,06 \cdot 100}{2} = \underline{\underline{120,42 \text{ kN}}}$$

**Cortante (excéntrico):**

$$\text{Excentricidad } e = T_{Ed} / V_{Ed} = 28,70 / 57,40 = 0,5 \text{ m}$$



$$r_{m1}^2 = 0,10^2 + 0,15^2 = 0,0325 \text{ m}^2$$

$$r_{m2}^2 = 0,10^2 + 0,05^2 = 0,0125 \text{ m}^2$$

$$X_i = \frac{\sum r_m^2}{e \cdot n} = \frac{4(0,0325 + 0,0125)}{0,5 \cdot 8} = 0,045 \text{ m}$$

$$r_{im} = \sqrt{(0,045 + 0,10)^2 + 0,15^2} = 0,2086 \text{ m}$$

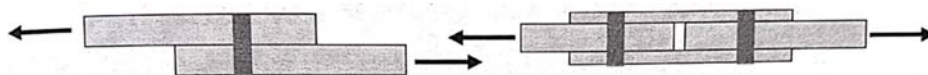
$$R_m = \frac{r_{im}}{\sum r_m^2} V_{Ed} \cdot e = \frac{0,2086}{4(0,0325 + 0,0125)} 57,40 \cdot 0,5 = \underline{\underline{33,26 \text{ kN}}}$$

## 4. RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS DE LA UNIÓN

Comprobación	No pretensada (T o TR)	Pretensada (TR)
<b><u>Aplastamiento de la chapa</u></b> (contra el tornillo)	$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2}$	—
<b><u>Agotamiento por cortante en el tornillo</u></b>	$F_{v,Rd} = 0,6^* f_{ub} A n / \gamma_{M2}$ *0,5 si plano de corte en zona roscada del tornillo y acero 4.8, 5.8 o 10.9	$F_{s,Rd} = k_s n \mu F_{p,C} / \gamma_{M3}$
<b><u>Agotamiento por tracción en el tornillo</u></b>	El menor valor de: $F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$ $B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	$F_{p,Cd} = F_{p,C} / \gamma_{M7}$
<b><u>Agotamiento por tracción y cortante en el tornillo</u></b>	Además de lo anterior: $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1$	$F_{s,Rd} = k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed}) / \gamma_{M3}$ O si hay M+Q: $F_{s,Rd} = k_s n \mu F_{p,C} / \gamma_{M3}$

### Uniones NO PRETENSADAS (T o TR):

- $F_{b,Rd}$  resistencia a aplastamiento de la chapa
- $k_1$   $\min(2,8e_2/d_0 - 1,7 ; 1,4p_2/d_0 - 1,7 ; 2,5)$
- $e_2$  distancia eje tornillo-borde chapa, dirección  $\perp$  fza. transmitida
- $p_2$  separación entre ejes tornillos, dirección  $\perp$  fuerza transmitida
- $d_0$  diámetro del taladro
- $\alpha_b$   $\min(e_1/3d_0 ; p_1/3d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u ; 1)$
- $e_1$  distancia eje tornillo-borde chapa, dirección fuerza transmitida
- $p_1$  separación entre ejes tornillos, dirección fuerza transmitida
- $f_{ub}$  resistencia última del acero del tornillo
- $f_u$  resistencia última del acero estructural
- $d$  diámetro del tornillo
- $t$  menor espesor de las chapas a unir
- $\gamma_{M2}$  = 1,25 resistencia de los medios de unión
- $F_{v,Rd}$  resistencia a cortante del tornillo
- $n$  nº planos de corte (o nº superficies de rozamiento, para TR pretens.)



$n = 1$  (simple cortadura)

$n = 2$  (doble cortadura)

Fuente: Gil LM, Hernández E, 2020

$A$  =  $A_d$  área de la sección transversal bruta del tornillo (plano de corte en la zona lisa del tornillo).  $A_d = \pi d^2/4$   
 =  $A_s$  área resistente a tracción del tornillo (plano de corte en la zona roscada del tornillo). Según CTE DB SE-A, Tabla 7.3:

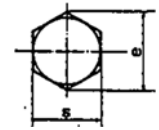
$\varnothing$ (mm)	12	16	20	22	24	27	30	36
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	84,3	157	245	303	353	459	561	817

$F_{t,Rd}$  resistencia a tracción del tornillo

$B_{p,Rd}$  resistencia a punzonamiento de una chapa de espesor  $t_p$

$t_p$  espesor de la chapa junto a la tuerca o cabeza del tornillo

$d_m$  =  $\min(e, s)$  menor valor de la distancia entre vértices ( $e$ ) y entre caras ( $s$ ) de la cabeza del tornillo o la tuerca



$F_{v,Ed}$  cortante en el tornillo

$F_{t,Ed}$  tracción en el tornillo, a la que se añadirá, en su caso, la tracción debida al efecto palanca

### Uniones PRETENSADAS (TR):

$F_{s,Rd}$  resistencia a deslizamiento del TR

$F_{p,C}$   $0,7 f_{ub} A_s$  fuerza de pretensado del TR (CE, Tít. 3, Tabla 93.7 [kN]):

Acero del tornillo	Diámetro del tornillo (mm)							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

$k_s$  1,00 (para taladros normalizados con holguras estándar)

$\mu$  coeficiente de rozamiento entre las superficies en contacto, función del tratamiento superficial (CE, Tít. 3, Tabla 93.8)

0,50 chorreado o granallado

0,40 chorreado/granallado y pintadas con silicato alcalino de zinc

0,30 limpieza por cepillado o flameo, con eliminación de toda la cascarilla o herrumbre

0,20 sin tratamiento

$\gamma_{M3}$  = 1,25 resistencia a deslizamiento en ELU

= 1,10 resistencia a deslizamiento en ELS

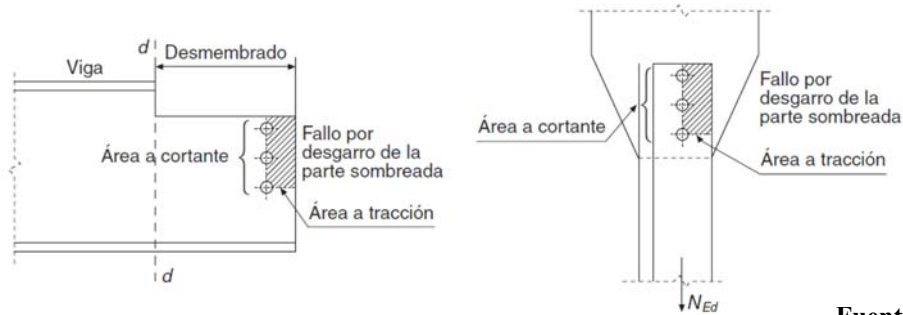
$\gamma_{M7}$  = 1,10 precarga de tornillos de alta resistencia

- **Otras posibles comprobaciones en chapas:**

- **Flexión:** Sección rectangular sometida a momento y/o cortante

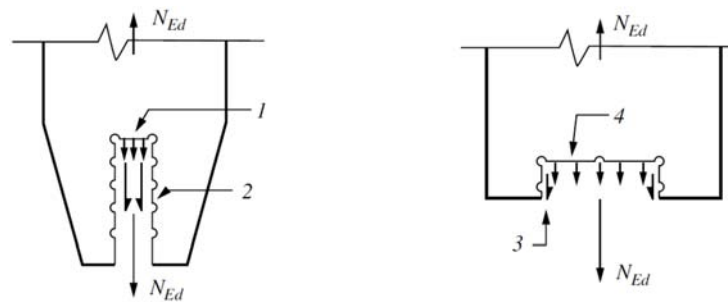
- **Desgarro:** Fallo por tracción y cortante a lo largo de las líneas de taladros

**Extremo de pieza sin ala (por desmiembre o por inexistencia)**



Fuente: EAE, 2012

**Cartela traccionada (con más taladros en una dirección que en la perpendicular)**



1. Fuerza de tracción pequeña
2. Fuerza cortante grande
3. Fuerza cortante pequeña
4. Fuerza de tracción grande

Fuente: CE, Anejo 26, 2021

### Resistencia a desgarro de chapas

Grupo simétrico de tornillos sometido a cargas concentradas:

$$V_{eff,1,Rd} = A_{nt}f_u/\gamma_{M2} + A_{nv}(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}$$

Grupo de tornillos sometido a cargas excéntricas:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5A_{nt}f_u/\gamma_{M2} + A_{nv}(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}$$

$A_{nt}$  área neta de la zona sometida a tracción

$A_{nv}$  área neta de la zona sometida a cortante

## 5. DISPOSICIONES PARA UNIONES ATORNILLADAS

- **Valores mín/máx para las *distancias*  $e_i$  (de ejes de tornillos a bordes de pieza) o las *separaciones*  $p_i$  (entre ejes de tornillos)**

- Distancias mínimas  $\Rightarrow$  Desgarro de chapas
- Distancias máximas  $\Rightarrow$  Corrosión de chapas
- Separaciones mínimas  $\Rightarrow$  Concentración de tensiones entre tornillos
- Separaciones máximas  $\Rightarrow$  Abolladura de chapas entre tornillos

Dependen de  $d_0$  (diámetro taladro) y  $t$  (menor espesor de las chapas):

$$1,2 d_0 \leq e_1, e_2 \leq 4 t + 40 \text{ mm}$$

$$2,2 d_0 \leq p_1 \leq \min (14 t, 200 \text{ mm})$$

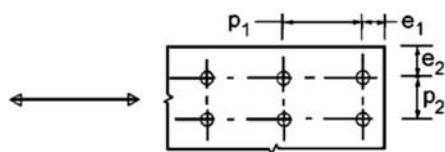
$$2,4 d_0 \leq p_2 \leq \min (14 t, 200 \text{ mm})$$

$$p_{1,0} \leq \min (14 t, 200 \text{ mm}) \text{ elemento a tracción, fila exterior}$$

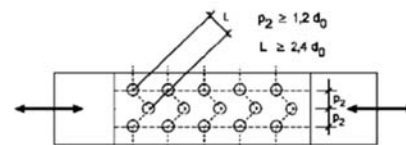
$$p_{1,i} \leq \min (28 t, 400 \text{ mm}) \text{ elemento a tracción, fila interior}$$

siendo:

- $e_1$  distancia eje tornillo-borde frontal (en dirección de la fuerza)
- $e_2$  distancia eje tornillo-borde lateral (en dirección  $\perp$  a la fuerza)
- $p_1$  separación entre ejes de tornillos (en dirección de la fuerza)
- $p_2$  separación entre ejes de tornillos (en dirección  $\perp$  a la fuerza)

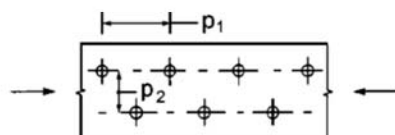


a) Notación de separación entre elementos de unión



Filas de elementos de unión al tresbolillo

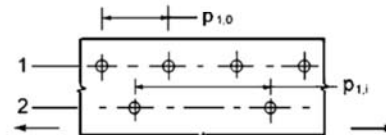
b) Notación para disposición al tresbolillo



$$p_1 \leq 14t \text{ y } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 \leq 14t \text{ y } \leq 200 \text{ mm}$$

c) Separación al tresbolillo para elementos sometidos a compresión



$$p_{1,0} \leq 14t \text{ y } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_{1,i} \leq 28t \text{ y } \leq 400 \text{ mm}$$

1 Fila exterior 2 Fila interior

d) Separación al tresbolillo en elementos sometidos a tracción

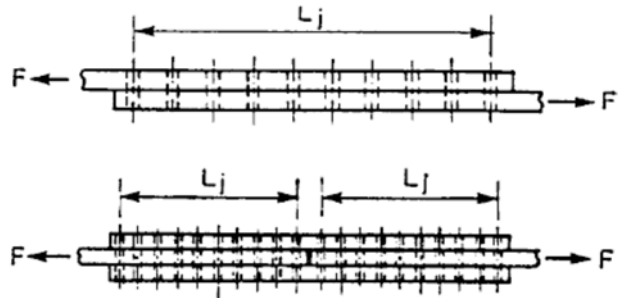
Fuente: CE, Fig. A26.3.1, 2021

- **Uniones largas** (CE, apdo. 3.8, 2021)

Cuando la distancia  $L_j$  entre ejes de tornillos extremos en la dirección de la carga sea  $L_j > 15d$  :

Reducir  $F_{v,Rd} \rightarrow \beta_{Lf} F_{v,Rd}$

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \geq 0,75$$



Fuente: CE, Fig. A26.3.7, 2021

- **Recomendaciones sobre el número de tornillos:**

- Mínimo: 2 tornillos/fila
- Máximo: No considerar en el cálculo  $> 5$  tornillos/fila paralela al esfuerzo

- **Recomendaciones para elegir el diámetro  $d$  del tornillo:**

Perfil laminado  $\Rightarrow$  Prontuario

Chapas  $\Rightarrow d$  (cm)  $\approx \sqrt{5t_{\min}} - 0,2$  ( $t_{\min}$  en cm)

- **Elección de  $l$ :**

Tablas prontuario (función de  $d$  y de la longitud de apretadura  $f = \sum t_i$ )