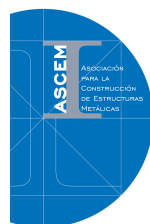




Programa de Aprendizaje Permanente

SKILLS Project



UNIONES RESISTENTES A MOMENTO – PARTE

1



Programa de
Aprendizaje
Permanente

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- **Proceso de diseño de las uniones atornilladas resistentes a momento :**
 - ✓ **Unión resistente a momentos**
 - ✓ **Diseño de detalles (soldaduras, rigidizadores)**
 - ✓ **Rigidez de la unión**

- **Recomendaciones para buenas prácticas de diseño**

ÍNDICE

- **Introducción**
- **Cálculo del momento resistente**
- **Cálculo a esfuerzo cortante**
- **Diseño de soldaduras**
- **Rigidizadores**
- **Cálculo de la rigidez de la unión**
- **Guía de buenas prácticas**
- **Conclusión**

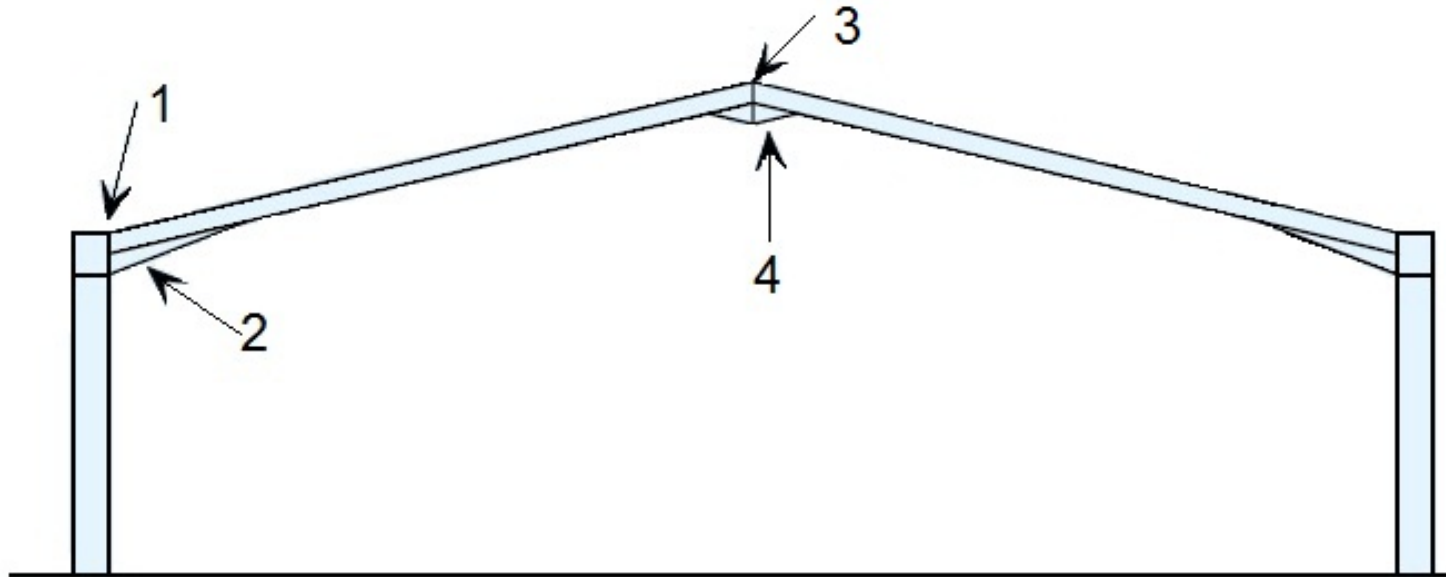
INTRODUCCIÓN



Programa de
Aprendizaje
Permanente

INTRODUCCIÓN

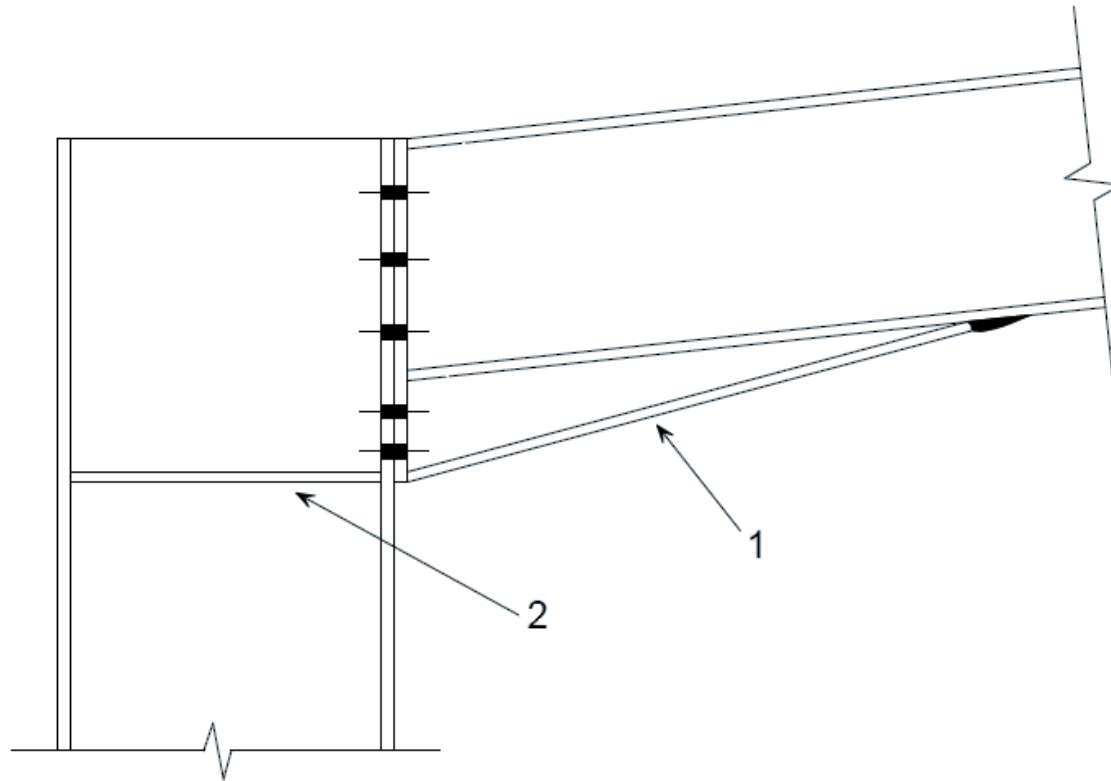
- Tipos de unión resistente a momentos en edificios de una sola planta



1. Unión de alero
2. Cartela de alero
3. Unión de cumbrera
4. Cartela de cumbrera

INTRODUCCIÓN

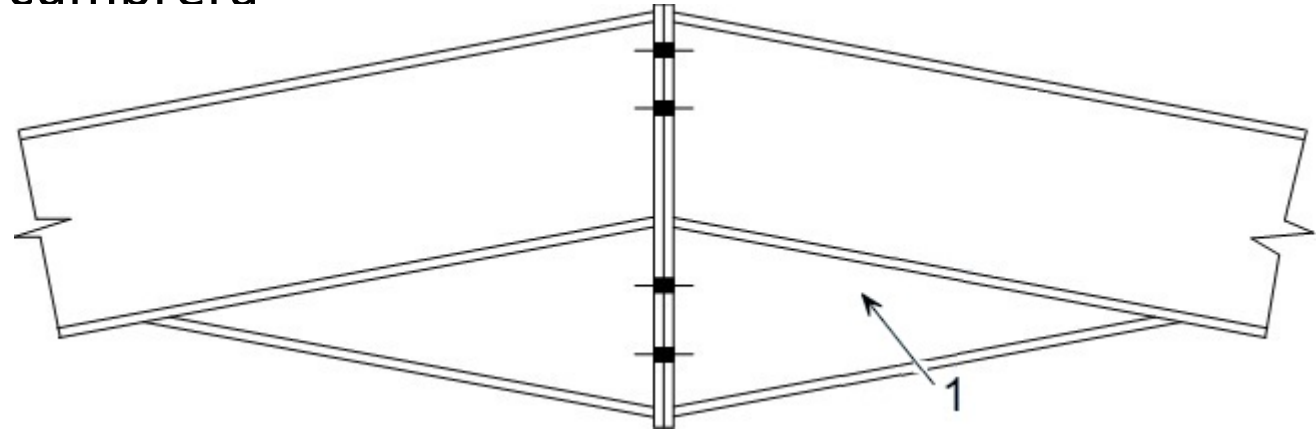
➤ Unión de alero típica



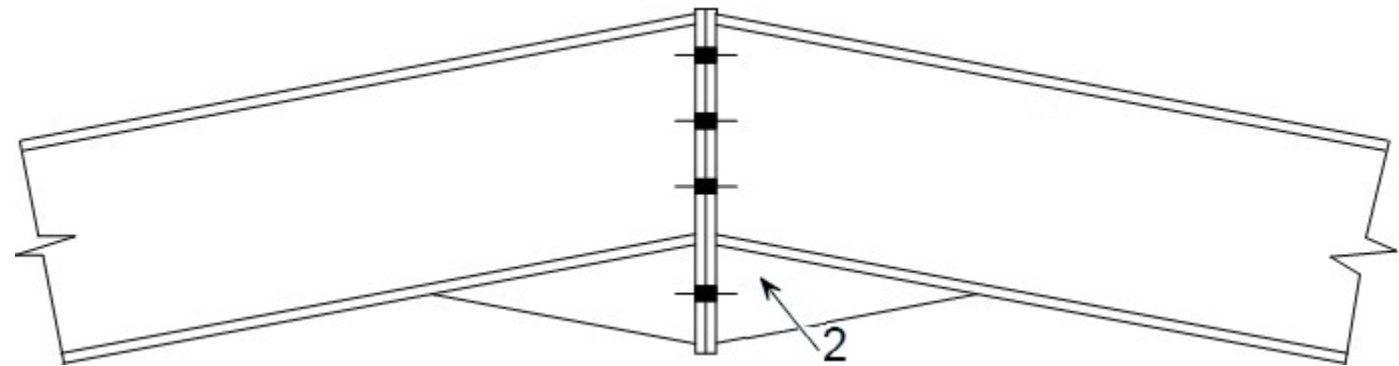
1. Cartela
2. Rigidizador a compresión

INTRODUCCIÓN

➤ Unión típica de cumbrera



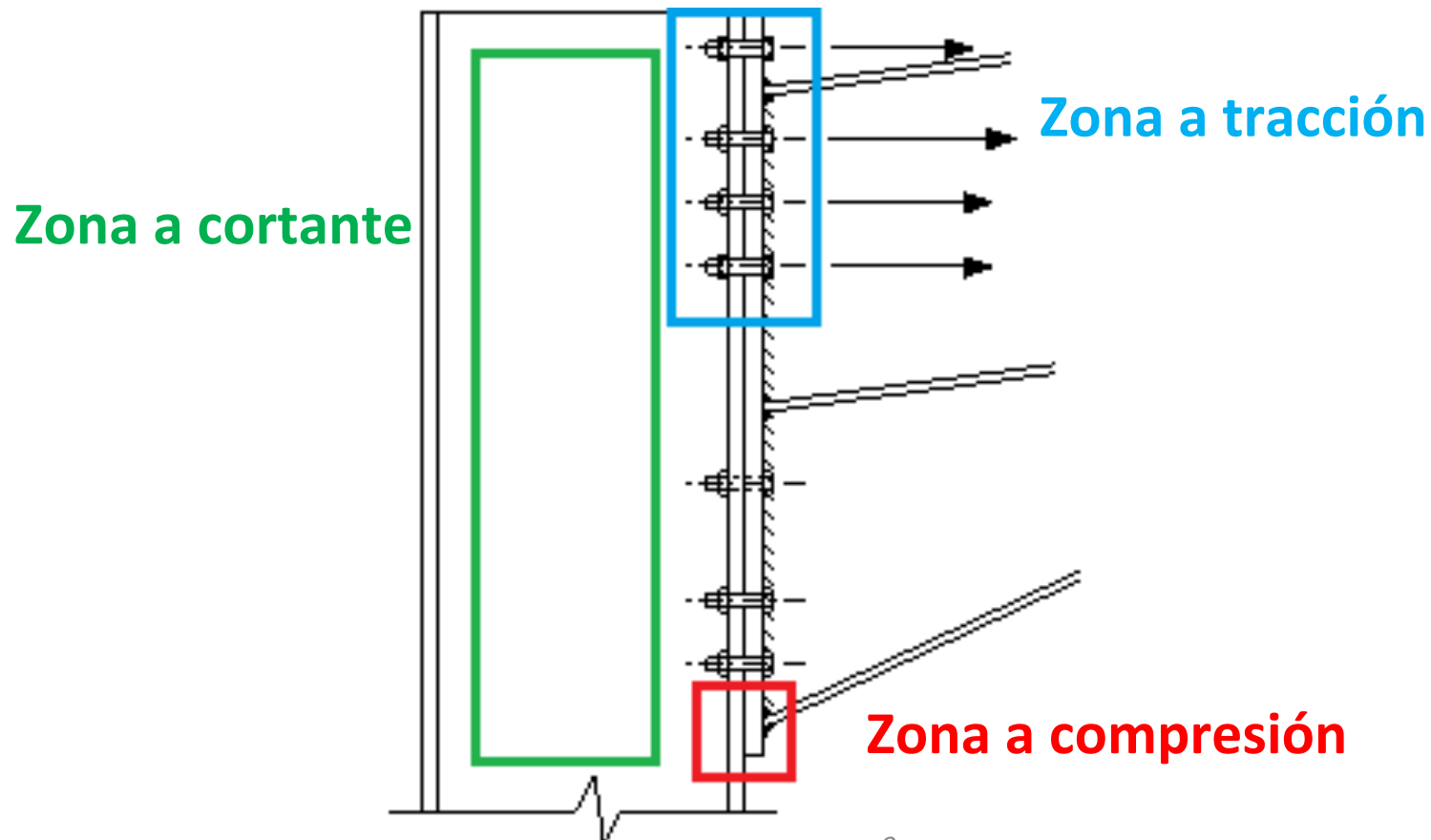
➤ Detalle alternativo de cumbrera



1. Cartela fabricada a partir del mismo perfil
2. Chapa rigidizadora

INTRODUCCIÓN

- Enfoque general de diseño de acuerdo con EN 1993-1-8
 - ✓ La unión se modela como un ensamblaje de componentes
 - ✓ Los componentes básicos se encuentran en diferentes zonas de la unión.



CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE



Programa de
Aprendizaje
Permanente

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE - GENERAL

➤ Pasos a seguir:

- ✓ Determinar la resistencia potencial de las filas de tornillos situadas en la zona sometida a tracción por separado $F_{t,Rd(r)}$
- ✓ Determinar la resistencia de cálculo de la zona sometida a compresión $F_{c,Rd}$
- ✓ Determinar la resistencia del panel del alma del pilar (zona sometida a esfuerzo cortante) $V_{wp,Rd}$
- ✓ Determinar las resistencias de cálculo eficaces en la zona sometida a tracción de cada fila de tornillos $F_{tr,Rd}$
- ✓ Cálculo del momento resistente de la unión $M_{j,Rd}$

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– GENERAL

- La resistencia de cada fila de tornillos se calcula de manera independiente.
- La resistencia de la unión puede venir limitada por:
 - La resistencia de cálculo de un grupo de tornillos
 - La rigidez del ala del pilar o de la chapa frontal que podrían imposibilitar una distribución plástica de los esfuerzos de tracción
 - La resistencia a cortante del panel del alma del pilar
 - La resistencia de la zona de compresión

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

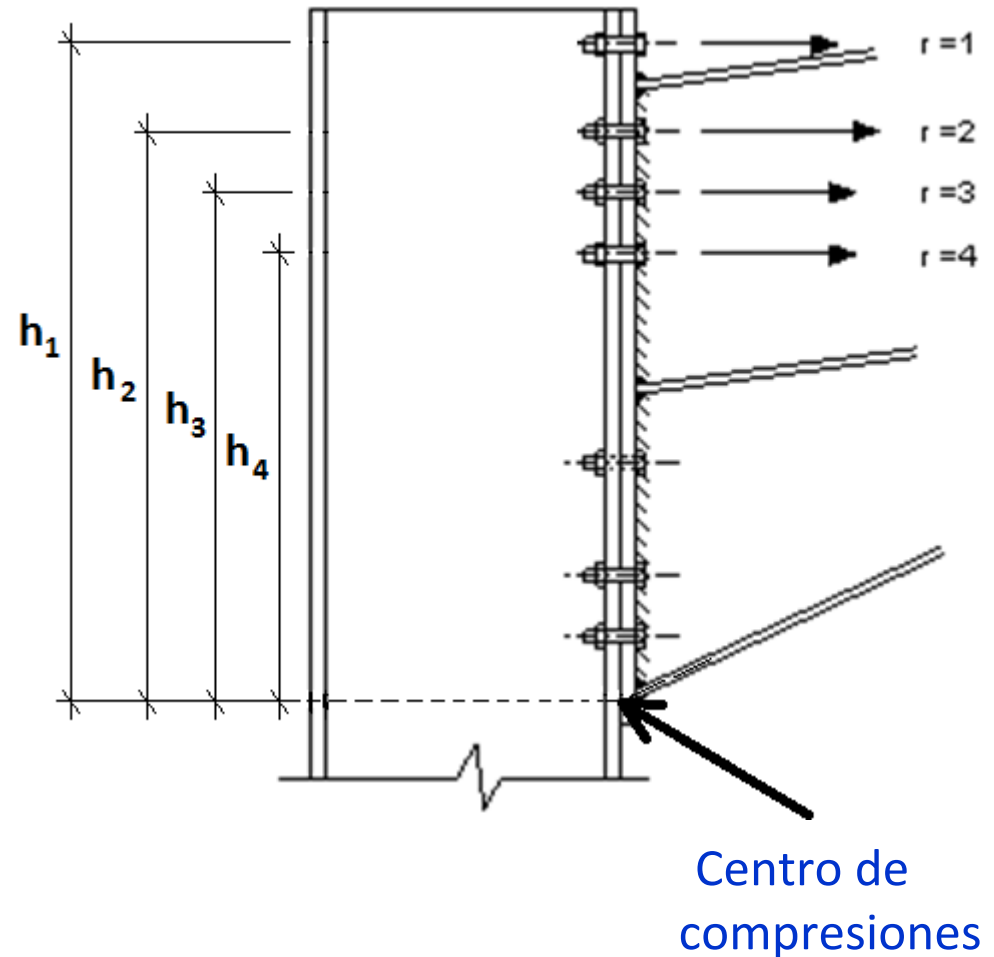
- la resistencia de cálculo a tracción eficaz de cada fila de tornillos

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

Componente	Símbolo	Número de la cláusula de la norma EN 1993-1-8
Ala del pilar en flexión	$F_{t,fc,Rd}$	6.2.6.4 and Tables: 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 and Tables: 6.2, 6.6
Alma de la viga en tracción	$F_{t,wb,Rd}$	6.2.6.8

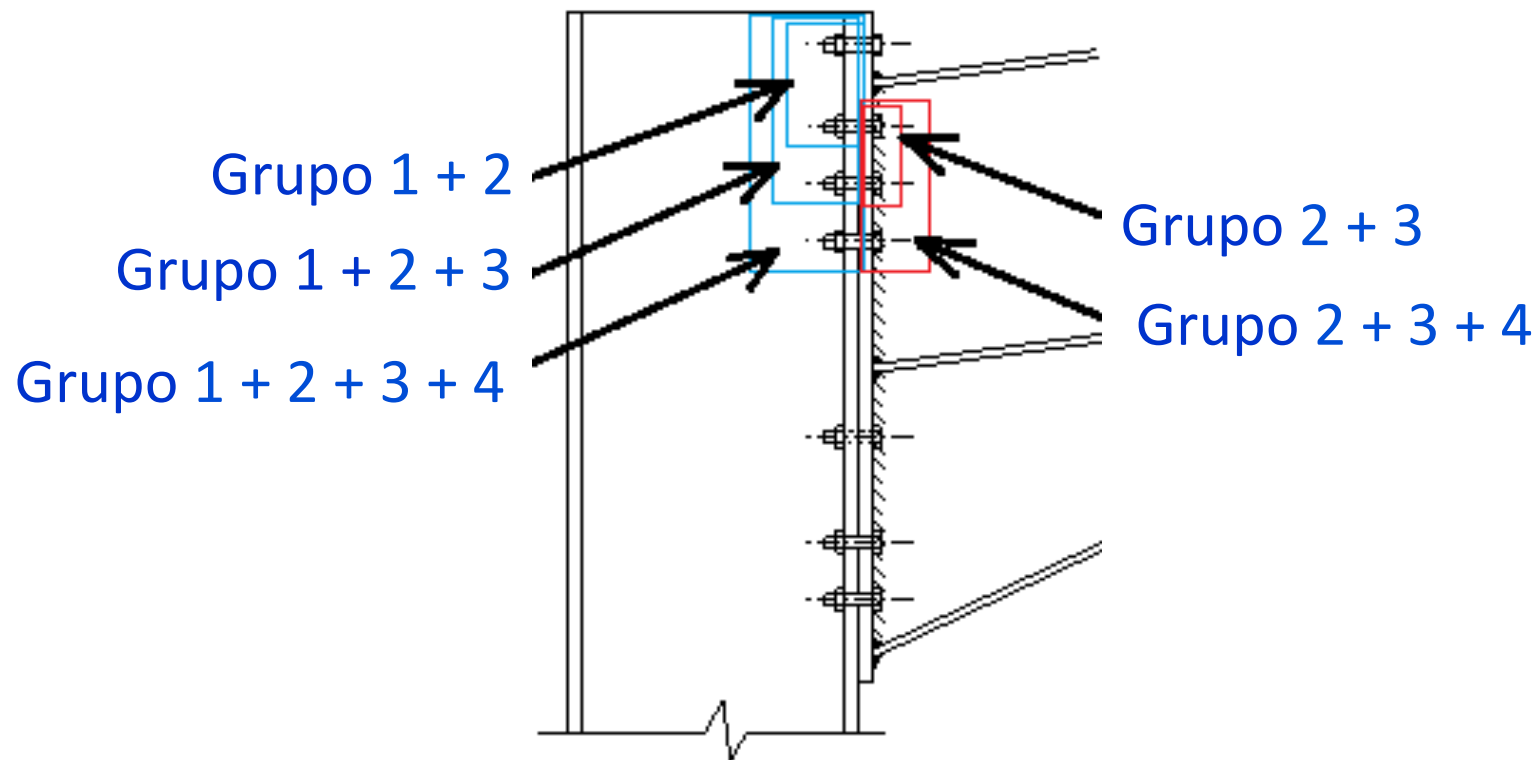
CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Comenzar por la fila más alejada del centro de compresión ($r = 1$)
- Se ignora la resistencia de aquellas filas de tornillos que se encuentren más cerca del centro de compresión
- Las filas subsiguientes se verifican tanto de forma independiente como formando parte de un grupo en combinación con las filas anteriores



CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Grupos de filas de tornillos relacionados con los componentes básicos de las uniones formando parte del pilar y de una viga con una chapa frontal extendida.



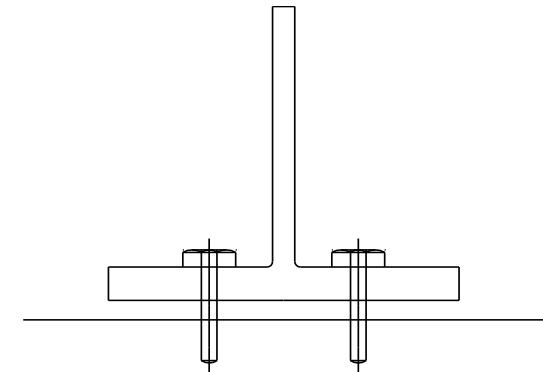
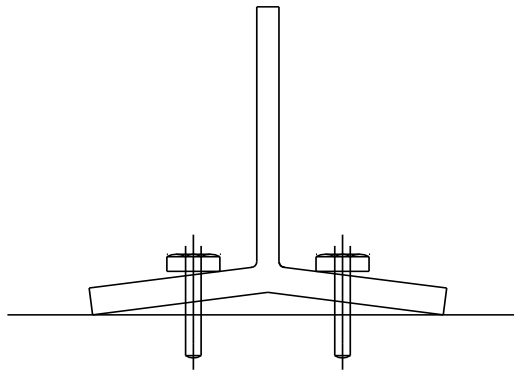
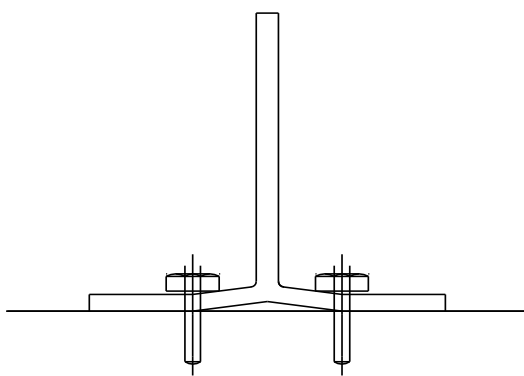
CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- **Determinación de la resistencia potencial a tracción de:**
 - ✓ **una chapa frontal en flexión $F_{t,ep,Rd}$** EN 1993-1-1 § 6.2.4
 - ✓ **un ala de pilar en flexión $F_{t,fc,Rd}$**
- Los patrones de líneas de plastificación reales se convierten en un casquillo en T equivalente
- Cada patrón de líneas de plastificación lleva asociado una longitud de casquillo en T equivalente l_{eff}
- Se elegirá el casquillo en T equivalente más corto ($\min l_{eff}$)
- Con la longitud eficaz del casquillo en T se podrá calcular la resistencia del casquillo en T.

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Modos de fallo de un casquillo en T equivalente

EN 1993-1-8 § 6.2.4 Table 6.2



Modo 1

el ala del casquillo en T es el componente crítico y plastifica con una flexión de doble curvatura

Modo 2

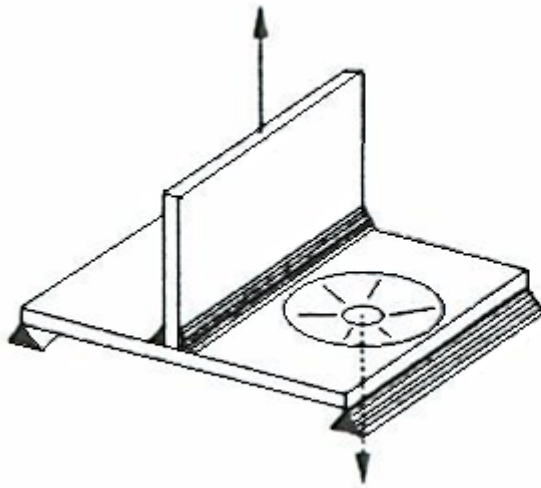
el ala y los tornillos ceden y se encuentran plastificados con un mismo valor de carga

Modo 3

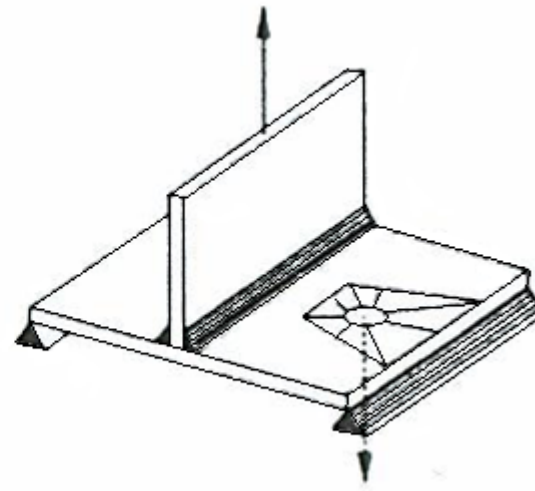
los tornillos son los componentes críticos y la resistencia es igual a la resistencia a tracción de éstos

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- longitud eficaz del casquillo en T



Patrones de plastificación
circulares $l_{eff,cp}$

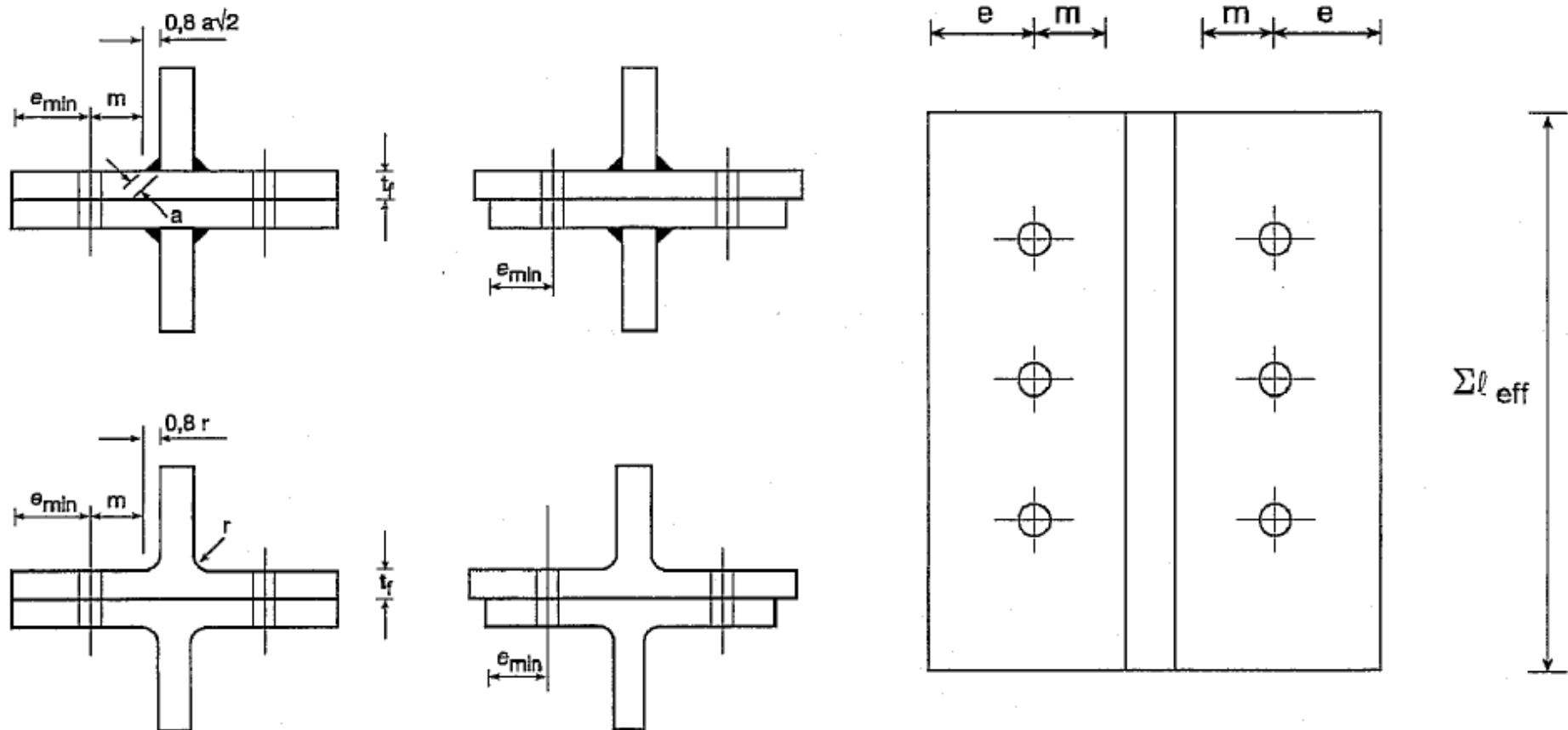


Patrones de plastificación
no circulares $l_{eff,nc}$

	Fila de tornillos considerada individualmente	Fila de tornillos considerada en un grupo de filas de tornillos
Modo 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ but $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ but $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$
Modo 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Dimensiones del casquillo en T equivalente EN 1993-1-8 Figure 6.2



CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de un ala de pilar en flexión $F_{t,fc,Rd}$ **no rigidizada**

EN 1993-1-1 § 6.2.6.5 Table 6.4

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón circular $l_{eff,nc}$
Fila interior de tornillos	$2\pi m$	$4m+1,25e$	$2p$	p
Fila exterior de tornillos	El menor de: $2\pi m,$ $\pi m+2e_1$	El menor de: $4m+1,25e, 2m$ $+0,625e+e_1$	El menor de: $\pi m+p,$ $2e_1+p$	El menor de: $2m+0,625e+0,5p,$ $e_1+0,5p$

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

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

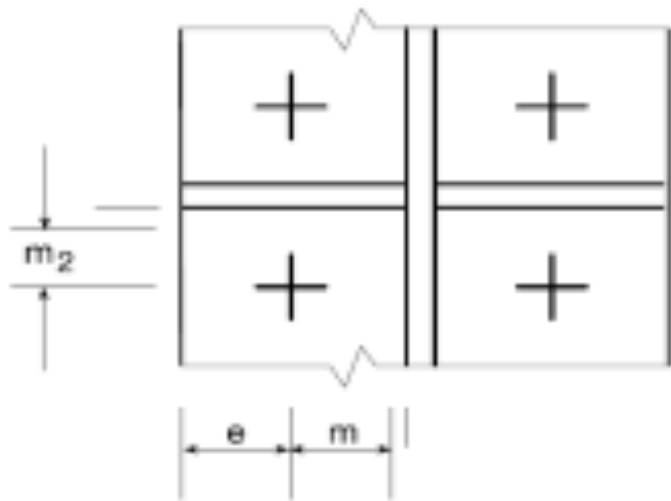
EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Table 6.5

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$
Fila de tornillos junto a rigidizador	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Otras Filas exteriores de tornillos	El menor de: $2\pi m,$ $\pi m + 2e_1$	El menor de: $4m + 1,25e,$ $2m + 0,625e + e_1$	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	El menor de: $2\pi m,$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	No relevante	No relevante

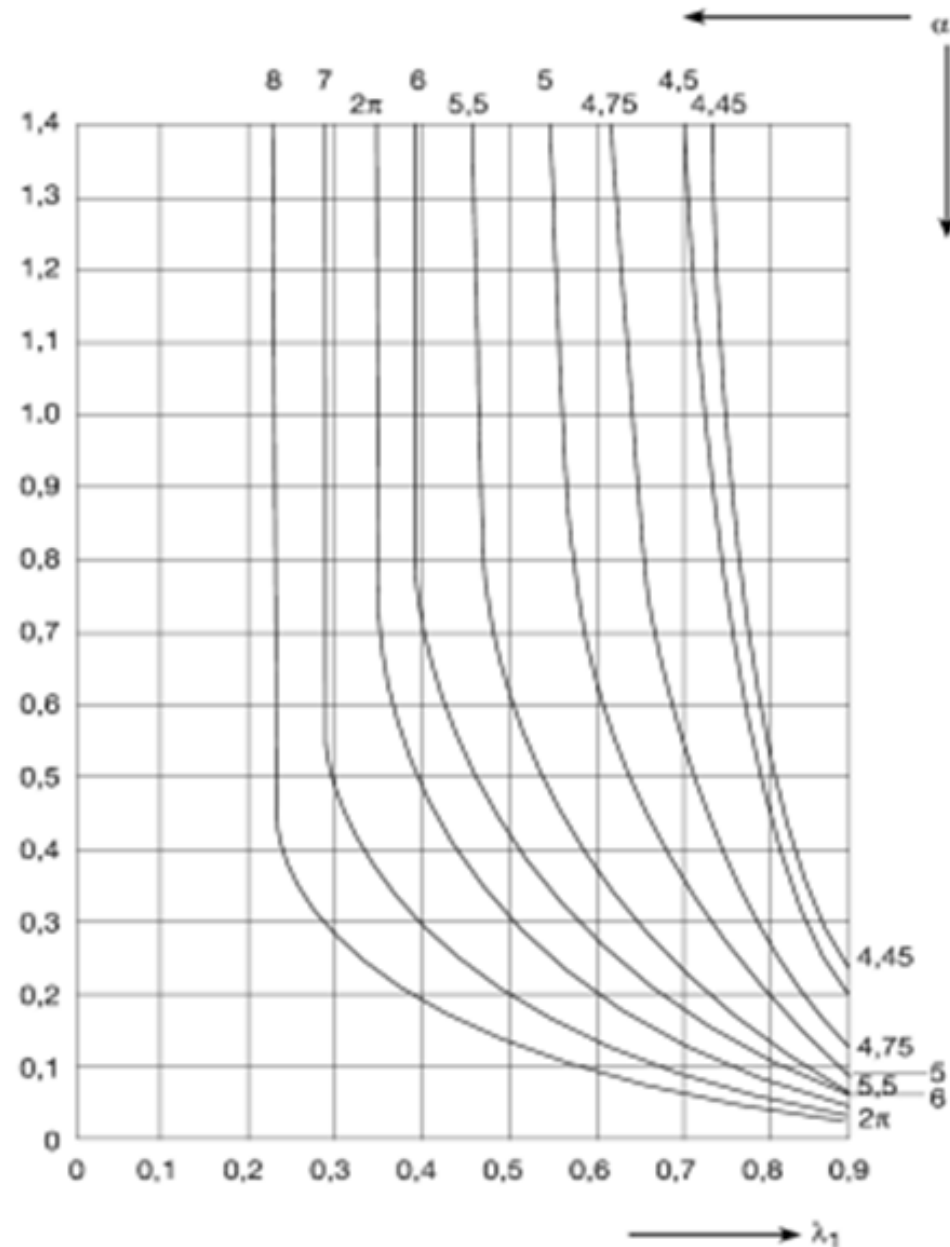
CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Valores de α para alas de pilar rigidizadas y chapas frontales

EN 1993-1-8 Figure 6.11



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

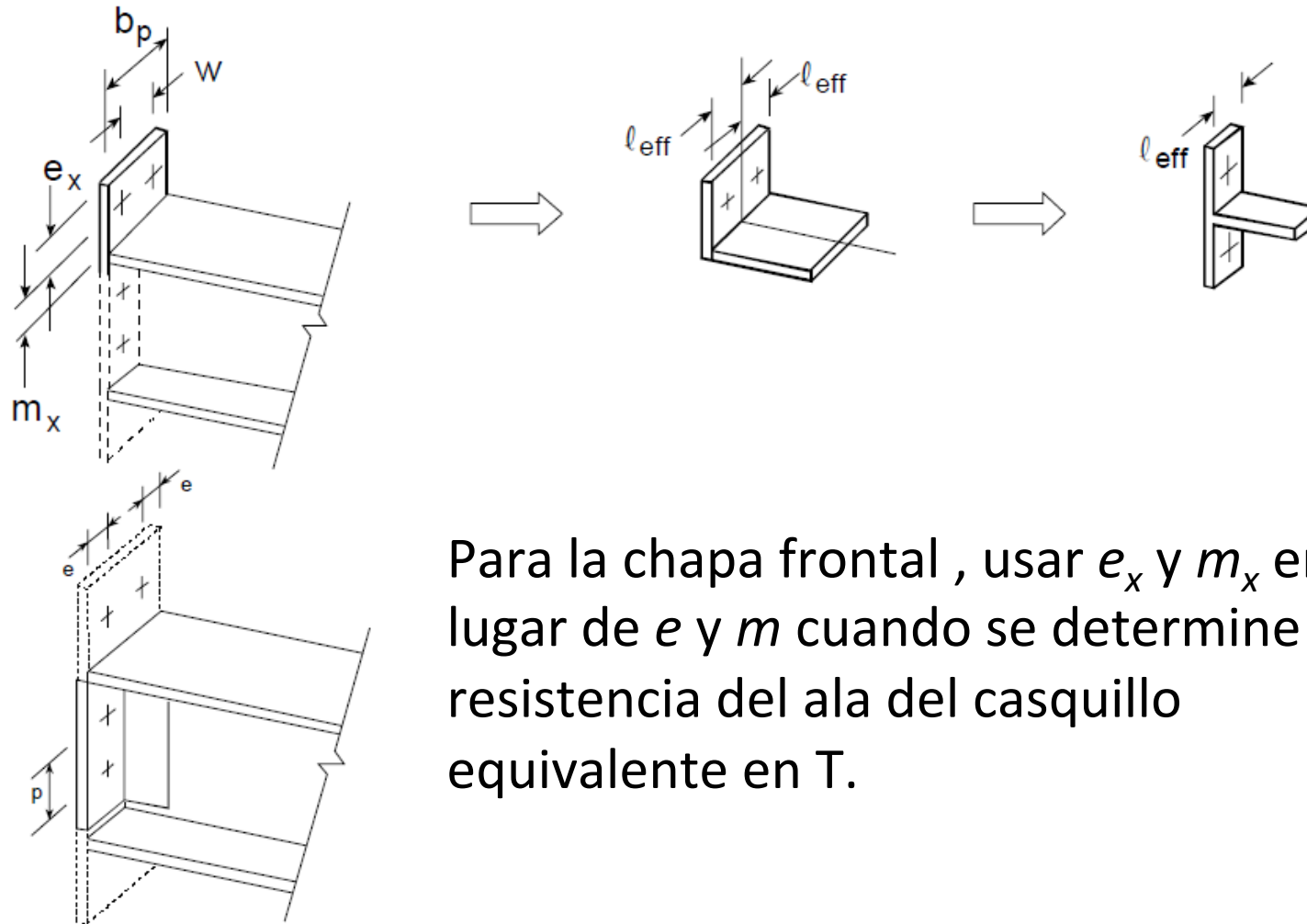
- Determinación de la longitud equivalente del casquillo en T de una **chapa frontal a flexión** $F_{t,ep,Rd}$

EN 1993-1-1 § 6.2.6.5 Table 6.6

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $l_{eff,cp}$	Patrón no circular $l_{eff,nc}$	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: $4m_x + 1,25e_x, e + 2m_x + 0,625e_x, 0,5p, 0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	-	-
Primera fila de tornillos bajo el ala de la viga	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Otras Filas interiores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Otras Filas exteriores de tornillos	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Simplificación de una chapa frontal en un casquillo en T equivalente EN 1993-1-8 Figure 6.10



Para la chapa frontal , usar e_x y m_x en lugar de e y m cuando se determine la resistencia del ala del casquillo equivalente en T.

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Cálculo de la resistencia del casquillo en T para diferentes modos de fallo EN 1993-1-8 § 6.2.4 Table 6.2

Modo 1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$
Modo 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Modo 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \leq 1,25m$$

t_f – espesor del ala equivalente del casquillo en T

(respectivamente $t_f = t_{fc}$ o $t_f = t_p$)

$F_{t,Rd}$ – resistencia de diseño a tracción del tornillo $F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$

EN 1993-1-8 § 3.6.1 Table 3.4

$\sum F_{t,Rd}$ – El total de $F_{t,Rd}$ para todos los tornillos del casquillo en T

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

➤ Determinación de la resistencia potencial a tracción de:

✓ **Chapa frontal en flexión** $F_{t,ep,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$

$F_{T1,Rd}$, $F_{T2,Rd}$, $F_{T3,Rd}$ – resistencias de diseño del casquillo en T para los diferentes modos de fallo, representando la chapa frontal en flexión

✓ **Ala del pilar en flexión** $F_{t,fc,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$

$F_{T1,Rd}$, $F_{T2,Rd}$, $F_{T3,Rd}$ – resistencias de diseño del casquillo en T para los diferentes modos de fallo, representando el ala del pilar en flexión

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Resistencia de diseño de un alma de pilar sometida a tracción transversal $F_{t,wc,Rd}$

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.3}$$

donde:

ω coeficiente reductor que permite tener en cuenta la interacción con el esfuerzo cortante del panel del alma del pilar (EN 1993-1-8 Table 6.3)

$b_{eff,t,wc}$ ancho efectivo del alma del pilar en tracción; para una unión atornillada es igual a la longitud efectiva equivalente del casquillo en T que representa al ala del pilar

t_{wc} espesor del alma del pilar

Nota: Refuerzos o placas suplementarias en el alma pueden utilizarse para aumentar la resistencia del alma del pilar.

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE – ZONA A TRACCIÓN

- Resistencia de diseño del alma de una viga sometida a tracción $F_{t,wb,Rd}$

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

donde:

$b_{eff,t,wb}$ ancho efectivo del alma de la viga en tracción;
es igual a longitud eficaz del casquillo en T equivalente, que representa la chapa frontal en flexión para una fila de tornillos o grupo de filas de tornillos

t_{wb} espesor del alma de la viga.

CALCULATION OF MOMENT RESISTANCE – COMPRESSION ZONE

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

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2

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

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

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

- Resistencia de diseño del alma de un pilar sometido a compresión transversal $F_{c,wc,Rd}$

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

donde:

ω factor reductor para tener en cuenta la interacción con el cortante en el alma del pilar (EN 1993-1-8 Table 6.3)

k_{wc} factor reductor (EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(2))

ρ factor de reducción que considera el pandeo de la placa (EN 1993-1-8 § 6.2.6.2(1))

$b_{eff,c,wc}$ ancho eficaz del alma del pilar a compresión

Nota: Refuerzos o placas suplementarias pueden utilizarse para aumentar la resistencia del alma del pilar.

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE— ZONA A COMPRESIÓN

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

EN 1993-1-8 § 6.2.6.2

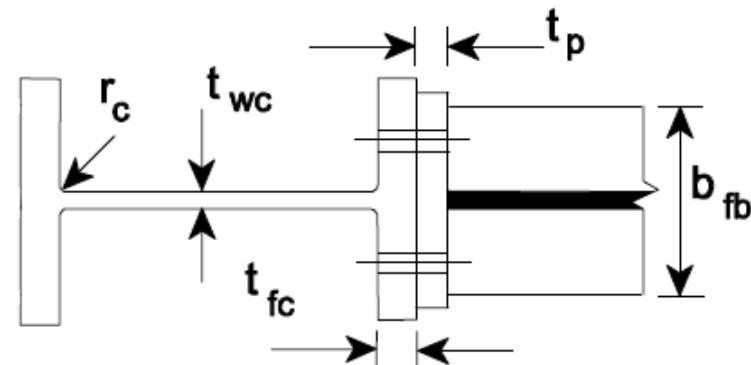
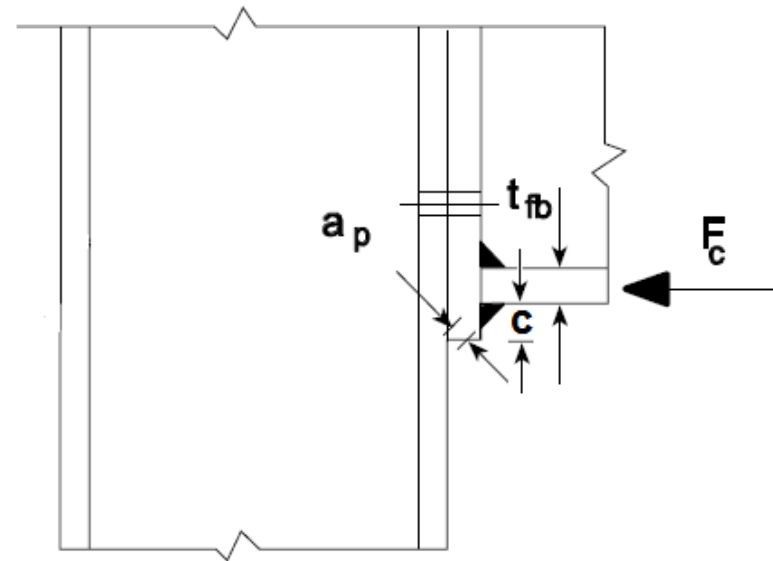
Para una unión con chapa frontal atornillada:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p$$

donde: $s_p = t_p + c \leq 2t_p$

Para pilares de perfiles laminados tipo I or H :

$$s = r_c$$



CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– ZONA A COMPRESIÓN

➤ Resistencia de diseño del ala de la viga (dintel) a compresión

$F_{c,fb,Rd}$

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.6.7}$$

donde:

$M_{c,Rd}$ es la resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal de la viga, minorada si es necesario para tener en cuenta el esfuerzo cortante ; en el caso de una viga con cartela (como en los dinteles), su valor se puede calcular ignorando el ala intermedia (EN 1993-1-1 § 6.2.5) ;

h es el canto de la viga de la unión ;

t_{fb} es el espesor del ala de la viga de la unión

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– ZONA A CORTANTE

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

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

La expresión anterior puede aplicarse si se cumple la condición:

$$d / t_w \leq 69 \varepsilon$$

donde:

A_{vc} área a cortanten del pilar (EN 1993-1-1 § 6.2.6(3))

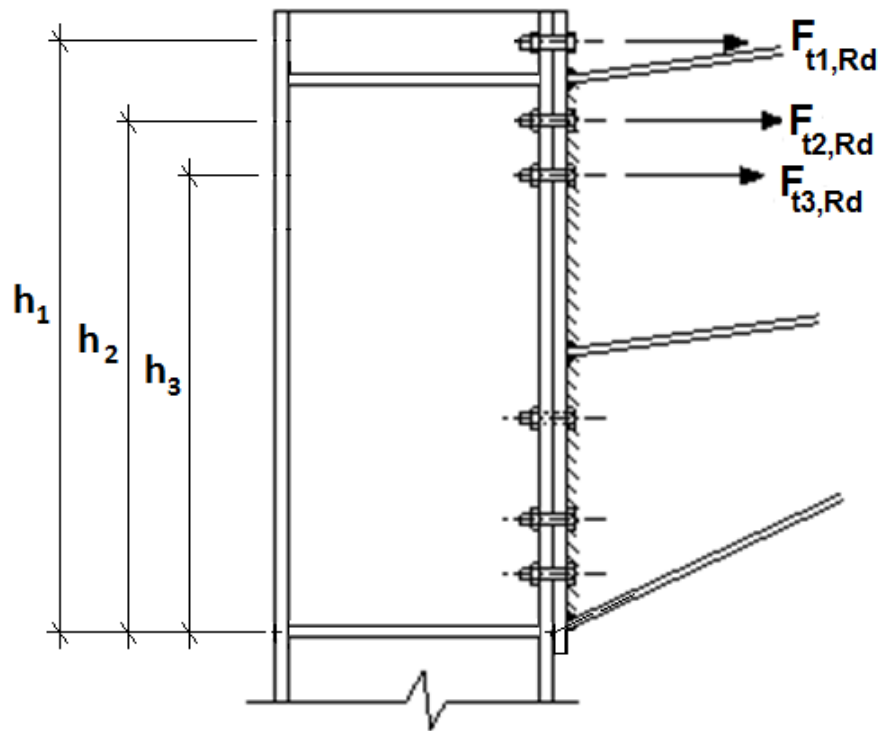
Nota: Refuerzos o placas suplementarias pueden utilizarse para aumentar la resistencia del alma del pilar.

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– CONJUNTO

$$F_{t1,Rd} = \min(F_{t,Rd(1)}, F_{c,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta)$$

$$F_{t2,Rd} = \min(F_{t,Rd(2)}, F_{c,Rd} - F_{t1,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd})$$

$$F_{t3,Rd} = \min(F_{t,Rd(3)}, F_{t,Rd(2+3)} - F_{t2,Rd}, F_{c,Rd} - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd}, V_{wp,Rd}/\beta - F_{t1,Rd} - F_{t2,Rd})$$



donde:

β es un parámetro de transformación;

para uniones en un solo lado

$\beta=1,0$

EN 1993-1-8 § 5.3(7) or Table 5.4

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– CONJUNTO

➤ Distribución plástica de esfuerzos en las filas de tornillos

- ✓ Únicamente admisible si puede tener lugar una deformación del ala del pilar o la chapa frontal.
- ✓ Se permite cuando la resistencia de una de las filas anteriores de tornillos es superior a $1,9 F_{t,Rd}$

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (9)

Si $F_{tr,Rd} > 1,9 F_{t,Rd}$ el límite es de aplicación

El efecto de esta limitación es la aplicación de una distribución triangular de esfuerzos en las filas de tornillos

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE– CONJUNTO

- Reducción de la resistencia de diseño a tracción de una fila de tornillos

$$F_{tr,Rd} \leq \frac{F_{tx,Rd} h_r}{h_x} \quad \text{EN 1993-1-8 § 6.2.7.2 (9)}$$

donde:

$F_{tx,Rd}$ es la tracción de cálculo de la fila más alejada del centro de compresión cuya resistencia de cálculo a tracción es mayor que $1,9F_{t,Rd}$

h_x es el brazo de palanca existente entre el centro de compresión y la fila de tornillos con una resistencia igual a $F_{tx,Rd}$

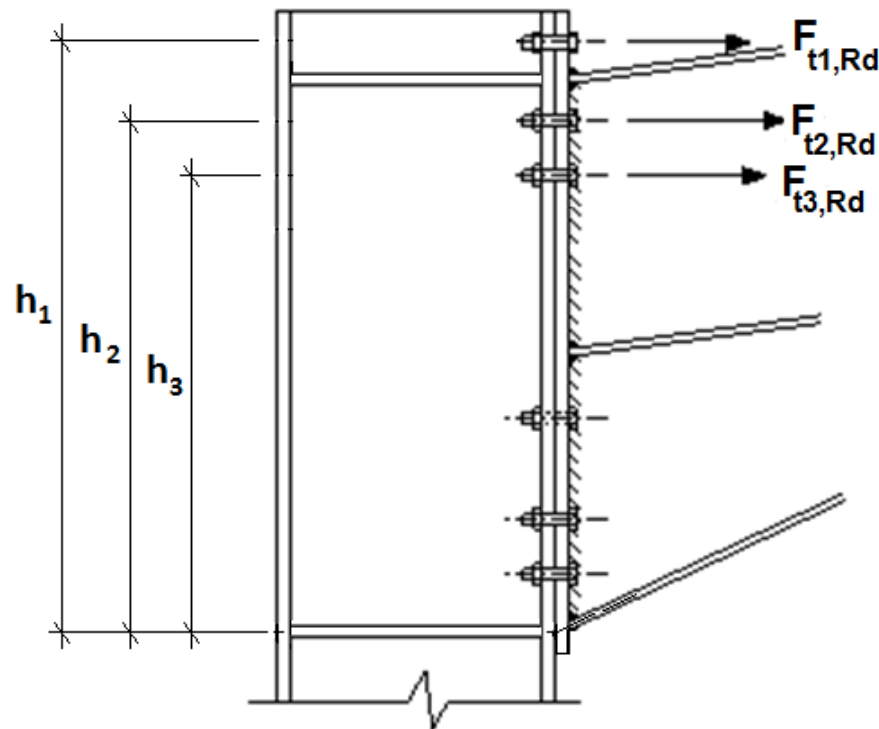
h_r es el brazo de palanca existente entre el centro de compresión y la fila de tornillos considerada

CÁLCULO DEL MOMENTO RESISTENTE- CONJUNTO

el momento resistente de cálculo de la unión

EN 1993-1-8 § 6.2.7.2

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



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

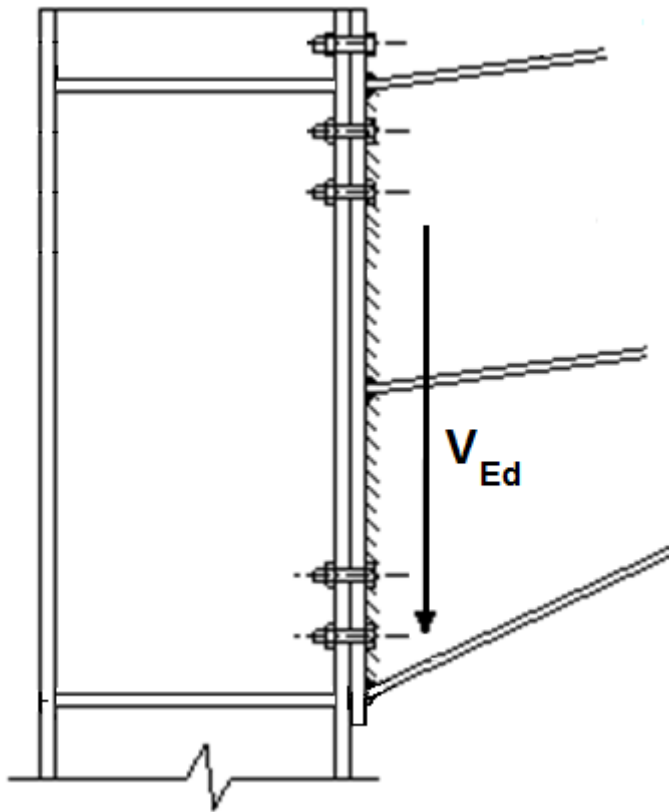
CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE



Programa de
Aprendizaje
Permanente

CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

- Los tornillos colocados en la parte inferior son los encargados de soportar el esfuerzo cortante.
- 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 § 6.2.7.2

donde:

el número de tornillos que soportan el cortante vertical

encia a cortante del tornillo

ia a aplastamiento del tornillo

$F_{b,Rd}$

CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

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

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

- ✓ Cuando el cortante atraviesa la parte roscada del tornillo:
 - A es el área a tracción del tornillo A_s
 - para clases 4.6, 5.6 y 8.8 $\Rightarrow \alpha_v = 0,6$
 - para clases 4.8, 5.8, 6.8 y 10.9 $\Rightarrow \alpha_v = 0,5$
- ✓ Cuando el cortante no atraviesa la parte roscada del tornillo :
 - A es el área bruta del tornillo
 - $\alpha_v = 0,6$

CÁLCULO A ESFUERZO CORTANTE

➤ Diseño a aplastamiento de un sólo tornillo $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

EN 1993-1-8 Table 3.4

donde:

α_b es el menor de α_d , f_{ub}/f_u or 1,0

✓ En la dirección de la carga:

para tornillos extremos: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$

para tornillos interiores: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$

✓ Perpendicular a la dirección de la carga:

- para tornillos extremos : $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$

- para tornillos interiores: $k_1 = \min(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$

DISEÑO DE SOLDADURAS



Programa de
Aprendizaje
Permanente

DISEÑO DE SOLDADURAS

➤ Condiciones de diseño

- ✓ El momento resistente de cálculo de la unión siempre estará limitado por la resistencia de cálculo de los demás componentes básicos y no por la resistencia de cálculo de las soldaduras ;

EN 1993-1-8 § 6.2.3(4)

- ✓ Para componentes a tracción se utilizarán soldaduras de resistencia completa;
- ✓ Para componentes a compresión sólo será necesario una soldadura nominal (apoyo con contacto directo);
- ✓ Si la unión se ve sometida a la acción de un momento flector inverso, la soldadura deberá soportar un determinado esfuerzo de tracción, lo que debería tenerse en cuenta.

➤ Soldadura del ala sometida a tracción

- ✓ Para unir el ala sometida a tracción y la chapa frontal se pueden emplear soldaduras de resistencia completa.
- ✓ Otra opción que se utiliza frecuentemente en la práctica es calcular las soldaduras del ala sometida a tracción considerando un esfuerzo cuyo valor sea igual al menor valor de:
 - La resistencia a tracción del ala (igual a $b_f \cdot t_f \cdot f_y$)
 - El esfuerzo de tracción total en las tres filas de tornillos superiores (en el caso de una chapa frontal extendida) o en las dos filas superiores de tornillos (si se trata de una chapa frontal no extendida, es decir, a ras con el ala).

➤ Soldadura del ala sometida a tracción

- ✓ En el ala sometida a tracción se puede obtener una soldadura de resistencia completa por medio de:
 - un par de cordones de soldadura en ángulo dispuestos simétricamente, siendo la suma de los espesores de las gargantas igual al espesor del ala, o
 - un par de soldaduras a tope con penetración parcial dispuestas simétricamente, con cordones de soldadura superpuestos, o
 - una soldadura a tope con penetración completa.

➤ Soldaduras del ala sometida a compresión

- ✓ En aquellos casos en los que el ala sometida a compresión presente un borde obtenido mediante corte en una línea de sierra, puede asumirse un ajuste de contacto directo entre el ala y la chapa frontal, por lo que bastará con emplear soldaduras en ángulo con cordones nominales
- ✓ Si no puede asumirse que existe un contacto directo, en ese caso la soldadura debe calcularse de forma que pueda soportar la totalidad del esfuerzo de compresión.

DISEÑO DE SOLDADURAS

- **Soldadura del alma sometida a tracción.**
- ✓ Se recomienda utilizar soldaduras de resistencia completa.
- ✓ En la zona del alma sometida a tracción, este tipo de soldaduras se deberían extender por debajo de la fila de tornillos inferior sometida a tracción una distancia igual a $1,73 \cdot g/2$, donde g es la separación (entre centros) de los tornillos.
- ✓ Esto permite una distribución efectiva a 60° desde la fila de tornillos hasta la chapa frontal.

DISEÑO DE SOLDADURAS

➤ Soldadura del alma sometida a cortante

- La resistencia de las soldaduras del alma de la viga a los esfuerzos cortantes verticales debería calcularse mediante la siguiente expresión :

$$P_{sw} = 2 \cdot a \cdot f_{vw,d} \cdot L_{ws}$$

donde:

EN 1993-1-8 § 4.5.3.3(2)

a es el espesor de garganta del cordón de soldadura

$f_{vw,d}$ es la resistencia de cálculo de los cordones de soldadura

L_{ws} es la longitud vertical de las soldaduras de la zona de cortante

(la zona restante del alma no definida como zona sometida a tracción)

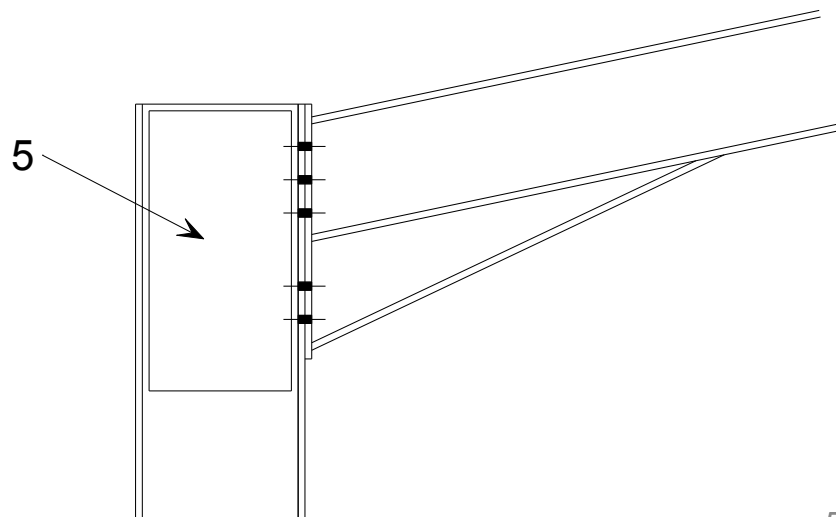
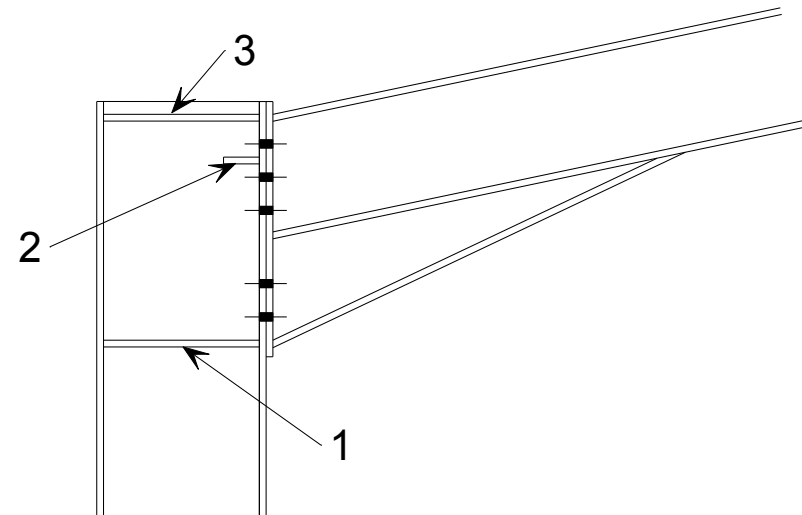
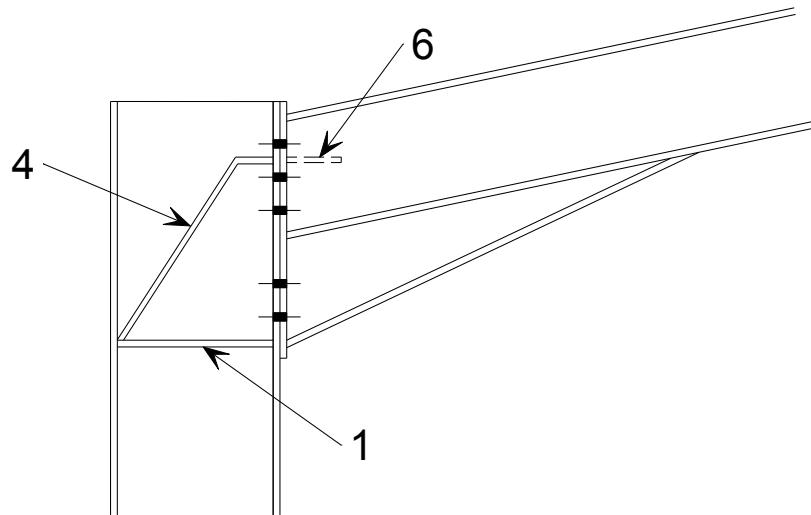
RIGIDIZADORES



Programa de
Aprendizaje
Permanente

RIGIDIZADORES

➤ Tipos de rigidizadores



1. Rigidizador de compresión
2. Rigidizador del ala del pilar
3. Chapa superior
4. Rigidizador de cortante
5. Chapa de refuerzo del alma
6. Rigidizador de chapa frontal

RIGIDIZADORES

Tipo de rigidizador	Efecto	Observaciones
Rigidizador de compresión	Incrementa la resistencia a compresión	Normalmente requerido en uniones de pórticos.
Rigidizador de ala en la zona sometida a tracción	Incrementa la resistencia a flexión del ala del pilar	
Rigidizador diagonal de cortante	Aumenta la resistencia del panel del alma del pilar y refuerza el ala de la zona de tracción	Una solución habitual – puede dificultar las uniones en el eje débil
Chapa de refuerzo del alma	Incrementa la resistencia del alma del pilar a esfuerzo cortante y a compresión	Simplifica las uniones en el eje débil. El detalle de la unión requiere más soldadura. Consultar el apartado 6.2.6.1 de la norma EN 1993-1-8.

RIGIDIZADORES

Tipo de rigidizador	Efecto	Observaciones
Rigidizador de chapa frontal	Incrementa la resistencia a flexión de la chapa frontal	Su uso no es aconsejable – se debería optar por una chapa frontal de mayor espesor.
Chapa superior	Incrementa la resistencia a flexión del ala, así como la resistencia a compresión (en situaciones de inversión del momento)	Habitualmente utilizado para el pilar, alineado con el ala superior del dintel. Se emplea normalmente para la combinación de inversión de carga, pero es igualmente efectivo como rigidizador del ala del pilar
Chapas de refuerzo del ala	Incrementa la resistencia a flexión del ala	Solamente efectivas para mejorar el comportamiento en el modo 1 de fallo. Véase el apartado 6.2.4.3 de la norma EN 1993-1-8

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN



Programa de
Aprendizaje
Permanente

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- GENERAL

➤ **Clasificación de la unión** depende de los factores :

✓ Rigidez rotacional inicial $S_{j,ini}$;

EN 1993-1-8 § 5.2.2.5

✓ Momento de inercia de la viga I_b y del pilar I_c ;

✓ La luz de la viga L_b y la altura entre pilares L_c ;

✓ *El Factor k_b depende de la rigidez de la estructura.*

donde:

$k_b = 8$ para pórticos donde el sistema de arriostramiento reduzca un mínimo del 80% de los desplazamientos

$k_b = 25$ para pórticos, donde se cumpla para cada nivel $K_b/K_c \geq 0,1$

$$K_b = \frac{EI_b}{L_b} \quad K_c = \frac{EI_c}{L_c}$$

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN - GENERAL

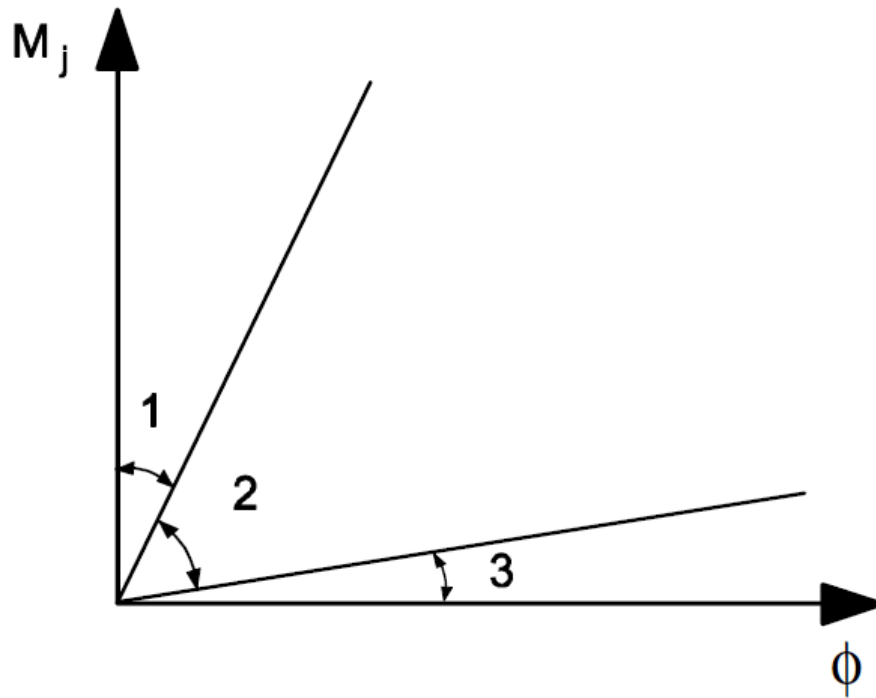
Clasificación de la unión en función de la rigidez:

➤ Zona 1: rígida, si $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$

➤ Zona 2: semirígida

➤ Zona 3: articulada, si

$$S_{j,ini} \geq 0,5EI_b / L_b$$



EN 1993-1-8 Figure 5.4

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN – RIGIDEZ INICIAL

➤ Rigidez rotacional inicial

EN 1993-1-8 § 6.3.1(4)

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}}$$

donde:

E módulo de elasticidad longitudinal

z brazo de palanca [EN 1993-1-8 § 6.2.7](#)

k_i es la rigidez del componente básico i de la unión

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

➤ Rigidez de los componentes básicos de la unión [EN 1993-1-8 Table 6.10](#)

Coeficientes 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

Los coeficientes de rigidez individuales deben calcularse tal como se indica en : [EN 1993-1-8 Table 6.11](#)

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

EN 1993-1-8 § 6.3.2

- Panel del alma del pilar no rigidizado sometido a tracción

$$k_1 = \frac{0,38 A_{VC}}{\beta \cdot z}$$

- Panel del alma del pilar rigidizado sometido a tracción

$$k_1 = \infty$$

z brazo de palanca EN 1993-1-8 Figure 6.15

β parámetro de transformación EN 1993-1-8 § 5.3(7)

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

EN 1993-1-8 § 6.3.2

- Alma del pilar no rigidizado sometido a compresión

$$k_2 = \frac{0,7b_{eff,c,wc}t_{wc}}{d_c}$$

- Alma del pilar rigidizado sometido a compresión

$$k_2 = \infty$$

$b_{eff,c,wc}$ ancho efectivo EN 1993-1-8 § 6.2.6.2

t_{wc} espesor del alma del pilar

d_c ancho libre del alma del pilar

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

➤ Alma del pilar sometido a tracción

EN 1993-1-8 § 6.3.2

$$k_3 = \frac{0,7b_{eff,t,wc}t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,t,wc}$ ancho eficaz del alma del pilar sometido a tracción
(para una sola fila de tornillos)

$b_{eff,t,wc}$ la menor de las longitudes eficaces l_{eff} (individuales o parte de grupos de tornillos) definidos para esta fila de tornillos:

- ✓ EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Table 6.4 para ala no rigidizada del pilar
- ✓ EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Table 6.5 para ala rigidizada del pilar

t_{wc} espesor del alma del pilar

d_c ancho libre del alma del pilar

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

EN 1993-1-8 § 6.3.2

- Ala del pilar sometida a flexión (para una sola fila de tornillos a tracción)

$$k_4 = \frac{0,9l_{eff}t_{fc}^3}{m^3}$$

l_{eff} la menor de las longitudes eficaces l_{eff} definidos para esta fila de tornillos:

- ✓ EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Table 6.4 para alas no rigidizadas de pilar
- ✓ EN 1993-1-8 § 6.2.6.3 Table 6.5 para alas rigidizadas de pilar

t_{fc} espesor del ala del pilar

m definido en EN 1993-1-8 § 6.2.6.4 Figure 6.8

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

EN 1993-1-8 § 6.3.2

- Chapa frontal sometida a flexión (para una sola fila de tornillos a tracción)

$$k_5 = \frac{0,9l_{eff}t_p^3}{m^3}$$

l_{eff} la menor de las longitudes eficaces l_{eff} definidos para esta fila de tornillos en [EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Table 6.6](#)

t_p espesor de la chapa frontal

m definida en [EN 1993-1-8 § 6.2.6.5 Figures 6.10 y 6.11](#)

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN- COMPONENTES

EN 1993-1-8 § 6.3.2

- Tornillos sometidos a tracción (para una sola fila de tornillos a tracción)

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

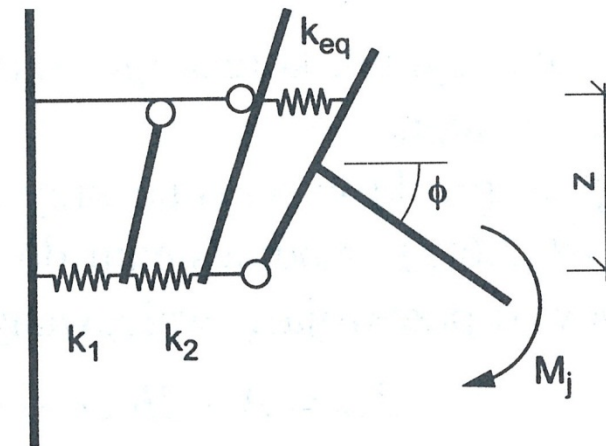
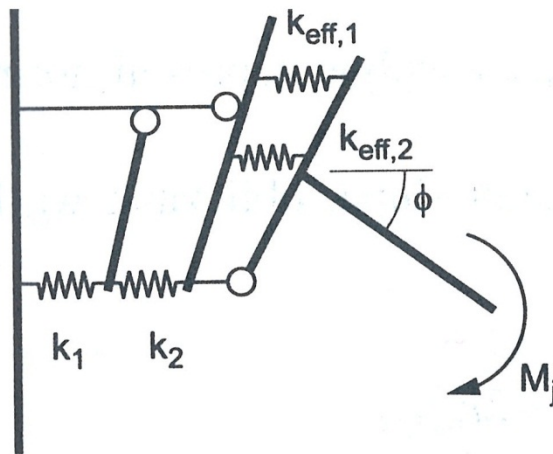
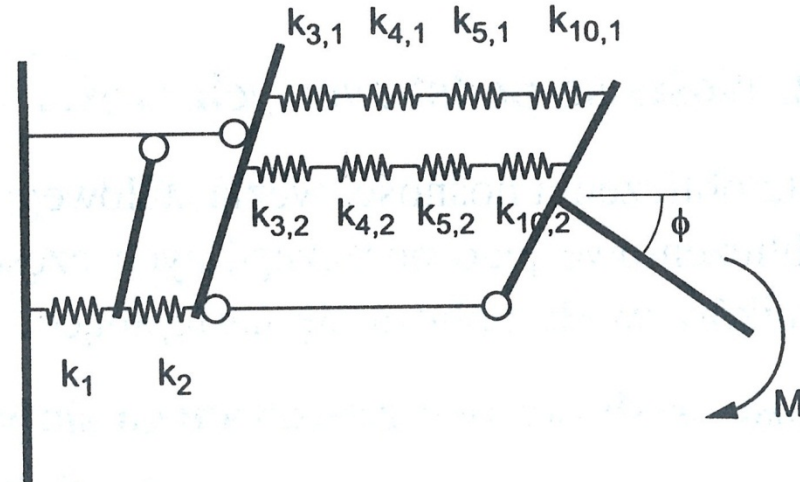
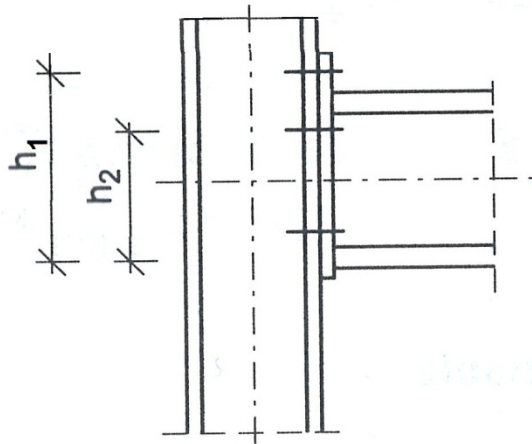
EN 1993-1-8 Table 3.4

A_s área a tracción del tornillo

L_b longitud de alargamiento del tornillo, tomada igual a la longitud de agarre (longitud de la caña más arandelas), más la mitad de la suma de la altura de la cabeza del tornillo y la altura de la tuerca

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN– METODO GENERAL

- Modelo de muelles para uniones con chapa frontal y más de una fila de tornillos a tracción



CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN– METODO GENERAL

➤ Rigidez rotacional inicial

EN 1993-1-8 § 6.3.3

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}}}$$

k_{eq} coeficiente de rigidez equivalente

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}$$

h_r distancia entre la fila de tornillos y el centro de compresiones

$k_{eff,r}$ coeficiente de rigidez efectiva para los tornillos de la fila r teniendo en cuenta los coeficientes de rigidez k_i para los componentes básicos

z_{eq} brazo de palanca equivalente

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r} \quad k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}}$$

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN– METODO GENERAL

EN 1993-1-8 § 6.3.3.1(4)

En el caso de uniones de alero con chapa frontal, k_{eq} debería basarse (y sustituir) los coeficientes de rigidez k_i por:

- Alma del pilar a tracción(k_3)
- Ala del pilar a flexión (k_4)
- Chapa frontal a flexión (k_5)
- Tornillos a tracción(k_{10})

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DE LA UNIÓN– METODO GENERAL

EN 1993-1-8 § 6.3.3.1(4)

En el caso de uniones de cumbrera con chapa frontal, k_{eq} debería basarse (y sustituir) los coeficientes de rigidez k_i por :

- Chapa frontal en flexión (k_5)
- Tornillos a tracción (k_{10})

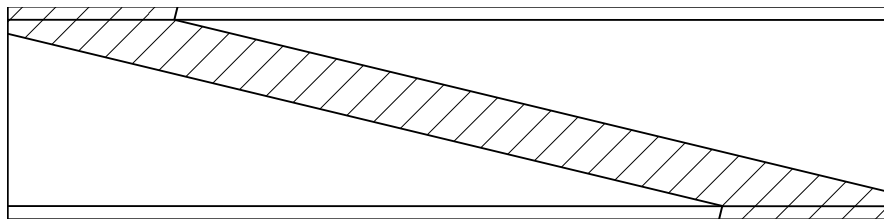
GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS



Programa de
Aprendizaje
Permanente

BUENAS PRÁCTICAS- CARTELAS DE LOS ALEROS

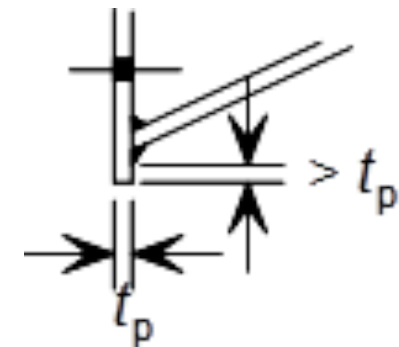
- recorte triangular adicional que se suelda bajo la viga del dintel en la conexión con el pilar;
- La longitud del recorte generalmente será igual a un 10 % de la luz (hasta un 15%de la luz en el caso de los diseños elásticos más eficientes);
- La cartela habitualmente es un recorte del mismo perfil con el que se fabrica el dintel o bien de un perfil con un canto y peso mayor;
- Fabricación de los recortes para las cartelas:



BUENAS PRÁCTICAS– CHAPA FRONTAL

- se fabrica generalmente a partir de acero S275 o S235;
- Si se utilizan tornillos de clase 8.8 y acero S275, el espesor de la chapa frontal debería ser aproximadamente igual al diámetro del tornillo;
- debería ser más ancha que la sección del dintel, para permitir realizar una soldadura en todo el contorno de las alas. Debería extenderse por encima y por debajo de la sección con cartela, con el fin de permitir las soldaduras en ángulo;
- debería extenderse por debajo de la soldadura en ángulo (a una distancia $\geq t_p$), con el fin de maximizar la longitud rígida de contacto:

Chapa frontal (zona a compresión)

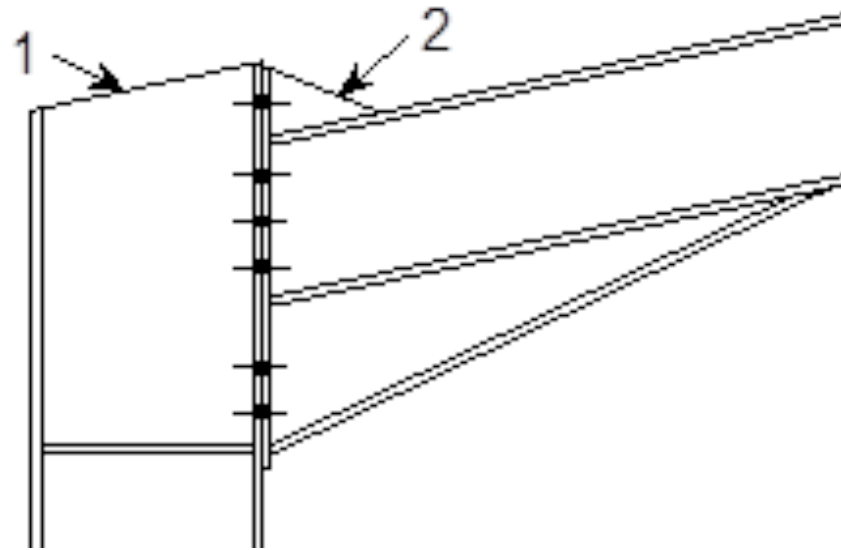


BUENAS PRÁCTICAS- RIGIDIZADORES

- Normalmente se incluye un rigidizador de compresión. El resto de rigidizadores deberían evitarse, dentro de lo posible;
- Para aumentar la resistencia de la unión, se utilizan rigidizadores del ala del pilar;
- Para aumentar la resistencia sin utilizar rigidizadores, se puede optar por:
 - ✓ Incluir más filas de tornillos,
 - ✓ Extender la chapa frontal por encima de la parte superior del dintel,
 - ✓ Aumentar el canto de la cartela,
 - ✓ Aumentar el peso de la sección del pilar.

BUENAS PRÁCTICAS– CHAPA FRONTAL EXTENDIDA

- Ejemplo de unión con chapa frontal extendida:

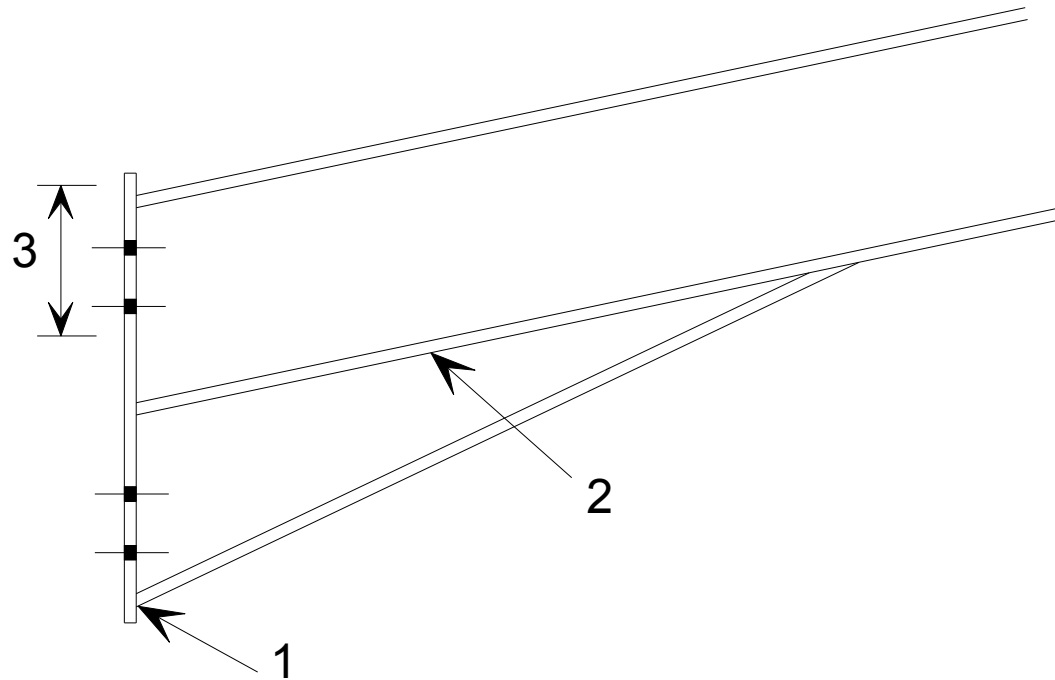


1. Pilar extendido (puede requerir un corte oblicuo)
2. Rigidizador de chapa frontal (opción no recomendable)

BUENAS PRÁCTICAS- TORNILLOS

- se utilizan habitualmente tornillos M20 o M24 de calidad 8.8 o 10.9;
- Deberían usarse tornillos completamente roscados, lo que permitiría emplear los mismos tornillos en todo el edificio;
- los tornillos se disponen con una separación (entre centros) de 90 o 100 mm;
- la separación vertical habitual es de entre 70 y 90 mm;
- Para la conexión en las uniones de pórticos no es necesario emplear tornillos pretensados.

BUENAS PRÁCTICAS- SOLDADURAS



1. soldadura nominal (con comprobación a tracción cuando el momento se invierte)
2. soldadura continua en ángulo
3. soldadura de resistencia completa

BUENAS PRÁCTICAS- SOLDADURAS

- ✓ Soldadura ala traccionada-chapa frontal $a_f \geq t_{fb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right)$
- Soldadura alma-chapa frontal $a_w \geq t_{wb} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}} \right)$

donde:

a_f espesor de garganta de la soldadura del ala traccionada

a_w espesor de garganta de la soldadura del alma

β_w factor de correlación [EN 1993-1-8 Table 4.1](#)

f_y límite elástico del perfil de alero

f_u límite de rotura del elemento más débil de la unión

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

CONCLUSIÓN



Programa de
Aprendizaje
Permanente

CONCLUSIÓN

- **Se ha introducido el proceso de cálculo de uniones atornilladas resistentes a momentos en edificios con estructuras de acero de una sola planta**
- **Se ha presentado el método de diseño de la unión de alero atornillada**
- **Para las uniones de cumbrera se puede aplicar el mismo procedimiento que para las uniones de alero con excepción de los componentes del pilar , y teniendo en cuenta que la zona de tensión y compresión de la unión están invertidas**
- **Se han ofrecido unas recomendaciones sobre buenas prácticas en el diseño de uniones resistentes a momentos**

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.
- <http://www.arcelormittal.com/sections/index.php?id=167>
- Access Steel, NCCI: Design of portal frame eaves connections. SN041a-EN-EU