



# Programa de Aprendizaje Permanente

## SKILLS Project



# UNIONES RESISTENTES A MOMENTO – PARTE 2



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- **Ejemplo de diseño de las uniones atornilladas resistentes a momento (unión de alero)**
- **Comprobación a:**
  - ✓ **Momento resistente**
  - ✓ **Esfuerzo cortante**
  - ✓ **Rigidez rotacional inicial**

# ÍNDICE

- **Introducción**
- **Cálculo del momento resistente**
- **Cálculo a esfuerzo cortante**
- **Cálculo de la rigidez rotacional inicial de la unión**
- **Conclusión**

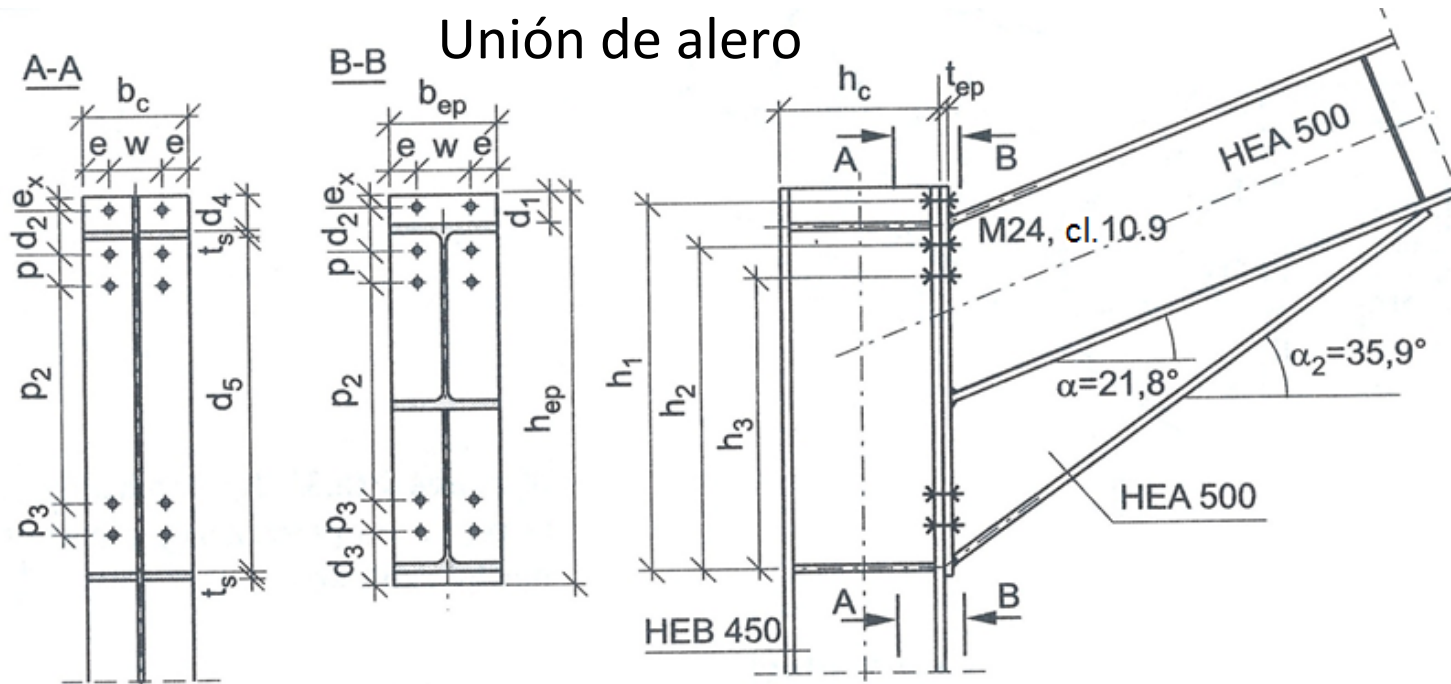


# INTRODUCCIÓN



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

# EJEMPLO – GEOMETRÍA



Unión tipo D (no pretensada)

Chapa frontal no rigidizada:  $t_{ep} = 25\text{mm}$ ,  $w = 150\text{mm}$ ,  $e = 75\text{mm}$

$b_{ep} = 300\text{mm}$ ,  $e_x = 40\text{mm}$ ,  $d_1 = 88\text{mm}$ ,  $d_2 = 125\text{mm}$ ,  $d_3 = 145\text{mm}$

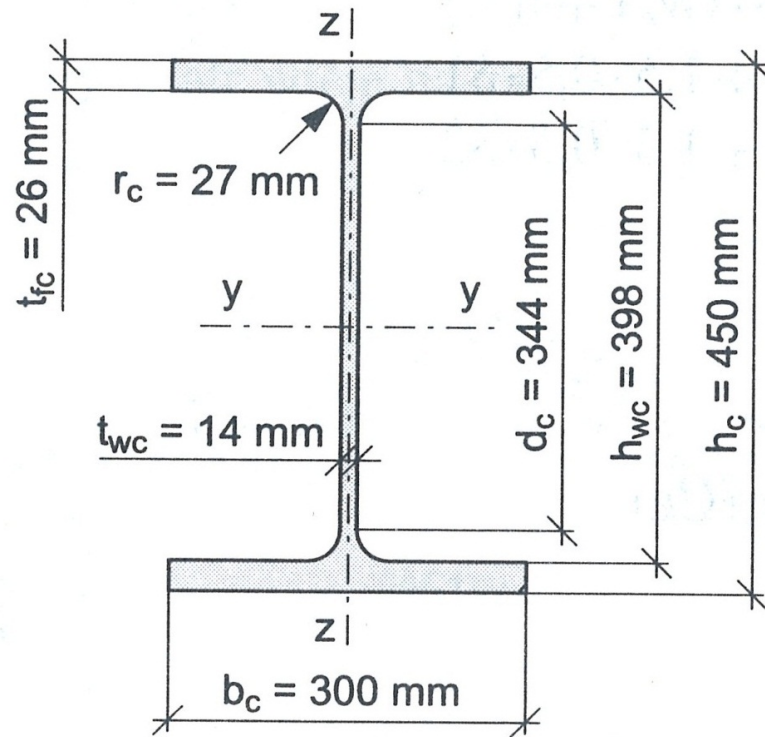
$d_4 = 100\text{mm}$ ,  $d_5 = 953\text{mm}$ ,  $p = 90\text{mm}$ ,  $p_2 = 620\text{mm}$ ,  $p_3 = 90\text{mm}$

$h_{ep} = 1110\text{mm}$ ,  $h_1 = 1044\text{mm}$ ,  $h_2 = 919\text{mm}$ ,  $h_3 = 829\text{mm}$

$L_b = 12924\text{mm}$  – longitud de la viga (desde la cumbrera hasta el alero)

$L_c = 5380\text{mm}$  – altura del pilar (desde  $\pm 0,00$  hasta la parte inferior de la cartela)

# EJEMPLO – SECCIONES



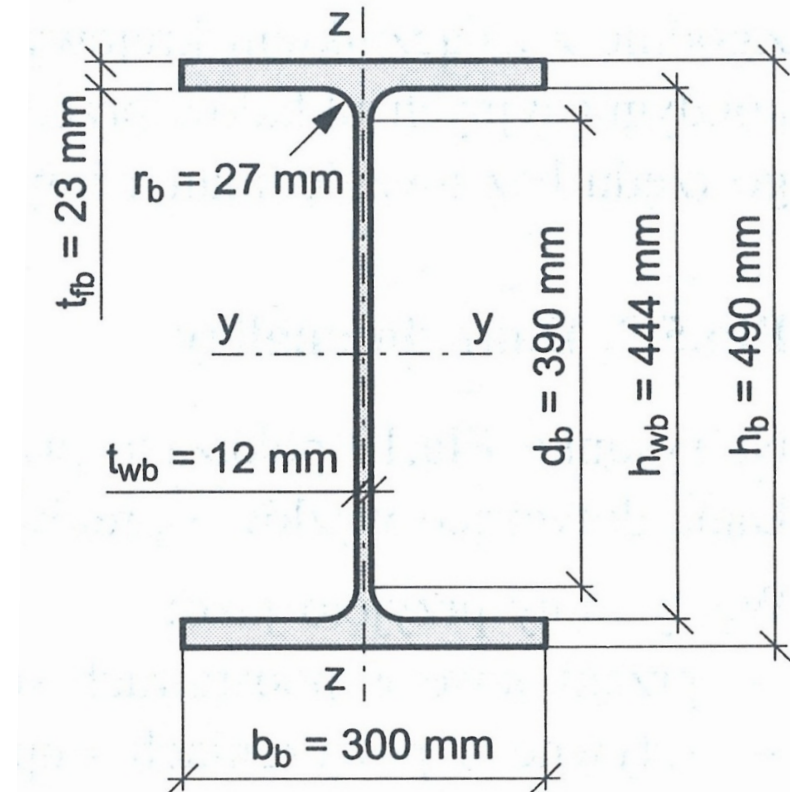
**Pilar: HEB 450**

$$A_c = 218 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,c} = 79890 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y,c} = 3551 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y,c} = 3983 \text{ cm}^3$$



**Viga: HEA 500**

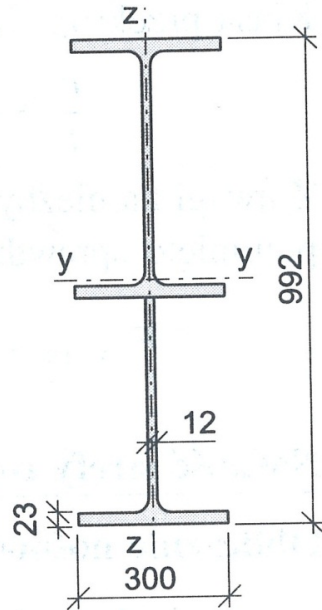
$$A_b = 197,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,b} = 86970 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y,b} = 3550 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y,b} = 3949 \text{ cm}^3$$

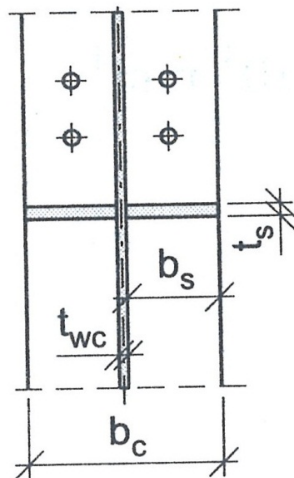
# EJEMPLO– RIGIDIZADORES DE LA VIGA Y DEL PILAR



**Cartela de la viga: a partir de una  
HEA 500**

$$b_h = 300\text{mm}$$

$$h_h = 992\text{mm}$$



**Rigidizadores del pilar:**

$$t_s = 20\text{mm}$$

$$b_s = 143\text{mm}$$

## EJEMPLO – PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

**Acero 235JR** (para todos los elementos estructurales):

$$f_y = 235\text{N/mm}^2,$$

$$f_u = 360\text{N/mm}^2 \quad (t < 40\text{mm})$$

Módulo de Elasticidad:  $E = 210000\text{N/mm}^2$

**Tornillos M24 cl. 10.9 SB:**

$$A_s = 353\text{mm}^2, f_{yb} = 900\text{N/mm}^2, f_{ub} = 1000\text{N/mm}^2$$

$$d = 24\text{mm}, d_0 = 26\text{mm}, k_2 = 0,9$$

Resistencia a tracción de 1 tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

## EJEMPLO– SOLDADURAS

Para elementos estructurales de acero S235JR  $\Rightarrow \beta_w = 0,8$  EN 1993-1-8  
**Soldadura entre chapa frontal-ala de la viga:** Tabla 4.1

$$a_f \geq t_{fb} \left( \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right) = 23 \left( \frac{235}{1,0} \right) \left( \frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \cdot \sqrt{2}} \right) = 10,6 \text{mm}$$

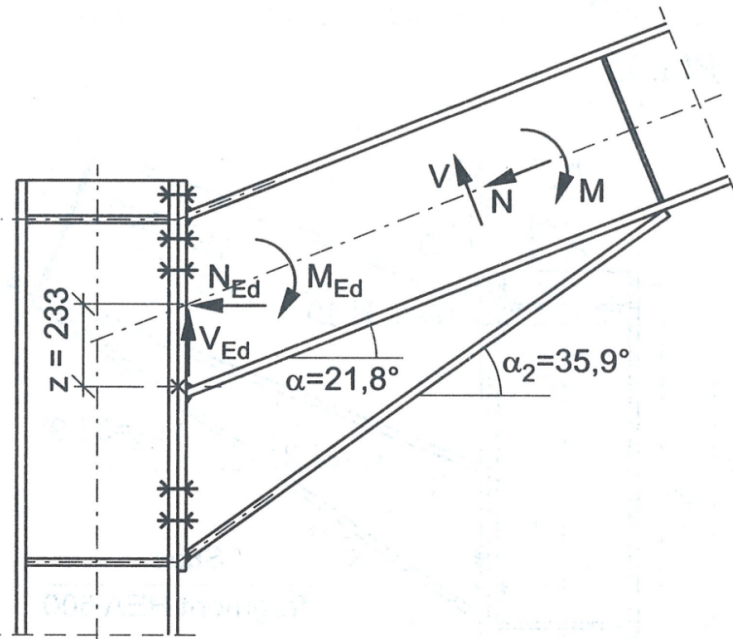
Para unir la chapa frontal con el ala de las viga se utilizan cordones de soldadura a tope de espesor  $a_f = 12 \text{mm}$ .

**Soldadura entre chapa frontal-alma de la viga:**

$$a_w \geq t_{wb} \left( \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u \sqrt{2}} \right) = 12 \left( \frac{235}{1,0} \right) \left( \frac{0,8 \cdot 1,25}{360 \sqrt{2}} \right) = 5,5 \text{mm}$$

Para unir la chapa frontal con el alma de la viga se utiliza un cordón de soldadura a tope de espesor  $a_f = 6 \text{mm}$ .

## EJEMPLO– ESFUERZOS



**Esfuerzos en la viga a la altura de la cartela:**

$$M = 629,25 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N = -170,55 \text{ kN}$$

$$V = 146,48 \text{ kN}$$

**Proyección de los esfuerzos en la viga sobre el plano vertical definido por la chapa frontal:**

$$V_{Ed} = V \cos \alpha - N \sin \alpha = 146,48 \cdot \cos 21,8 + 170,55 \cdot \sin 21,8 = 199,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = N \cos \alpha + V \sin \alpha = -170,55 \cdot \cos 21,8 + 146,48 \cdot \sin 21,8 = -103,9 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M - N_{Ed} z = 629,25 - 103,9 \cdot 0,233 = 605,0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

# CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente



# CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – GENERAL

## ➤ Pasos:

- ✓ Cálculo de la resistencia de la zona sometida a compresión  $F_{c,Rd}$
- ✓ Cálculo de la resistencia a cortante del panel del alma del pilar  $V_{wp,Rd}$
- ✓ Determinar la resistencia potencial de las filas de tornillos situadas en la zona sometida a tracción por separado  $F_{t,Rd(r)}$
- ✓ Cálculo de la resistencia total a tracción de cada fila de tornillos  $F_{tr,Rd}$
- ✓ Calcular la resistencia a momento como la suma de los esfuerzos de tracción multiplicados por sus respectivos brazos de palanca  $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} h_r$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

- La resistencia de diseño de la zona sometida a compresión puede venir limitada por:

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2

$$F_{c,Rd} = \min(F_{c,wc,Rd}, F_{c,fb,Rd}, F_{c,hb,Rd})$$

Componente	Símbolo	EN 1993-1-8 Número de cláusula
La resistencia del alma del pilar	$F_{c,wc,Rd}$	6.2.6.2
Resistencia del ala y del alma de la viga (dintel)	$F_{c,fb,Rd}$	6.2.6.7
Viga de refuerzo a compresión	$F_{c,hb,Rd}$	6.2.6.7/6.2.6.2

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

- Resistencia de diseño del alma de un pilar sometido a compresión transversal

$F_{c,wc,Rd}$

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.2}$$

- ✓ Al utilizarse rigidizadores en la zona a compresión no es necesario calcular el factor de reducción que considera el pandeo de la placa y por tanto  $\Rightarrow \rho = 1,0$
- ✓ Como la tensión máxima de compresión  $\sigma_{c,Ed}$  debido al esfuerzo axial y el momento de flexión del pilar no excede el valor de  $0,7f_{y,wc}$  en el alma  $\Rightarrow$  el factor de reducción toma el valor de  $k_{wc} = 1$
- ✓ Coeficientes parciales de seguridad :  $\gamma_{M0} = 1,0$   $\gamma_{M1} = 1,0$

# CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

✓ Ancho eficaz para el alma de pilar a compresión  $b_{\text{eff,c,wc}}$

Para una unión con chapa frontal atornillada :

EN 1993-1-8

§ 6.2.6.2

$$b_{\text{eff,c,wc}} = t_{\text{fb}} + z_{\text{fh,1}} + z_{\text{fh,2}} + 5(t_{\text{fc}} + s) + s_{\text{p}}$$

Para pilares de perfiles laminados tipo I or H :  $s = r_{\text{c}}$

El espesor de la soldadura que une la chapa frontal con la parte superior del ala del refuerzo de la viga:

$$z_{\text{fh,1}} = \frac{a_{\text{f}}}{\cos\left(\frac{90 - \alpha_2}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 - 35,9}{2}\right)} = 13,5\text{mm}$$

El espesor de la soldadura que une la chapa frontal con la parte inferior del ala del refuerzo de la viga:

$$z_{\text{fh,2}} = \frac{a_{\text{f}}}{\cos\left(\frac{90 + \alpha_2}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90 + 35,9}{2}\right)} = 26,4\text{mm}$$

La parte inferior extendida de la chapa frontal:

$$c = h_{\text{ep}} - d_1 - h_{\text{h}} - z_{\text{fh,2}} = 1110 - 88 - 992 - 26,4 = 3,6\text{mm}$$

$$s_{\text{p}} = t_{\text{ep}} + c = 25 + 3,6 = 28,6\text{mm} \leq 2t_{\text{ep}} = 2 \cdot 25 = 50\text{mm} \Rightarrow s_{\text{p}} = 28,6\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,c,wc}} = 23 + 13,5 + 26,4 + 5(26 + 27) + 28,6 = 356,5\text{mm}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

Para calcular el factor de reducción  $\omega$ , es necesario primero calcular  $\beta$ .  
Para uniones de un sólo lado, el parámetro de transformación  $\beta = 1$

EN 1993-1-8 § 5.3(9) or Tabla 5.4

✓ **Determinación del factor reductor para tener en cuenta la interacción con el cortante en el alma del pilar** EN 1993-1-8 Tabla 6.3

Parámetro de transformación $\beta$	Factor de reducción $\omega$
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff,c,wc}} t_{\text{wc}} / A_{\text{vc}})^2}}$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

### ✓ Área a cortante del pilar $A_{vc}$

Para perfiles laminados H, con carga paralela al alma:

$$A_{vc} = A_c - 2b_{fc}t_{fc} + t_{fc}(t_{wc} + 2r_c) \geq \eta h_{wc}t_{wc} \quad \text{EN 1993-1-1 § 6.2.6.1}$$

$$\eta = 1,0$$

$$A_{vc} = 218 - 2 \cdot 30 \cdot 2,6 + 2,6(1,4 + 2 \cdot 2,7) = 79,7 \text{ cm}^2 \geq 1,0 \cdot 39,8 \cdot 1,4 = 55,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{vc} = 79,7 \text{ cm}^2$$

### ✓ Factor de reducción $\omega$

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc}t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(35,65 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,81$$

### ✓ Resistencia de diseño del alma de un pilar sometido a compresión transversal

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,81 \cdot 1,0 \cdot 356,5 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 950,0 \text{ kN}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

Para aumentar la resistencia de diseño del alma del pilar sometido a compresión se utilizan rigidizadores.

EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

El área bruta de los rigidizadores a cada lado del alma a compresión:

$$A_s = 2b_s t_s = 2 \cdot 143 \cdot 20 = 5720 \text{mm}^2$$

El incremento de resistencia es de:

(sección de clase 1; no se considera el pandeo de los rigidizadores pues tienen una esbeltez adimensional muy baja)

$$F_{c,wc,add,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5720 \cdot 235}{1,0} = 1344,2 \text{kN}$$

✓ **Resistencia de diseño del alma de un pilar sometido a compresión transversal incluyendo la resistencia de los rigidizadores**

$$F_{c,wc,Rd} = 950,0 + 1344,2 = 2294,2 \text{kN}$$

# CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

➤ La resistencia a compresión del ala de la viga  $F_{c,fb,Rd}$

EN 1993-1-8 § 6.2.6.7

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})}$$

Inercia de la cartela de la viga:  
(despreciando el ala intermedia):

$$J_y = 2 \cdot (300 \cdot 23 \cdot 484,5^2) + \frac{(992 - 2 \cdot 23)^3 \cdot 12}{12} = 408600,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

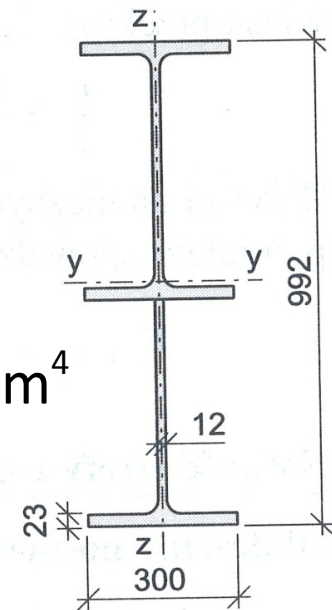
Módulo resistente elástico:

$$W_{el,y} = \frac{408600,6 \cdot 10^4 \cdot 2}{992} = 8237,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Así: } M_{c,Rd} = W_{el,yb} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 8237,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0} = 1935,9 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

EN 1993-1-1 § 6.2.5

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} = \frac{1935,9 \cdot 10^6}{(992 - 23)} = 1997,8 \text{ kN}$$





## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

Si la altura de la viga incluyendo la cartela supera los 600mm la contribución del alma de la viga a la resistencia a compresión debe limitarse al 20%.

EN 1993-1-8 § 6.2.6.7(1)

Si la resistencia del ala de la viga es  $t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}$  entonces  $F_{c,fb,Rd} \leq \frac{t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}}{0,8}$

$$h_h = 992\text{mm} > 600\text{mm}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN} \leq \frac{23 \cdot 300 \cdot 235}{0,8} = 2026,9\text{kN}$$

✓ La resistencia a compresión del ala de la viga  $F_{c,fb,Rd}$

$$F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN}$$

# CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

- Resistencia de diseño de la cartela de la viga a compresión  $F_{c,hb,Rd}$

$$F_{c,hb,Rd} = \frac{F_{c,wb,Rd}}{\tan(\alpha_2 - \alpha)} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.7(3)}$$

$$F_{c,wb,Rd} = \frac{\omega k_{wb} \rho b_{\text{eff},c,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M1}}$$

- ✓ Ancho eficaz del alma de la viga a compresión

$$b_{\text{eff},c,wb} = \frac{t_{fb}}{\sin(\alpha_2 - \alpha)} + 5(t_{fb} + r_b) = \frac{23}{\sin(35,9^\circ - 21,8^\circ)} + 5(23 + 27) = 344\text{mm}$$

- ✓ Al utilizar rigidizadores en la zona a compresión no es necesario calcular el factor de reducción que considera el pandeo de la placa, entonces  $\Rightarrow \rho = 1,0$

- ✓ Como la tensión máxima de compresión  $\sigma_{c,Ed}$  debido al esfuerzo axial y el momento de flexión del pilar no excede el valor de  $0,7f_{y,wc}$  en el alma  $\Rightarrow$  el factor de reducción toma el valor de  $k_{wb} = 1$

- ✓ Para  $\beta = 1$  el factor de reducción  $\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wb} t_{wb} / A_{vb})^2}}$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

✓ Área cortante de la viga  $A_{vb}$

Para perfiles laminados en I, con carga paralela al alma:

$$A_{vb} = A_b - 2b_{fb} t_{fb} + t_{fb} (t_{wb} + 2r_b) \geq \eta h_{wb} t_{wb}$$

$$\eta = 1,0$$

$$A_{vb} = 197,5 - 2 \cdot 30 \cdot 2,3 + 2,3(1,2 + 2 \cdot 2,7) = 74,7 \text{cm}^2 \geq 1,0 \cdot 44,4 \cdot 1,2 = 53,3 \text{cm}^2$$

$$A_{vb} = 74,7 \text{cm}^2$$

✓ El factor de reducción  $\omega$

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff,c,wb}} t_{wb} / A_{vb})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(34,4 \cdot 1,2 / 74,7)^2}} = 0,85$$

✓ Resistencia de diseño del alma de la viga a compresión transversal

$$F_{c,wb,Rd} = \frac{\omega k_{wb} b_{\text{eff,c,wb}} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,85 \cdot 1,0 \cdot 344 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 824,6 \text{kN}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

Para aumentar la resistencia de diseño del alma de la cartela a compresión se utilizan rigidizadores.

Geometría de los rigidizadores:  $t_s = 12\text{mm}$ ,  $b_s = 144\text{mm}$

El área bruta de los rigidizadores a cada lado del alma de la cartela:

$$A_s = 2b_s t_s = 2 \cdot 144 \cdot 12 = 3456\text{mm}^2$$

El incremento de resistencia es:

(sección de clase 3, no se considera el pandeo de los rigidizadores ya que su esbeltez adimensional es muy pequeña)

$$F_{c,wb,add,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3456 \cdot 235}{1,0} = 812,2\text{kN}$$

Resistencia de diseño del alma de la cartela a compresión transversal incluyendo los rigidizadores  $F_{c,wb,Rd} = 824,6 + 812,2 = 1636,8\text{kN}$

✓ **Resistencia de diseño de la cartela de la viga a compresión**

$$F_{c,hb,Rd} = \frac{F_{c,wb,Rd}}{\tan(\alpha_2 - \alpha)} = \frac{1636,8}{\tan(35,9^\circ - 21,8^\circ)} = 6516,4\text{kN}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A CORTANTE

➤ Resistencia a cortante del alma de un pilar  $V_{wp,Rd}$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.1}$$

La expresión anterior puede aplicarse si se cumple la siguiente relación:

$$d_c / t_{wc} \leq 69 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,wc}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0 \quad d_c / t_{wc} = 344 / 14 = 24,6 \leq 69 \varepsilon = 69 \cdot 1,0 = 69$$

Se cumple la condición

$A_{vc}$  – Área a cortante del pilar (EN 1993-1-1 § 6.2.6(3))

$$A_{vc} = 7970 \text{mm}^2$$

$\gamma_{M0} = 1,00$  - factor de seguridad parcial para comprobación de secciones

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 7970}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 973,2 \text{kN}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A CORTANTE

EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

Cuando se usan rigidizadores transversales tanto en la zona a compresión como en la de tracción, la resistencia de diseño plástica del panel del alma del pilar puede incrementarse en:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}$$

donde:

$d_s$  – distancia entre los centros de gravedad de los rigidizadores

$$d_s = d_5 + t_s = 953 + 20 = 973\text{mm}$$

$M_{pl,fc,Rd}$  – momento de diseño plástico del ala del pilar:

$$M_{pl,fc,Rd} = 0,25b_{fc}t_{fc}^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 300 \cdot 26^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 11,91\text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_{pl,st,Rd}$  – momento de diseño plástico del rigidizador:

$$M_{pl,st,Rd} = 0,25 \cdot 2b_s t_s^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 2 \cdot 143 \cdot 20^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 6,72\text{kN}\cdot\text{m}$$

## CÁLCULO DEL MOMENTE RESISTENTE– ZONA A CORTANTE

EN 1993-1-1 § 6.2.6.2(5)

El incremento de resistencia será :

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right) =$$
$$= \min\left(\frac{4 \cdot 11,91}{0,973}; \frac{2 \cdot 11,91 + 2 \cdot 6,72}{0,973}\right) = \min(49,0kN; 38,3kN) = 38,3kN$$

- ✓ **Resistencia a cortante del panel del alma del pilar incluyendo la resistencia de los rigidizadores**

$$V_{wp,Rd} = 973,2 + 38,3 = 1011,5kN$$

## CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– ZONA A TRACCIÓN

la resistencia potencial de cálculo de cada una de las filas de tornillos:

$$F_{t,Rd(r)} = \min(F_{t,fc,Rd}, F_{t,wc,Rd}, F_{t,ep,Rd}, F_{t,wb,Rd}) \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.7.2(6)}$$

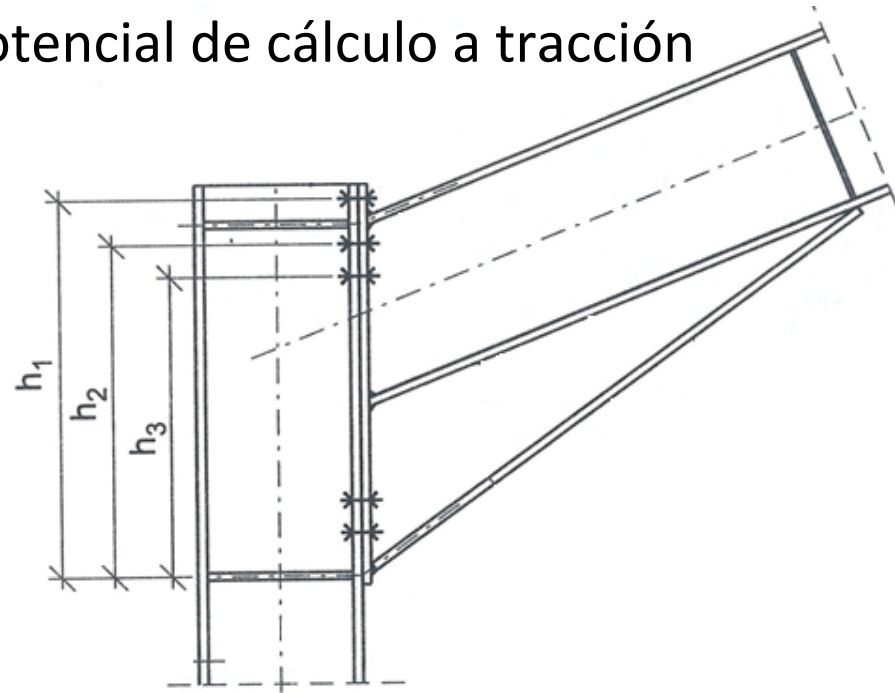
Componentes	Símbolos	EN 1993-1-8 número de cláusula
Ala del pilar en flexión	$F_{t,fc,Rd}$	6.2.6.4 y Tablas: 6.2, 6.4, 6.5
Alma del pilar en tracción transversal	$F_{t,wc,Rd}$	6.2.6.3
Chapa frontal en flexión	$F_{t,ep,Rd}$	6.2.6.5 y Tablas: 6.2, 6.6
Alma de la viga en tracción	$F_{t,wb,Rd}$	6.2.6.8



## CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– ZONA A TRACCIÓN

- Determinación de la resistencia potencial de cálculo a tracción de cada fila de tornillos:

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2(6)

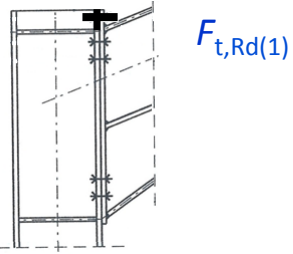
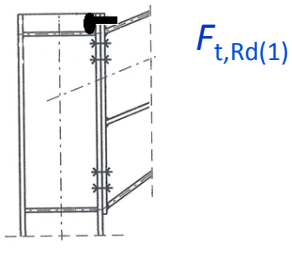
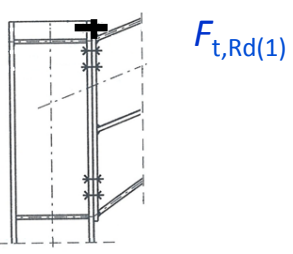
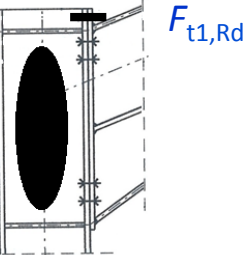
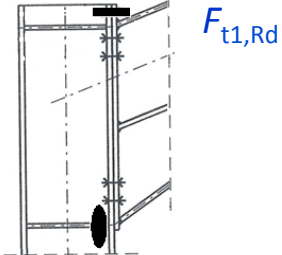
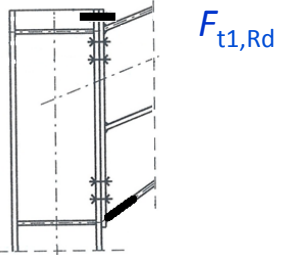


$$F_{t,Rd(1)} = \min(F_{t1,fc,Rd}, F_{t1,wc,Rd}, F_{t1,ep,Rd})$$

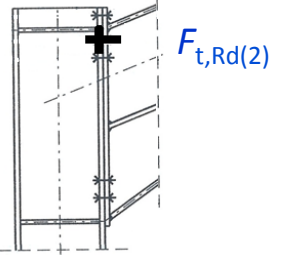
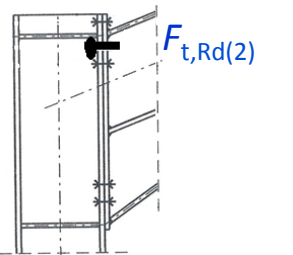
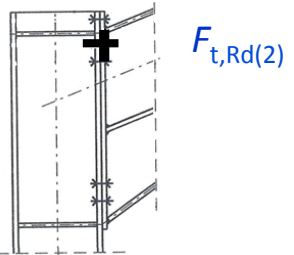
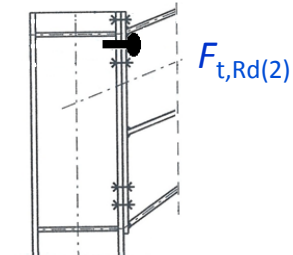
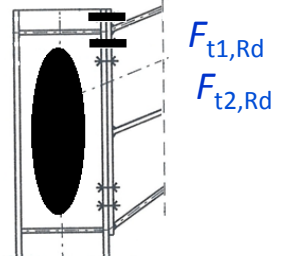
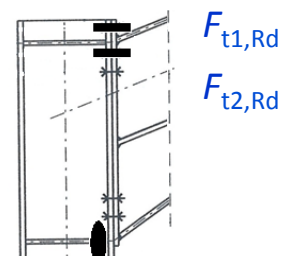
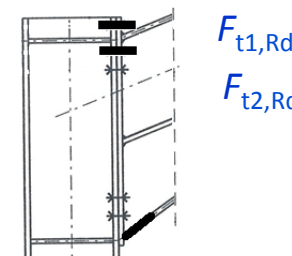
$$F_{t,Rd(2)} = \min(F_{t2,fc,Rd}, F_{t2,wc,Rd}, F_{t2,ep,Rd}, F_{t2,wb,Rd})$$

$$F_{t,Rd(3)} = \min(F_{t3,fc,Rd}, F_{t3,wc,Rd}, F_{t3,ep,Rd}, F_{t3,wb,Rd})$$

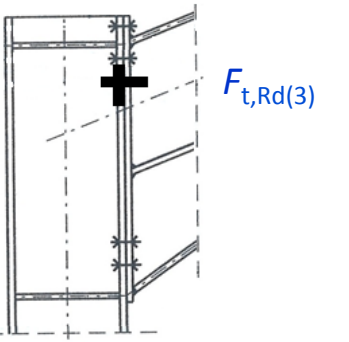
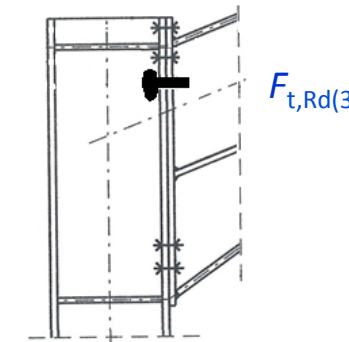
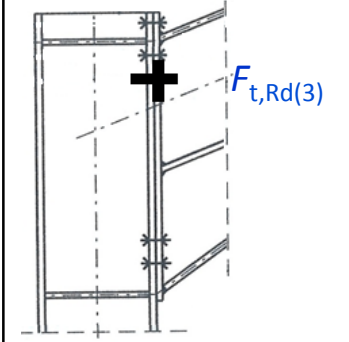
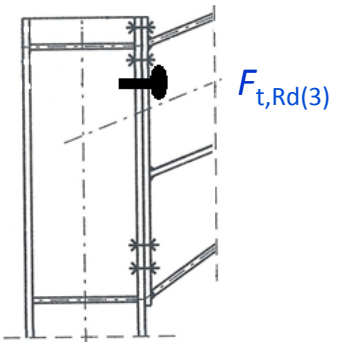
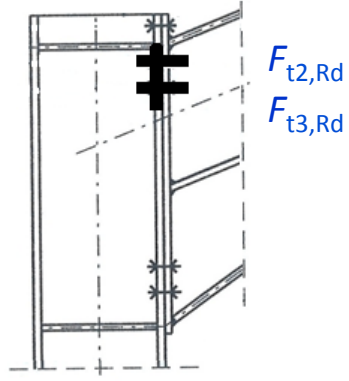
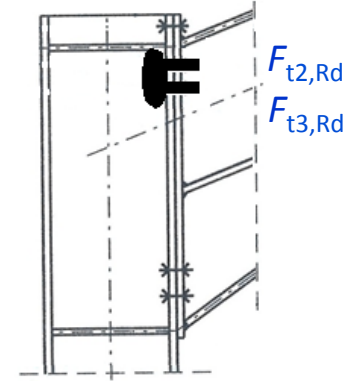
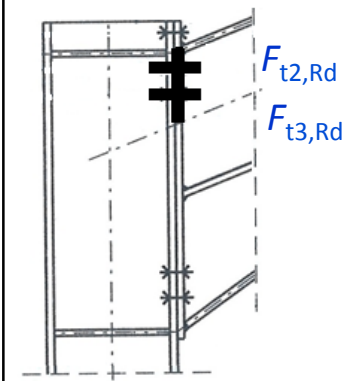
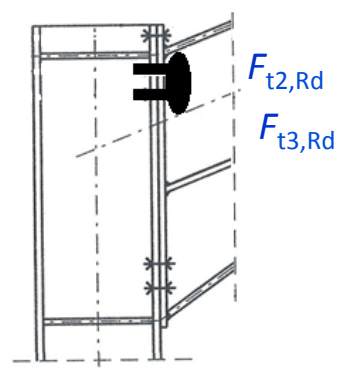
## Cálculo de la resistencia de diseño efectiva de la 1ª fila de tornillos (sin considerar la fila 2 y 3)

Resistencia potencial de cálculo a tracción de la 1ª fila de tornillos $F_{t,Rd(1)}$ en relación a:	Ala del pilar a flexión $F_{t1,fc,Rd}$	Alma del pilar a tracción $F_{t1,wc,Rd}$	Chapa frontal a flexión $F_{t1,ep,Rd}$
			
	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(1)} \leq F_{t1,ep,Rd}$
Limitaciones de la resistencia de diseño en relación a:	Panel del alma del pilar a cortante $V_{wp,Rd}$	Alma del pilar a compresión $F_{c,wc,Rd}$	Ala de la viga en compresión $F_{c,fb,Rd}$
			
	$F_{t1,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$	$F_{t1,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	$F_{t1,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
		$F_{c,hb,Rd}$ se desprecia porque es mucho mayor que el resto de resistencias de los otros componentes en la zona a compresión	
<b>La resistencia efectiva de diseño de la 1ª fila de tornillos:</b> $F_{t1,Rd} = \min(F_{t1,fc,Rd}; F_{t1,wc,Rd}; F_{t1,ep,Rd}; V_{wp,Rd}/\beta; F_{c,wc,Rd}; F_{c,fb,Rd})$			

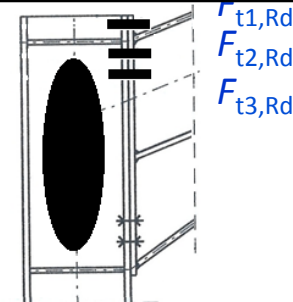
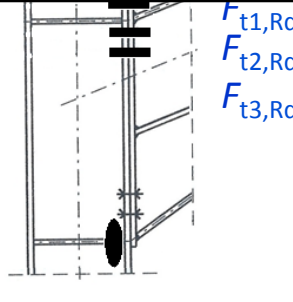
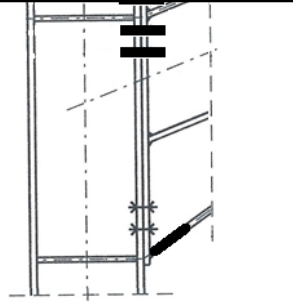
## Cálculo de la resistencia de diseño efectiva de la 2ª fila de tornillos (sin considerar la fila 3)

Resistencia potencial de cálculo a tracción de la 2ª fila de tornillos $F_{t,Rd(2)}$ en relación a:	Ala del pilar a flexión $F_{t2,fc,Rd}$	Alma del pilar a tracción $F_{t2,wc,Rd}$	Chapa frontal a flexión $F_{t2,ep,Rd}$	Alma de la viga a tracción $F_{t2,wb,Rd}$
				
	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,ep,Rd}$	$F_{t,Rd(2)} \leq F_{t2,wb,Rd}$
Limitaciones de la resistencia de diseño en relación a:	Panel del alma del pilar a cortante $V_{wp,Rd}$	Alma del pilar a compresión $F_{c,wc,Rd}$		Ala de la viga en compresión $F_{c,fb,Rd}$
				
	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$		$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
	$F_{c,hb,Rd}$ se desprecia porque es mucho mayor que el resto de resistencias de los otros componentes en la zona a compresión			
<p><b>La resistencia efectiva de diseño de la 2ª fila de tornillos:</b></p> $F_{t2,Rd} = \min(F_{t2,fc,Rd}; F_{t2,wc,Rd}; F_{t2,ep,Rd}; F_{t2,wb,Rd}; V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd}; F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd}; F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd})$				

## Cálculo de la resistencia de diseño efectiva de la 3ª fila de tornillos

	Ala del pilar a flexión $F_{t3,fc,Rd}$	Alma del pilar a tracción $F_{t3,wc,Rd}$	Chapa frontal a flexión $F_{t3,ep,Rd}$	Alma de la viga a tracción $F_{t3,wb,Rd}$
Resistencia potencial de cálculo a tracción de la 3ª fila de tornillos $F_{t,Rd(3)}$ en relación a:				
	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,fc,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,wc,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,ep,Rd}$	$F_{t,Rd(3)} \leq F_{t3,wb,Rd}$
Resistencia potencial de cálculo a tracción de la 2ª y 3ª fila de tornillos $F_{t(2+3),Rd}$ en relación a:				
	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),fc,Rd}$	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),wc,Rd}$	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),ep,Rd}$	$F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{t(2+3),wb,Rd}$

# RESISTENCIAS DE DISEÑO EFECTIVAS DE LAS FILAS DE TORNILLOS

Cálculo de la resistencia de diseño efectiva de la 3ª fila de tornillos (continuación)			
Limitaciones de la resistencia de diseño en relación a:	Panel del alma del pilar a cortante $V_{wp,Rd}$	Alma del pilar a compresión $F_{c,wc,Rd}$	Ala de la viga en compresión $F_{c,fb,Rd}$
			
	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	$F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} + F_{t3,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$
		$F_{c,hb,Rd}$ se desprecia porque es mucho mayor que el resto de resistencias de los otros componentes en la zona a compresión	
<p><b>La resistencia efectiva de diseño de la 3ª fila de tornillos:</b></p> $F_{t3,Rd} = \min(F_{t3,fc,Rd}; F_{t3,wc,Rd}; F_{t3,ep,Rd}; F_{t3,wb,Rd};$ $F_{t(2+3),fc,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),wc,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),ep,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{t(2+3),wb,Rd} - F_{t2,Rd};$ $V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}; F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd})$			

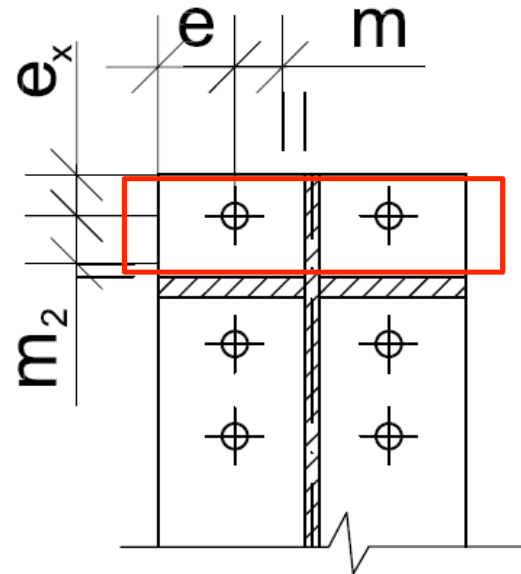
# ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,fc,Rd}$ )

- **Ala del pilar a flexión  $F_{t1,fc,Rd}$**
- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de **un ala de pilar en flexión rigidizada**

EN 1993-1-8  
§ 6.2.6.4 Tabla 6.5

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos junto a rigidizador	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	Smallest of: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	Smallest of: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Fila exterior de tornillos junto a rigidizador	El menor de: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,fc,Rd}$ )



$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

$$e_1 = e_x = 40\text{mm}$$

$$m = 0,5(w - 2 \cdot 0,8r_c - t_{wc}) = 0,5(150 - 2 \cdot 0,8 \cdot 27 - 14) = 46,4\text{mm}$$

Rigidizador a la soldadura del ala de la columna :  $a_{fs} = 12\text{mm}$

$$m_2 = d_4 - e_x - 0,8a_{fs} \sqrt{2} = 100 - 40 - 0,8 \cdot 12 \cdot \sqrt{2} = 46,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$

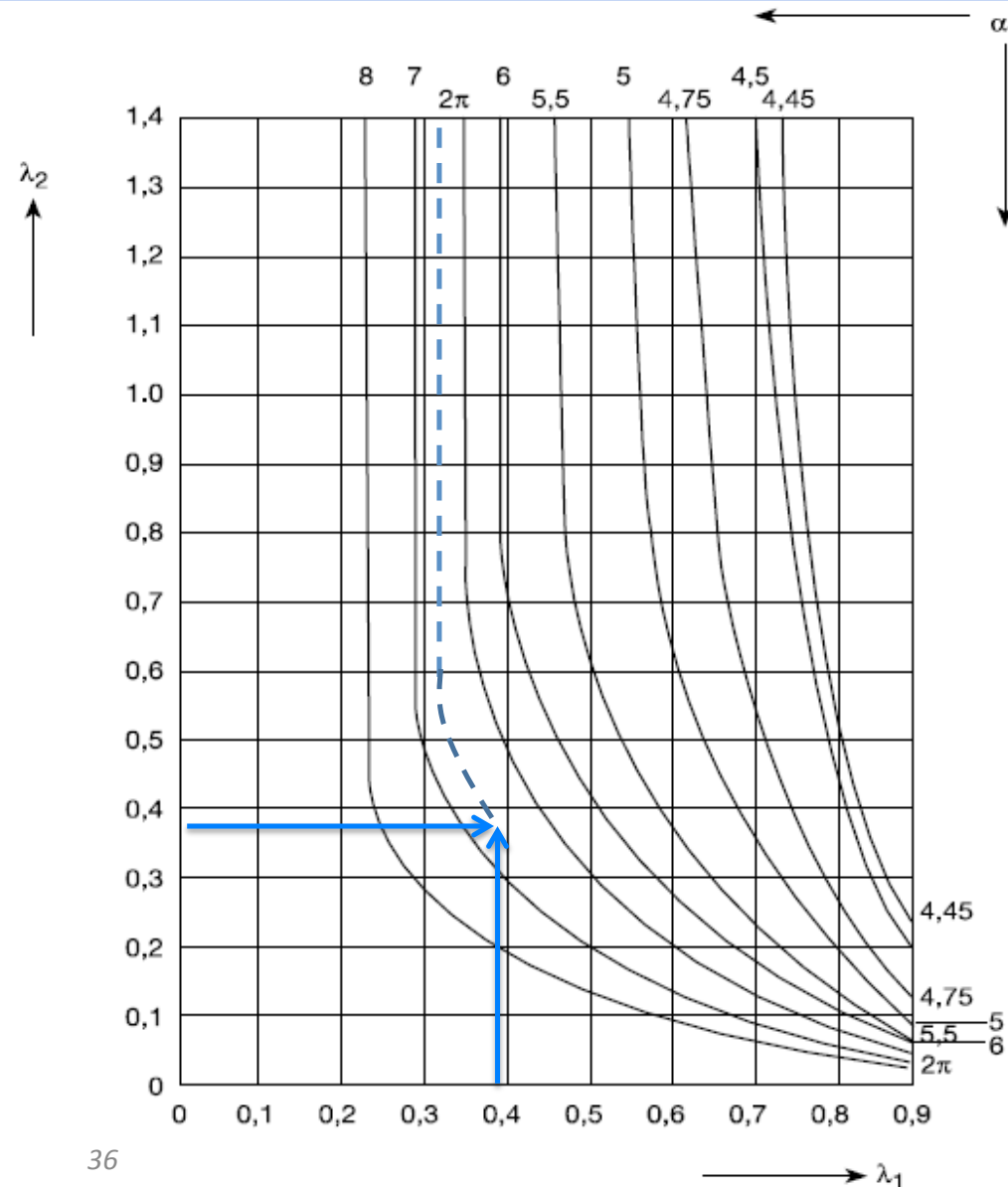
# ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,fc,Rd}$ )

EN 1993-1-8 Fig. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\alpha = 6,8$$





## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,fc,Rd}$ )

Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

✓ Patrón circular

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = \min\left(\frac{2\pi m}{\pi m + 2e_1}\right) = \min\left(\frac{2\pi \cdot 46,4}{\pi \cdot 46,4 + 2 \cdot 40}\right) = \min\left(\frac{291,5\text{mm}}{225,8\text{mm}}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = 225,8\text{mm}$$

✓ Patrón no circular

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min\left(\frac{\alpha m}{e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min\left(\frac{6,8 \cdot 46,4}{40 + 6,8 \cdot 46,4 - (2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75)}\right) = \min\left(\frac{315,5\text{mm}}{215,8\text{mm}}\right)$$

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = 215,8\text{mm}$$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,fc,Rd}$ )

**Modo 1** 
$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,1,cp}, l_{eff,1,nc}) = 215,8\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 215,8 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 8570,5\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 8570,5}{46,4} = 738,8\text{kN}$$

**Modo 2** 
$$l_{eff,2} = l_{eff,1,nc} = 215,8\text{mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 215,8 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 8570,5\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 8570,5 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 446,6\text{kN}$$

**Modo 3** 
$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$$

**Resistencia de diseño del ala del pilar:**

$$F_{t1,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(738,8; 446,6; 508,3) = 446,6\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,wc,Rd}$ )

➤ Alma del pilar en tracción transversal  $F_{t1,wc,Rd}$

EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$b_{eff,t,wc}$  es igual a la longitud efectiva equivalente del casquillo en T que representa al ala del pilar en flexión para la 1ª fila de tornillos

For  $\beta=1$ :

$$b_{eff,t,wc} = \min(l_{eff,1,cp}; l_{eff,1,nc}) = \min(225,8; 215,8) = 215,8\text{mm}$$

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(21,58 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,92$$

**Resistencia de diseño de un alma de pilar sometida a tracción transversal :**

$$F_{t1,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,92 \cdot 215,8 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 653,2\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,ep,Rd}$ )

### ➤ Chapa frontal a flexión $F_{t1,ep,Rd}$

- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de una **chapa frontal a flexión**

EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tabla 6.6

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos fuera del ala de la viga	El menor de: $2\pi m_x$ , $\pi m_x + w$ , $\pi m_x + 2e$	El menor de: $4m_x + 1,25e_x$ , $e + 2m_x$ , $+0,625e_x$ , $0,5b_p$ , $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Primera fila de tornillos bajo el ala de la viga	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,ep,Rd}$ )

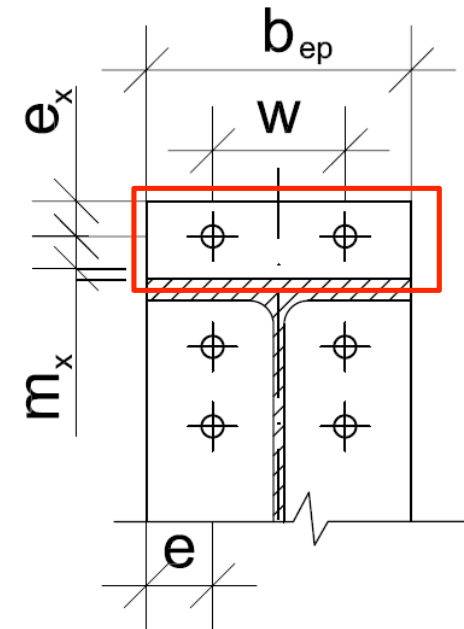
$$e_{\min} = e_x = 40\text{mm}$$

El espesor de la garganta de soldadura que une la chapa frontal con la parte superior de la viga:

$$z_1 = \frac{a_f}{\cos\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90-21,8}{2}\right)} = 14,5\text{mm}$$

$$m_x = d_1 - e_x - 0,8 \cdot z_1 = 88 - 40 - 0,8 \cdot 14,5 = 36,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m_x) = \min(40; 1,25 \cdot 36,4) = \min(40; 45,5) = 40\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,ep,Rd}$ )

➤ Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

✓ Patrón circular:

$$l_{\text{eff},1,\text{cp}} = \min \begin{pmatrix} 2\pi m_x \\ \pi m_x + w \\ \pi m_x + 2e \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 2\pi \cdot 36,4 \\ \pi \cdot 36,4 + 150 \\ \pi \cdot 36,4 + 2 \cdot 75 \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 228,7 \\ 264,3 \\ 264,3 \end{pmatrix} = 228,7\text{mm}$$

✓ Patrón no circular:

$$l_{\text{eff},1,\text{nc}} = \min \begin{pmatrix} 4m_x + 1,25e_x \\ e + 2m_x + 0,625e_x \\ 0,5b_p \\ 0,5w + 2m_x + 0,625e_x \end{pmatrix} = \min \begin{pmatrix} 4 \cdot 36,4 + 1,25 \cdot 40 \\ 75 + 2 \cdot 36,4 + 0,625 \cdot 40 \\ 0,5 \cdot 300 \\ 0,5 \cdot 150 + 2 \cdot 36,4 + 0,625 \cdot 40 \end{pmatrix} =$$
$$= \min(195,6; 172,8; 150; 172,8) = 150\text{mm}$$

## ZONA A TRACCIÓN - 1ª fila de tornillos ( $F_{t1,ep,Rd}$ )

**Modo 1**  $l_{eff,1} = \min(l_{eff,1,cp}, l_{eff,1,nc}) = 150\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 5507,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_x} = \frac{4 \cdot 5507,8}{36,4} = 605,3\text{kN}$$

**Modo 2**  $l_{eff,2} = l_{eff,1,nc} = 150\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 150 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 5507,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m_x + n} = \frac{2 \cdot 5507,8 + 40 \cdot 2 \cdot 254,16}{36,4 + 40} = 410,3\text{kN}$$

**Modo 3**  $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

**Resistencia de diseño dela chapa frontal a flexión:**

$$F_{t1,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(605,3; 410,3; 508,3) = 410,3\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN– Resistencia de la 1ª fila de tornillos

➤ Resistencia de diseño efectiva de la 1ª fila de tornillos:

$$F_{t1,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t1,fc,Rd} = 446,6\text{kN} \\ F_{t1,wc,Rd} = 653,2\text{kN} \\ F_{t1,ep,Rd} = 410,3\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} = 2294,2\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} = 1997,8\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} = 6516,4\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta = 1011,5 / 1,0 = 1011,5\text{kN} \end{array} \right\} = 410,3\text{kN}$$

$$F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN}$$



# ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,fc,Rd}$ )

- **Ala del pilar  $F_{t2,fc,Rd}$**
- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de **un ala de pilar en flexión rigidizada**

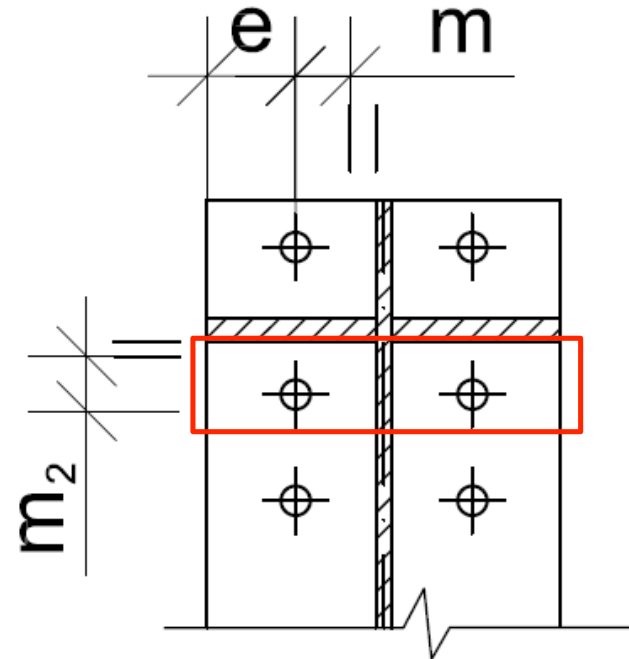
EN 1993-1-8  
§ 6.2.6.4 Tabla 6.5

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Circular patterns $l_{eff,cp}$	Non-circular patterns $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos junto a rigidizador	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	El menor de: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	El menor de: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Fila exterior de tornillos junto a rigidizador	Smallest of: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,fc,Rd}$ )

$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

$$m = 46,4\text{mm}$$



$$m_2 = d_2 + e_x - d_4 - t_s - 0,8a_{fs} \sqrt{2} = 125 + 40 - 100 - 20 - 0,8 \cdot 12 \cdot \sqrt{2}$$

$$m_2 = 31,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$

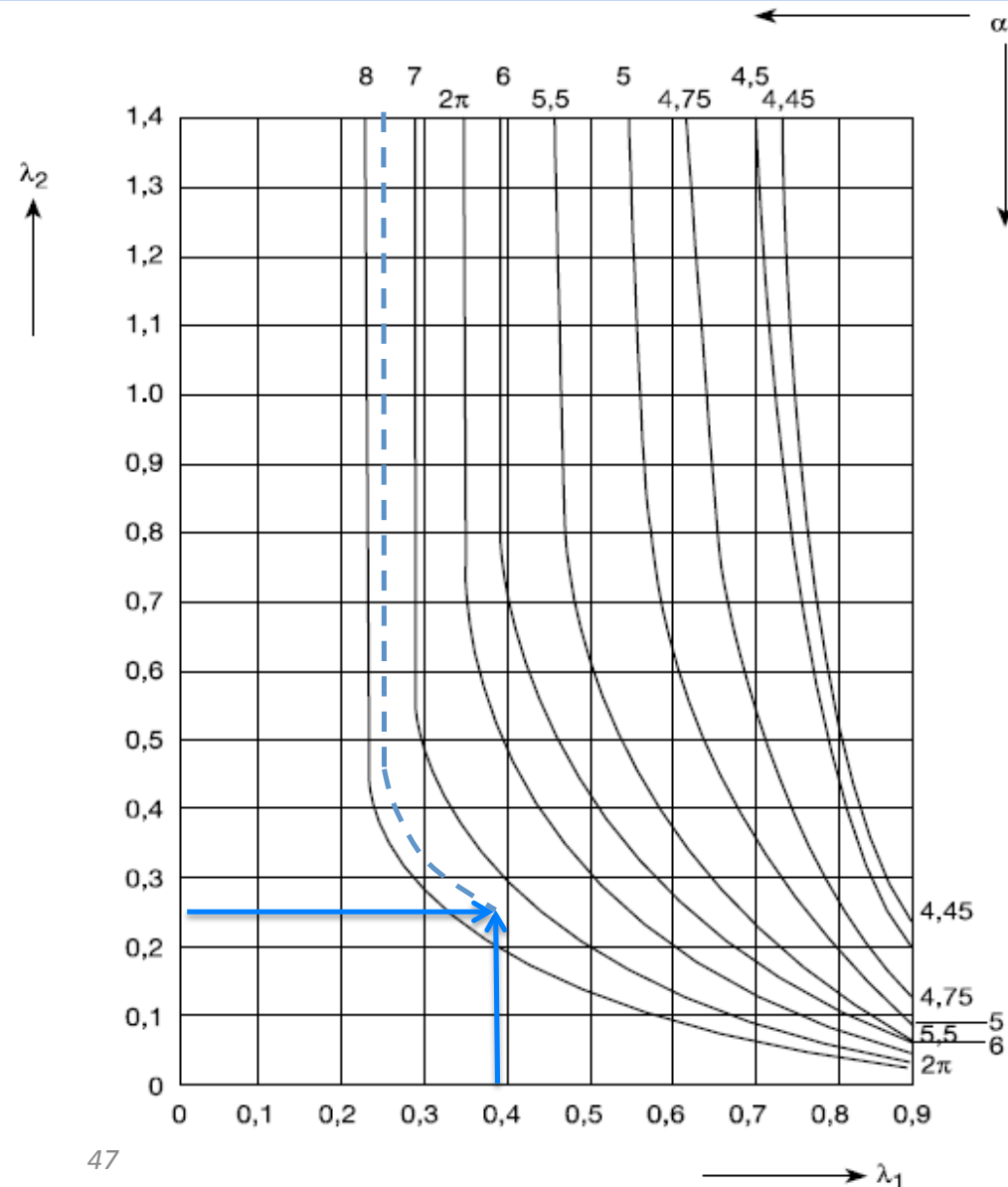
# ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,fc,Rd}$ )

EN 1993-1-8 Fig. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{46,4}{46,4+75} = 0,38$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{31,4}{46,4+75} = 0,26$$

$$\alpha = 7,6$$



## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,fc,Rd}$ )

➤ Longitud efectiva del casquillo T equivalente:

✓ Patrón circular:

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 46,4 = 291,5\text{mm}$$

✓ Patrón no circular:

$$l_{\text{eff},2,\text{nc}} = \alpha m = 7,6 \cdot 46,4 = 352,6\text{mm}$$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,fc,Rd}$ )

**Modo 1**  $l_{eff,1} = \min(l_{eff,2,cp}, l_{eff,2,nc}) = 291,5\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 291,5 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11576,9\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 11576,9}{46,4} = 998,0\text{kN}$$

**Modo 2**  $l_{eff,2} = l_{eff,2,nc} = 352,6\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 352,6 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 14003,5\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 14003,5 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 550,7\text{kN}$$

**Modo 3**  $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

**Resistencia de diseño del ala del pilar en flexión:**

$$F_{t2,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(998,0; 550,7; 508,3) = 508,3\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,wc,Rd}$ )

➤ Alma del pilar sometida a tracción transversal  $F_{t2,wc,Rd}$

EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t2,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$  es igual a la longitud efectiva equivalente del casquillo en T que representa al ala del pilar para 2ª fila de tornillos:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min(l_{\text{eff},2,cp}; l_{\text{eff},2,nc}) = \min(291,5; 352,6) = 291,5\text{mm}$$

For  $\beta=1$ :

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(29,15 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,86$$

**Resistencia de diseño de un alma de pilar sometida a tracción transversal :**

$$F_{t2,wc,Rd} = \frac{0,86 \cdot 291,5 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 824,8\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,ep,Rd}$ )

- **Chapa frontal a flexión  $F_{t2,ep,Rd}$**
- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de una **chapa frontal a flexión** EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Table 6.6

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos fuera del ala de la viga	El menor de: $2\pi m_x$ , $\pi m_x + w$ , $\pi m_x + 2e$	El menor de: $4m_x + 1,25e_x$ , $e + 2m_x$ $+ 0,625e_x$ , $0,5b_p$ , $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Primera fila de tornillos bajo el ala de la viga	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,ep,Rd}$ )

$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

El espesor de la soldadura que une la chapa frontal con la parte inferior del ala superior de la viga:

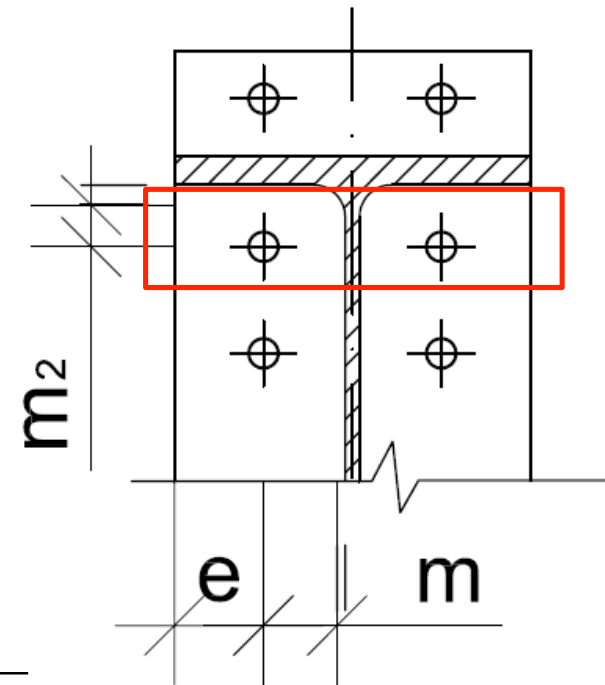
$$z_2 = \frac{a_f}{\cos\left(\frac{90+\alpha}{2}\right)} = \frac{12}{\cos\left(\frac{90+21,8}{2}\right)} = 21,4\text{mm}$$

$$m = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} a_w}{2} = \frac{150 - 12 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{2} = 62,2\text{mm}$$

$$m_2 = e_x + d_2 - d_1 - \frac{t_{fb}}{\cos\alpha} - 0,8 \cdot z_2 = 40 + 125 - 88 - \frac{23}{\cos 21,8^\circ} - 0,8 \cdot 21,4$$

$$m_2 = 35,1\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75\text{mm}$$





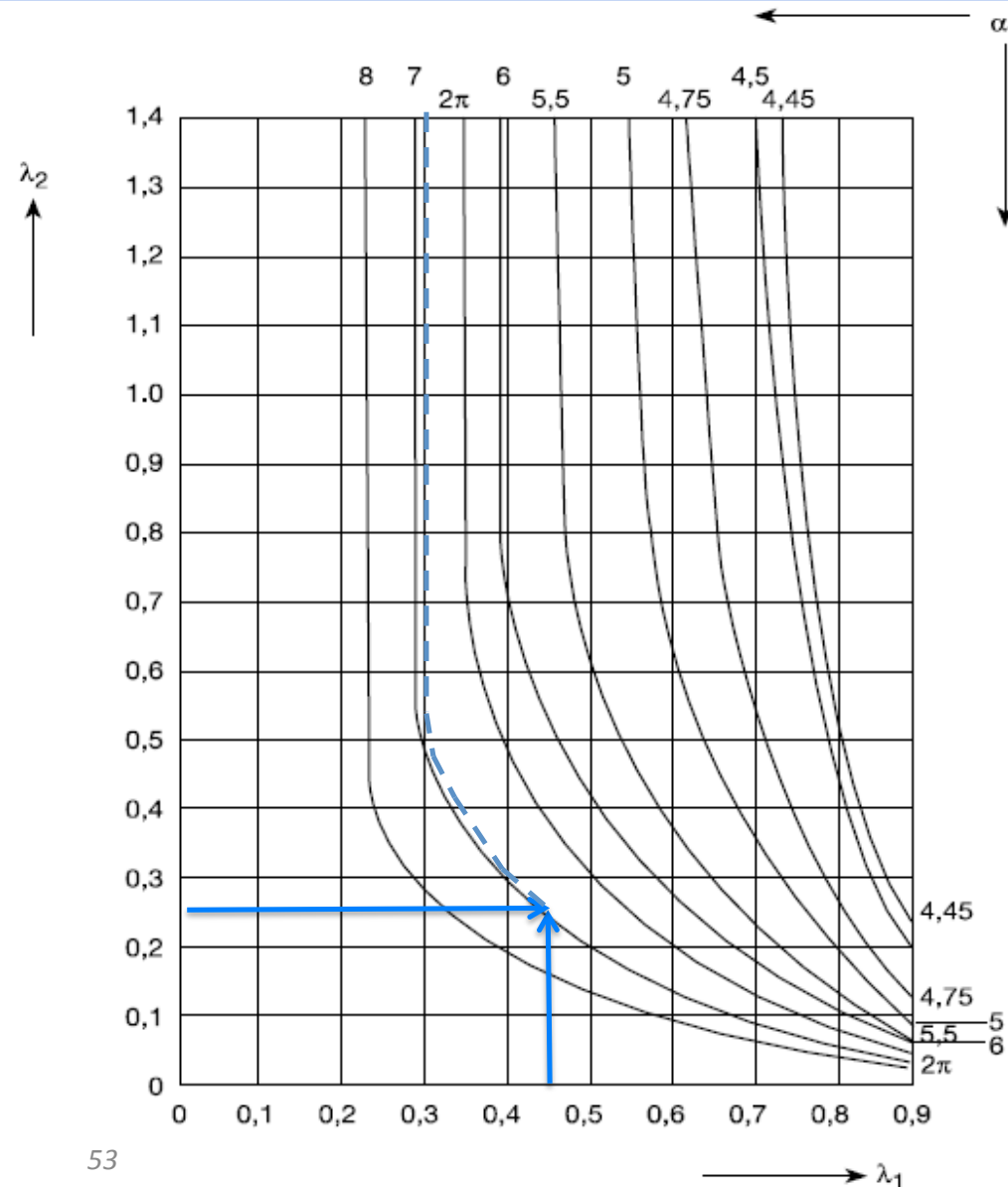
# ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,ep,Rd}$ )

EN 1993-1-8 Fig. 6.11

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{62,2}{62,2+75} = 0,45$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{35,1}{62,2+75} = 0,26$$

$$\alpha = 6,9$$



## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,ep,Rd}$ )

➤ Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

✓ Patrón circular:

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 62,2 = 390,8\text{mm}$$

✓ Patrón no circular:

$$l_{\text{eff},2,\text{nc}} = \alpha m = 6,9 \cdot 62,2 = 429,2\text{mm}$$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,ep,Rd}$ )

**Modo 1** 
$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,2,cp}, l_{eff,2,nc}) = 390,8\text{mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 390,8 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 14349,7\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 14349,7}{62,2} = 922,8\text{kN}$$

**Modo 2** 
$$l_{eff,2} = l_{eff,2,nc} = 429,2\text{mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 429,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 15759,7\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 15759,7 + 75 \cdot 2 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 507,6\text{kN}$$

**Modo 3** 
$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$$

**Resistencia de diseño de la chapa frontal a flexión:**

$$F_{t2,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(922,8; 507,6; 508,3) = 507,6\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN – 2ª fila de tornillos ( $F_{t2,wb,Rd}$ )

➤ Alma de la viga a tracción  $F_{t2,wb,Rd}$

$$F_{t2,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$  es igual a longitud eficaz del casquillo en T equivalente, que representa la chapa frontal en flexión para la 2ª fila de tornillos :

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min(l_{\text{eff},2,cp}; l_{\text{eff},2,nc}) = \min(390,8; 429,2) = 390,8\text{mm}$$

**Resistencia de diseño del alma de una viga sometida a tracción:**

$$F_{t2,wb,Rd} = \frac{390,8 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 1102,0\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN– 2ª FILA DE TORNILLOS

➤ Resistencia efectiva de diseño de la 2ª fila de tornillos:

$$F_{t2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t2,fc,Rd} = 508,3\text{kN} \\ F_{t2,wc,Rd} = 824,8\text{kN} \\ F_{t2,ep,Rd} = 507,6\text{kN} \\ F_{t2,wb,Rd} = 1102,0\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} = 2294,2 - 410,3 = 1883,9\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} = 1997,8 - 410,3 = 1587,5\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} - F_{t1,Rd} = 6516,4 - 410,3 = 6106,1\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} = 1011,5 / 1,0 - 410,3 = 601,2\text{kN} \end{array} \right\} = 507,6\text{kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,fc,Rd}$ )

- **Alma del pilar a flexión  $F_{t3,fc,Rd}$**
- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de **un ala de pilar en flexión rigidizada**

EN 1993-1-8  
§ 6.2.6.4 Tabla 6.5

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos junto a rigidizador	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m+1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	Smallest of: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	Smallest of: $4m+1,25e,$ $2m+0,625e+e_1$
Fila exterior de tornillos junto a rigidizador	Smallest of: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	$e_1+\alpha m$ $-(2m+0,625e)$

## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,fc,Rd}$ )

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 46,4\text{mm}$$

Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

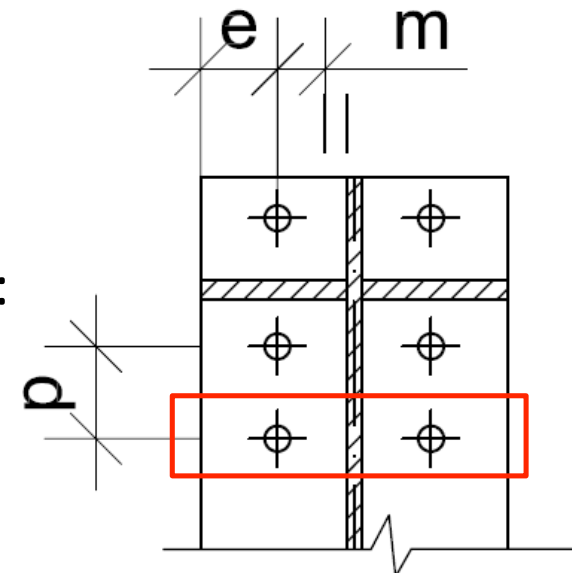
✓ Patrón circular:

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 46,4 = 291,5\text{mm}$$

✓ Patrón no circular:

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 4m + 1,25e = 4 \cdot 46,4 + 1,25 \cdot 75 = 279,4\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos( $F_{t3,fc,Rd}$ )

**Modo 1**  $l_{eff,1} = \min(l_{eff,3,cp}, l_{eff,3,nc}) = 279,4\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 279,4 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11096,4\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 11096,4}{46,4} = 956,6\text{kN}$$

**Modo 2**  $l_{eff,2} = l_{eff,3,nc} = 279,4\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{fc}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 279,4 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 11096,4\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 11096,4 + 58 \cdot 2 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 495,0\text{kN}$$

**Modo 3**  $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

**Resistencia de diseño del ala del pilar en flexión:**

$$F_{t3,fc,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(956,6; 495,0; 508,3) = 495,0\text{kN}$$



## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos( $F_{t3,wc,Rd}$ )

➤ alma de pilar sometida a tracción transversal  $F_{t3,wc,Rd}$

EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t3,wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$  es igual a la longitud efectiva equivalente del casquillo en T que representa al ala del pilar para la 3ª fila de tornillos:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min(l_{\text{eff},3,cp}; l_{\text{eff},3,nc}) = \min(291,5; 279,4) = 279,4\text{mm}$$

For  $\beta=1$ :

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(27,94 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,87$$

**Resistencia de diseño de un alma de pilar sometida a tracción transversal :**

$$F_{t3,wc,Rd} = \frac{0,87 \cdot 279,4 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 799,7\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,ep,Rd}$ )

- **Chapa frontal a flexión**  $F_{t3,ep,Rd}$
- ✓ Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de una **chapa frontal a flexión** EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tabla 6.6

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos fuera del ala de la viga	El menor de : $2\pi m_x$ , $\pi m_x + w$ , $\pi m_x + 2e$	El menor de : $4m_x + 1,25e_x$ , $e + 2m_x$ $+ 0,625e_x$ , $0,5b_p$ , $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$
Primera fila de tornillos bajo el ala de la viga	$2\pi m$	$\alpha m$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$
Otras Filas exteriores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$

## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,ep,Rd}$ )

$$m = \frac{w - t_{wb} - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} a_w}{2} = \frac{150 - 12 - 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{2}$$

$$m = 62,2\text{mm}$$

$$e_{\min} = e = 75\text{mm}$$

➤ Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

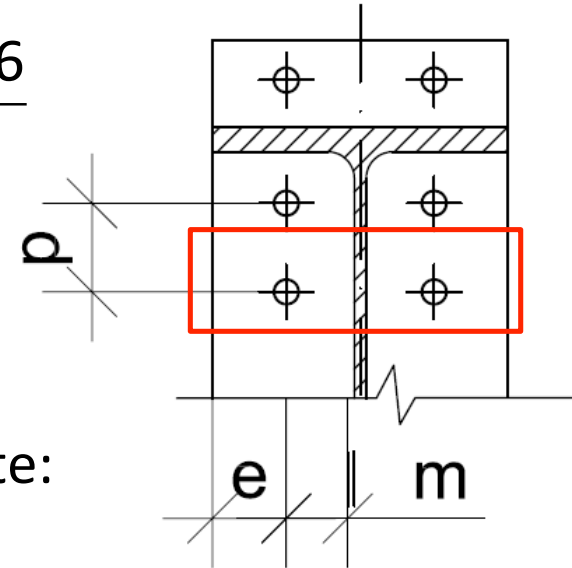
✓ Patrón circular:

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 2\pi m = 2\pi \cdot 62,2 = 390,8\text{mm}$$

✓ Patrón no circular:

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 4m + 1,25e = 4 \cdot 62,2 + 1,25 \cdot 75 = 342,6\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,ep,Rd}$ )

**Modo 1**  $l_{eff,1} = \min(l_{eff,3,cp}, l_{eff,3,nc}) = 342,6\text{mm}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 342,6 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 12579,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 12579,8}{62,2} = 809,0\text{kN}$$

**Modo 2**  $l_{eff,2} = l_{eff,3,nc} = 342,6\text{mm}$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_{ep}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 342,6 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 12579,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 12579,8 + 75 \cdot 2 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 461,3\text{kN}$$

**Modo 3**  $F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 254,16 = 508,3\text{kN}$

**Resistencia de diseño del alma del pilar a flexión:**

$$F_{t3,ep,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}) = \min(809,0; 461,3; 508,3) = 461,3\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN– 3ª fila de tornillos ( $F_{t3,wb,Rd}$ )

- Resistencia del alma de la viga a tracción  $F_{t3,wb,Rd}$

$$F_{t3,wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$  es igual a longitud eficaz del casquillo en T equivalente, que representa la chapa frontal en flexión para la 3ª fila de tornillos :

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min(l_{\text{eff},3,cp}; l_{\text{eff},3,nc}) = \min(390,8; 342,6) = 342,6\text{mm}$$

**Resistencia de diseño del alma de pilar sometida a tracción transversal:**

$$F_{t3,wb,Rd} = \frac{342,6 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 966,1\text{kN}$$

# ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),fc,Rd}$ )

## ➤ Ala de pilar a flexión $F_{t(2+3),fc,Rd}$

Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de **un ala de pilar en flexión rigidizada**

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos junto a rigidizador	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Otras Filas interiores de tornillos	$2p$	$p$
Otras Filas exteriores de tornillos	El menor de: $\pi m + p,$ $2e_1 + p$	El menor de: $2m + 0,625e + 0,5p,$ $e_1 + 0,5p$
Fila exterior de tornillos junto a rigidizador	-	-

EN 1993-1-8  
§ 6.2.6.4 Tabla 6.5

**Fila 2** considerada como parte de un grupo de filas de tornillos  
**Fila 3** considerada como parte de un grupo de filas de tornillos

## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),fc,Rd}$ )

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 46,4\text{mm} \quad p = 90\text{mm} \quad \alpha = 7,6$$

Longitud efectiva del casquillo en T equivalente :

✓ **Para la 2ª fila de tornillos** (como parte de un grupo):

Patrón circular

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 46,4 + 90 = 235,8\text{mm}$$

Patrón no circular

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},2,\text{nc}} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = \\ &= 0,5 \cdot 90 + 7,6 \cdot 46,4 - (2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75) = 258,0\text{mm} \end{aligned}$$

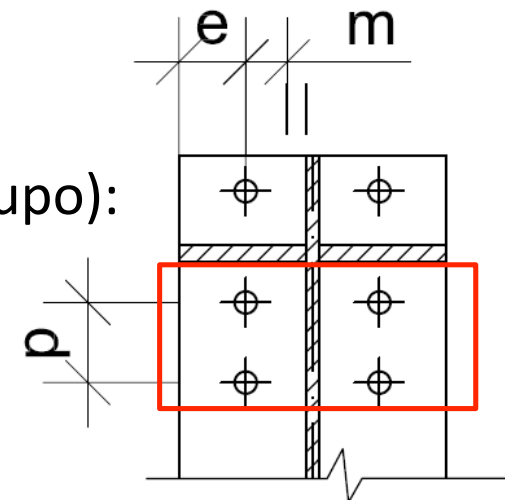
✓ **Para la 3ª fila de tornillos** (como parte de un grupo):

Patrón circular

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 46,4 + 90 = 235,8\text{mm}$$

Patrón no circular

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 2m + 0,625e + 0,5p = 2 \cdot 46,4 + 0,625 \cdot 75 + 0,5 \cdot 90 = 184,7\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),fc,Rd}$ )

Longitud total del casquillo en T equivalente :

✓ Patrón circular

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}} = l_{\text{eff},2,\text{cp}} + l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 235,8 + 235,8 = 471,6\text{mm}$$

✓ Patrón no circular

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = l_{\text{eff},2,\text{nc}} + l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 258,0 + 184,7 = 442,7\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\text{min}}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 46,4) = \min(75; 58) = 58\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),fc,Rd}$ )

$$\text{Modo 1} \quad \sum l_{\text{eff},1} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}}, \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}}) = 442,7\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},1} t_{\text{fc}}^2 f_y / \gamma_{\text{M0}} = 0,25 \cdot 442,7 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 17581,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = \frac{4M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 17581,8}{46,4} = 1515,7\text{kN}$$

$$\text{Modo 2} \quad \sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = 442,7\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},2} t_{\text{fc}}^2 f_y / \gamma_{\text{M0}} = 0,25 \cdot 442,7 \cdot 26^2 \cdot 235 / 1,0 = 17581,8\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = \frac{2M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t},\text{Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 17581,8 + 58 \cdot 4 \cdot 254,16}{46,4 + 58} = 901,6\text{kN}$$

$$\text{Modo 3} \quad F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \sum F_{\text{t},\text{Rd}} = 4 \cdot 254,16 = 1016,6\text{kN}$$

**Resistencia de diseño del ala de pilar a flexión :**

$$F_{t(2+3),fc,Rd} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}; F_{\text{T},2,\text{Rd}}; F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = \min(1515,7; 901,6; 1016,6) = 901,6\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),wc,Rd}$ )

- Resistencia de diseño del alma de pilar sometida a tracción transversal  $F_{t(2+3),wc,Rd}$  EN 1993-1-8 § 6.2.6.3

$$F_{t(2+3),wc,Rd} = \frac{\omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

$b_{\text{eff},t,wc}$  es igual a la longitud efectiva equivalente del casquillo en T que representa al ala del pilar para el grupo formado por la fila 2 y 3 de tornillos:

$$b_{\text{eff},t,wc} = \min\left(\sum l_{\text{eff},2+3,cp}; \sum l_{\text{eff},2+3,nc}\right) = \min(471,6; 442,7) = 442,7\text{mm}$$

For  $\beta=1$ :

$$\omega = \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(44,27 \cdot 1,4 / 79,7)^2}} = 0,75$$

**Resistencia de diseño del alma de pilar sometida a tracción transversal**

$$F_{t(2+3),wc,Rd} = \frac{0,75 \cdot 442,7 \cdot 14 \cdot 235}{1,0} = 1092,4\text{kN}$$

# ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),ep,Rd}$ )

➤ **Chapa frontal a flexión**  $F_{t(2+3),ep,Rd}$

✓ Cálculo de la longitud efectiva del casquillo en T equivalente de la **chapa frontal a flexión** EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Tabla 6.6

Situación de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos fuera del ala de la viga	-	-
Primera fila de tornillos bajo el ala de la viga	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Otras Filas interiores de tornillos	$2p$	$p$
Otras Filas exteriores de tornillos	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$

**Fila 2** considerada como parte de un grupo de filas de tornillos

**Fila 3** considerada como parte de un grupo de filas de tornillos

## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),ep,Rd}$ )

$$e_{\min} = e = 75\text{mm} \quad m = 62,2\text{mm} \quad p = 90\text{mm} \quad \alpha = 6,9$$

Longitud efectiva del casquillo en T equivalente:

**Para la 2ª fila de tornillos (como parte de un grupo):**

Patrón circular

$$l_{\text{eff},2,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 62,2 + 90 = 285,4\text{mm}$$

Patrón no circular

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},2,\text{nc}} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = \\ &= 0,5 \cdot 90 + 6,9 \cdot 62,2 - (2 \cdot 62,2 + 0,625 \cdot 75) = 302,9\text{mm} \end{aligned}$$

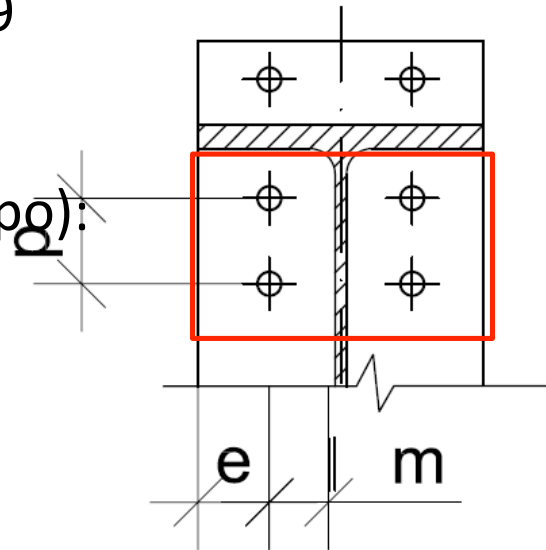
**Para la 3ª fila de tornillos (como parte de un grupo):**

Patrón circular

$$l_{\text{eff},3,\text{cp}} = \pi m + p = \pi \cdot 62,2 + 90 = 285,4\text{mm}$$

Patrón no circular

$$l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 2m + 0,625e + 0,5p = 2 \cdot 62,2 + 0,625 \cdot 75 + 0,5 \cdot 90 = 216,3\text{mm}$$



## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),ep,Rd}$ )

Longitud total del casquillo en T equivalente:

✓ Patrón circular

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}} = l_{\text{eff},2,\text{cp}} + l_{\text{eff},3,\text{cp}} = 285,4 + 285,4 = 570,8\text{mm}$$

✓ Patrón no circular

$$\sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = l_{\text{eff},2,\text{nc}} + l_{\text{eff},3,\text{nc}} = 302,9 + 216,3 = 519,2\text{mm}$$

$$n = \min(e_{\min}; 1,25 \cdot m) = \min(75; 1,25 \cdot 62,2) = \min(75; 77,7) = 75\text{mm}$$

## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),ep,Rd}$ )

$$\text{Modo 1} \quad \sum l_{\text{eff},1} = \min(\sum l_{\text{eff},2+3,\text{cp}}, \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}}) = 519,2\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},1} t_{\text{ep}}^2 f_y / \gamma_{\text{M0}} = 0,25 \cdot 519,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 19064,4\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},1,\text{Rd}} = \frac{4M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 \cdot 19064,4}{62,2} = 1226,0\text{kN}$$

$$\text{Modo 2} \quad \sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff},2+3,\text{nc}} = 519,2\text{mm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = 0,25 \sum l_{\text{eff},2} t_{\text{ep}}^2 f_y / \gamma_{\text{M0}} = 0,25 \cdot 519,2 \cdot 25^2 \cdot 235 / 1,0 = 19064,4\text{kN}\cdot\text{mm}$$

$$F_{\text{T},2,\text{Rd}} = \frac{2M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t},\text{Rd}}}{m + n} = \frac{2 \cdot 19064,4 + 75 \cdot 4 \cdot 254,16}{62,2 + 75} = 833,7\text{kN}$$

$$\text{Modo 3} \quad F_{\text{T},3,\text{Rd}} = \sum F_{\text{t},\text{Rd}} = 4 \cdot 254,16 = 1016,6\text{kN}$$

**Resistencia de la chapa frontal a flexión:**

$$F_{t(2+3),ep,Rd} = \min(F_{\text{T},1,\text{Rd}}; F_{\text{T},2,\text{Rd}}; F_{\text{T},3,\text{Rd}}) = \min(1226,0; 833,7; 1016,6) = 833,7\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN – FILAS DE TORNILLOS 2 + 3 ( $F_{t(2+3),wb,Rd}$ )

- Resistencia del alma de la viga a tracción  $F_{t(2+3),wb,Rd}$

$$F_{t(2+3),wb,Rd} = \frac{b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.8}$$

$b_{\text{eff},t,wb}$  es igual a longitud eficaz del casquillo en T equivalente, que representa la chapa frontal en flexión para el grupo de filas de tornillos 2 y 3:

$$b_{\text{eff},t,wb} = \min\left(\sum l_{\text{eff},2+3,cp}; \sum l_{\text{eff},2+3,nc}\right) = \min(570,8; 519,2) = 519,2\text{mm}$$

$$F_{t(2+3),wb,Rd} = \frac{519,2 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 1464,1\text{kN}$$

## ZONA A TRACCIÓN–RESISTENCIA DE LA 3ª FILA DE TORNILLOS

➤ Resistencia efectiva de la 3ª fila de tornillos:

$$F_{t3,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{t3,fc,Rd} = 495,0\text{kN} \\ F_{t3,wc,Rd} = 799,7\text{kN} \\ F_{t3,ep,Rd} = 461,3\text{kN} \\ F_{t3,wb,Rd} = 966,1\text{kN} \\ F_{t(2+3),fc,Rd} - F_{t2,Rd} = 901,6 - 507,6 = 412,0\text{kN} \\ F_{t(2+3),wc,Rd} - F_{t2,Rd} = 1092,4 - 507,6 = 602,8\text{kN} \\ F_{t(2+3),ep,Rd} - F_{t2,Rd} = 833,7 - 507,6 = 326,1\text{kN} \\ F_{t(2+3),wb,Rd} - F_{t2,Rd} = 1464,1 - 507,6 = 956,5\text{kN} \\ F_{c,wc,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 2294,2 - 410,3 - 507,6 = 1376,3\text{kN} \\ F_{c,fb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 1997,8 - 410,3 - 507,6 = 1079,9\text{kN} \\ F_{c,hb,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 6516,4 - 410,3 - 507,6 = 5598,5\text{kN} \\ V_{wp,Rd} / \beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd} = 1011,5 / 1,0 - 410,3 - 507,6 = 93,6\text{kN} \end{array} \right.$$

La resistencia de la 3ª fila de tornillos se ha reducido

por la resistencia del panel del alma del pilar a cortante:

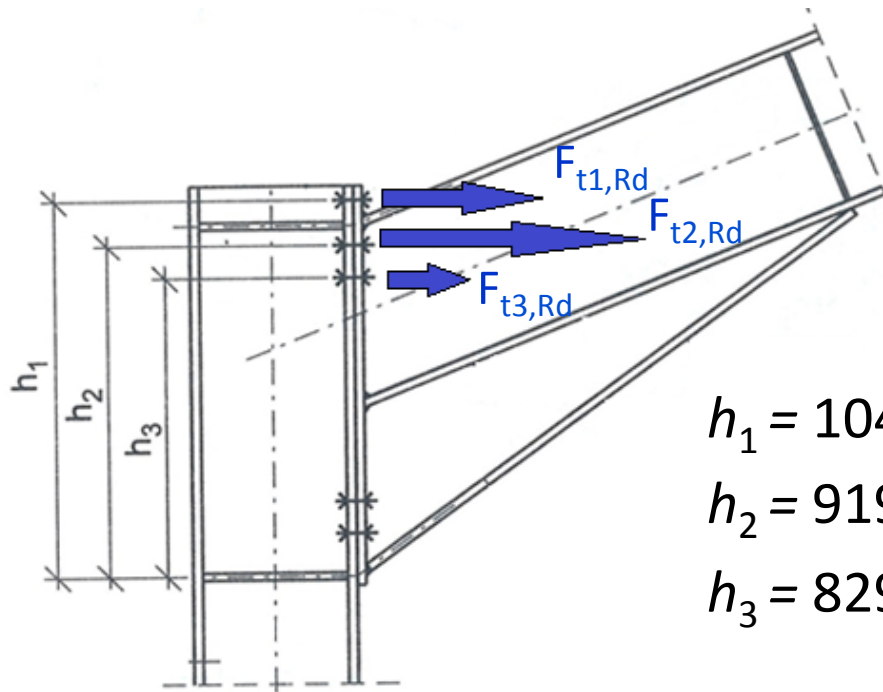
$$F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN}$$



# DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LAS FILAS DE TORNILLOS

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (9)

Si  $F_{tr,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$  se considera una distribución plástica de los esfuerzos en los tornillos



$$h_1 = 1044\text{mm}$$

$$h_2 = 919\text{mm}$$

$$h_3 = 829\text{mm}$$

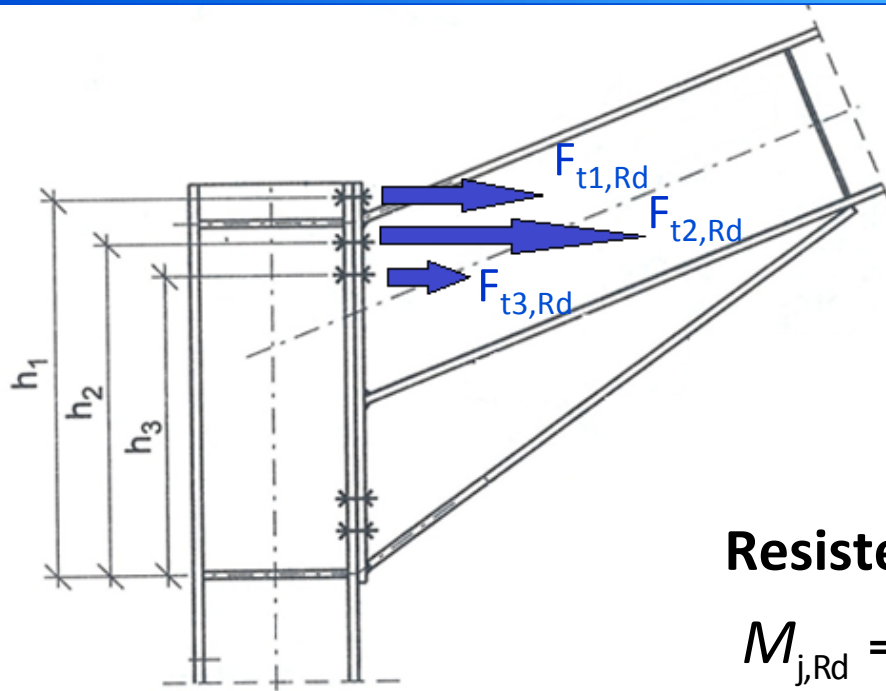
$$F_{tr,Rd} \leq \frac{F_{tx,Rd} h_r}{h_x}$$

$$F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN} < 482,9\text{kN} \Rightarrow F_{t1,Rd} = 410,3\text{kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN} > 482,9\text{kN} \Rightarrow F_{t2,Rd} = 507,6\text{kN} = F_{tx,Rd} \text{ and } h_2 = h_x$$

$$F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN} < 507,6 \cdot 829 / 919 = 457,9\text{kN} \Rightarrow F_{t3,Rd} = 93,6\text{kN}$$

# VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MOMENTO DE DISEÑO



$$F_{t1,Rd} = 410,3 \text{ kN}$$

$$h_1 = 1044 \text{ mm}$$

$$F_{t2,Rd} = 507,6 \text{ kN}$$

$$h_2 = 919 \text{ mm}$$

$$F_{t3,Rd} = 93,6 \text{ kN}$$

$$h_3 = 829 \text{ mm}$$

**Resistencia a momento de la unión:**

$$M_{j,Rd} = \sum_r F_{tr,Rd} h_r = F_{t1,Rd} h_1 + F_{t2,Rd} h_2 + F_{t3,Rd} h_3$$

$$M_{j,Rd} = 410,3 \cdot 1,044 + 507,6 \cdot 0,919 + 93,6 \cdot 0,829$$

$$M_{j,Rd} = 972,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Comprobación del diseño:**

$$M_{Ed} = 605,0 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_{j,Rd} = 972,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

78 Se cumple la condición

# VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL MOMENTO DE DISEÑO

- **Verificación de la necesidad de considerar la interacción entre el esfuerzo axial y el momento en la viga.**

EN 1993-1-8 § 6.2.7(2)

Si el esfuerzo axial de la viga  $N \leq 5\% N_{pl,Rd}$ , la interacción del esfuerzo axial con el momento no es necesario considerarse

Resistencia plástica de la viga:

$$N_{pl,Rd} = A_b \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 197,5 \cdot 10^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 4641,3 \text{ kN}$$

$$N = 170,55 \text{ kN} \leq 0,05 \cdot N_{pl,Rd} = 0,05 \cdot 4641,3 = 232,0 \text{ kN}$$

La condición se cumple y no es necesario tener en cuenta la interacción del momento con el esfuerzo axial.

# CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

## CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

- Los 4 tornillos colocados en la parte inferior son los encargados de soportar sólo el esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  (no trabajan a tracción)

$$n_s = 4$$

- Los tornillos deben comprobarse a cortante y aplastamiento

$$V_{Ed} \leq n_s \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

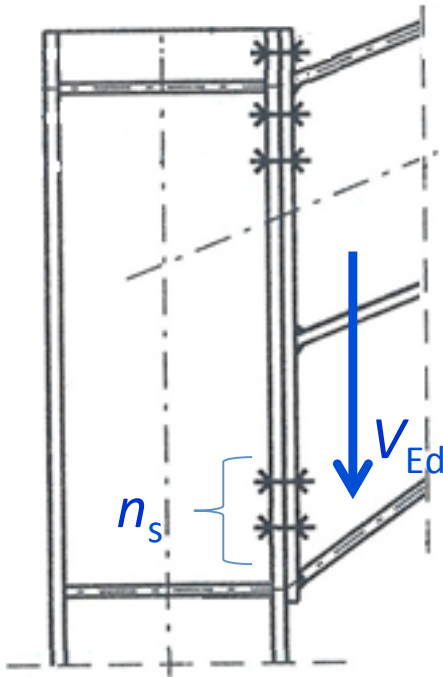
EN 1993-1-8 § 6.2.2(2)

donde:

$F_{v,Rd}$  – resistencia a cortante del tornillo

$F_{b,Rd}$  – resistencia a aplastamiento del tornillo

(tanto de la chapa frontal como del ala del pilar)



# CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

➤ Diseño a cortante de un sólo tornillo  $F_{v,Rd}$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad \text{EN 1993-1-8 Tabla 3.4}$$

✓ Como el cortante atraviesa la parte roscada del tornillo :

$$A = A_s = 353 \text{mm}^2 \text{ y para la clase 10.9 } \Rightarrow \alpha_v = 0,5$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 141,2 \text{kN}$$

# CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

## ➤ Diseño a aplastamiento de un sólo tornillo

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad \text{EN 1993-1-8 Tabla 3.4}$$

$$d = 24\text{mm}, d_0 = 26\text{mm}, p_1 = 90\text{mm}$$

para tornillos interiores:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,90$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\alpha_d; \frac{1000}{360}; 1,0\right) = \min(0,90; 2,78; 1,0) = 0,90$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{w}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{75}{26} - 1,7; 1,4 \frac{150}{26} - 1,7; 2,5\right) = \\ = \min(6,37; 6,37; 2,5) = 2,5$$

## CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

$$k_1 = 2,5 \quad \alpha_b = 0,90$$

- ✓ Diseño a aplastamiento de un sólo tornillo de la chapa frontal:

$$t = t_{ep} = 24\text{mm}$$

$$F_{b,ep,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{ep}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,90 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} = 388,8\text{kN}$$

- ✓ Diseño a aplastamiento de un sólo tornillo del alma del pilar:

$$t = t_{fc} = 26\text{mm}$$

$$F_{b,fc,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,90 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 26}{1,25} = 404,4\text{kN}$$

- ✓ Diseño a aplastamiento de un sólo tornillo:

$$F_{b,Rd} = \min(F_{b,ep,Rd}; F_{b,fc,Rd}) = \min(388,8; 404,4) = 388,8\text{kN}$$



## CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

➤ **Comprobación de la resistencia a esfuerzo cortante:**

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq n_s \cdot \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

$n_s = 4 \rightarrow$  número de tornillos que soportan el esfuerzo cortante  
(no trabajan a tracción)

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 4 \cdot \min(141,2; 388,8)$$

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 4 \cdot 141,2$$

$$V_{Ed} = 199,3\text{kN} \leq 564,8\text{kN}$$

Se cumple la condición

# CÁLCULO DE LA RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

➤ Rigidez de los componentes básicos: EN 1993-1-8 § 6.3.2 Tabla 6.10

Coef. De rigidez	Componentes de la unión
$k_1$	Panel del alma del pilar sometido a esfuerzo cortante
$k_2$	Alma del pilar sometida a compresión
$k_3$	Alma del pilar sometida a tracción
$k_4$	Ala del pilar sometida a flexión
$k_5$	Chapa frontal sometida a flexión
$k_{10}$	Tornillos sometidos a tracción

Para el cálculo del coeficiente equivalente de rigidez  $k_{eq}$  se han considerado los siguientes coeficientes de rigidez:  $k_3, k_4, k_5, k_{10}$ .

## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

- **Alma del pilar sometida a compresión**

EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_2 = \infty$$

- **Alma del pilar sometida a tracción**

EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$d_c = 344\text{mm} \quad k_{3,r} = \frac{0,7b_{\text{eff,t,wc}}t_{\text{wc}}}{d_c}$$

$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(l_{\text{eff,cp}}; l_{\text{eff,nc}})$  según Tabla 6.5 para una sólo fila de tornillos o como parte de un grupo de filas de tornillos

1ª Fila de tornillos:

$$k_{3,1} = \frac{0,7 \cdot 215,8 \cdot 14}{344} = 6,1\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(225,8; 215,8) = 215,8\text{mm}$$

2ª Fila de tornillos:

$$k_{3,2} = \frac{0,7 \cdot 235,8 \cdot 14}{344} = 6,7\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(291,5; 235,8; 352,6; 258,0) = 235,8\text{mm}$$

3ª Fila de tornillos:

$$k_{3,3} = \frac{0,7 \cdot 184,7 \cdot 14}{344} = 5,3\text{mm}$$

$$b_{\text{eff,t,wc}} = \min(291,5; 235,8; 279,4; 184,7) = 184,7\text{mm}$$

## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

### ➤ Ala del pilar sometida a flexión

$$k_{4,r} = \frac{0,9 I_{\text{eff}} t_{\text{fc}}^3}{m^3}$$

EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$m = 46,4\text{mm}$$

$I_{\text{eff}} = \min(I_{\text{eff,cp}}; I_{\text{eff,nc}})$  según Tabla 6.5 para una sólo fila de tornillos o como parte de un grupo de filas de tornillos

1ª Fila de tornillos :

$$k_{4,1} = \frac{0,9 \cdot 215,8 \cdot 26^3}{46,4^3} = 34,2\text{mm}$$

$$I_{\text{eff}} = \min(225,8; 215,8) = 215,8\text{mm}$$

2ª Fila de tornillos :

$$k_{4,2} = \frac{0,9 \cdot 235,8 \cdot 26^3}{46,4^3} = 37,3\text{mm}$$

$$I_{\text{eff}} = \min(291,5; 235,8; 352,6; 258,0) = 235,8\text{mm}$$

3ª Fila de tornillos :

$$k_{4,3} = \frac{0,9 \cdot 184,7 \cdot 26^3}{46,4^3} = 29,2\text{mm}$$

$$I_{\text{eff}} = \min(291,5; 235,8; 279,4; 184,7) = 184,7\text{mm}$$

## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

### ➤ Chapa frontal a flexión

EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_{5,r} = \frac{0,9 l_{\text{eff}} t_{\text{ep}}^3}{m^3}$$

$m = 62,2\text{mm}$ , para la 1ª fila de tornillos:  $m = m_x = 36,4\text{mm}$

$l_{\text{eff}} = \min(l_{\text{eff,cp}}; l_{\text{eff,nc}})$  según Tabla 6.6 para una sólo fila de tornillos o como parte de un grupo de filas de tornillos

1ª Fila de tornillos :

$$l_{\text{eff}} = \min(228,7; 150) = 150,0\text{mm}$$

$$k_{5,1} = \frac{0,9 \cdot 150,0 \cdot 25^3}{36,4^3} = 43,7\text{mm}$$

2ª Fila de tornillos :

$$l_{\text{eff}} = \min(390,8; 285,4; 429,2; 302,9) = 285,4\text{mm}$$

$$k_{5,2} = \frac{0,9 \cdot 285,4 \cdot 25^3}{62,2^3} = 16,7\text{mm}$$

3ª Fila de tornillos :

$$l_{\text{eff}} = \min(390,8; 285,4; 342,6; 216,3) = 216,3\text{mm}$$

$$k_{5,3} = \frac{0,9 \cdot 216,3 \cdot 25^3}{62,2^3} = 12,6\text{mm}$$

## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

➤ **Tornillos a tracción**

$$k_{10} = \frac{1,6A_s}{L_b}$$

EN 1993-1-8 § 6.3.2

Área a tracción del tornillo:  $A_s = 353\text{mm}^2$

$t_{wa} = 4\text{mm}$  – espesor de la arandela (EN ISO 7090)

$t_{nb} = 21,5\text{mm}$  – altura de la tuerca (EN ISO 4032)

$t_{hb} = 15\text{mm}$  – altura de la cabeza del tornillo (EN ISO 4017)

$$L_b = t_{fb} + t_{ep} + 2t_{wa} + \frac{t_{nb} + t_{hb}}{2} = 26 + 25 + 2 \cdot 4 + \frac{21,5 + 15}{2} = 77\text{mm}$$

Longitud de elongación del tornillo:

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot 353}{77} = 7,3\text{mm}$$

Para todas las filas de tornillos a tracción el coef.  $k_{10}$  es el mismo.

# RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– MÉTODO GENERAL

## ➤ Coeficientes de rigidez efectiva

EN 1993-1-8 § 6.3.3

$$k_{\text{eff},r} = \frac{1}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{k_{i,r}}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3,r}} + \frac{1}{k_{4,r}} + \frac{1}{k_{5,r}} + \frac{1}{k_{10}}}$$

Fila de tornillos $r$	Coeficientes de rigidez [mm]				Coeficientes de rigidez efectiva [mm]	$h_r$ [mm]
	$k_{3,r}$	$k_{4,r}$	$k_{5,r}$	$k_{10}$		
1	6,1	34,2	43,7	7,3	2,8	1044
2	6,7	37,3	16,7	7,3	2,7	919
3	5,3	29,2	12,6	7,3	2,3	829

## ➤ Brazo de palanca equivalente

$$z_{\text{eq}} = \frac{\sum_{r=1}^3 k_{\text{eff},r} h_r^2}{\sum_{r=1}^3 k_{\text{eff},r} h_r} = \frac{2,8 \cdot 1044^2 + 2,7 \cdot 919^2 + 2,3 \cdot 829^2}{2,8 \cdot 1044 + 2,7 \cdot 919 + 2,3 \cdot 829} = 946\text{mm}$$



## RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL– COMPONENTES

- **panel del alma del pilar no rigidizado sometido a esfuerzo cortante**  
EN 1993-1-8 § 6.3.2

(En ausencia de rigidizadores a cortante, sólo los valores de los coeficientes de rigidez:  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  influyen en la rigidez de la unión)

$$k_1 = \frac{0,38A_{vc}}{\beta \cdot z_{eq}}$$

$$\beta = 1, \quad A_{vc} = 7970\text{mm}^2, \quad z_{eq} = 946\text{mm}$$

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot 7970}{1,0 \cdot 946} = 3,2\text{mm}$$

# RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL–MÉTODO GENERAL

## ➤ Coeficiente de rigidez equivalente

EN 1993-1-8 § 6.3.3

$$k_{eq} = \frac{\sum_{r=1}^3 k_{eff,r} h_r}{Z_{eq}} = \frac{2,8 \cdot 1044 + 2,7 \cdot 919 + 2,3 \cdot 829}{946} = 7,7 \text{ mm}$$

## ➤ Rigidez rotacional inicial

EN 1993-1-8 § 6.3.1

$$S_{j,ini} = \frac{Ez_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_{eq}}} = \frac{210000 \cdot 946^2}{\frac{1}{3,2} + \frac{1}{7,7}} = 424831 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

# RIGIDEZ ROTACIONAL INICIAL – CLASIFICACIÓN DE LA UNIÓN

## Clasificación de la unión por su rigidez

EN 1993-1-8 § 5.2.2

Límite unión rígida:

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$$

$$K_b / K_c = \left( \frac{EI_b}{L_b} \right) / \left( \frac{EI_c}{L_c} \right) = \frac{86970 \cdot 10^4}{12924} / \frac{79890 \cdot 10^4}{5380} = 0,45 > 0,1 \Rightarrow k_b = 25$$

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b = 25 \cdot \frac{210000 \cdot 86970 \cdot 10^4}{12924} = 353290 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

$$S_{j,ini} = 424830 \text{ kN} \cdot \text{m/rad} > 353290 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

Se cumple la condición

# CONCLUSIÓN



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

## CONCLUSIÓN

- Se ha presentado un ejemplo práctico del cálculo de uniones atornilladas resistentes a momentos en edificios con estructuras de acero de una sola planta.
- Se ha explicado en detalle el procedimiento de cálculo de la resistencia al momento, la resistencia a cortante y la rigidez inicial de rotación de la unión .
- Los rigidizadores del pilar y de la viga se utilizan para aumentar la resistencia de diseño y la rigidez rotacional de la unión. La unión resultante se clasificará como rígida.
- La ausencia de algún rigidizador se debe tener en cuenta en la resistencia de diseño a través de los coeficientes de rigidez de cada uno de los componentes no rigidizados de la unión.
- Si una unión no rigidizada se clasifica como semi-rígida su rigidez debe tenerse en cuenta en el análisis estático del pórtico.

# REFERENCIAS



Programa de  
Aprendizaje  
Permanente

## REFERENCIAS

- EN 1993-1-1 – Eurocode 3 Design of steel structures Part 1-1: General rules and rules for buildings
- EN 1993-1-8 – Eurocode 3 Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints.
- M. Giżejowski, J. Ziółko (eds). Budownictwo ogólne tom 5. Stalowe konstrukcje budynków. Projektowanie według Eurokodów z przykładami obliczeń.  
*General Construction volume 5. Steel structures of buildings. Design according to Eurocodes with worked examples.*  
Arkady, Warszawa 2010 (in Polish).
- Access Steel, NCCI „Design of portal frame eaves connections”  
SN041a-EN-EU