



Máster en Ingeniería Industrial

Diseño de estructuras de acero. Uniones

Generalidades

Uniones soldadas

Uniones atornilladas

Rigidez de las uniones

Uniones a la cimentación

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. UNIONES

Copyright © 2022 por Juan Tomás Celigüeta y tecnun (Universidad de Navarra).

Este documento está licenciado bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento – NoComercial - CompartirIgual 3.0 España (CC BY-NC-SA 3.0 ES).

Puede consultar las condiciones de dicha licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>.

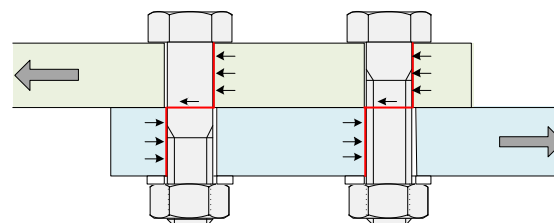
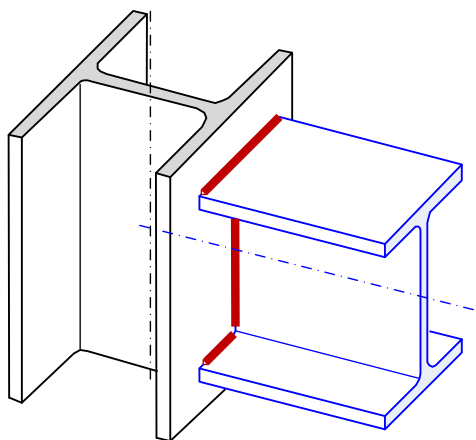


Uniones - Generalidades

Eurocódigo 3: EN-1993-1-8 Uniones

Código Estructural: Anejo 26 (igual que EN 1993-1-8)

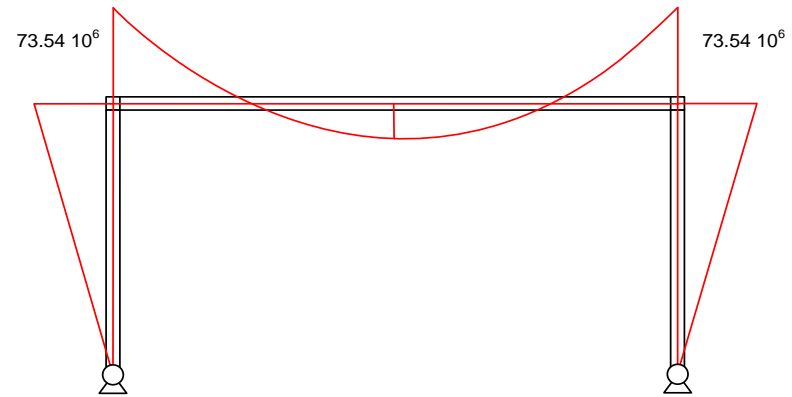
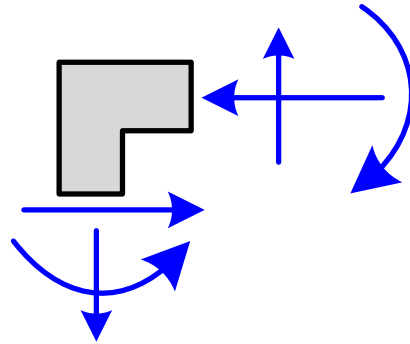
Código Técnico de la Edificación CTE: DB SE-A, Art. 8



Esfuerzos de cálculo y resistencia de las uniones

Los esfuerzos a transmitir por la unión se determinan, a valor de diseño (ELU), a partir del análisis global de los esfuerzos la estructura.

$$N_{Ed} \quad M_{Ed} \quad V_{Ed}$$

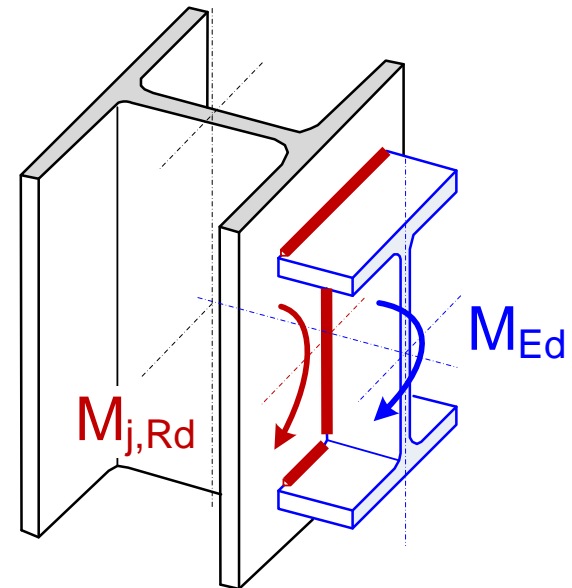


Los esfuerzos a transmitir deben ser menores que la resistencia de la unión ($\dots_{j,Rd}$)

$$N_{Ed} \leq N_{j,Rd}$$

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq V_{j,Rd}$$



Clasificación de las uniones

1. Clasificación por resistencia

EN 1993-1-8 §5.2.3

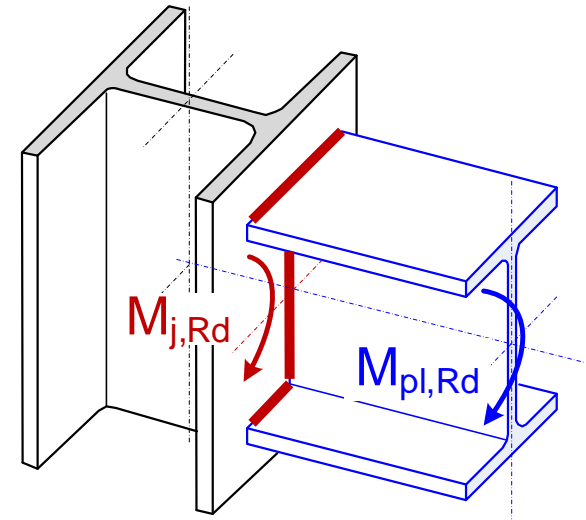
Se compara la resistencia de la unión ($M_{j,Rd}$) con la resistencia de los elementos de la estructura (M_{Rd}) adyacentes a la unión. A valores de cálculo.

- Articuladas
- Resistencia total
- Resistencia parcial

2. Clasificación por rigidez

EN 1993-1-8 §5.2.2

Ver documento "Rigidez de las uniones"

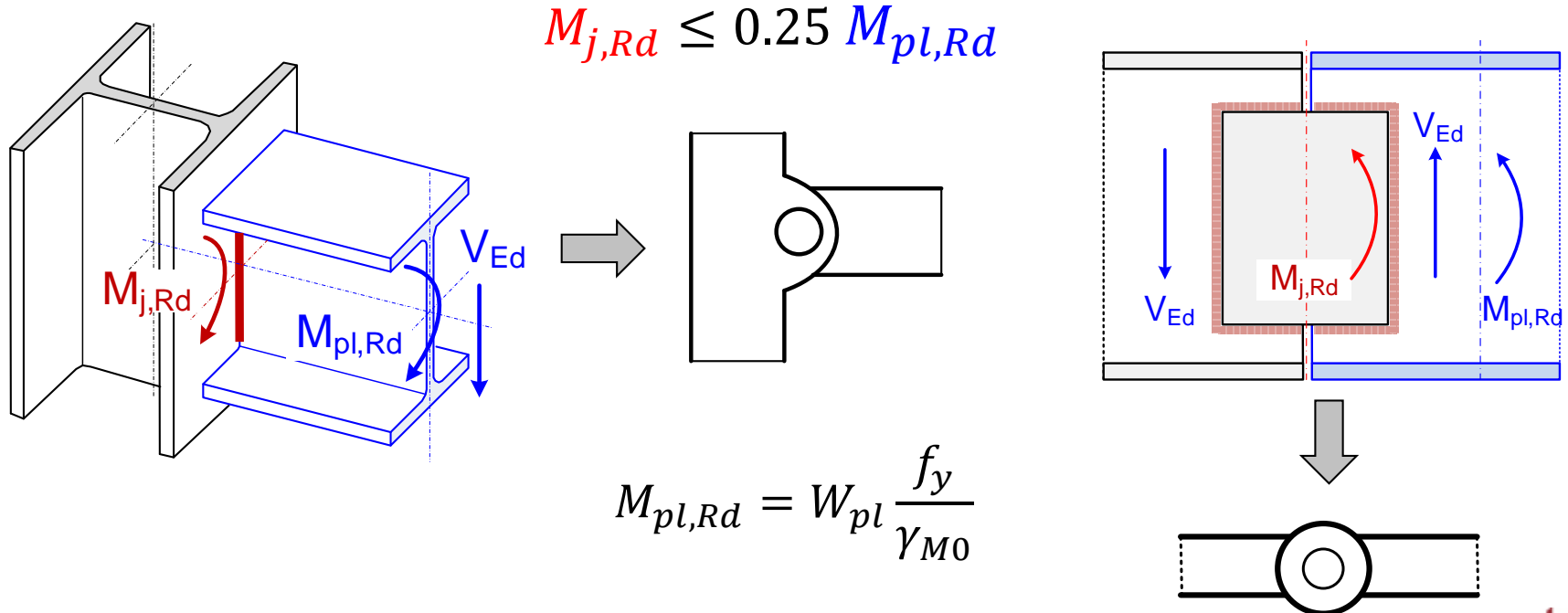


Clasificación de las uniones a flexión en función de su resistencia (1)

EN 1993-1-8 §5.2.3

- **Nominalmente articuladas (articulaciones):** son capaces de transmitir fuerzas sin desarrollar un momento $M_{j,Rd}$ apreciable que pueda afectar al comportamiento de los elementos de la estructura.

Su momento resistente $M_{j,Rd}$ debe ser inferior al 25% del momento necesario para una unión de resistencia total (=Momento plástico de las piezas a unir). Además, debe ser flexible para permitir la rotación resultante bajo las cargas de cálculo.



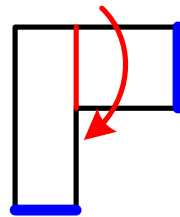
Clasificación de las uniones a flexión en función de su resistencia (2)

EN 1993-1-8 §5.2.3

- **Resistencia total:** el momento resistente de la unión $M_{j,Rd}$ es mayor o igual que la resistencia de los elementos unidos.

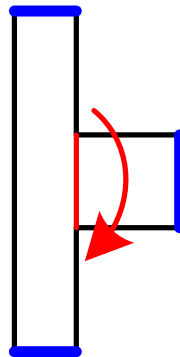
La unión es de resistencia total si cumple:

Zona superior
del pilar



$$M_{j,Rd} \geq \min(M_{pl,Rd}^{viga}, M_{pl,Rd}^{col})$$

A lo largo
del pilar



$$M_{j,Rd} \geq \min(M_{pl,Rd}^{viga}, 2 M_{pl,Rd}^{col})$$

- **Resistencia parcial:** las que no son de resistencia total ni articuladas

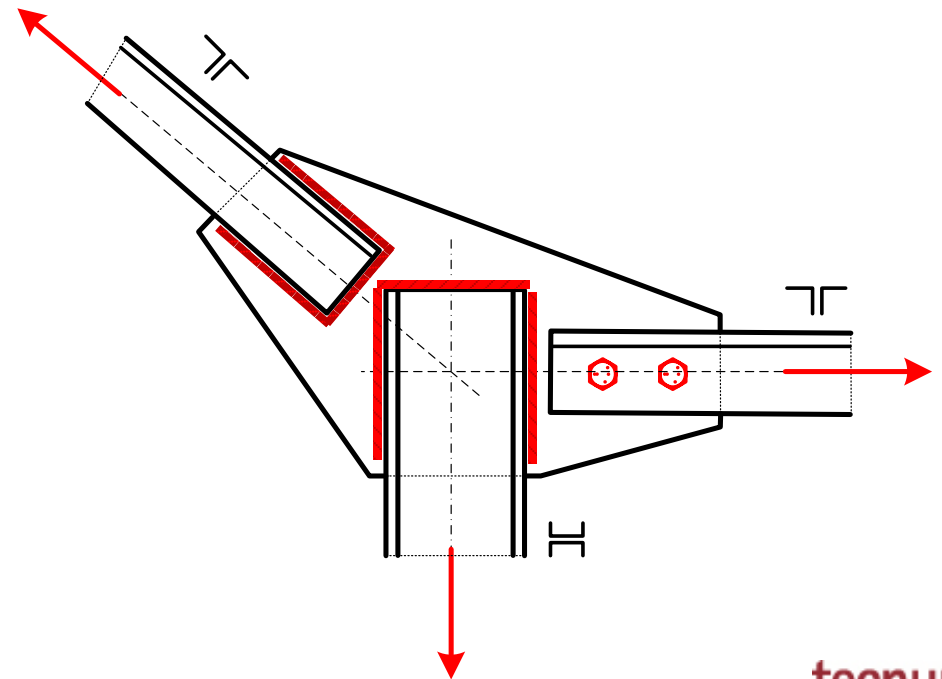
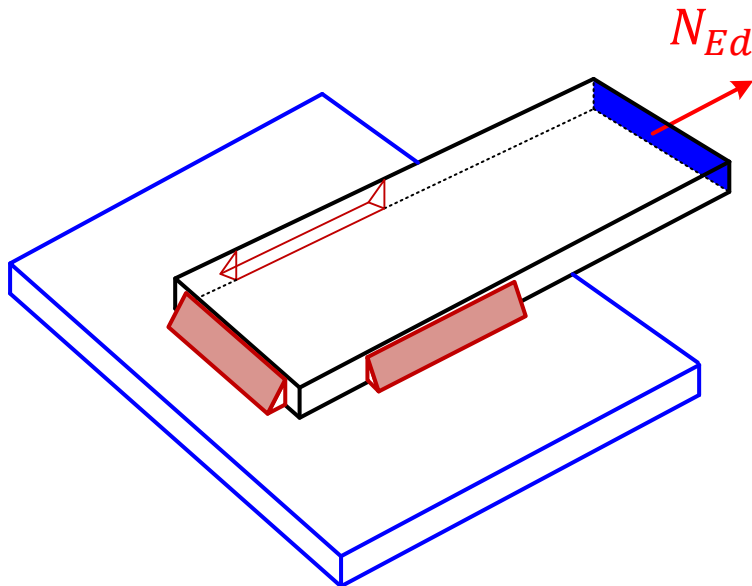
Esfuerzos de cálculo mínimos de las uniones

Recomendación no normativa

En ningún caso los esfuerzos empleados para dimensionar la unión serán inferiores a:

1. La mitad del esfuerzo axial plástico de la sección de la pieza, en piezas sometidas predominantemente a esfuerzo axial (celosías...)

$$N_{Ed} \nlessdot 0.5 A f_y$$



Esfuerzos de cálculo mínimos de las uniones

Recomendación no normativa

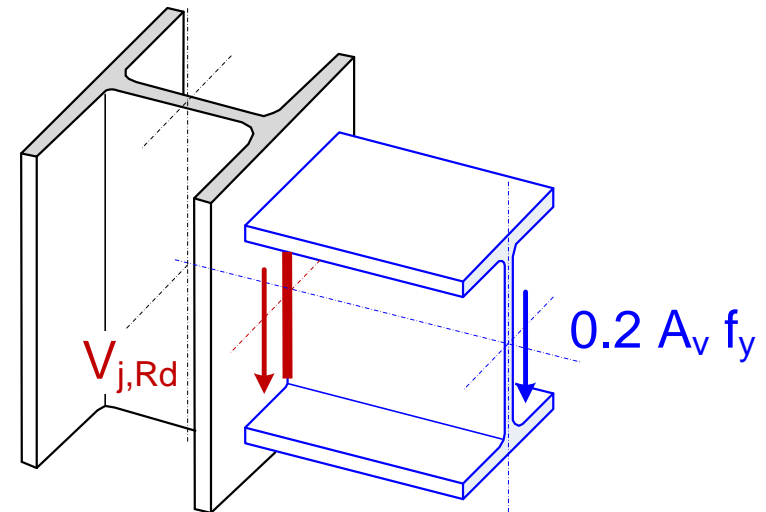
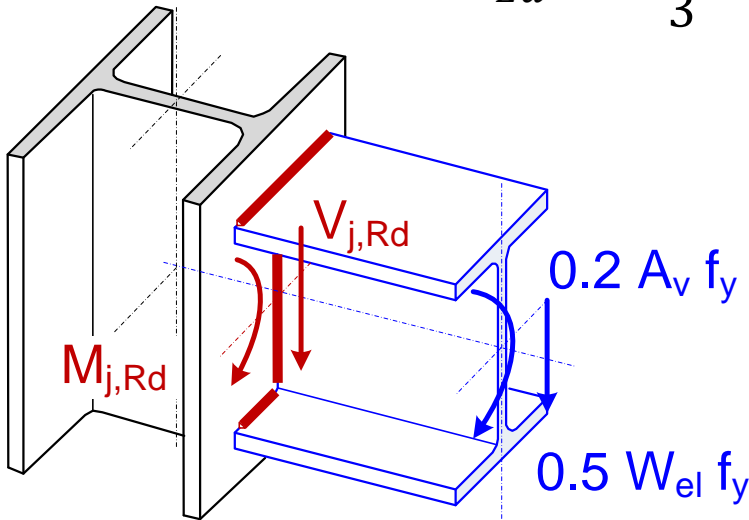
En ningún caso los esfuerzos empleados para dimensionar la unión serán inferiores a:

2. Piezas a flexión + cortante: la mitad del momento resistente elástico de la sección de la pieza, y 1/3 del cortante resistente plástico

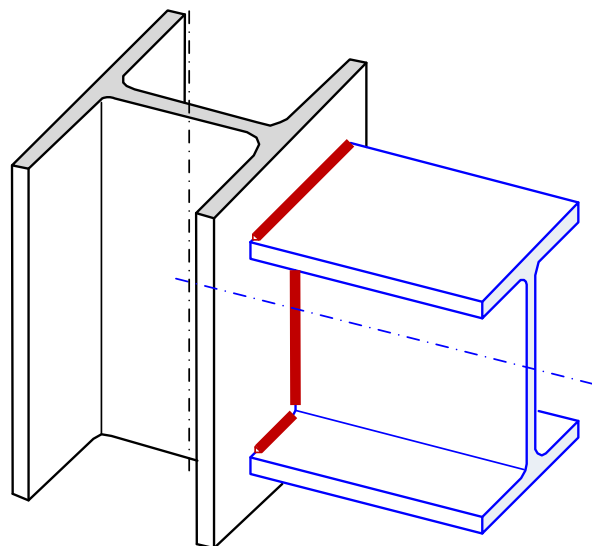
$$M_{Ed} \nlessdot 0.5 W_{el} f_y \quad V_{Ed} \nlessdot \frac{V_{pl,Rd}}{3} \approx 0.2 A_V f_y$$

3. Extremo articulado de una pieza flectada: 1/3 del cortante plástico

$$V_{Ed} \nlessdot \frac{V_{pl,Rd}}{3} \approx 0.2 A_V f_y$$

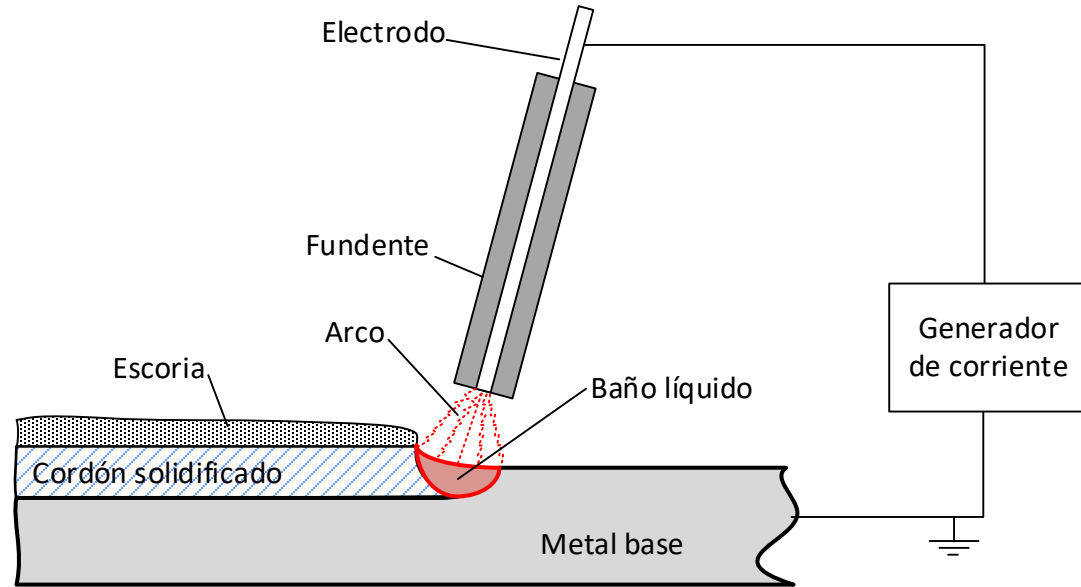


Diseño de uniones soldadas



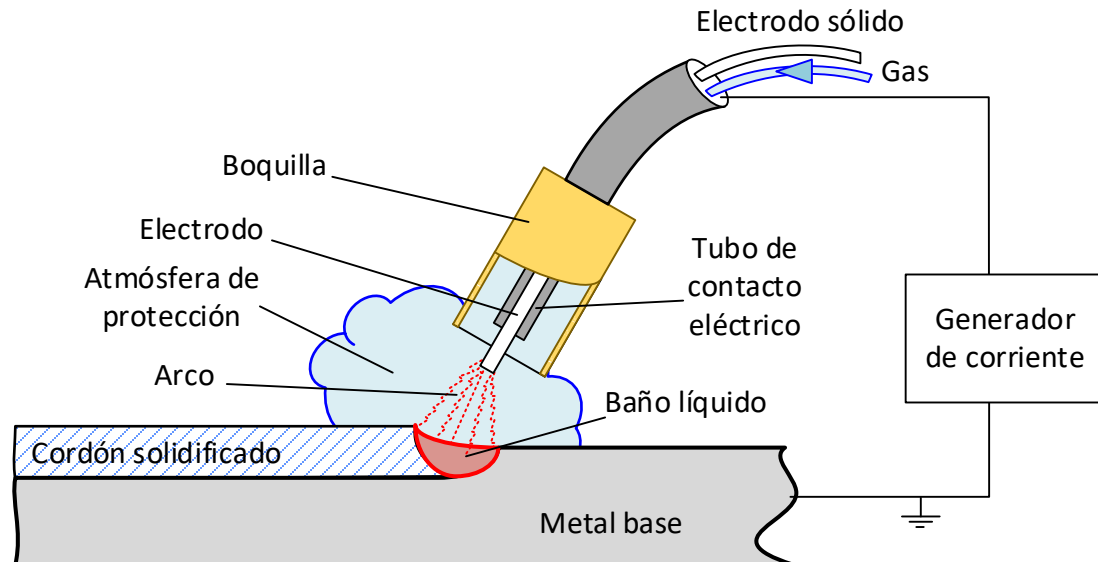
Procesos de soldadura usados en estructuras

Soldadura manual por arco con electrodo revestido (MMA) (Proceso 111)



Gas Metal Arc Welding (GMAW)

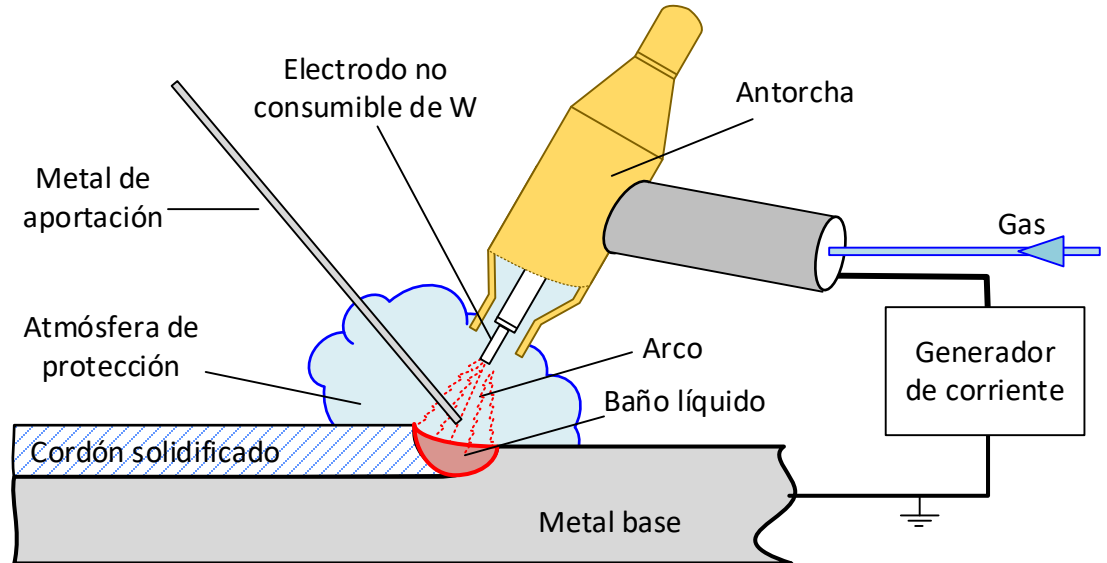
Soldadura protegida por:
Gas inerte MIG (argón) (131)
Gas activo MAG (CO₂) (135, 136)
Semiautomático



Procesos de soldadura usados en estructuras

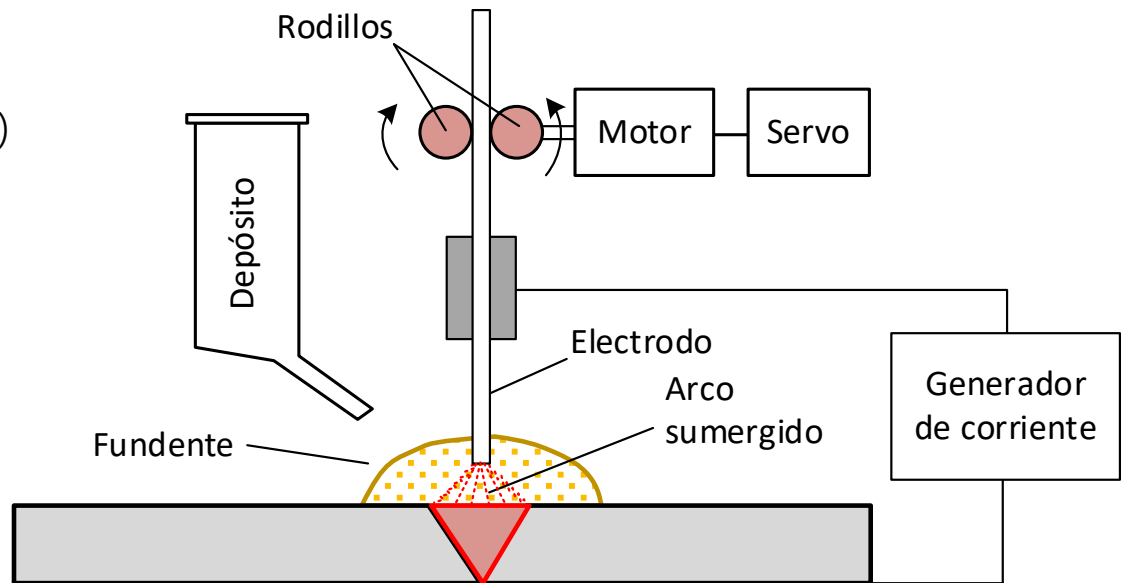
Tungsten Inert Gas TIG (GTAW)

Soldadura protegida por:
Gas inerte (helio o argón)
Semiautomático



Soldadura con arco sumergido (SAW)

Fundente granular
Automático
(Proceso 121)



Uniones soldadas – Generalidades

Normativa:

EN 1993-1-8 Uniones, §4
Código Estructural Anejo 26

Soldadura sólo sobre piezas de espesor $t \geq 4 \text{ mm}$ ⁽¹⁾

Material aportado debe tener una resistencia no inferior a la del material de base

Tipos de cordones (Detalles en §4.3):

En ángulo: caras de fusión en ángulo

A tope: caras de fusión enfrentadas originalmente

Preparación en ángulo ($60^\circ - 80^\circ$)

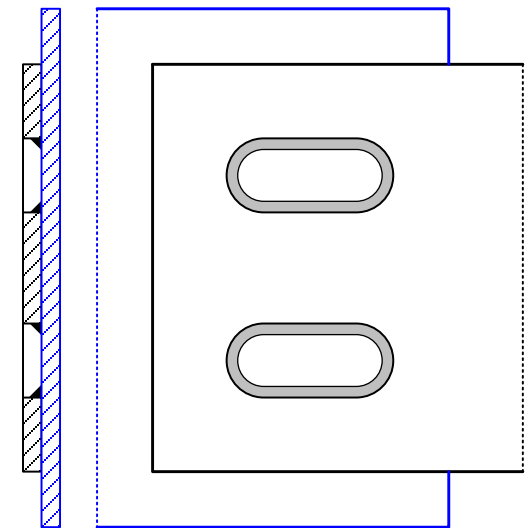
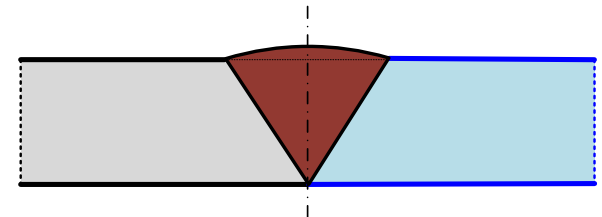
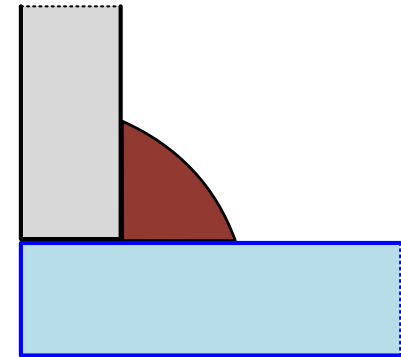
Sobre espesor $< t/10$

Soldadura de **botón y ranura** en piezas solapadas.

Sólo para transmitir cortantes o evitar pandeo.

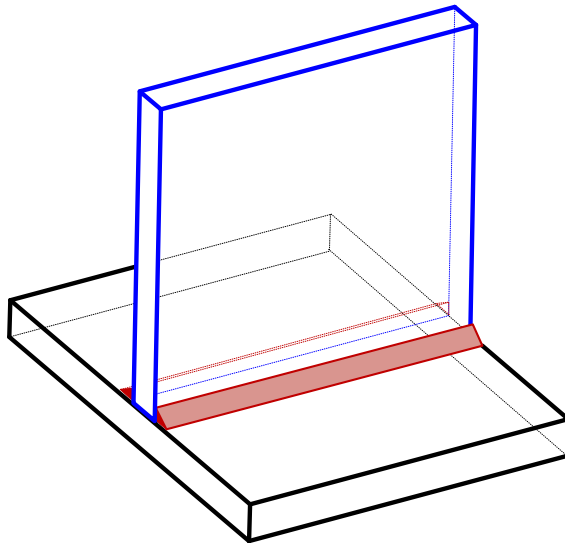
No admisibles para esfuerzos de tracción.

(1): espesores menores en perfiles en frío, según EN 1993-1-3

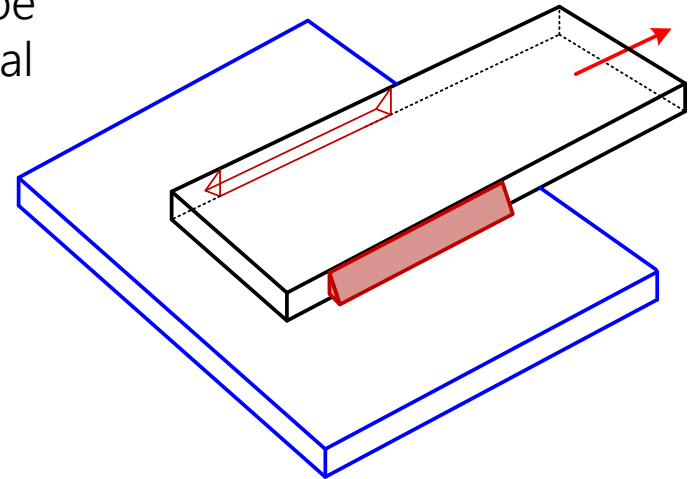


Soldadura en ángulo: uniones en T o solape

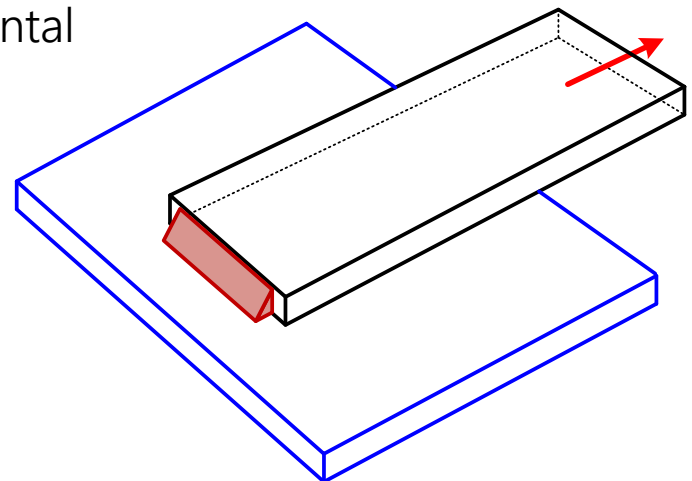
Unión en T



Solape Lateral



Solape Frontal



Soldadura en ángulo. Garganta

Ángulo entre caras de fusión: $60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$

$\alpha < 60^\circ$: se considera a tope de penetración parcial

$\alpha > 120^\circ$: la resistencia del cordón debe determinarse mediante ensayos

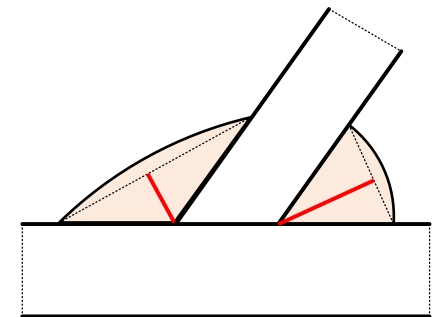
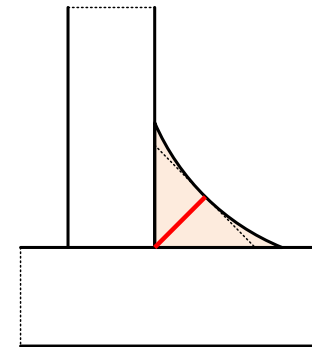
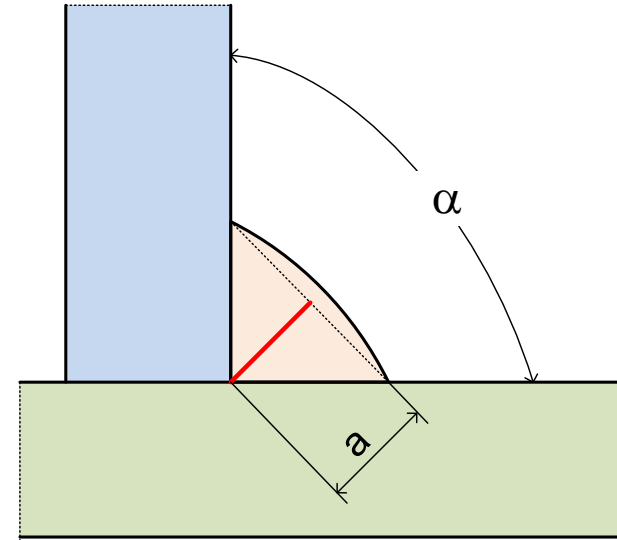
Espesor de garganta efectivo (a): altura del mayor triángulo que se pueda inscribir en la sección del metal de aportación, medido en perpendicular al lado exterior

Garganta efectiva mínima: $a \geq 3.0 \text{ mm}$

CTE: con proceso SAW, se puede aumentar a un 20%, hasta un máximo de 2 mm, sin necesidad de ensayos

Recomendación de buena práctica (antigua norma EAE):

Garganta máxima: $a \leq 0.7 t_{min}$



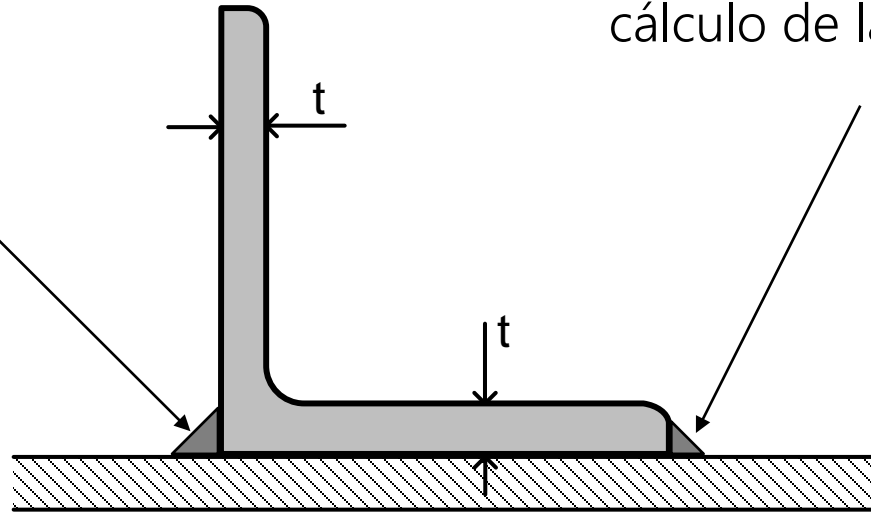
Espesor nominal para unión en el lado de perfiles L, C

Espesor nominal para cálculo de la garganta a

$$t_N = 1.2 t$$

Espesor nominal para cálculo de la garganta a

$$t_N = t$$



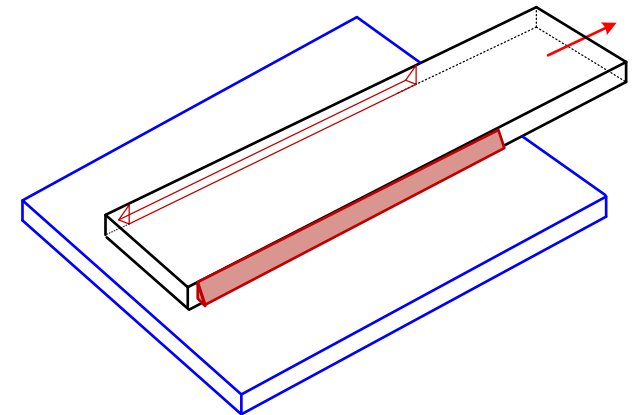
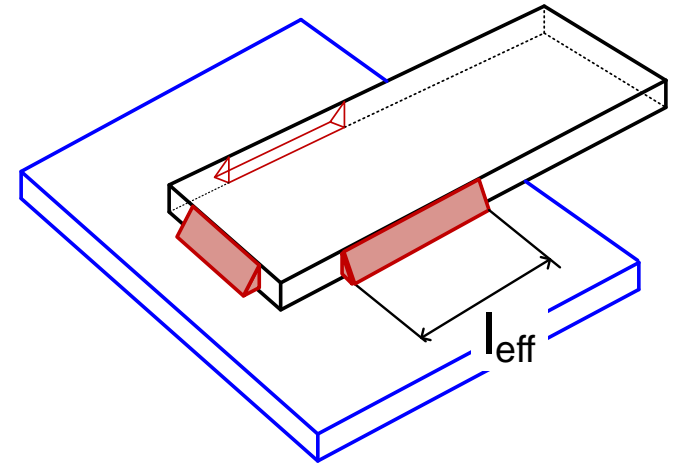
Longitud del cordón en ángulo

Longitud eficaz l_{eff} : la longitud en la cual el cordón tiene su espesor completo

Longitud mínima del cordón: $l_{eff} \geq 30 \text{ mm}$
 $l_{eff} \geq 6 a$

Longitud menor no se considera resistente

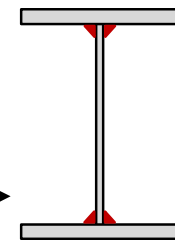
Cordones en solape **largos** → la distribución de tensiones a lo largo del cordón no es uniforme: no trabaja toda la longitud del cordón



Si la longitud geométrica L_j es $L_j > 150 a$

Longitud efectiva $l_{eff} = \left(1.2 - 0.2 \frac{L_j}{150a}\right) L_j$

No se aplica si la distribución de tensiones en el cordón es la misma que en el metal base P. e. unión alma-ala en vigas armadas



Soldadura en solape: rebordeado en esquinas

Cordones en ángulo no deben terminar en la esquina de la pieza.

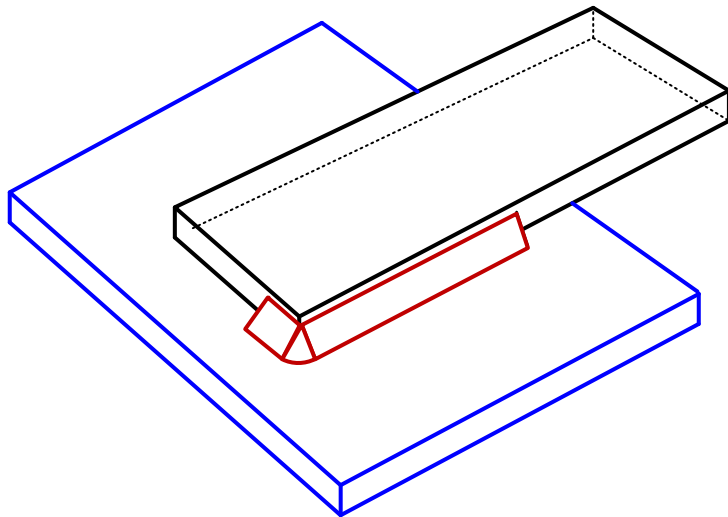
Prolongar alrededor de la esquina, si es posible, y en el mismo plano que el cordón.

Longitud a prolongar:

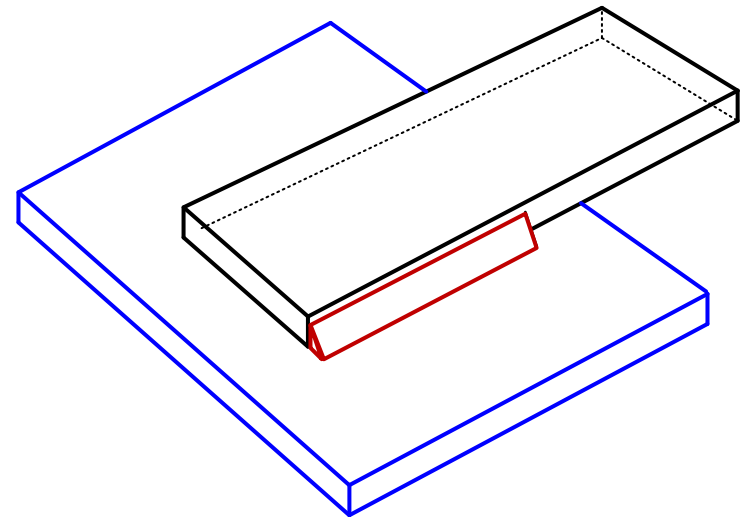
EC3: dos veces el pie del cordón $2\sqrt{2}a = 2.83a$

CTE: dos veces la garganta $2a$

Si



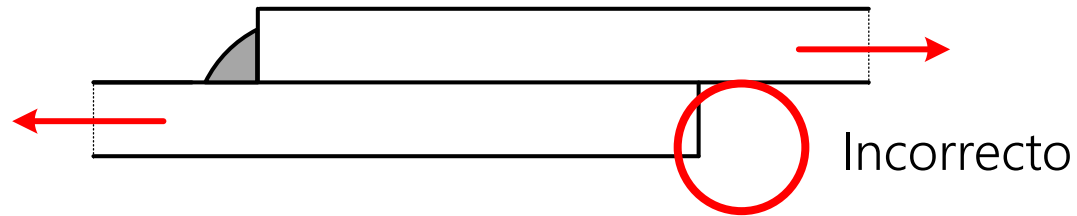
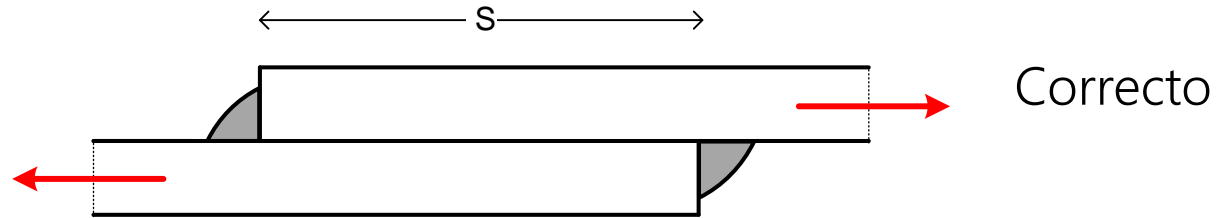
No



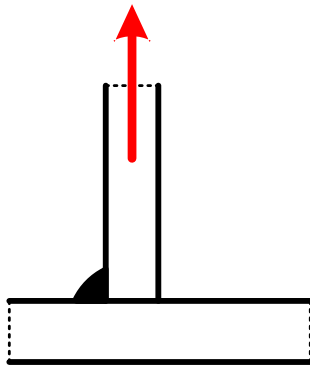
Soldadura en ángulo con solape

$$s \geq 5 t_{min}$$

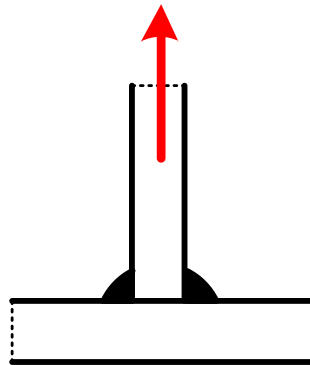
$$s \geq 25 \text{ mm}$$



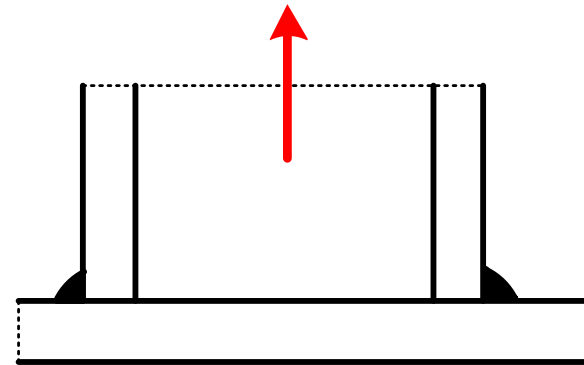
Evitar excentricidades



Incorrecto



Correcto



Correcto

Soldadura en ángulo discontinua

Si la garganta requerida es inferior a la mínima, se pueden emplear cordones en ángulo discontinuos, con garganta \geq que la mínima

No permitida en ambientes corrosivos

Extremos:

$$L_{we} \geq 0.75 b$$

$$L_{we} \geq 0.75 b_1$$

Elementos a tracción:

$$L_1 \leq 200 \text{ mm}$$

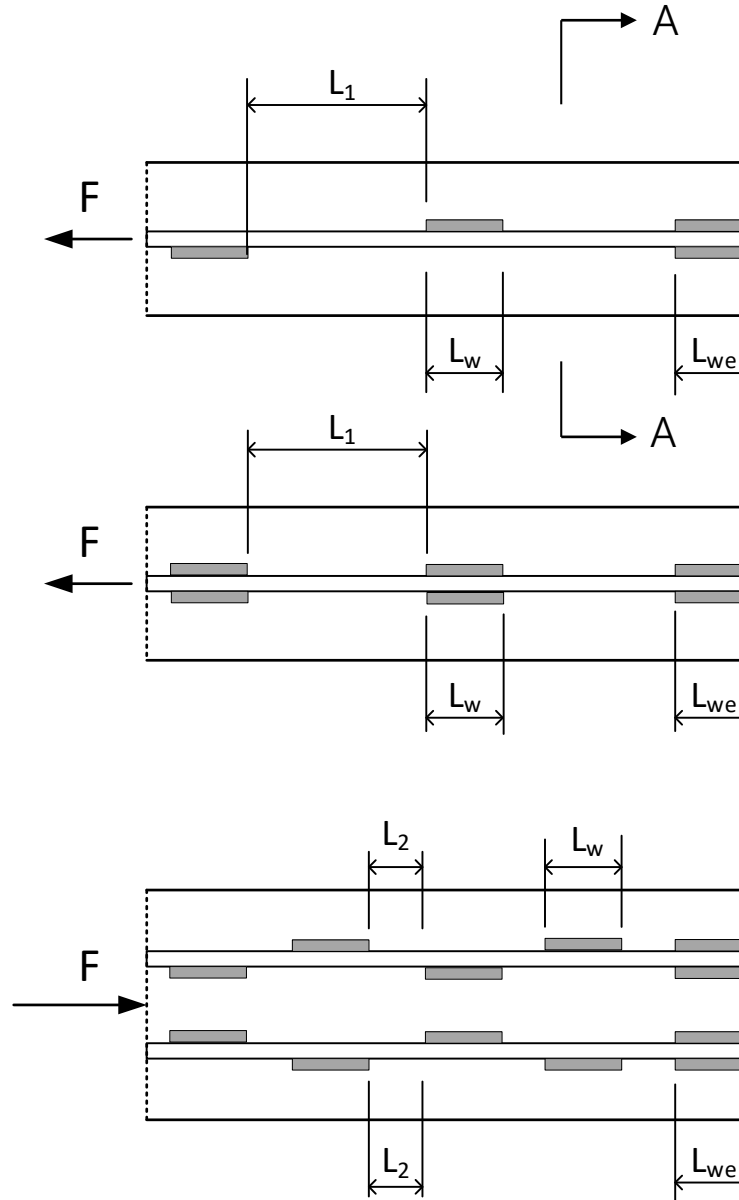
$$L_1 \leq 16 t_{min}$$

Elementos a compresión:

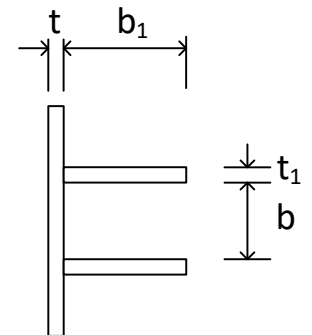
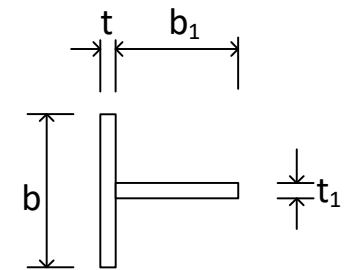
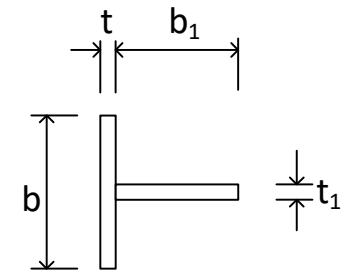
$$L_2 \leq 200 \text{ mm}$$

$$L_2 \leq 12 t_{min}$$

$$L_2 \leq 0.25 b$$



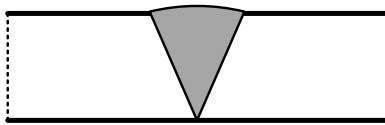
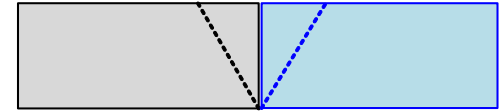
Sección A-A



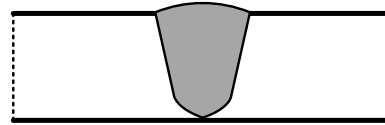
Soldadura a tope de penetración total

Caras de fusión paralelas + preparación de borde

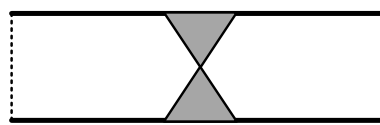
No pueden ser discontinuas



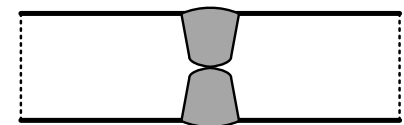
Chaflán en V
5 a 20 mm



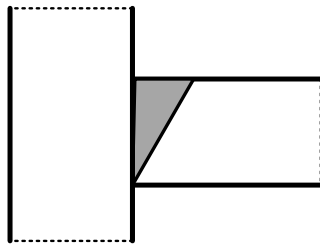
U sencilla



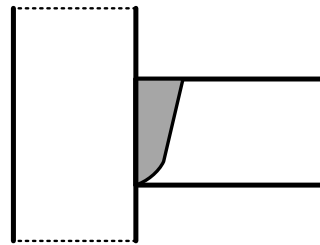
X
15 a 40 mm



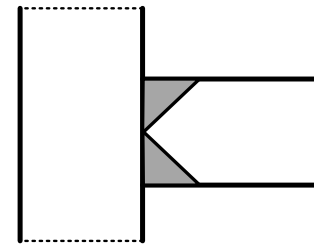
U doble
20 a 40 mm



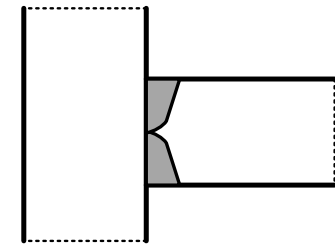
Chaflán simple



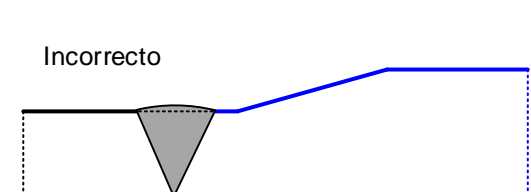
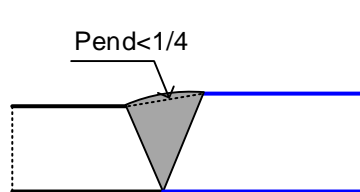
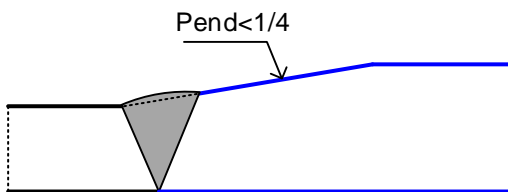
J sencilla



Chaflán doble

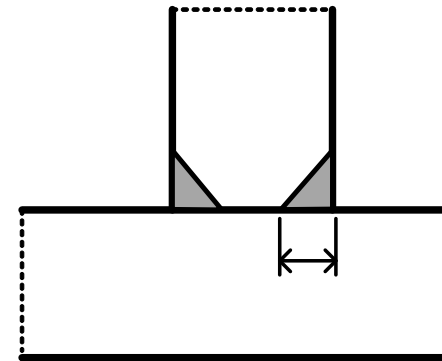
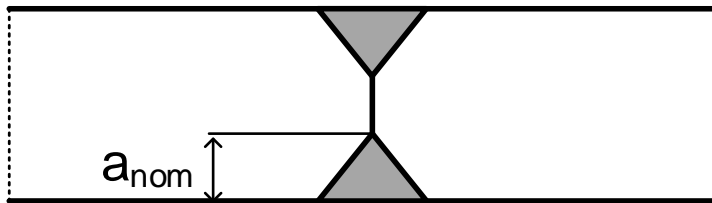


J doble

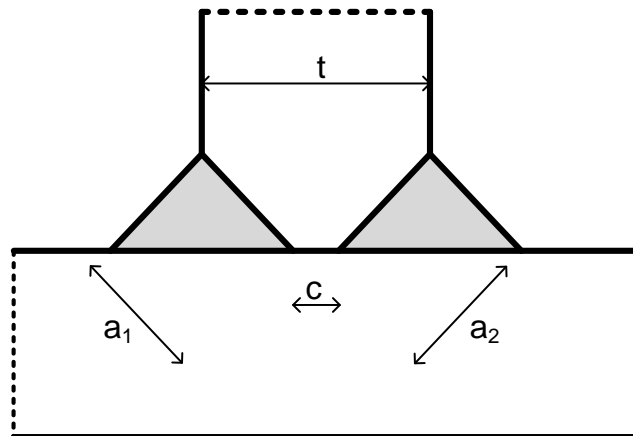


Soldadura a tope de penetración parcial

Caras de fusión paralelas + preparación de borde parcial del espesor
No pueden ser discontinuas



A tope de penetración parcial + dos cordones en ángulo



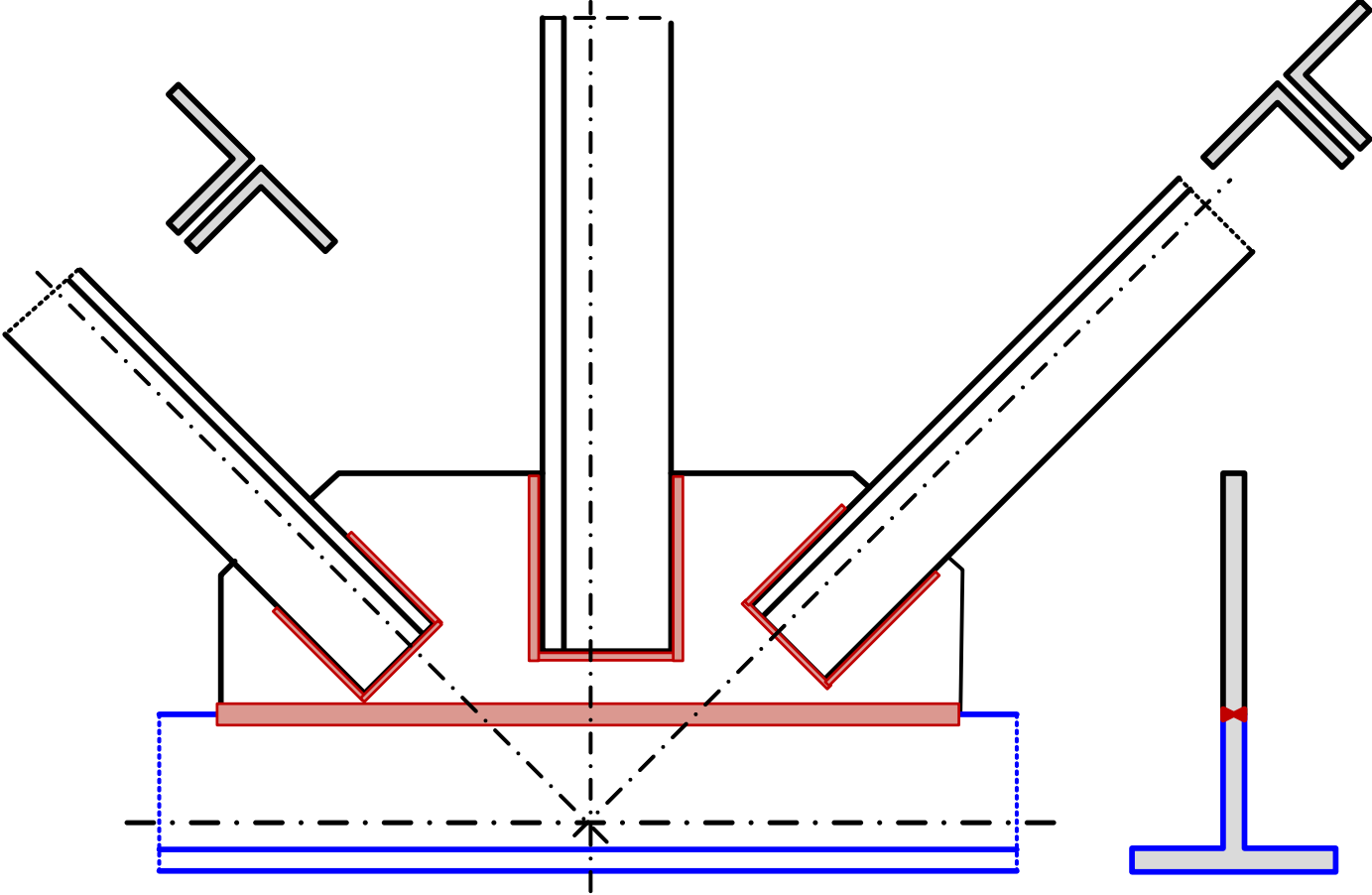
Se considera a tope de penetración total si se cumplen:

$$a_1 + a_2 \geq t$$

$$c \leq \min\left(\frac{t}{5}, 3 \text{ mm}\right)$$

Si no se cumplen: soldadura en ángulo

Nudo de celosía con cartela soldada a tope



Estado de tensiones en un cordón en ángulo

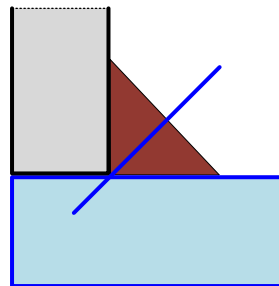
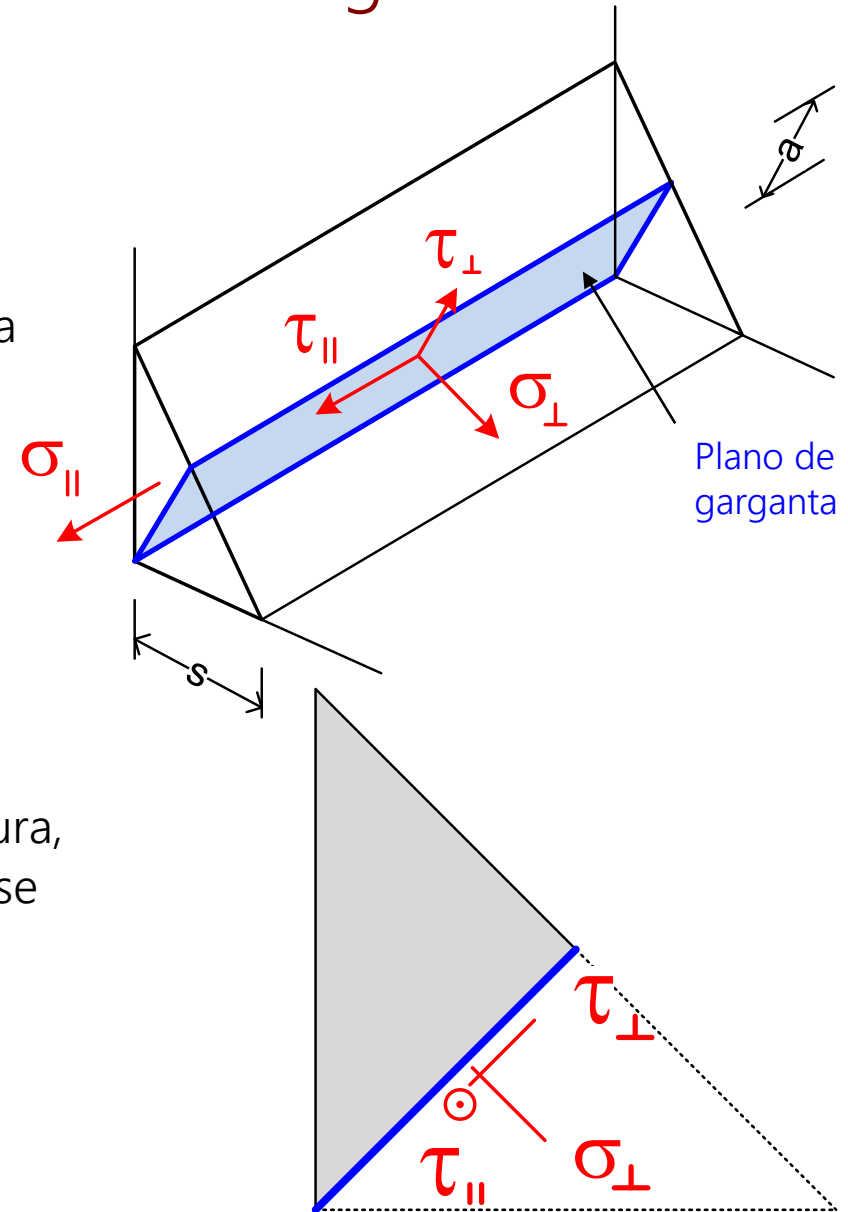
Tramo de cordón de **longitud pequeña**:
estado de tensiones uniforme
en el **plano de garganta**

σ_{\perp} Tensión **normal** perpendicular a la garganta

τ_{\perp} Tensión **tangencial**, en el plano de la garganta, **perpendicular** al eje de la soldadura

τ_{\parallel} Tensión **tangencial**, en el plano de la garganta, **paralela** al eje de la soldadura

σ_{\parallel} Tensión normal paralela al eje de la soldadura, que no afecta a la resistencia del cordón (no se tiene en cuenta)



Tensiones en el plano de garganta abatido

Por sencillez, se trabaja en el plano de garganta **abatido** sobre una cara de soldadura

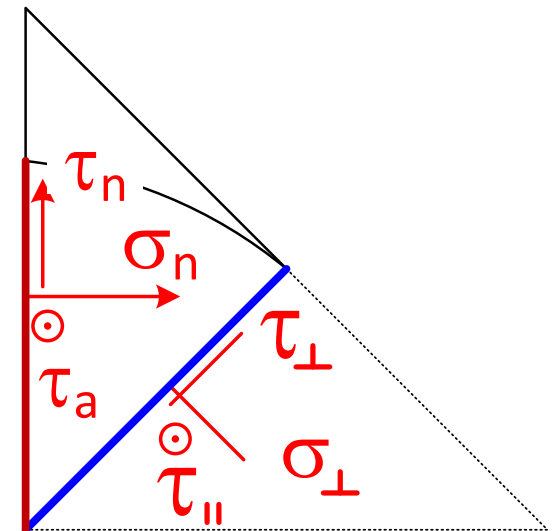
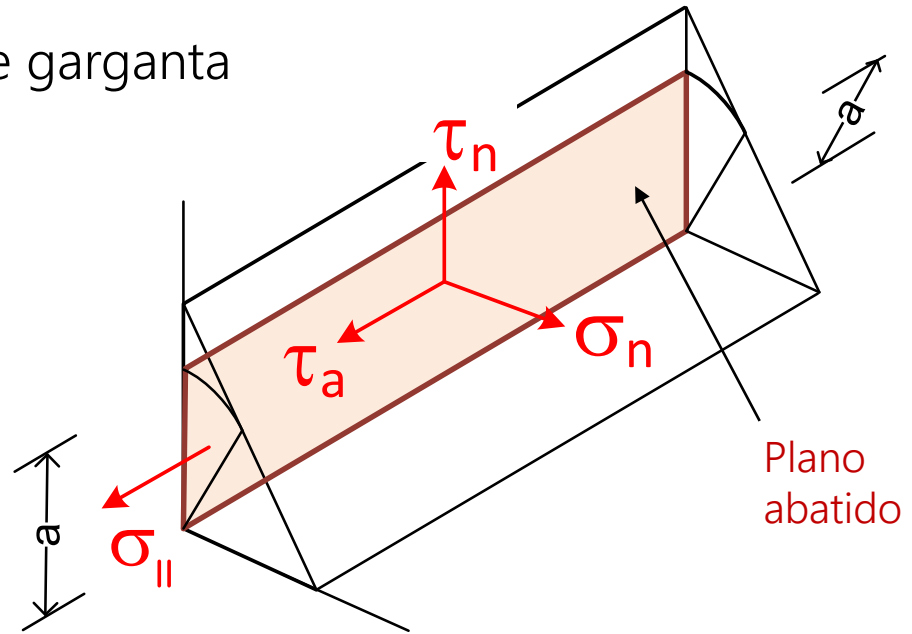
σ_n Tensión normal perpendicular al plano abatido

τ_n Tensión tangencial en el plano abatido, normal a la arista

τ_a Tensión tangencial en el plano abatido, paralela a la arista

Como el plano abatido y el plano de garganta tienen la misma dimensión (a), la relación entre las tensiones en dichos planos es sencilla:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_n - \tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\perp} = \frac{\sigma_n + \tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\parallel} = \tau_a$$



Criterios de resistencia de un cordón en ángulo

A. Método direccional

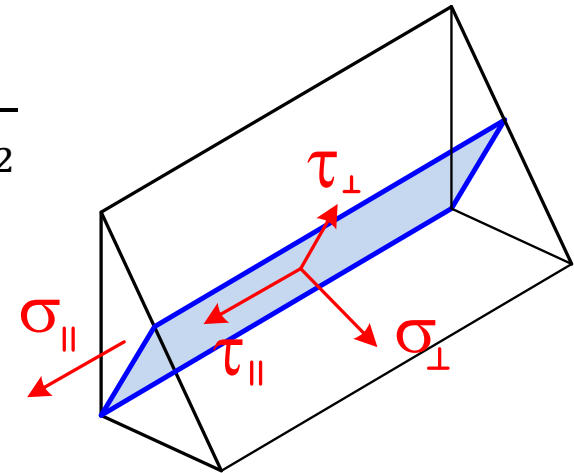
El fallo se produce cuando la **tensión de comparación** σ_C (combinación de todas las tensiones) alcanza el valor de la **resistencia a rotura** por tracción del material f_u

$$\sigma_C = \beta_w \sqrt{\alpha \sigma_{\parallel}^2 + \kappa \sigma_{\perp}^2 + \kappa \lambda (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Valores aceptados: $\alpha = 0$ $\kappa = 1$ $\lambda = 3$

β_w : depende el material

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

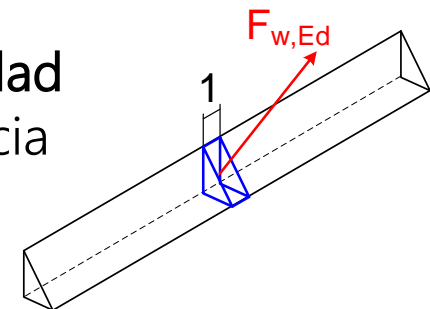


Requiere determinar el estado de tensiones en el plano de garganta

B. Método simplificado

El fallo se produce cuando la **fuerza transmitida por unidad de longitud** del cordón F_w alcanza el valor de la resistencia del cordón.

Más sencillo de aplicar. Tensiones en el plano abatido



Resistencia de un cordón en ángulo. Método direccional

EN 1993-1-8, 4.5.3.2

El estado de tensiones (en régimen elástico) debe ser tal que:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

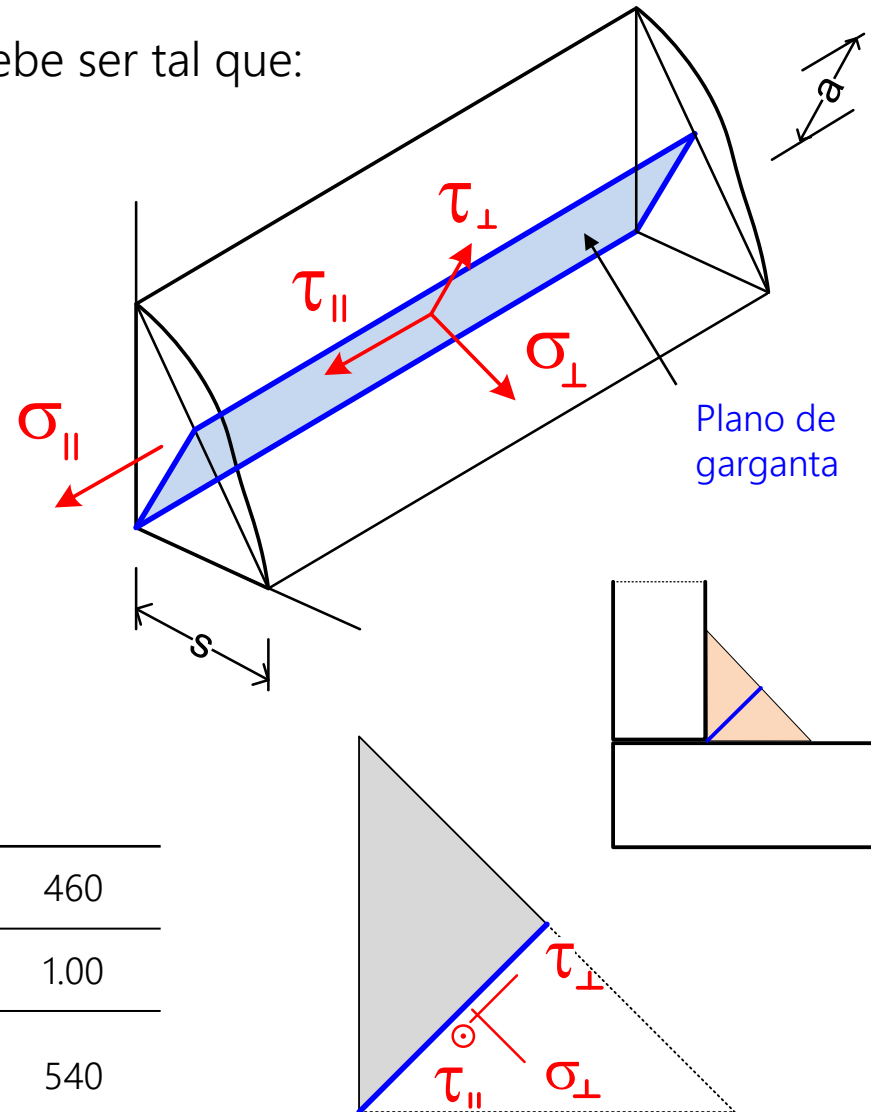
$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{CTE no emplea 0.9}$$

f_u límite de rotura del material

$\gamma_{M2} = 1.25$ Coeficiente de seguridad a rotura de las uniones

β_w Factor de correlación:

f_y (MPa)	235	275	355	420	460
β_w	0.80	0.85	0.90	1.00	1.00
f_u (min) $t \leq 40$ mm	360	370 - 430	470 - 510	520	540



Fuerza transmitida por un cordón en ángulo

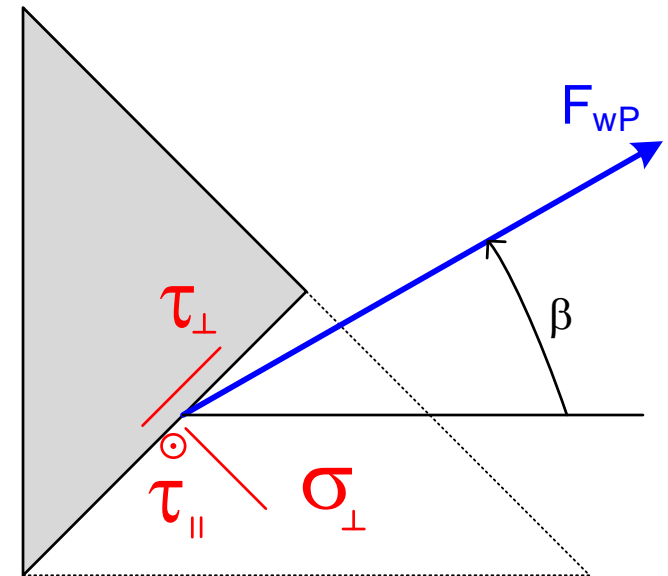
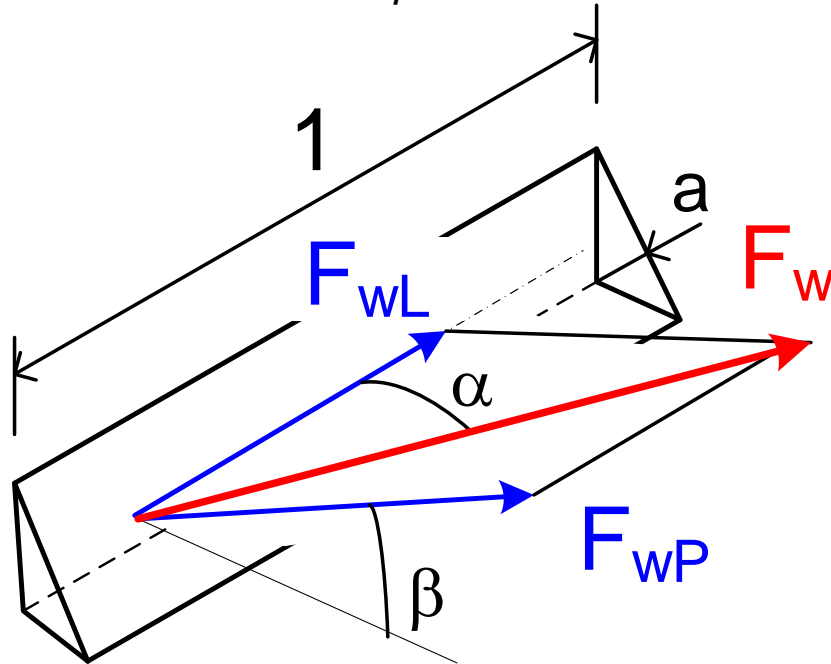
Cordón que transmite una fuerza F_w por unidad de longitud, que forma un ángulo α con el eje del cordón

Fuerza longitudinal al cordón $F_{wL} = F_w \cos \alpha$

Fuerza perpendicular al cordón $F_{wP} = F_w \sin \alpha$

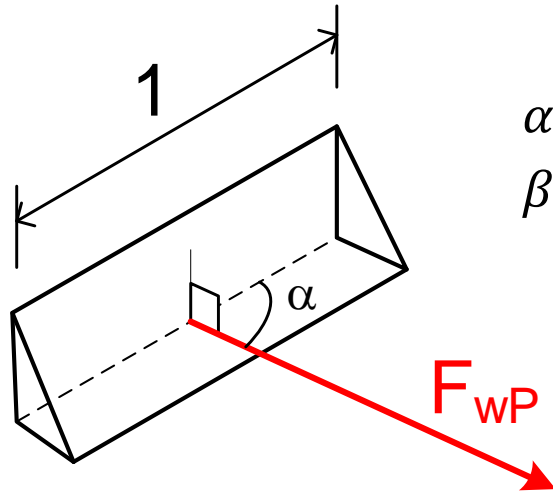
F_{wP} forma un ángulo β con una de las caras del cordón

Estudio detallado de las tensiones producidas por F_{wP} y F_{wL} para distintos valores de β



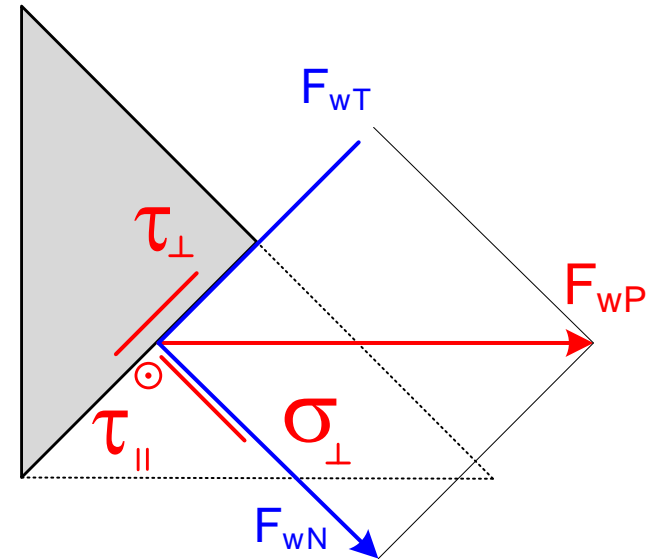
Resistencia de un cordón con fuerza frontal

Paralela a una cara



$$\alpha = 90$$

$$\beta = 0$$



$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{WP} \cos 45}{a \cdot 1} = \frac{F_{WP}}{a \sqrt{2}}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{WP} \cos 45}{a \cdot 1} = \frac{F_{WP}}{a \sqrt{2}}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

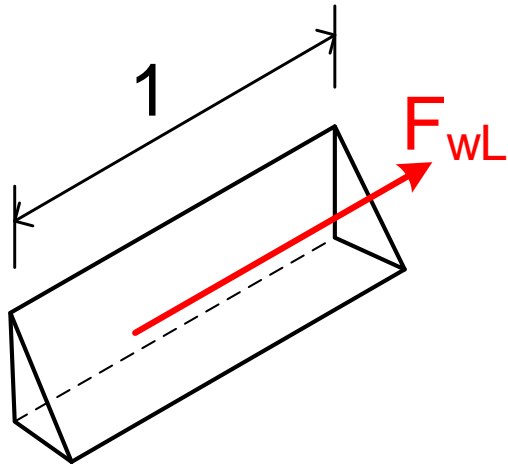
Sustituyendo en: $\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$

$$\sigma_c = \sqrt{2} \frac{F_{WP}}{a}$$

$$\frac{F_{WP}}{a} = \text{Tensión nominal del cordón}$$

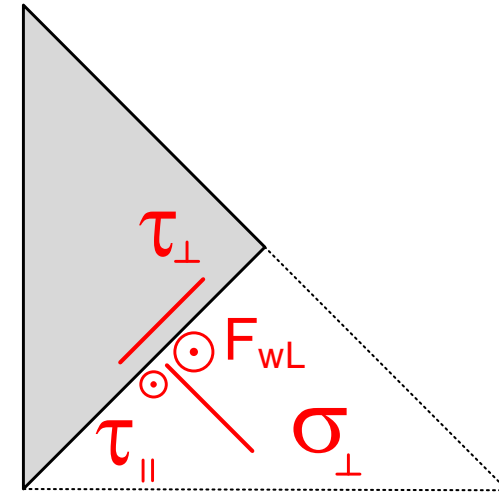
Ídem para $\beta = 90$

Resistencia de un cordón con fuerza longitudinal



$$\alpha = 0$$

$$\neq \beta$$



$$\sigma_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{WL}}{a}$$

Sustituyendo en:
$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\sigma_C = \sqrt{3} \frac{F_{WL}}{a}$$

$$\frac{F_{WL}}{a} = \text{Tensión nominal del cordón}$$

Resumen: Tensiones en un cordón en ángulo en función de α, β

Efectuando el cálculo para diversos valores de α, β

La tensión de comparación σ_c , para cualquier α, β , tiene un máximo:

$$\sigma_{c,max} = \frac{F_w}{a} \sqrt{3}$$

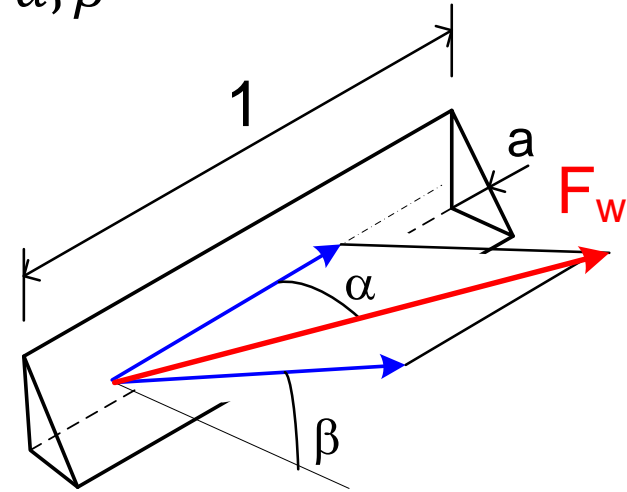
Sustituyendo en la ecuación de comprobación

$$\sigma_c \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\frac{F_w}{a} \sqrt{3} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Reordenando:

$$F_w \leq a \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Este es el fundamento del método simplificado

Resistencia de un cordón en ángulo. Método simplificado (1)

EN 1993-1-8, 4.5.3.3

En cualquier punto del cordón, para cualquier orientación, la resultante de las **fuerzas transmitidas por unidad de longitud** $F_{w,Ed}$ debe ser menor que la resistencia de la soldadura por unidad de longitud $F_{w,Rd}$

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = a \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

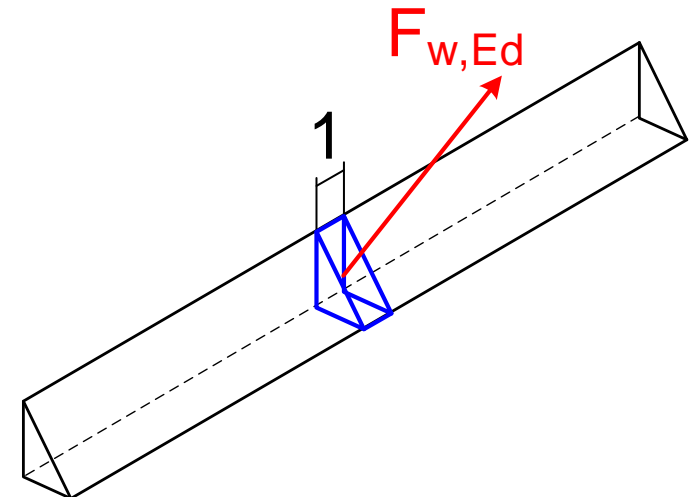
Resistencia a cortante de la soldadura por unidad de longitud

Reordenando a

$$\frac{F_{w,Ed}}{a} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Tensión cortante nominal τ_w

$f_{vw,d}$ Resistencia a cortante de la soldadura



Resistencia de un cordón en ángulo. Método simplificado (y 2)

La resultante de las fuerzas transmitidas por unidad de longitud $F_{w,Ed}$ se calcula fácilmente como la resultante de las tensiones en el plano abatido, o en el plano de garganta

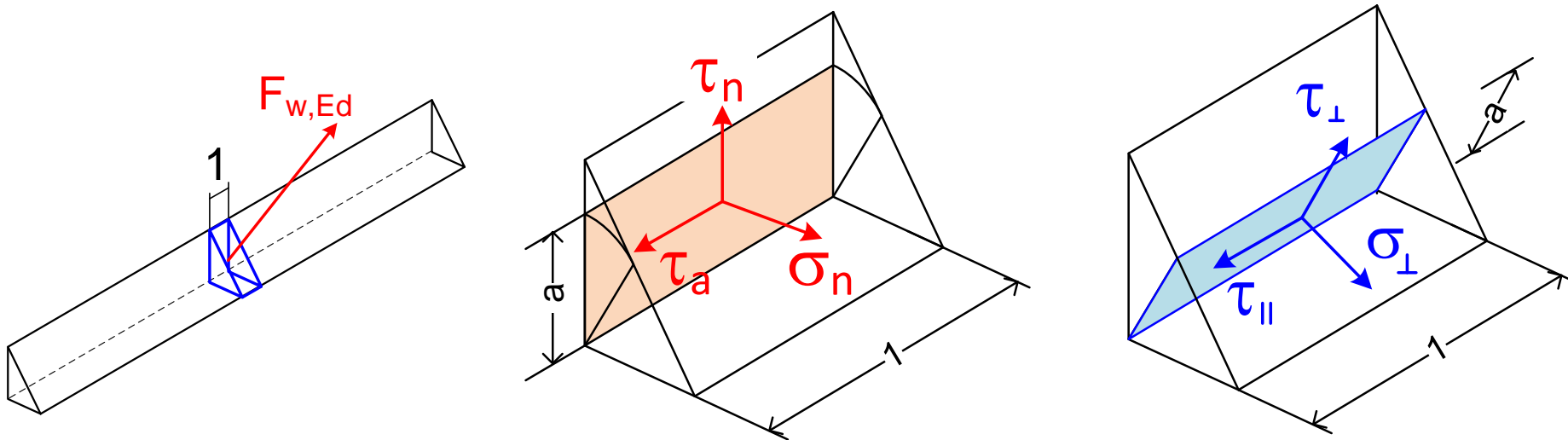
$$F_{w,Ed} = a \sqrt{\sigma_n^2 + \tau_n^2 + \tau_a^2}$$

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$$

Sustituyendo en la ecuación de comprobación:

$$\sqrt{\sigma_n^2 + \tau_n^2 + \tau_a^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

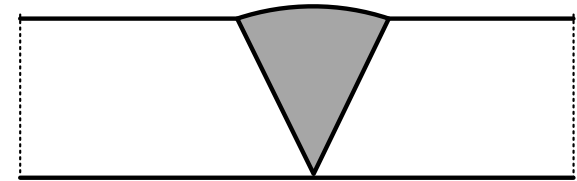
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Resistencia de cordones a tope

Penetración total:

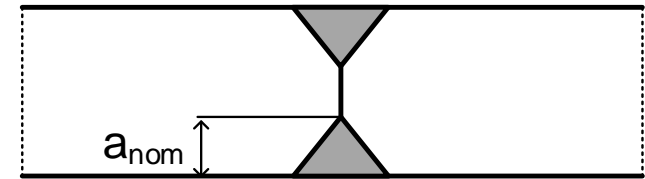
No es necesario comprobar el cordón de soldadura, si la resistencia del metal aportado (f_y y f_u) es igual (o superior) a la del metal base



Penetración parcial:

Comprobar como un cordón en ángulo

Demostrar con ensayos que se puede alcanzar la penetración requerida



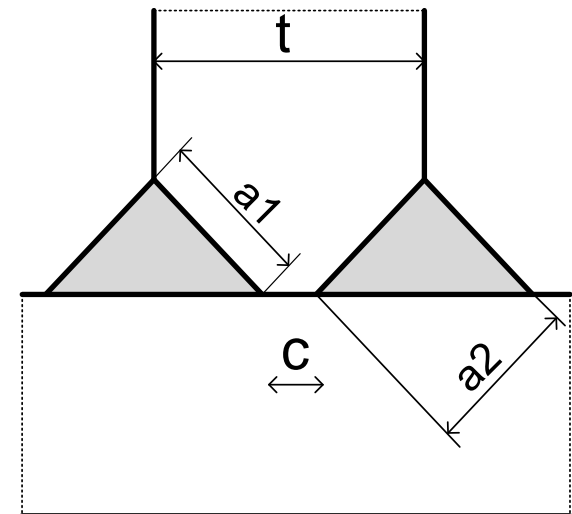
CTE: en preparaciones en V, U, J:

$$a = a_{nom} - 2 \text{ mm}$$

Penetración parcial + dos cordones en ángulo:

Se puede considerar como unión a tope de penetración total (y no comprobar) si:

$$a_1 + a_2 \geq t \quad c \leq \frac{t}{5} \quad c < 3 \text{ mm}$$





tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Uniones soldadas básicas



Unión a esfuerzo axial con dos cordones laterales iguales

- Tensiones en el plano de garganta

$$\sigma_{\perp} = 0 \quad \tau_{\perp} = 0 \quad \tau_{\parallel} = \frac{F/2}{aL}$$

Comprobación. Método direccional:

$$\sigma_c = \left(\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right)^{1/2} = \sqrt{3} \frac{F}{2aL} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

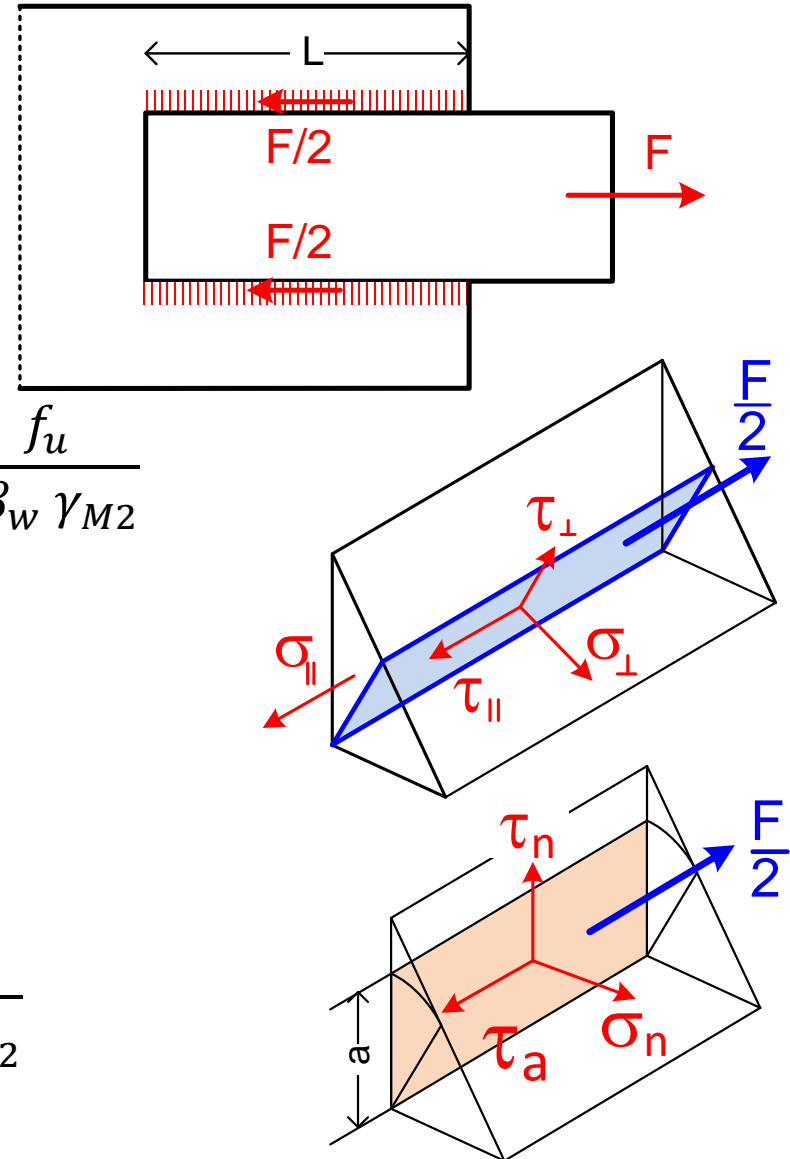
- Tensiones en el plano abatido

$$\sigma_n = 0 \quad \tau_n = 0 \quad \tau_a = \frac{F/2}{aL}$$

Comprobación. Método simplificado:

$$(\sigma_n^2 + \tau_n^2 + \tau_a^2)^{1/2} = \tau_a = \frac{F}{2aL} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Mismo resultado en este caso



Resistencia de varios cordones laterales

Se supone un reparto de la fuerza total a transmitir F proporcional al área de cada cordón:

$$F_j = \frac{a_j L_{wj}}{\sum_i a_i L_{wi}} F \quad j = 1, 2, \dots$$

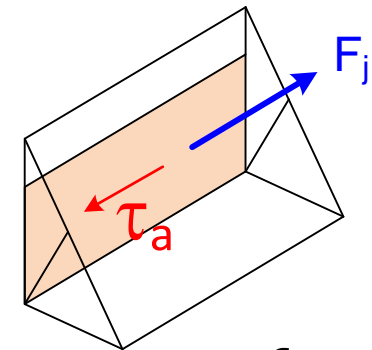
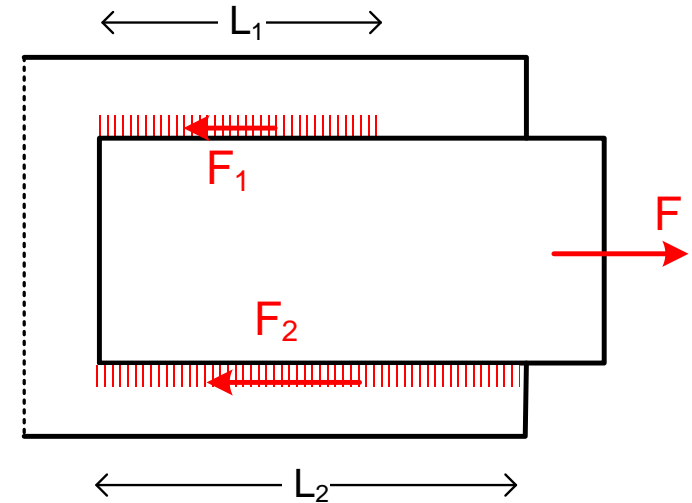
Tensión longitudinal en el cordón j :

$$\tau_{a,j} = \frac{F_j}{a_j L_{wj}} = \frac{F}{\sum_i a_i L_{wi}}$$

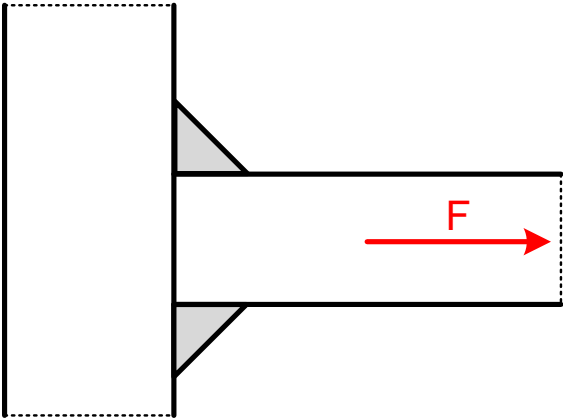
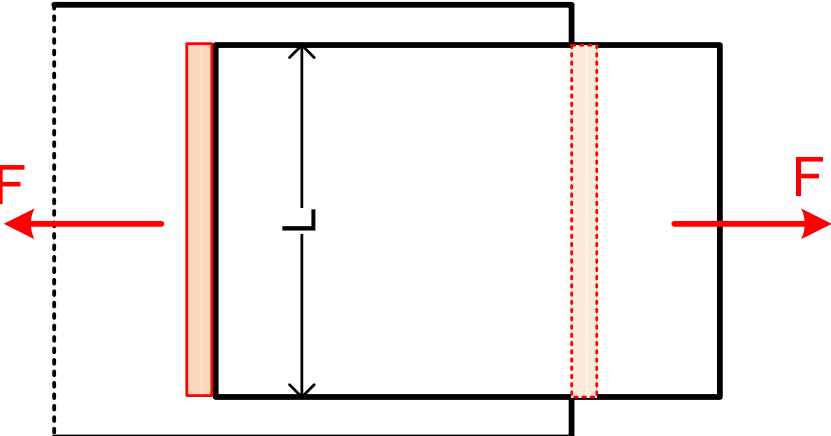
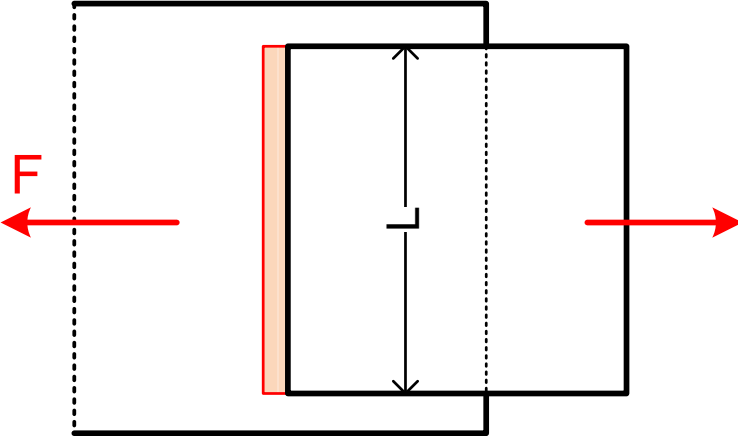
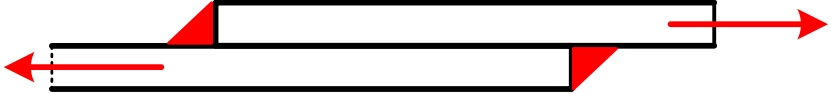
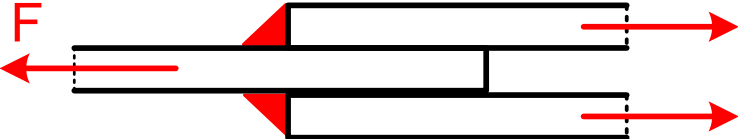
Todos los cordones tienen la misma tensión

Comprobación de la unión:

$$\tau_{a,j} = \frac{F}{\sum_i a_i L_{wi}} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión a esfuerzo axial con dos cordones frontales



Unión a esfuerzo axial con dos cordones frontales

Fuerza en un cordón: $\frac{F}{2}$ Longitud del cordón: L

Tensiones en el plano de garganta de cada cordón:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\left(\frac{F}{2}\right) \cos 45}{a L} \quad \tau_{\perp} = \frac{\left(\frac{F}{2}\right) \sin 45}{a L} \quad \tau_{\parallel} = 0$$

Comprobación (método direccional):

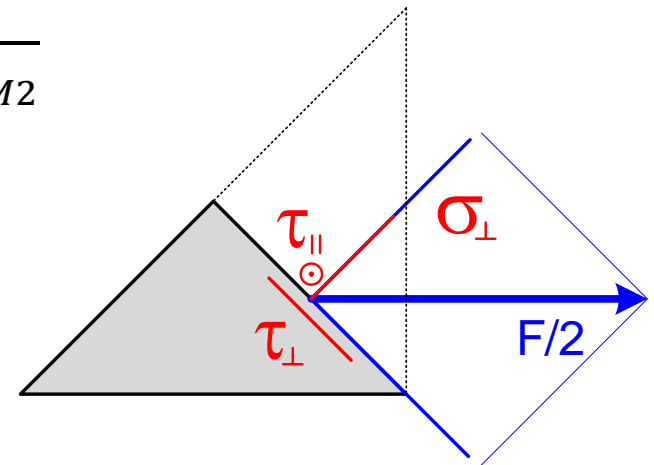
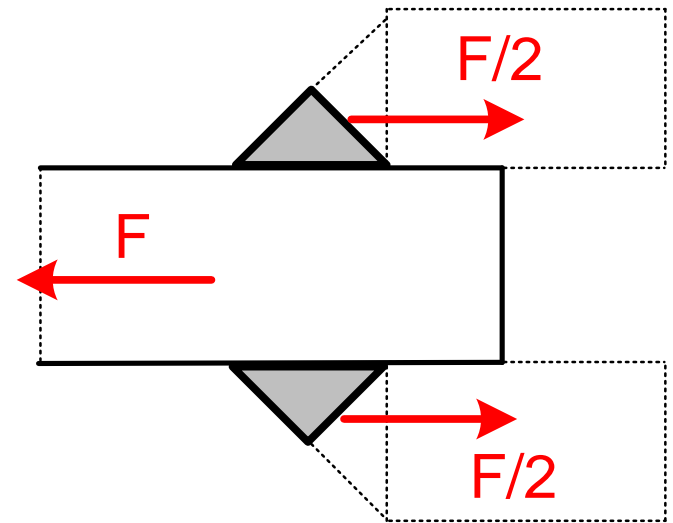
$$\sigma_C = \left(\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right)^{1/2} = \sqrt{2} \frac{F}{2aL} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Menos conservador que la fórmula simplificada ($\sqrt{3}$)

Un cordón frontal tiene más resistencia que uno lateral

La fuerza F máxima es la resistencia de la soldadura

$$F_{w,Rd} \equiv F_{max} = 2 a L \frac{f_u}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión a esfuerzo axial con dos cordones frontales de resistencia total

La resistencia de la soldadura $F_{w,Rd}$ debe ser \geq que la fuerza axial de agotamiento de la chapa $N_{pl,Rd}$

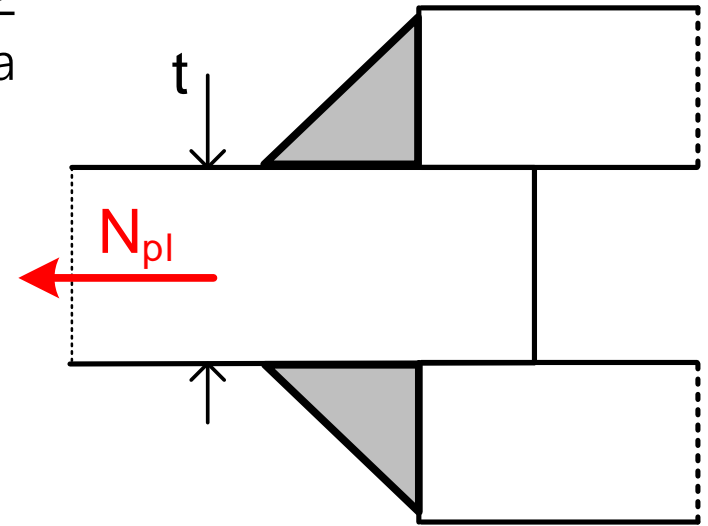
$$F_{w,Rd} \geq N_{pl,Rd}$$

$$(2 a L) \frac{f_u}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}} \geq t L \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Despejando: garganta mínima para resistencia total

$$a \geq \frac{\sqrt{2} \beta_w f_y \gamma_{M2}}{2 f_u \gamma_{M0}} t$$

No depende de L



	f_u (MPa)	β_w	a
S235	360	0.80	$a \geq 0.44 t$
S275	370	0.85	$a \geq 0.53 t$
S355	470	0.90	$a \geq 0.57 t$
S420	520	1.00	$a \geq 0.68 t$
S460	530	1.00	$a \geq 0.73 t$

f_u para $t \leq 40 \text{ mm}$

Unión a esfuerzo cortante con dos cordones laterales

Fuerza en un cordón: $\frac{V}{2}$ Longitud del cordón: L

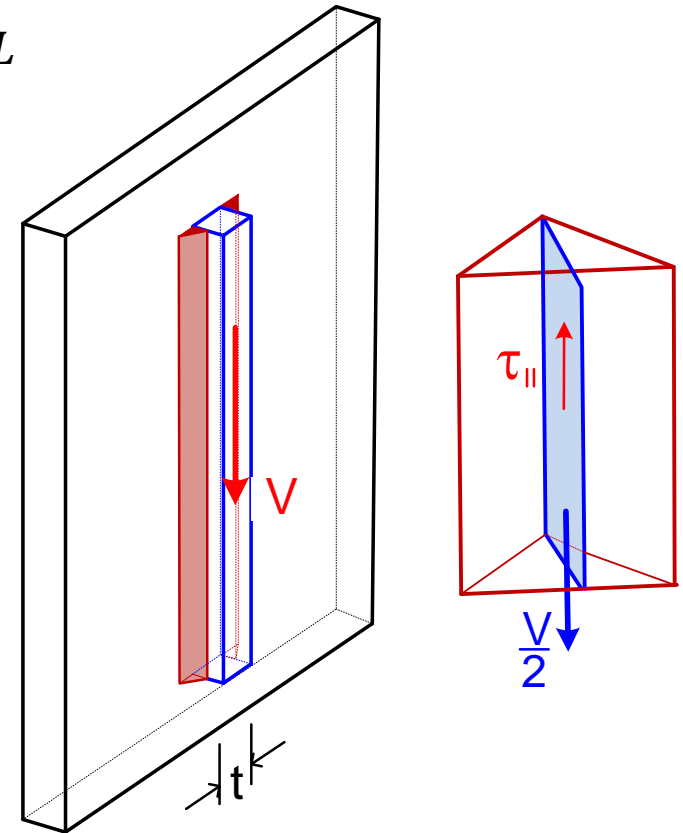
Tensiones en el plano de garganta de cada cordón:

$$\sigma_{\perp} = 0 \quad \tau_{\perp} = 0 \quad \tau_{\parallel} = \frac{V/2}{a L}$$

Comprobación (método direccional):

$$\sigma_c = \left(\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2) \right)^{1/2} = \frac{\sqrt{3} V}{2 a L}$$

$$\sigma_c = \frac{\sqrt{3} V}{2 a L} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$



Un cordón lateral tiene menos resistencia que uno frontal ($\sqrt{3}$)

La fuerza V máxima es la resistencia de la soldadura

$$V_{w,Rd} = 2 a L \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Unión a esfuerzo cortante con dos cordones laterales de resistencia total

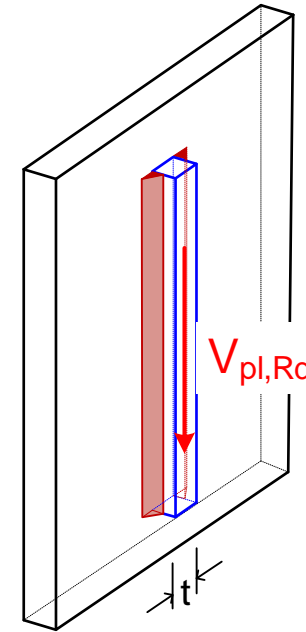
La resistencia de la soldadura $V_{w,Rd}$ debe ser \geq que la fuerza cortante de agotamiento de la chapa (espesor t y longitud L): $V_{pl,Rd}$

$$V_{w,Rd} \geq V_{pl,Rd}$$
$$(2aL) \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \geq t L \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Despejando: garganta mínima para resistencia total

$$a \geq \frac{\beta_w f_y \gamma_{M2}}{2 f_u \gamma_{M0}} t$$

No depende de L



	f_u (MPa)	β_w	a
S235	360	0.80	$a \geq 0.31 t$
S275	370	0.85	$a \geq 0.38 t$
S355	470	0.90	$a \geq 0.40 t$
S420	520	1.00	$a \geq 0.48 t$
S460	530	1.00	$a \geq 0.52 t$

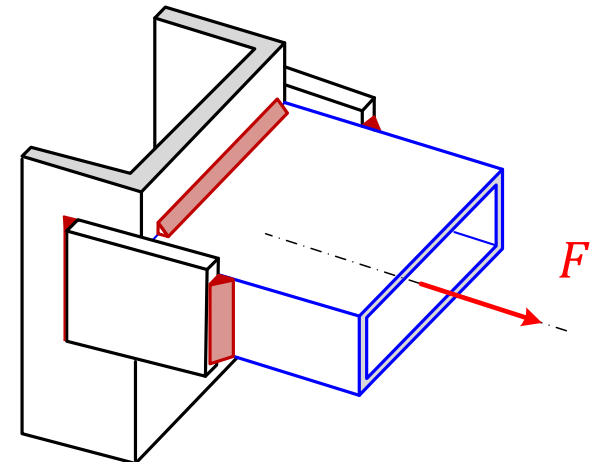
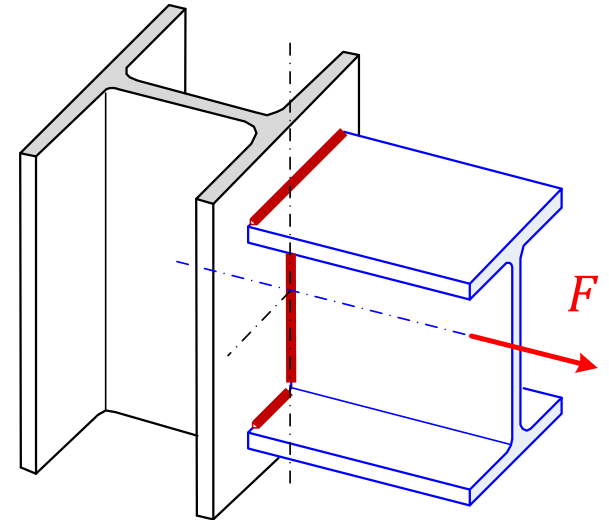
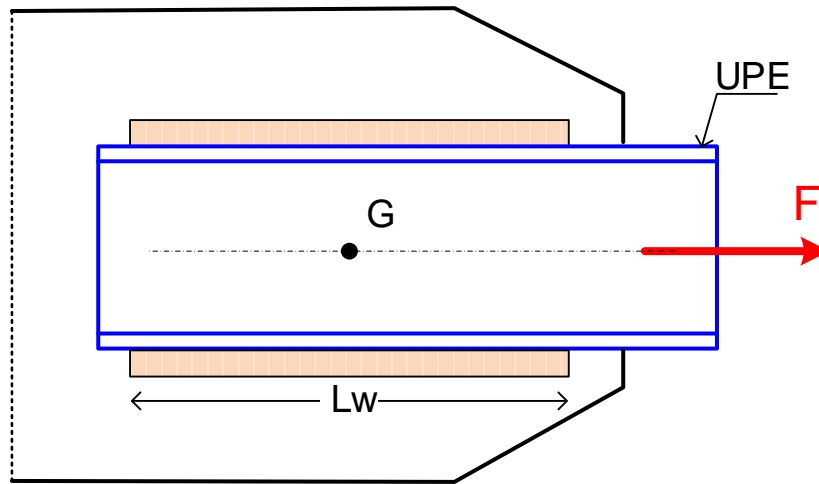
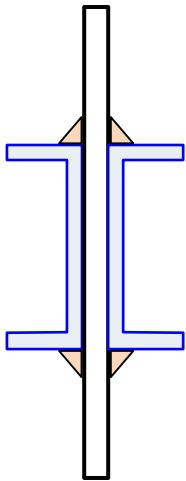
f_u para $t \leq 40 \text{ mm}$

Unión plana centrada

Conjunto de cordones coplanarios o casi coplanarios, que transmiten una fuerza F que pasa por el centro de gravedad de los cordones.

Cordones frontales y/o laterales

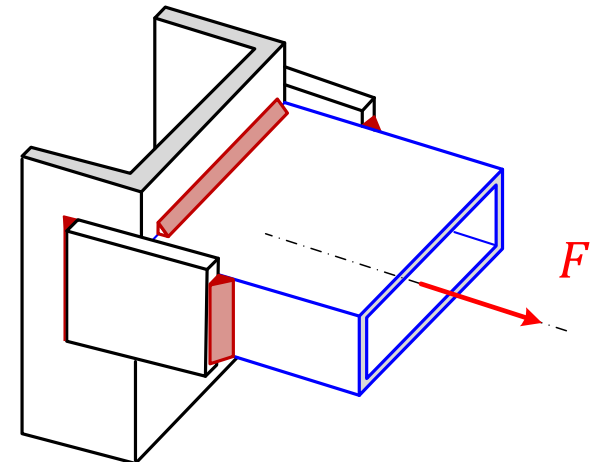
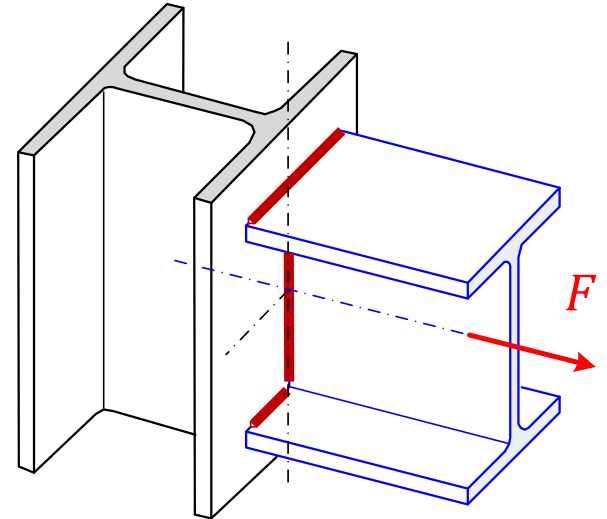
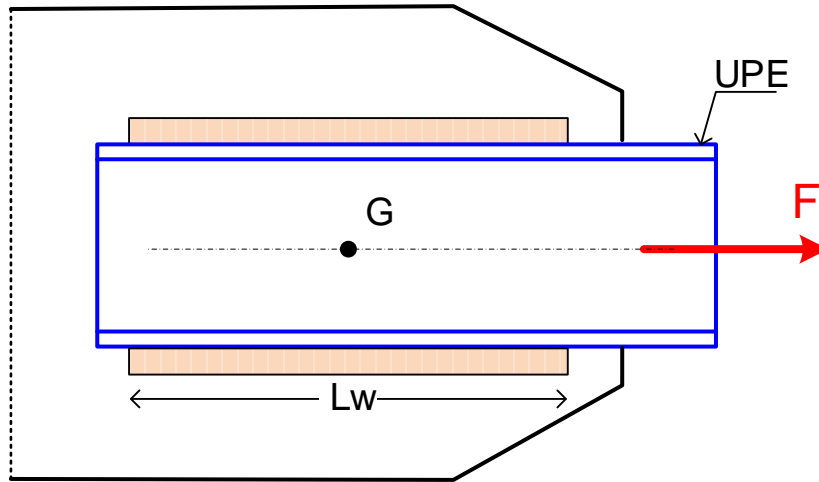
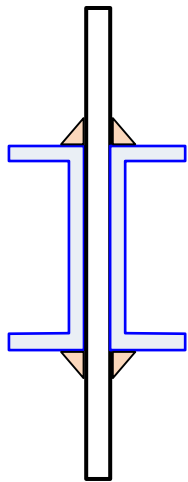
La fuerza puede estar contenida en el plano de los cordones o no (muchas veces es perpendicular a él)



Unión plana centrada – Comprobación simplificada

La fuerza se transmite entre todos los cordones de forma proporcional a su área: todos tienen la misma tensión media

$$\frac{F}{\sum a_i L_i} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión plana centrada de un angular L

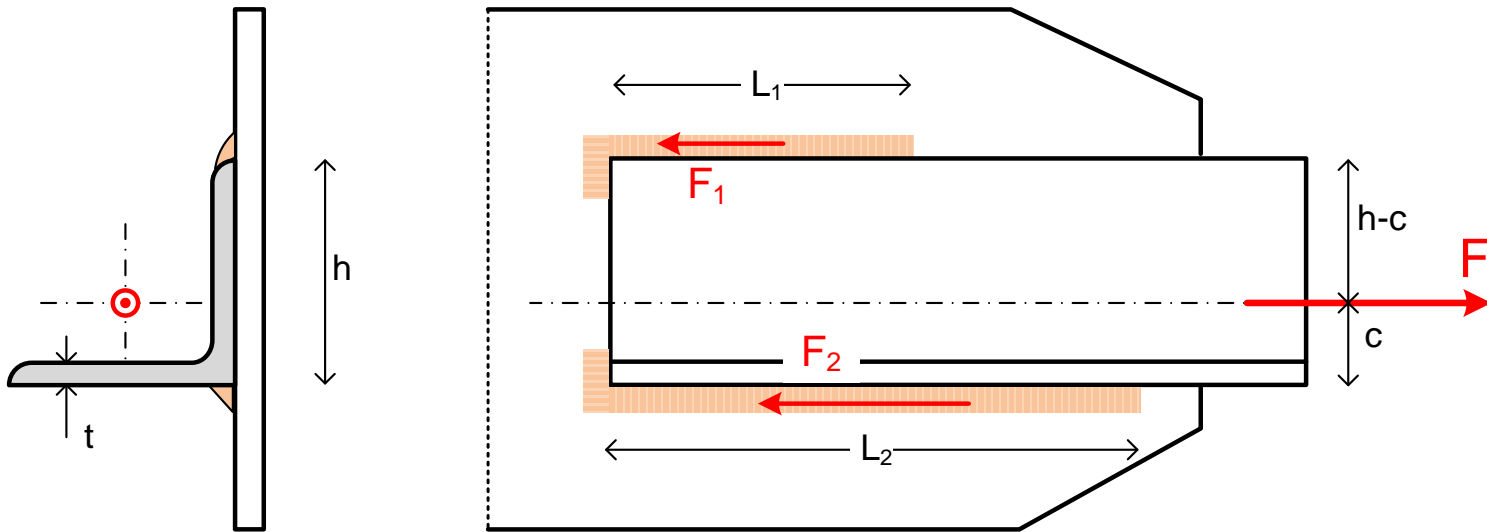
La fuerza exterior F está aplicada en el centro de gravedad del perfil en L.

Para que la unión se pueda considerar plana, el c.d.g. de los 2 cordones debe estar en el eje (c.d.g.) del perfil:

$$L_1 a_1 (h - c) = L_2 a_2 c \quad \rightarrow \quad L_2 = L_1 \frac{a_1}{a_2} \frac{h - c}{c}$$

Comprobación:
$$\frac{F}{a_1 L_1 + a_2 L_2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}$$

Rebordes no resistentes
no se consideran

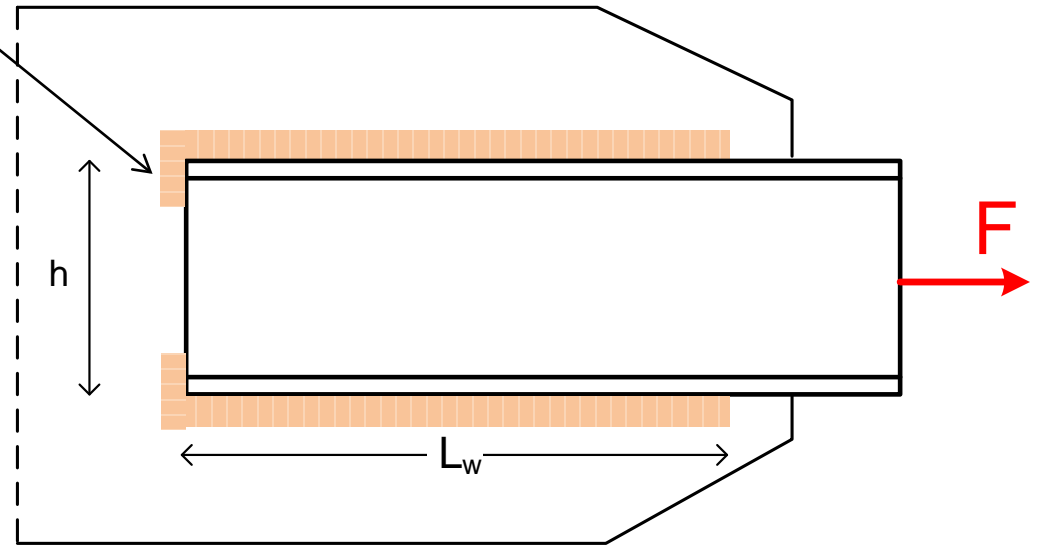


Unión con cordones laterales

Dimensiones mínimas recomendadas (antigua norma EAE)

Cordones laterales:
$$\begin{cases} L_w \geq 15 a \\ L_w \geq h \end{cases}$$

Recomendado, si es posible:
rodear las esquinas ($\approx 3 a$)
No se considera resistente

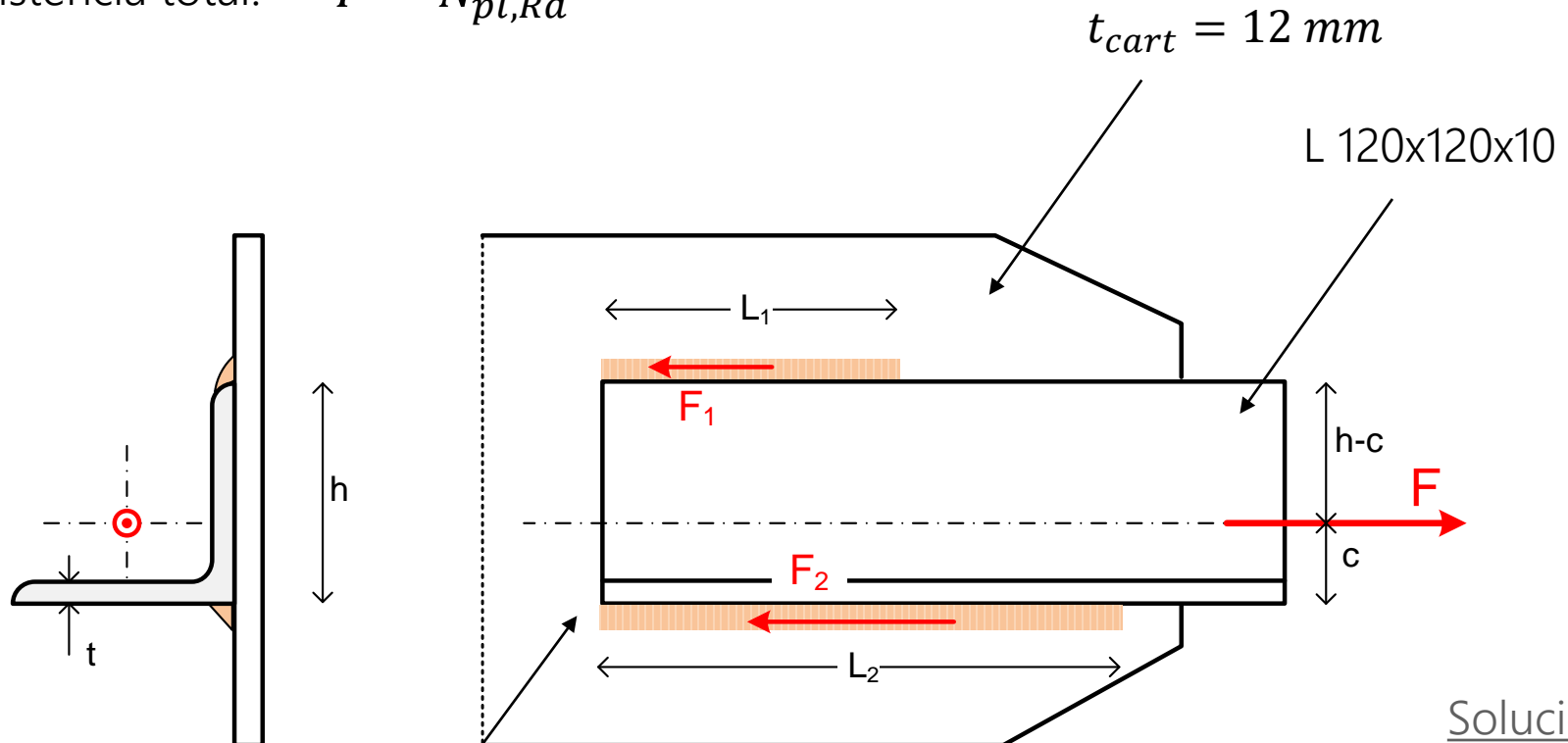


Ejemplo: unión plana centrada de L 120 x 10 a tracción

$$h = 120 \quad t = 10 \quad c = 33.1 \quad A = 2320 \text{ mm}^2 \quad \text{S355}$$

Mínima longitud del soldadura \rightarrow garganta máxima recomendada

Resistencia total. $F = N_{pl,Rd}$



Rebordes no resistentes
no mostrados

Ejemplo: unión plana centrada de IPE 200 a tracción

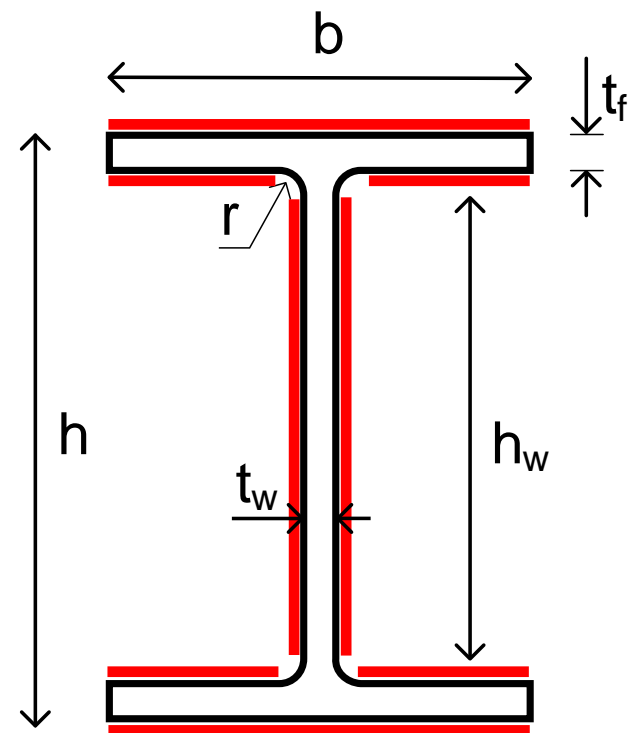
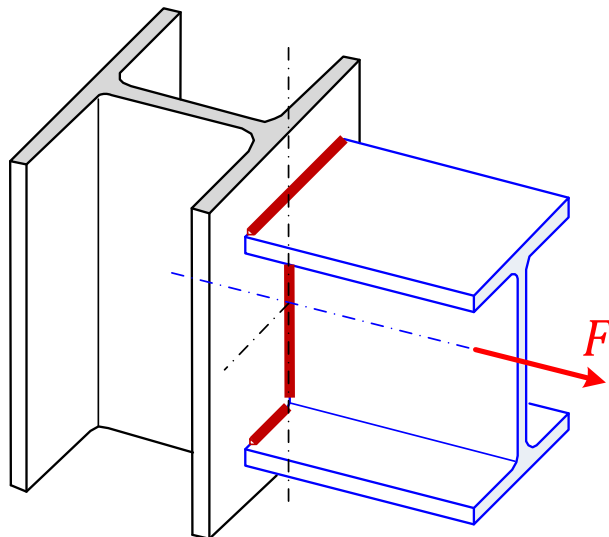
$$h = 200 \quad b = 100 \quad t_f = 8.5 \quad t_w = 5.6 \quad h_w = 159 \quad r = 12$$

$$S355 \quad f_u = 470 \quad A = 2850 \text{ mm}^2$$

Soldadura en todo el perímetro Garganta máxima recomendada

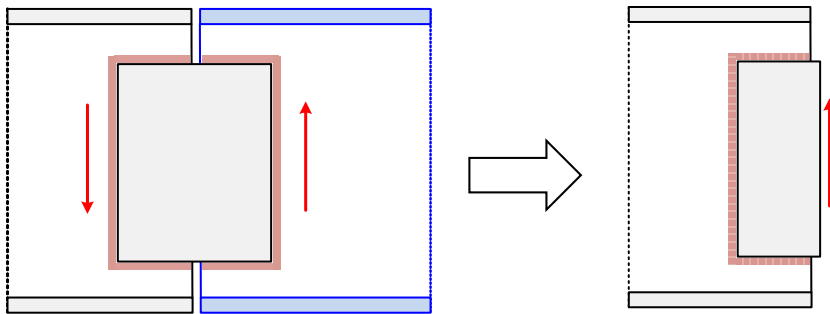
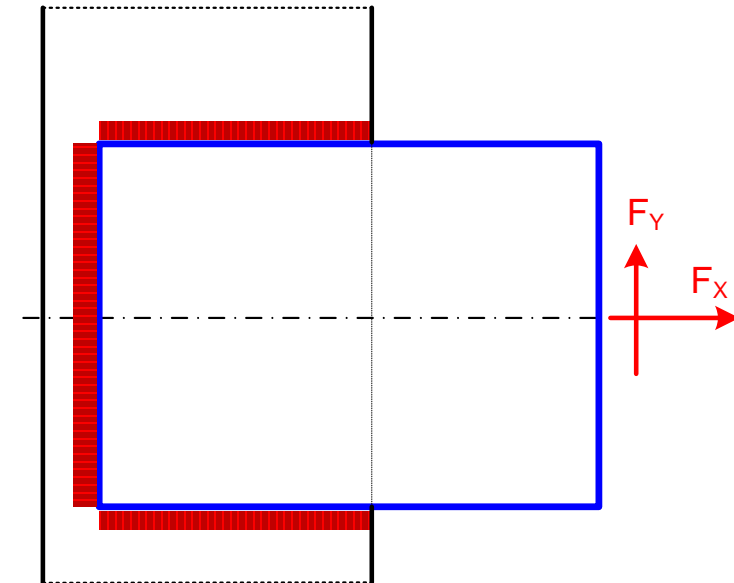
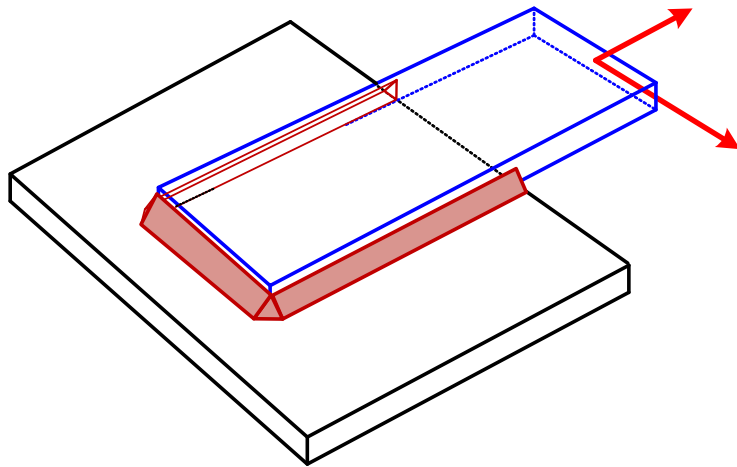
Esfuerzo axial máximo que transmite?

Es de resistencia total?



Unión plana excéntrica

Conjunto de cordones coplanarios que transmiten una fuerza $F_{w,Ed}$
Contenida en el plano de los cordones y que
NO pasa por el centro de gravedad de los cordones.



Unión plana excéntrica (1)

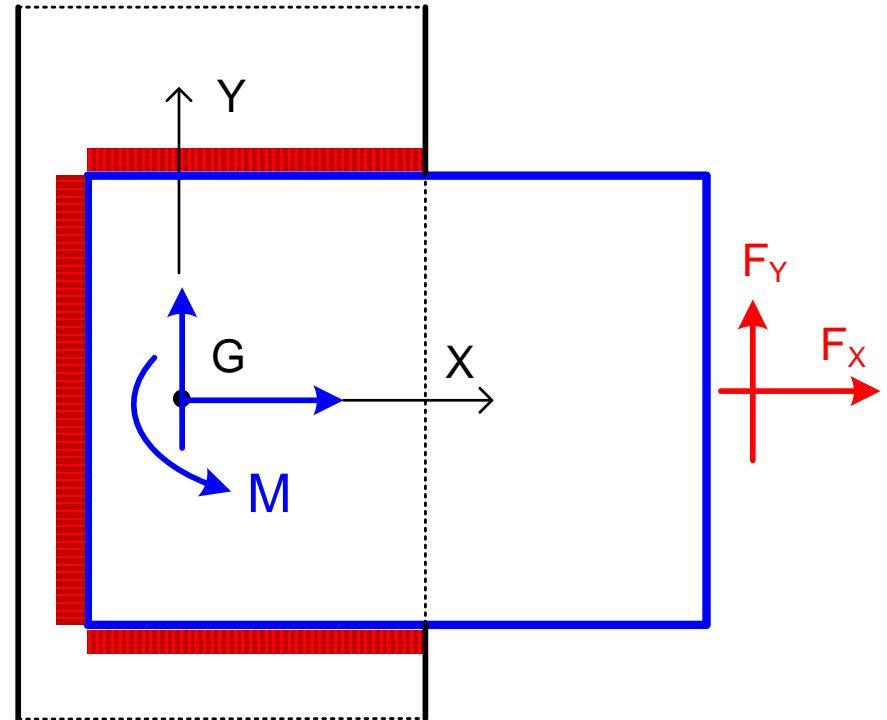
Reparto de la fuerza entre los cordones: se efectúa de forma elástica.

- Piezas soldadas infinitamente rígidas
- Cordones deformables.

La pieza gira alrededor del c.d.g. de los cordones G debido a la flexibilidad de los cordones.

Estudio en el **plano de garganta abatido** sobre la pieza base

1. Se trasladan las fuerzas F_X F_Y al c.d.g. de los cordones G, añadiendo el momento M que producen

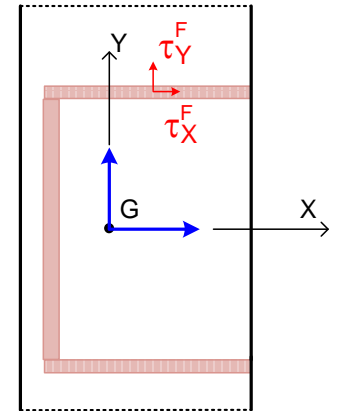


Unión plana excéntrica (2)

2. Tensiones en los cordones debidas a las fuerzas F_X F_Y

Como en la unión centrada plana

$$\tau_{Xw}^F = \frac{F_X}{\sum a L_w} \quad \tau_{Yw}^F = \frac{F_Y}{\sum a L_w}$$



3. El momento M se absorbe por los cordones mediante tensiones cortantes:

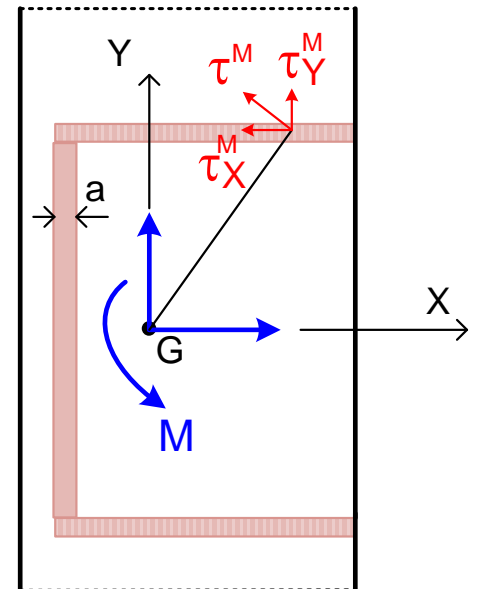
- resultante es perpendicular a la línea que une el cordón con el c.d.g.
- de módulo proporcional a la distancia del cordón al c.d.g.

$$\tau_{Xw}^M = -\frac{M y}{I_p} \quad \tau_{Yw}^M = \frac{M x}{I_p}$$

I_p : momento polar de inercia de los cordones abatidos respecto de G

$$I_p = \int (x^2 + y^2) dA = \int x^2 a dl + \int y^2 a dl$$

$$I_p = I_x + I_y$$



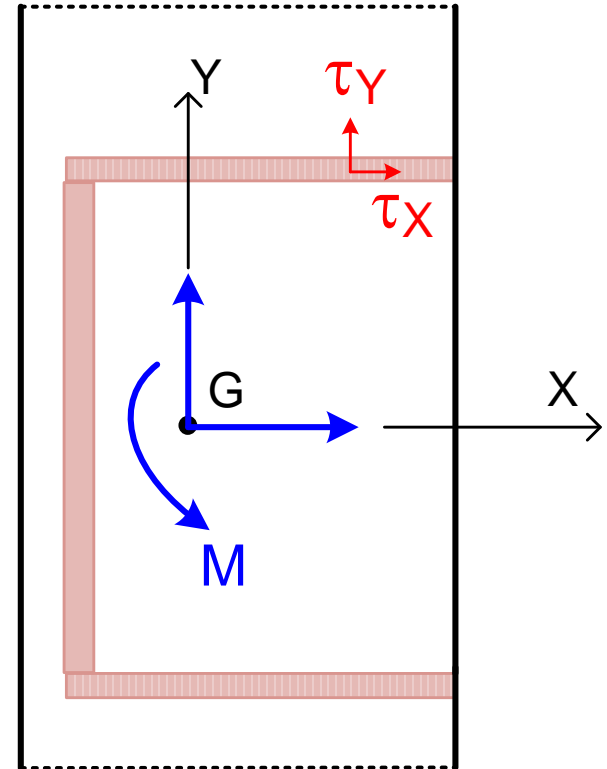
Unión plana excéntrica (3)

4. Combinar las tensiones debidas a F y a M según sus direcciones. Las tensiones en un punto cualquiera (x, y) son:

$$\tau_{XW} = \frac{F_X}{\sum a L_w} - \frac{M y}{I_p}$$

$$\tau_{YW} = \frac{F_Y}{\sum a L_w} + \frac{M x}{I_p}$$

5. Identificar los puntos donde la tensión cortante pueda ser máxima: normalmente los más alejados de G (x_{max}, y_{max}). Calcular las tensiones τ_{XW}, τ_{YW} en todos los puntos de interés.



Unión plana excéntrica (4)

6. En cada punto, transformar las tensiones τ_{XW} τ_{YW} en las tensiones axial τ_a y normal al cordón τ_n según su orientación

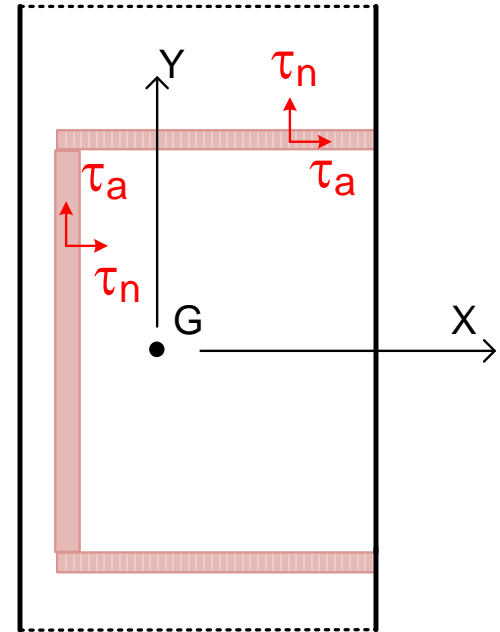
Cordón horizontal: $\tau_a = \tau_{XW}$ $\tau_n = \tau_{YW}$

Cordón vertical: $\tau_a = \tau_{YW}$ $\tau_n = \tau_{XW}$

En este caso: $\sigma_n = 0$

7. Proyectar las tensiones axial τ_a y normal τ_n sobre el plano de garganta, con $\sigma_n = 0$

$$\sigma_{\perp} = \frac{-\tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\perp} = \frac{\tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\parallel} = \tau_a$$



8. Comparar con el valor admisible (método direccional):

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Unión plana excéntrica (5) Método simplificado

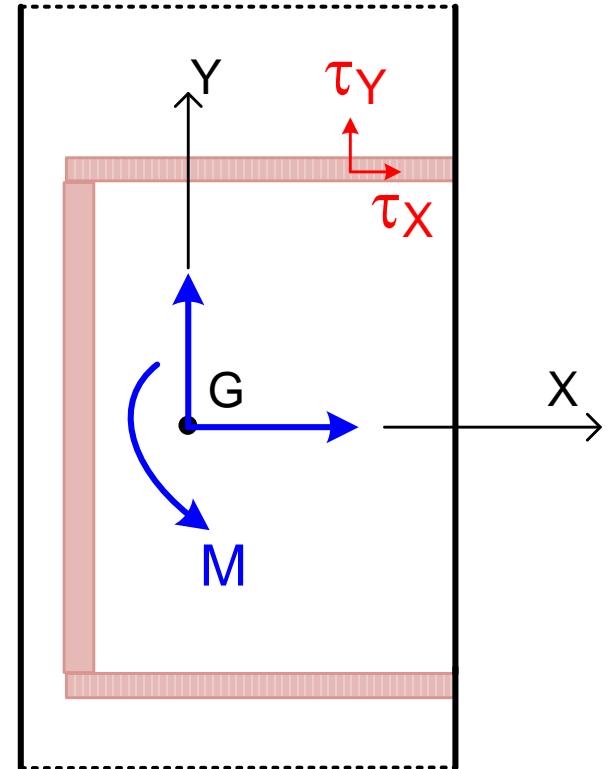
6 Simplificado. Combinar las tensiones según sus direcciones. Se obtiene la tensión cortante en un punto cualquiera:

$$\tau_w = \sqrt{\tau_{Xw}^2 + \tau_{Yw}^2}$$

7 Simplificado. Identificar el punto de tensión cortante máxima $\tau_{w,max}$ (normalmente el más alejado de G)

8 Simplificado. Comparar con el valor admisible, por el método simplificado:

$$\tau_{w,max} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión plana excéntrica. Comparación

En un punto cualquiera, p.e. de un cordón horizontal, las tensiones calculadas en el plano abatido son:

$$\tau_n = \tau_{Yw} \quad \tau_a = \tau_{Xw} \quad \sigma_n = 0$$

Proyectando sobre el plano de garganta:

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_n - \tau_n}{\sqrt{2}} = -\frac{\tau_{Yw}}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\perp} = \frac{\sigma_n + \tau_n}{\sqrt{2}} = \frac{\tau_{Yw}}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\parallel} = \tau_{Xw}$$

La tensión de comparación empleando el método direccional es:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{2 \tau_{Yw}^2 + 3 \tau_{Xw}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Esta tensión es menor que la del método simplificado, por el coeficiente 2 de τ_{Yw} , en lugar de 3:

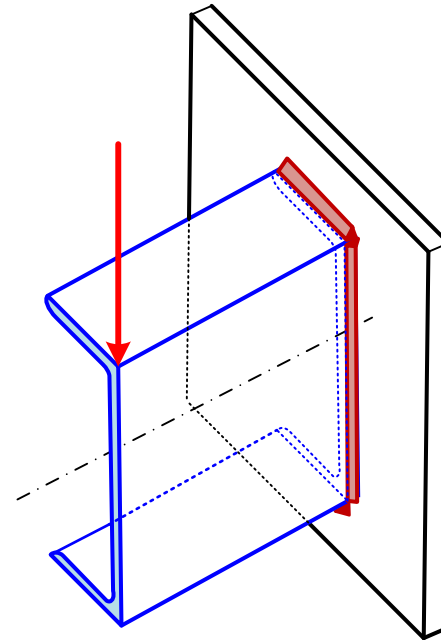
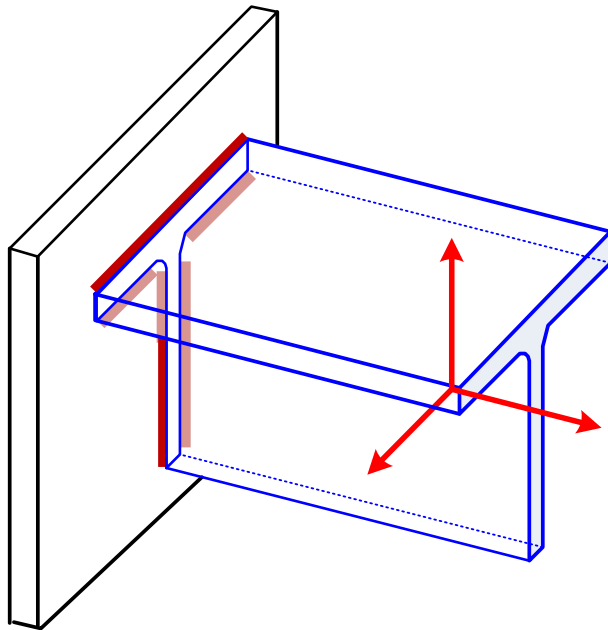
$$\sqrt{\tau_{Yw}^2 + \tau_{Xw}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Unión plana general (1)

Conjunto de cordones en un plano, en cualquier orientación.
Transmite un sistema general de fuerzas y momentos.

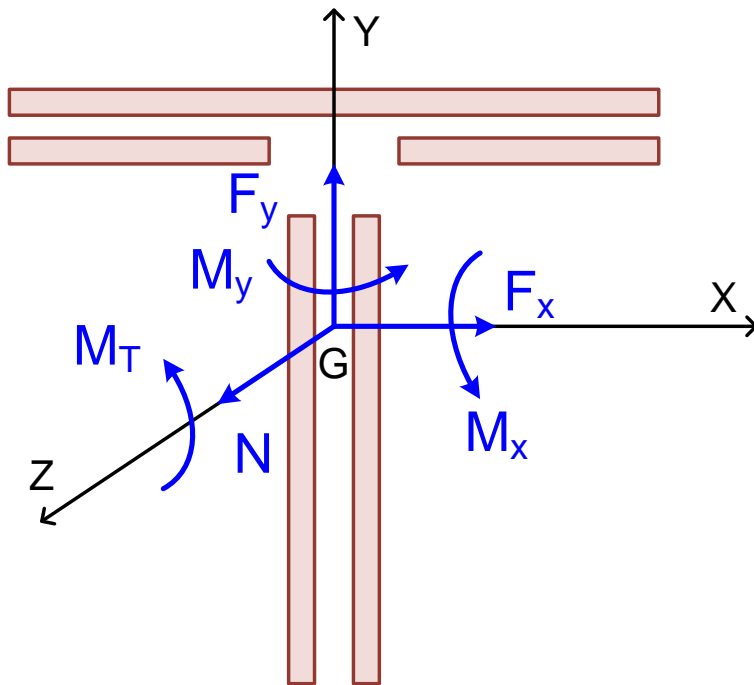
Reparto de los esfuerzos entre los cordones: se efectúa **de forma elástica**

- Piezas soldadas infinitamente rígidas
- Cordones deformables



Unión plana general (2)

1. Abatir los cordones sobre el plano de la unión: sección abatida
2. Determinar el centro de gravedad G de la sección abatida, sus ejes principales de inercia, los momentos de inercia respecto de ellos I_x, I_y y el momento polar e inercia $I_P = I_x + I_y$
3. Trasladar las fuerzas y momentos exteriores al c.d.g. de los cordones G



Axial: N

Cortantes F_X, F_Y

Flectores M_X, M_Y

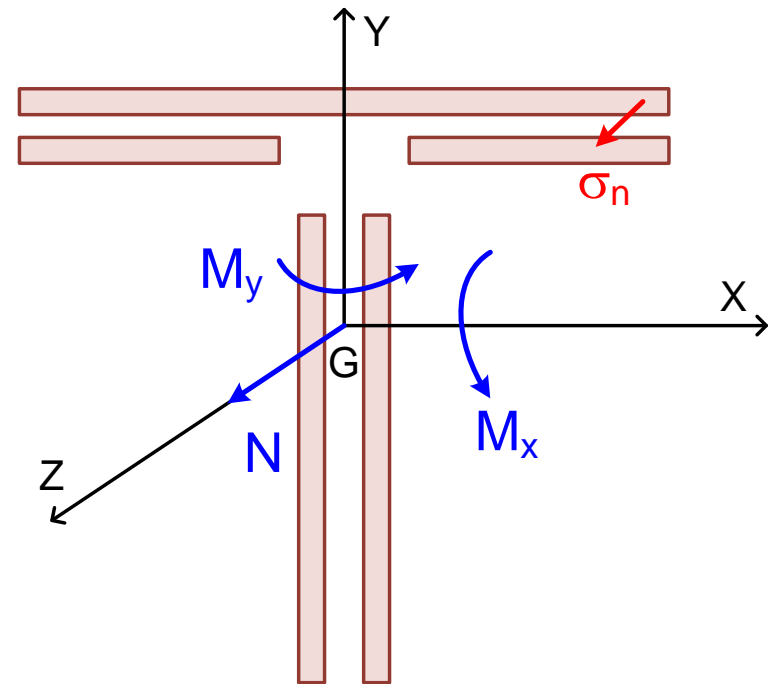
Torsor M_T

Unión plana general (3)

4. Calcular las tensiones en todos los puntos de interés de la sección abatida. Normalmente los más alejados de G. Distribución de tensiones lineal

5. Tensión normal al plano abatido σ_n , en un punto (x, y)

$$\sigma_n = \frac{N}{\sum a L_w} + \frac{M_x y}{I_x} - \frac{M_y x}{I_y}$$



Unión plana general (4)

6. Tensiones cortantes en el plano abatido, en un punto (x, y)

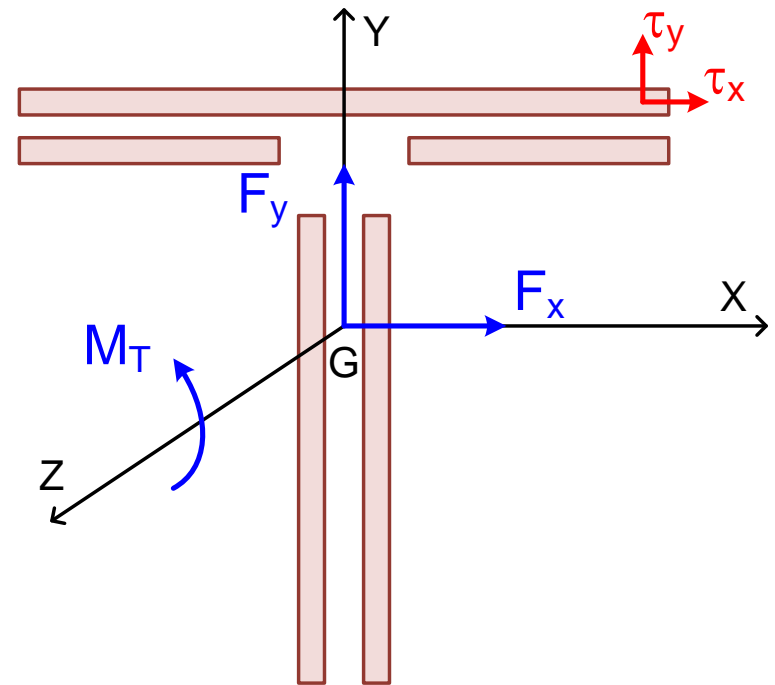
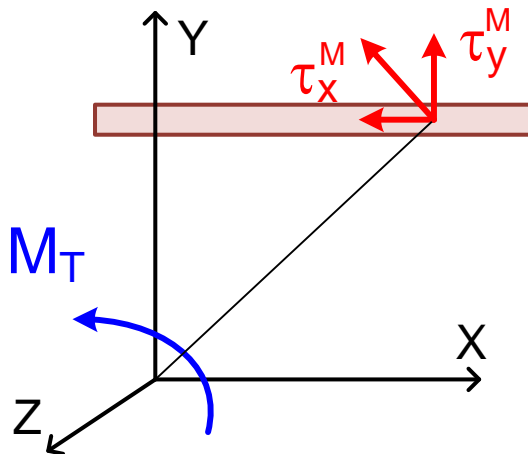
Las fuerzas F_x, F_y producen tensiones cortantes uniformes en la sección abatida

El momento de torsión M_T produce tensiones cortantes:

- cuya resultante es perpendicular a la línea que une el cordón con el c.d.g.
- de módulo proporcional a la distancia del cordón al c.d.g.

$$\tau_x = \frac{F_X}{\Sigma a L_w} - \frac{M_T y}{I_P}$$

$$\tau_y = \frac{F_Y}{\Sigma a L_w} + \frac{M_T x}{I_P}$$



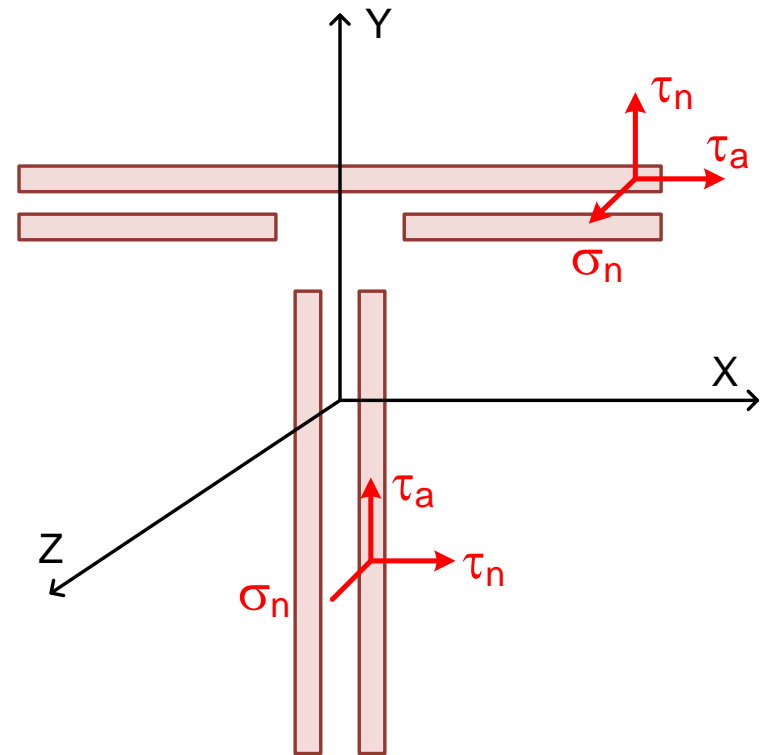
Unión plana general (5)

7. En cada punto, transformar las tensiones τ_X τ_Y en las tensiones cortante axial τ_a y cortante normal al cordón τ_n según su orientación

Cordón horizontal: $\tau_a = \tau_X$ $\tau_n = \tau_Y$

Cordón vertical: $\tau_a = \tau_Y$ $\tau_n = \tau_X$

La tensión σ_n no se modifica



Unión plana general (6) Comprobación

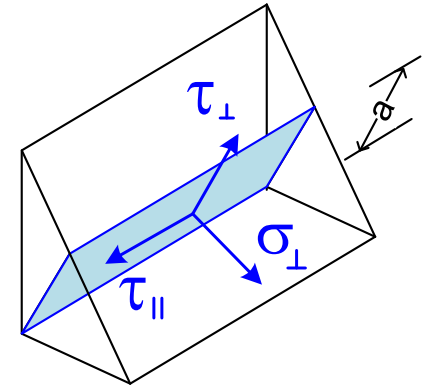
8.a Método direccional:

Proyectar las tensiones σ_n, τ_a, τ_n desde el plano abatido al plano de garganta

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sigma_n - \tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\perp} = \frac{\sigma_n + \tau_n}{\sqrt{2}} \quad \tau_{\parallel} = \tau_a$$

Comparar con el valor admisible

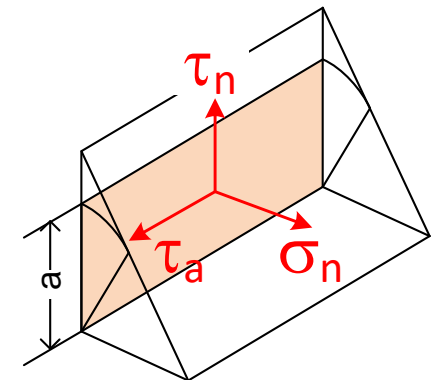
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$



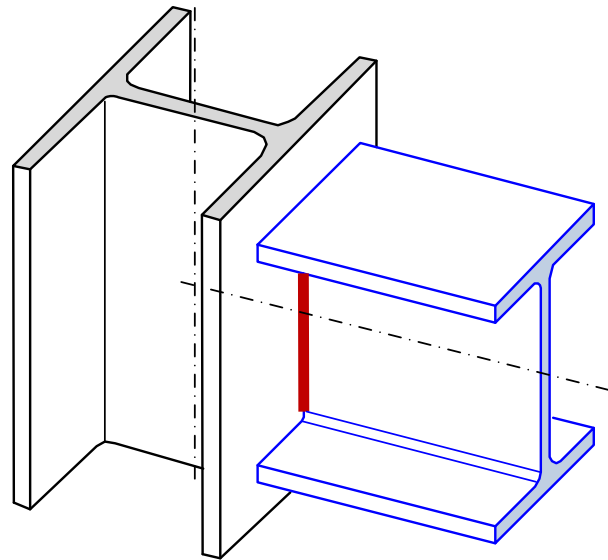
8.b Método simplificado:

Comparar las tensiones en el plano abatido con el valor admisible

$$\sqrt{\sigma_n^2 + \tau_n^2 + \tau_a^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión de viga apoyada por soldadura directa al alma



Unión de viga por soldadura directa del alma (1)

Se puede considerar una articulación: sólo transmite V

Soldar a ambos lados del alma.

Dos cordones con fuerza longitudinal:

R1. Comprobación:

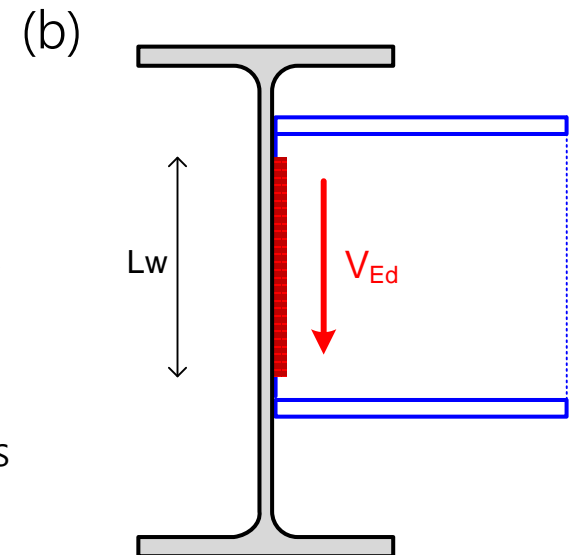
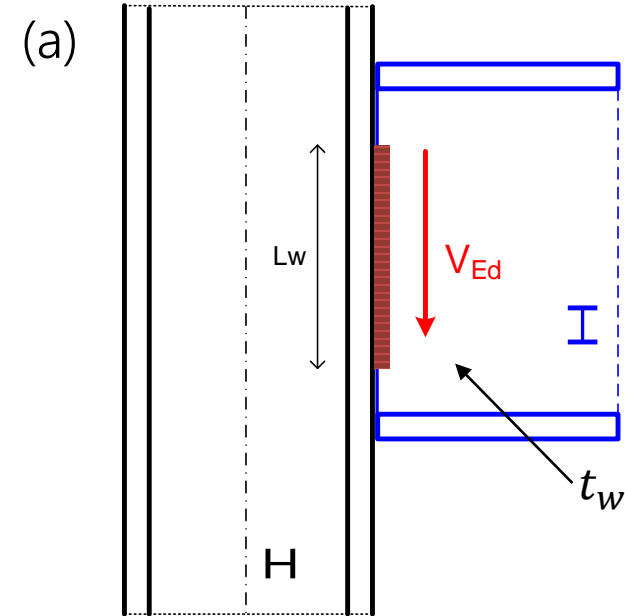
$$\frac{V_{Ed}}{2 L_w a} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Esta unión debe ser flexible, para permitir el giro de la viga sin que se generen momentos en la unión: limitar la longitud del cordón.

Emplear la garganta máxima recomendada $a = 0.7 t_w$ para que la longitud sea mínima

Caso (a): como máximo $L_w \leq 14 t_w$ (Antigua norma EAE) Para impedir rotura por deformación excesiva del extremo del cordón, ya que el ala del poste es muy rígida e impide la deformación

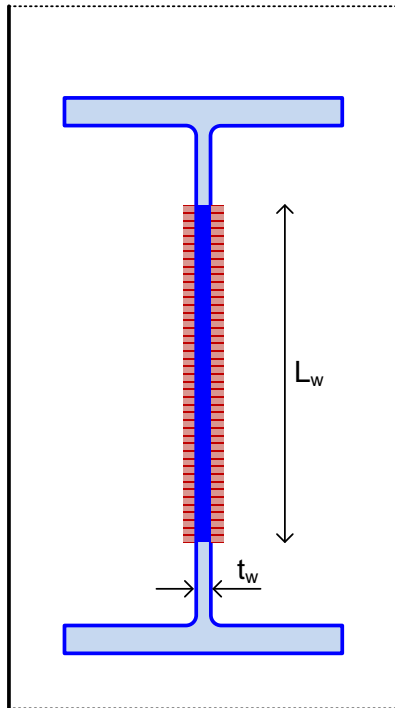
Caso (b): no hay límite a L_w , pues el alma de la viga que recibe la unión es flexible y permite el giro de la viga apoyada. Si hay vigas a ambos lados, sí se debe limitar la longitud



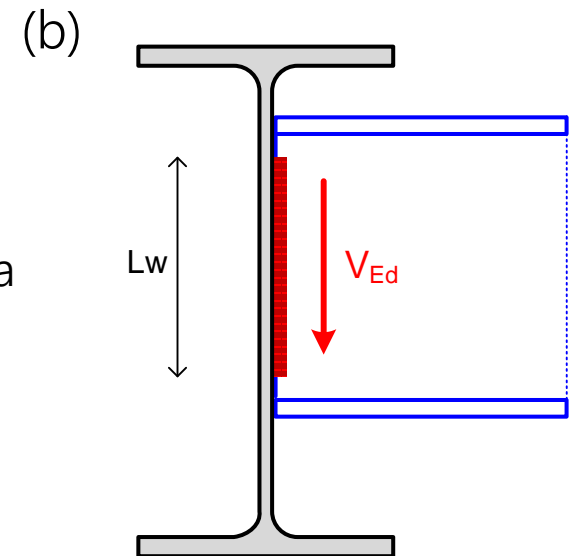
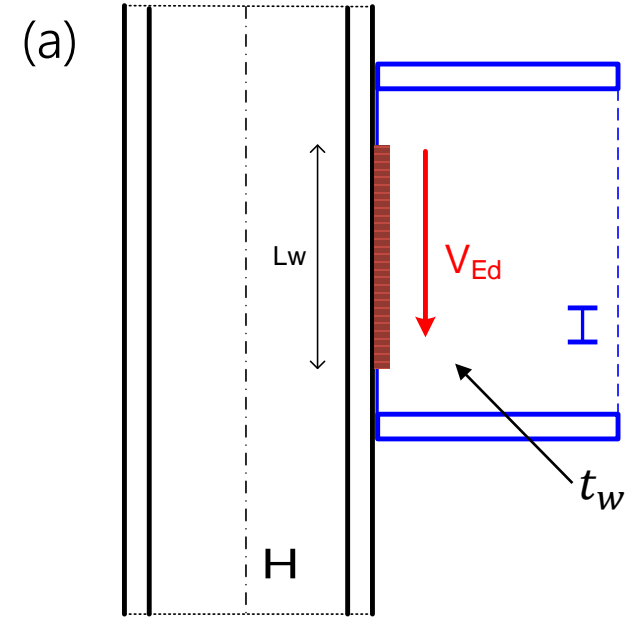
Unión de viga por soldadura directa del alma (2)

R2. Comprobación de la resistencia del alma de la viga a cortante en la sección soldada

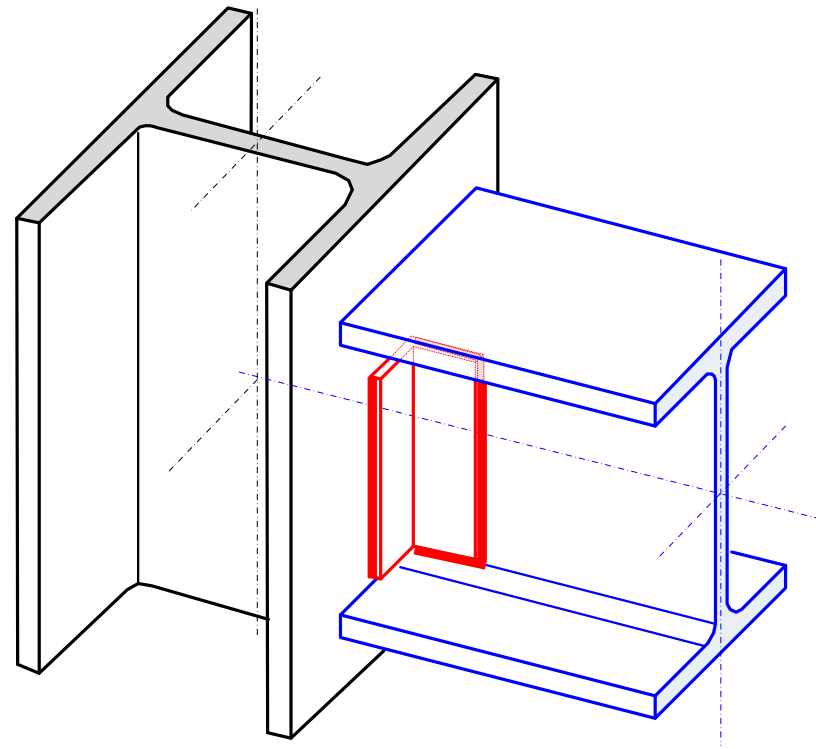
$$\frac{V_{Ed}}{L_w t_w} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$



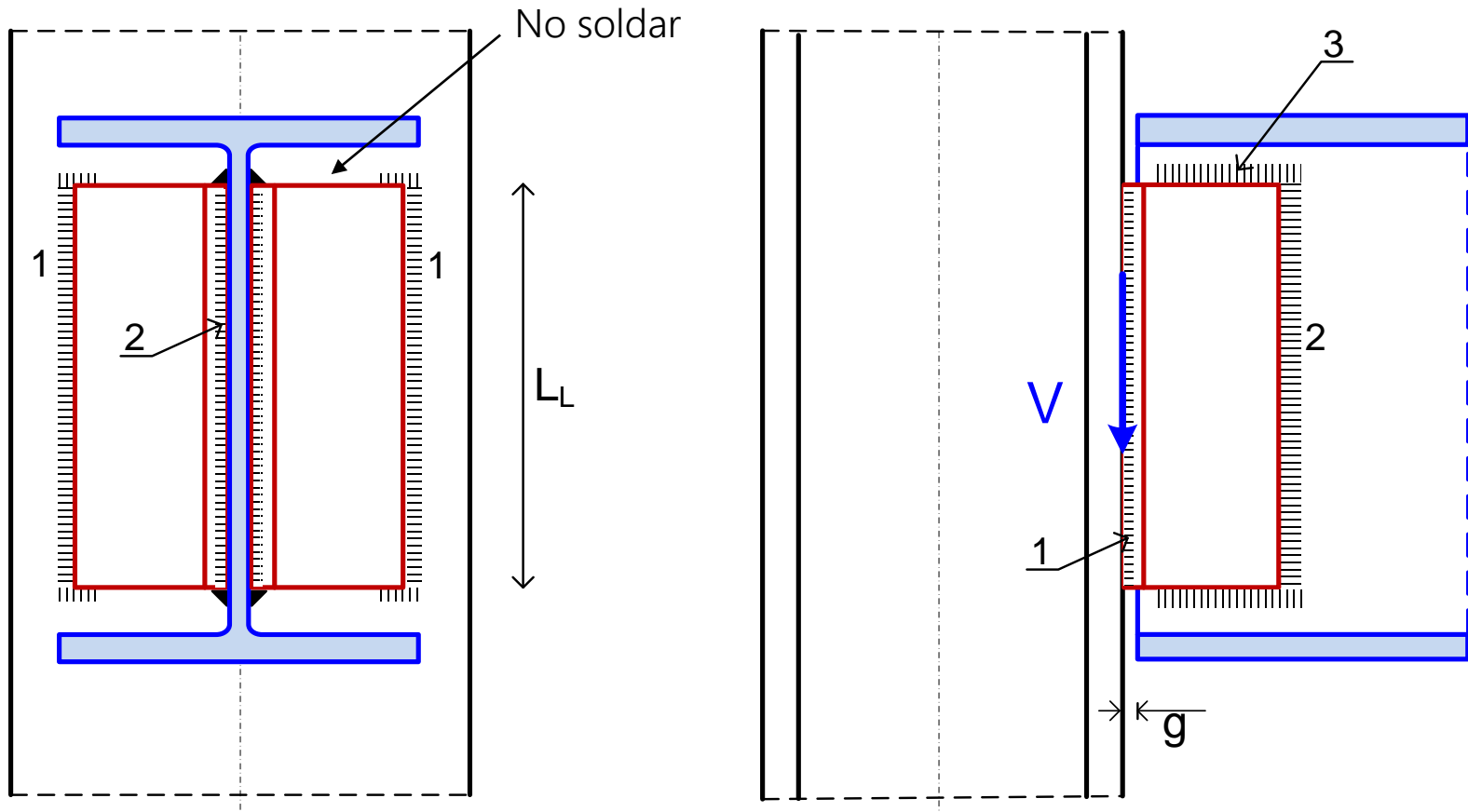
Suele ser la resistencia limitante si el alma es de poco espesor



Unión de viga apoyada por soldadura de dos casquillos en L al alma



Unión viga-poste por soldadura de casquillos en L al alma



Se puede considerar una **articulación**.

Fuerza cortante a transmitir V se considera aplicada en la **cara de contacto del casquillo** de L al poste. Recomendado: holgura $g \approx 10 \text{ mm}$, menor que espesor de la L t_L

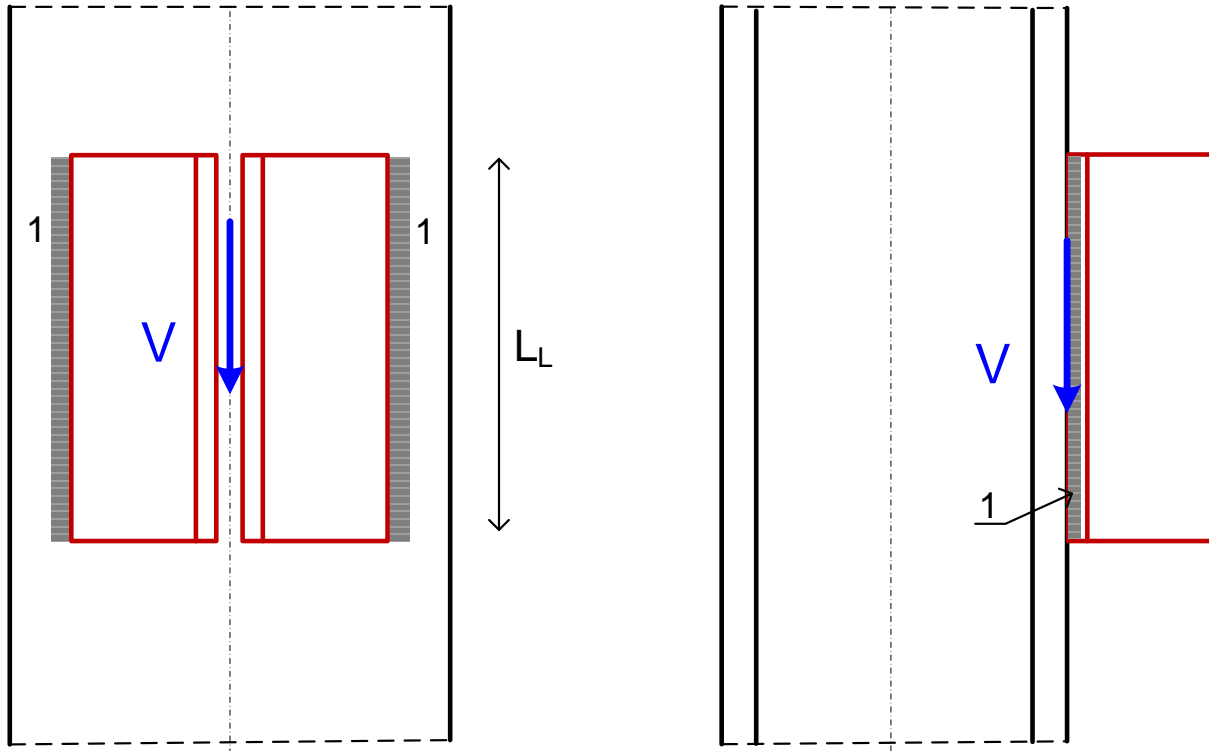
Soldar sólo los **lados verticales** de la unión casquillo – poste (cordón 1), para dar flexibilidad a la unión, salvo rebordeado constructivo, no resistente

R1. Resistencia de la soldadura de los casquillos L al poste (cordón 1)

Diseñar como **unión centrada plana** formada por dos cordones, y sometida a una fuerza V que pasa por su c.d.g.

Diseño simplista,
no conservador
Antigua norma EAE

$$\frac{V_{Ed}}{2 L_L a} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

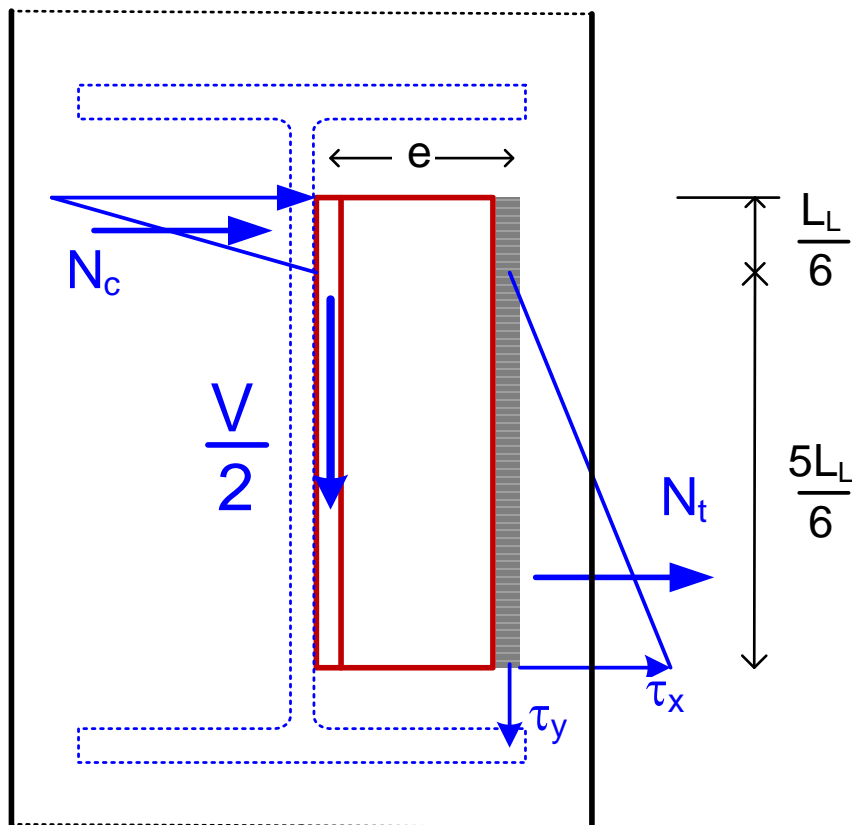


R1. Resistencia de la soldadura de los casquillos L al poste (cordón 1)

Método más preciso La soldadura está sometida a un momento, debido a la excentricidad de la fuerza respecto del cordón

El angular está apoyado en el otro en su parte superior a través del alma de la viga: la parte superior de la soldadura no trabaja

Suposición: altura de la zona que trabaja a tracción $5L_L/6$



Resultante de las tensiones cortantes horizontales en la soldadura

$$N_t = \frac{1}{2} \frac{5L_L}{6} a \tau_x$$

Resultante de las compresiones sobre el angular:

$$N_c = N_t$$

Momento de la fuerza exterior:

$$M = \frac{V_{Ed}}{2} e$$

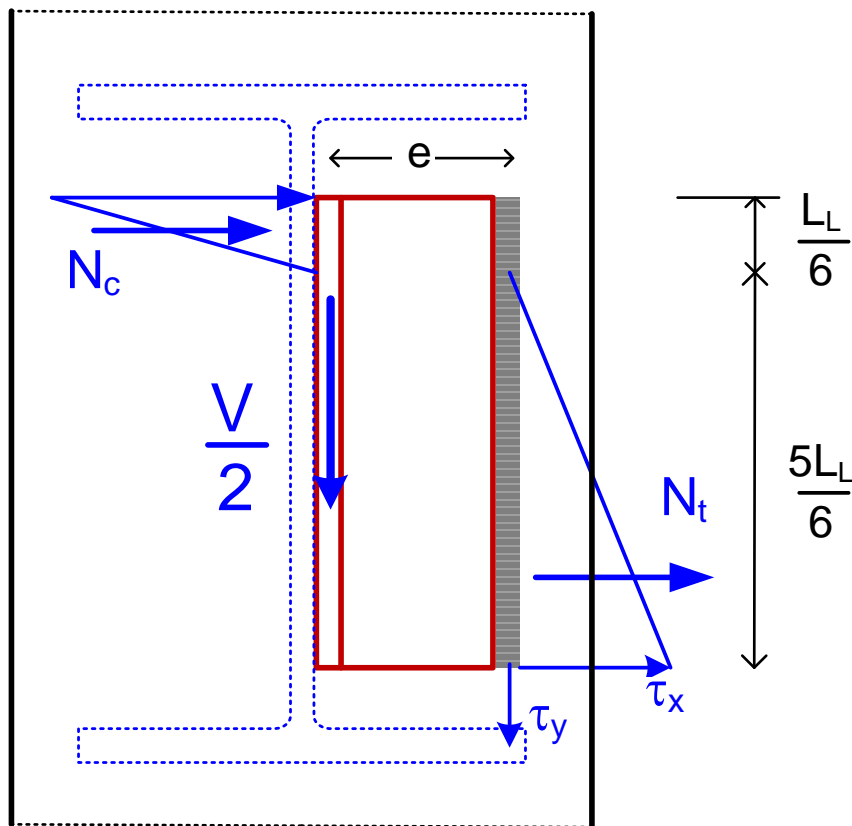
R1. Resistencia de la soldadura de los casquillos L al poste (cordón 1)

Momento de las fuerzas sobre el angular

$$M = \frac{2}{3} \frac{5L_L}{6} N_t + \frac{2}{3} \frac{L_L}{6} N_c = \frac{2}{3} L_L N_t$$

Sustituyendo N_t e igualando M

$$M = \frac{2}{3} L_L \frac{1}{2} \frac{5L_L}{6} a \tau_x = \frac{V_{Ed}}{2} e$$



Máxima tensión de tracción horizontal:

$$\tau_x = \frac{9 V_{Ed} e}{5 L_L^2 a}$$

Tensión vertical uniforme

$$\tau_y = \frac{V_{Ed}}{2 L_L a}$$

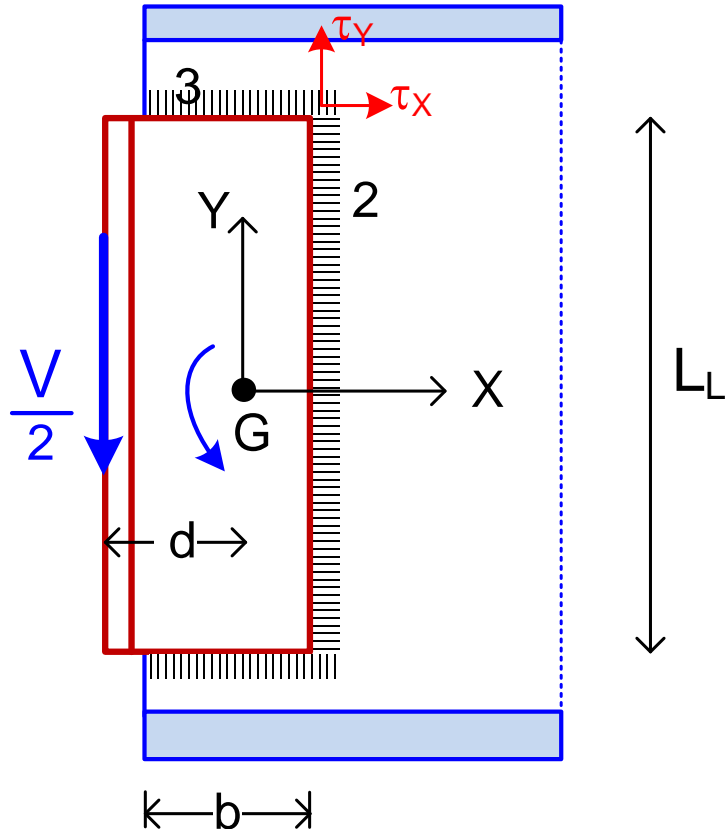
Comprobación (método simplificado)

$$\sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

R2. Resistencia de la soldadura de los casquillos L a la viga (2 y 3)

Cada casquillo L soporta $V_{Ed}/2$

Diseñar como **soldadura plana excéntrica**, sometida a una fuerza vertical $V_{Ed}/2$ y al momento que produce $M_G = (V_{Ed}/2) d$



d : distancia de la fuerza V_{Ed} al c.d.g. de los cordones G

Identificar el punto más alejado de G: x_{max}, y_{max}

Tensiones en el punto más alejado de G:

$$\tau_{Xw} = \frac{(V_{Ed}/2) d y_{max}}{I_p}$$

$$\tau_{Yw} = \frac{V_{Ed}/2}{\sum a L_w} + \frac{(V_{Ed}/2) d x_{max}}{I_p}$$

$$\sum a L_w = a (L_L + 2 b)$$

$$I_p = I_x + I_y$$

Momento polar de inercia respecto de G de la soldadura de un casquillo

R2. Resistencia de la soldadura de los casquillos L a la viga (2 y 3)

Tensión de comparación en el punto más alejado de G:

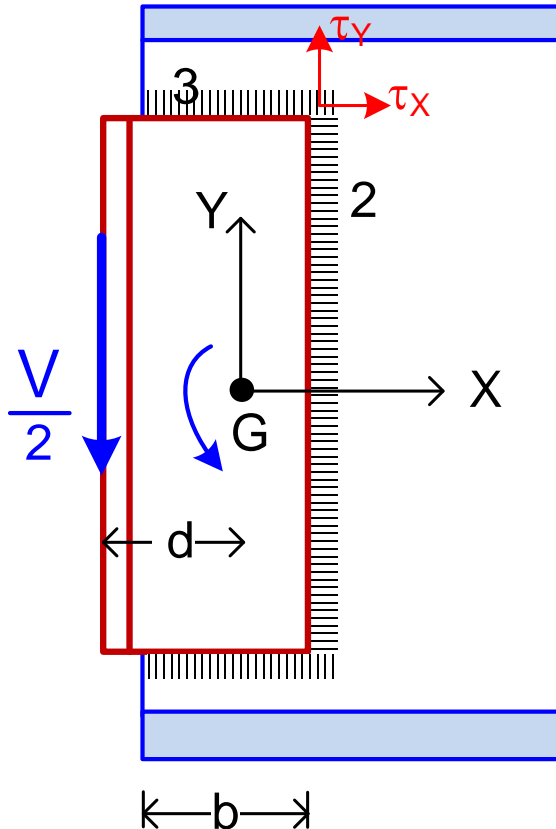
$$\tau_w = \sqrt{\tau_{XW}^2 + \tau_{YW}^2}$$

Comprobación de la soldadura

$$\tau_w = \sqrt{\tau_{XW}^2 + \tau_{YW}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Sustituyendo τ_{XW} y τ_{YW}

$$\frac{V_{Ed}}{2} \sqrt{\left(\frac{d y_{max}}{I_p}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sum a L_w} + \frac{d x_{max}}{I_p}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



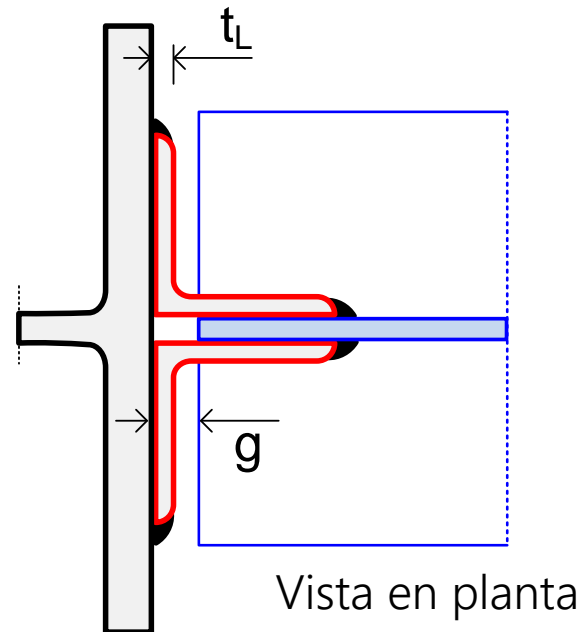
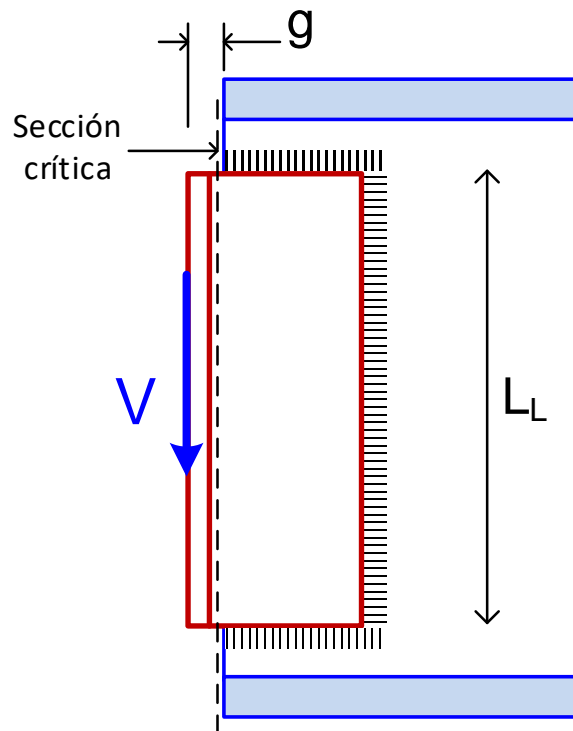
R3. Resistencia a cortante de los casquillos de L

Necesaria si la separación de la viga g es mayor que el espesor del casquillo L

Área a cortante (2 casquillos): $A_v = 2 t_L L_L$ t_L : espesor del casquillo L

Comprobación

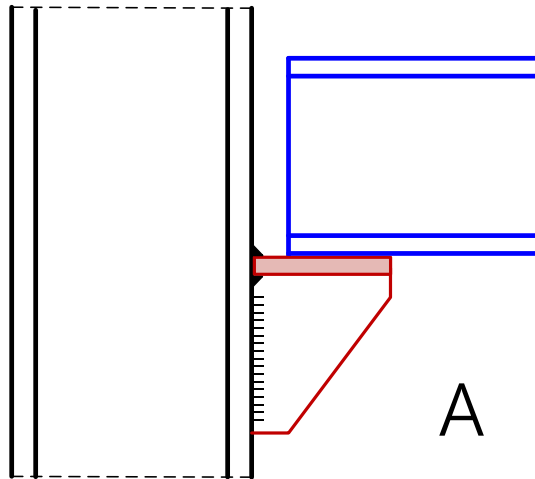
$$V_{Ed} \leq (2 t_L L_L) \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$



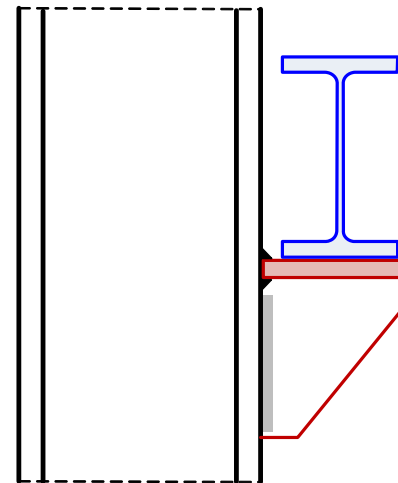
Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado en T

Diseño según la antigua norma EAE

No descrito en el Eurocódigo



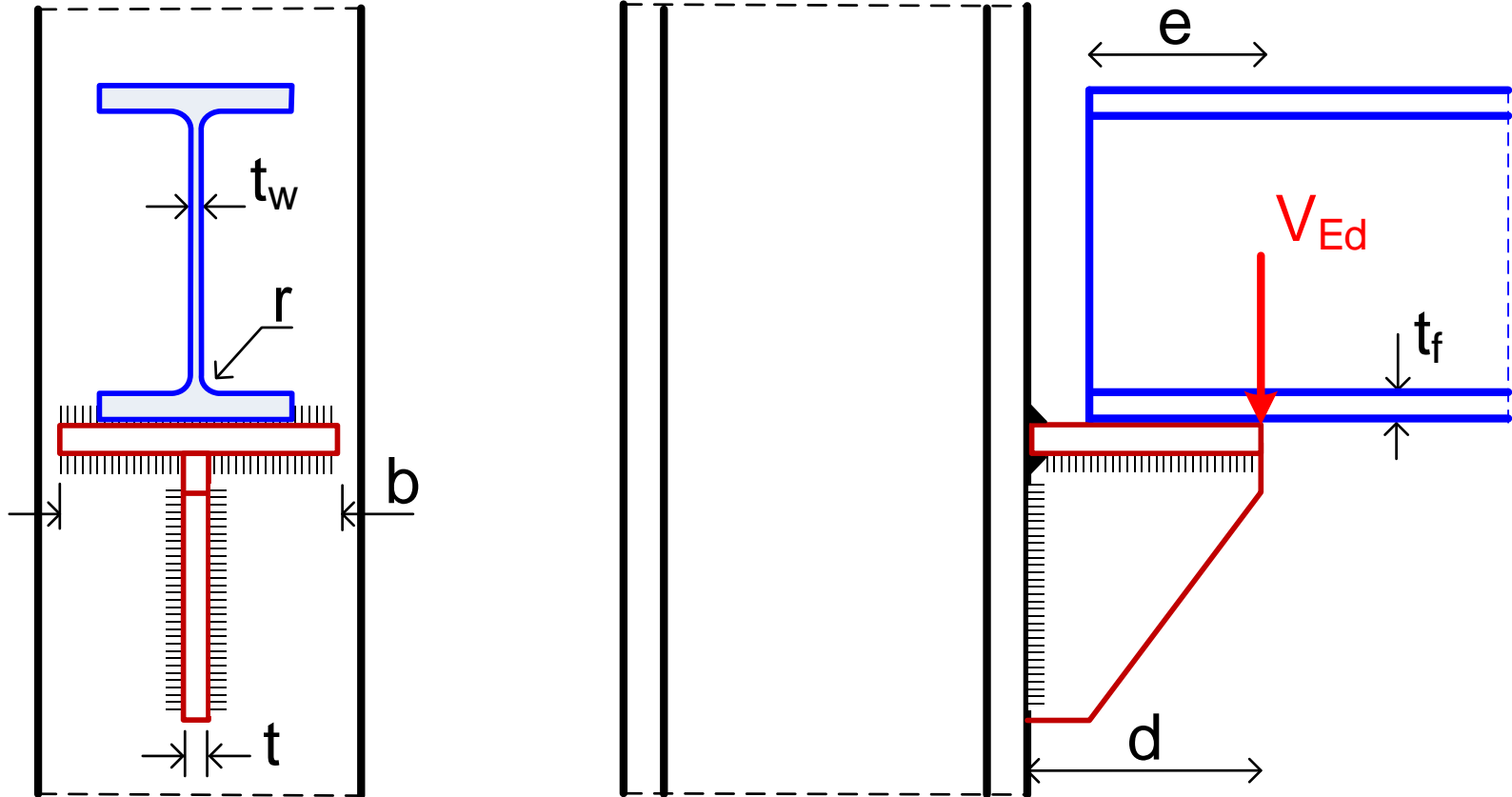
A



B

Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado en T. Tipo A

Ejes de viga y poste en el mismo plano

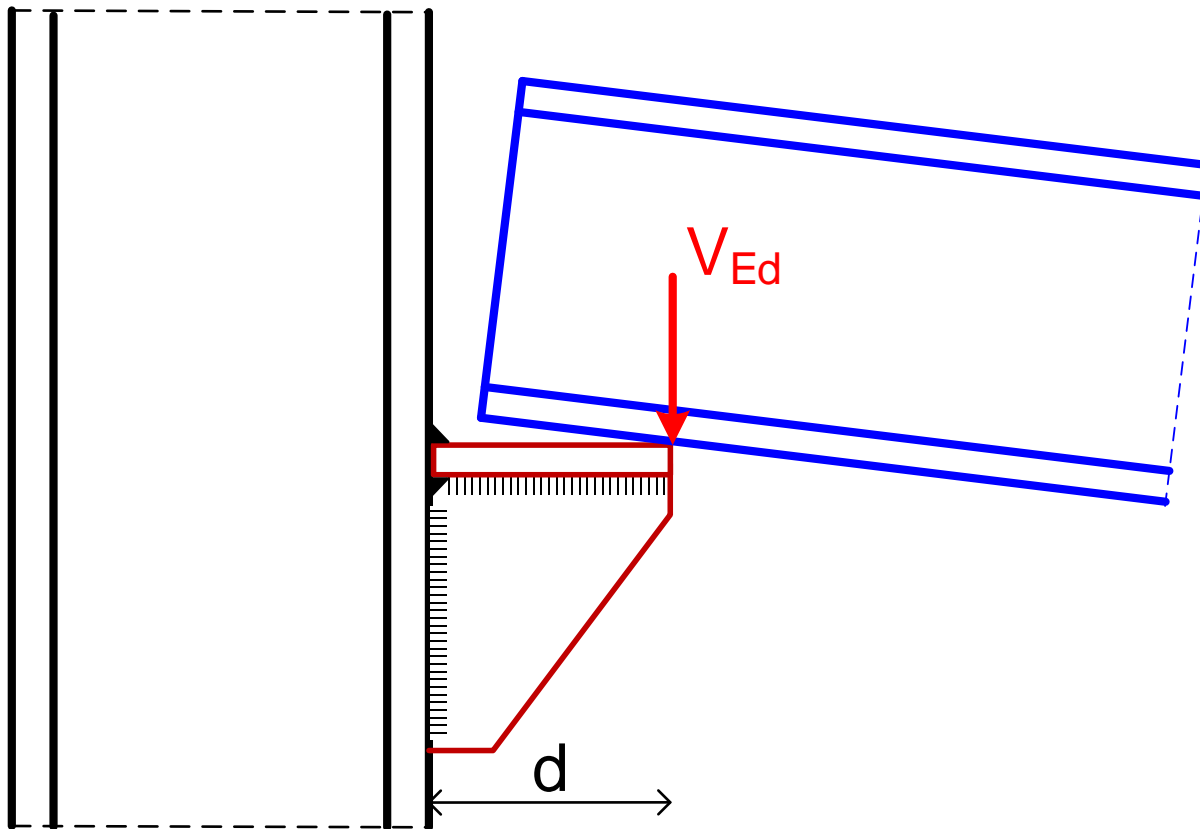


d : distancia de la reacción V a la cara del soporte

Se supone que V pasa por el extremo de la placa de apoyo

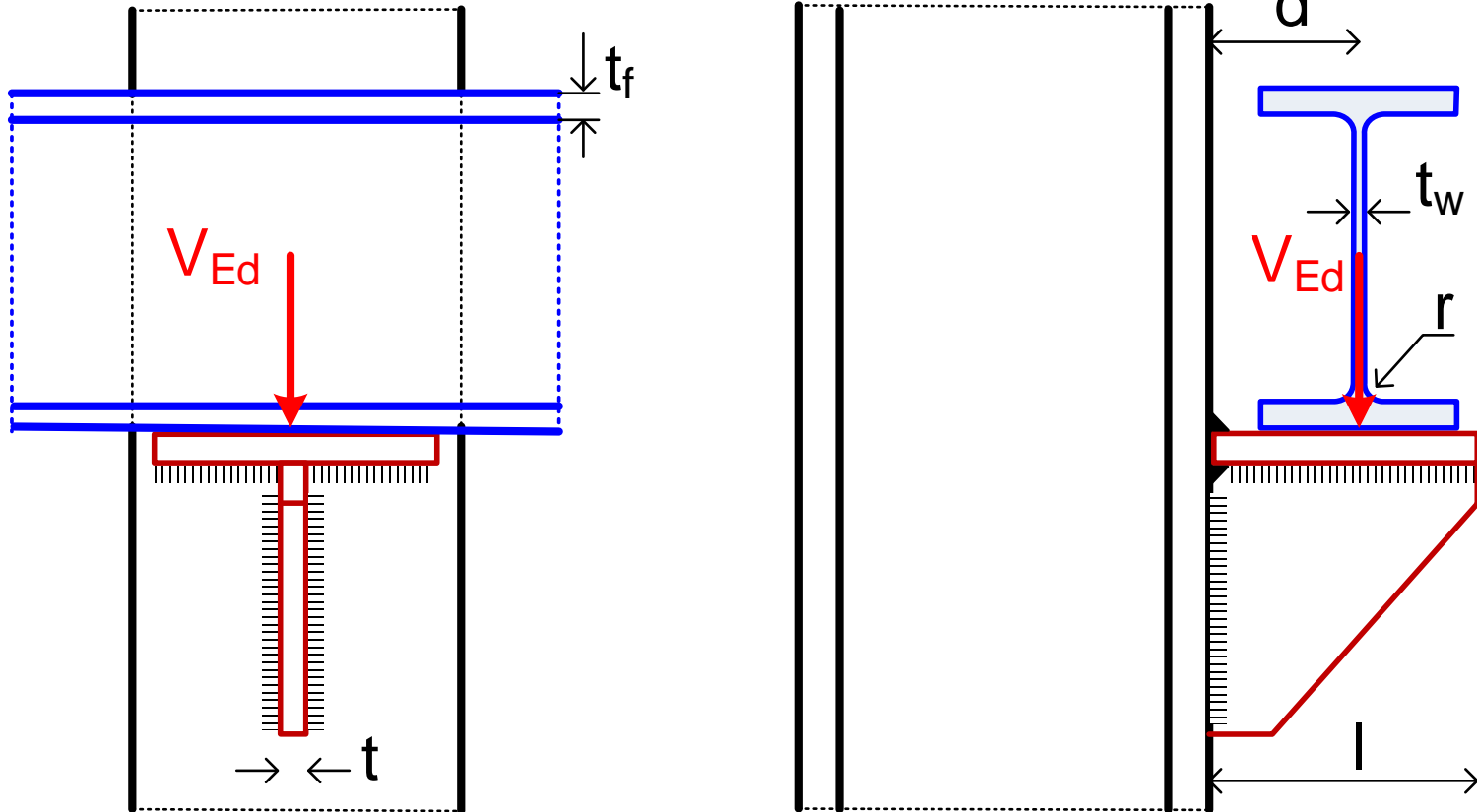
Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado en T. Tipo A

El giro de la viga desplaza la reacción V al extremo de la placa de apoyo



Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado en T. Tipo B

Ejes de viga y poste en distinto plano

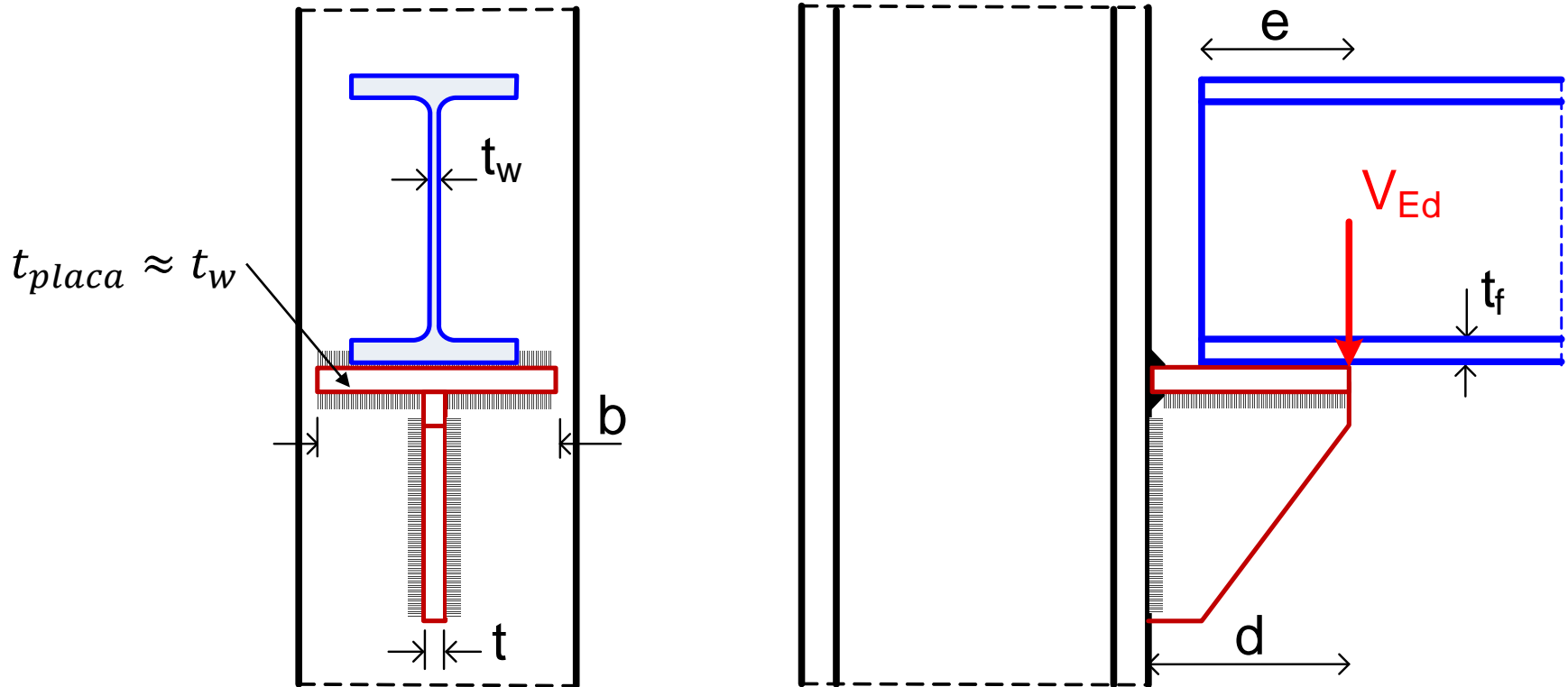


d : distancia de la reacción V a la cara del soporte

Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado. Comprobaciones

Placa horizontal del casquillo T no resistente: $t_{placa} \approx$ espesor alma de la viga t_w

5 comprobaciones de resistencia: $V_{Ed} \leq V_{Rd} = \min(V_{Rd,i}) \quad i = 1:5$



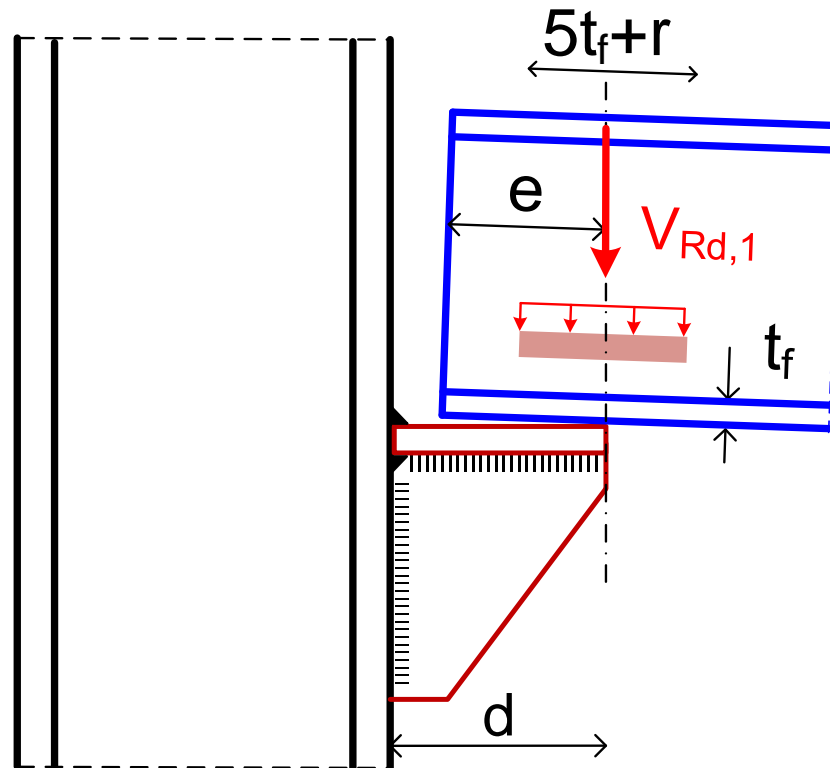
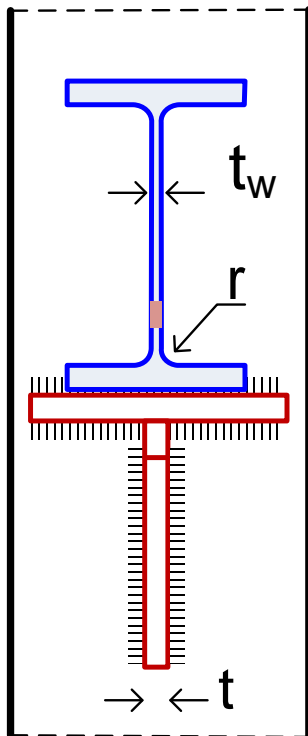
Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado. Comprobación R1

R1. Aplastamiento del alma de la viga

Longitud aplastada: $5(t_f + r)$

$$V_{Rd,1} = 5 (t_f + r) t_w f_y$$

$$\text{Si } \frac{5(t_f+r)}{2} > e \quad \text{usar} \quad V_{Rd,1} = (2e) t_w f_y$$



Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado. Comprobación R2

R2. Abolladura del nervio rigidizador vertical

Sólo resiste la zona triangular

$$V_{Rd,2} = C_E \frac{t c^2 f_y}{4 d}$$

t : espesor del rigidizador

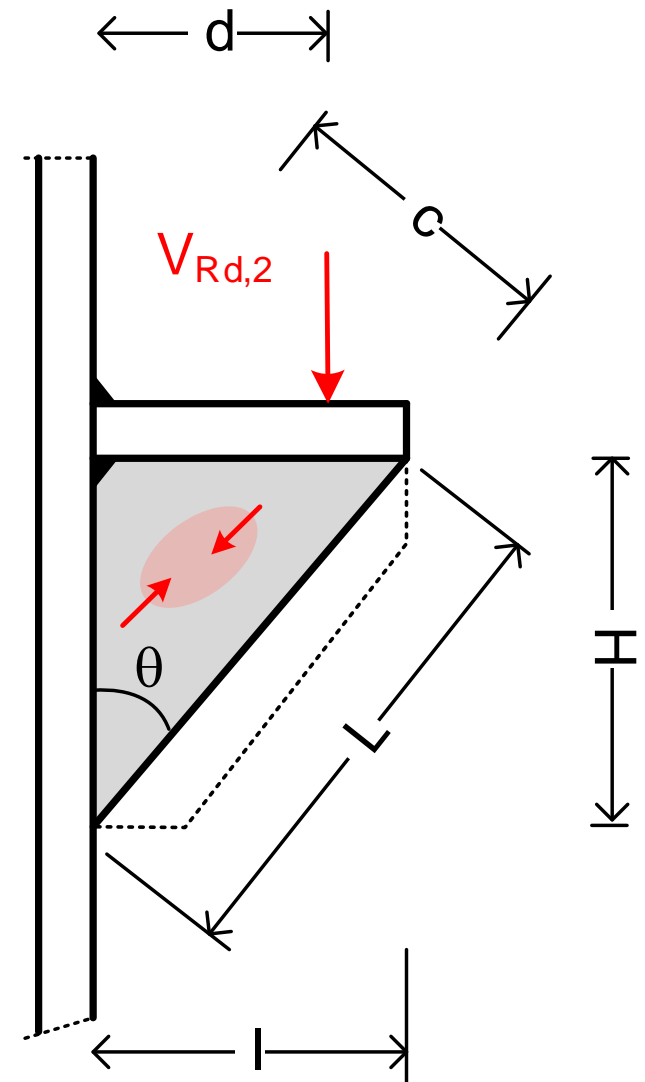
c : canto útil del rigidizador

$$C_E = 0.14 \bar{\lambda}^2 - 1.07 \bar{\lambda} + 2.3$$

$$\bar{\lambda} = 0.805 \frac{c}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Coeficiente de escuadra

Esbeltez del rigidizador



Apoyo de viga sobre casquillo rigidizado. Comprobaciones RW

RW1. Soldadura nervio – placa

$$V_{Rd,w1} = \frac{2 a_1 L \sin \theta f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{2 + 3 \tan^2 \theta}}$$

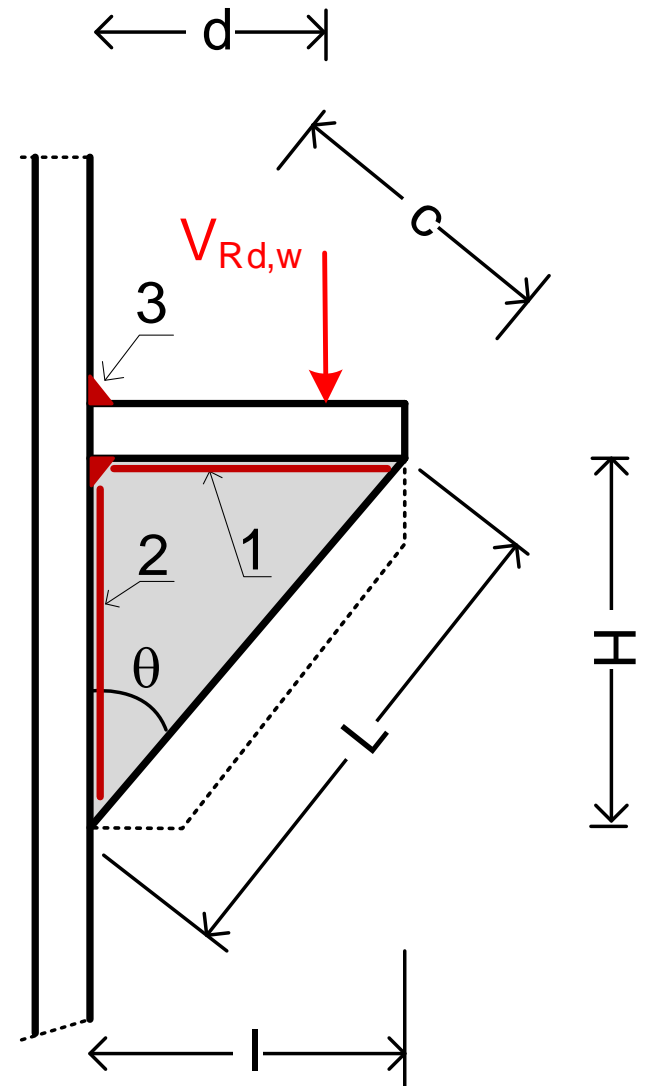
RW2. Soldadura nervio – pared

$$V_{Rd,w2} = \frac{2 a_2 L \cos \theta f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3 + 2 \tan^2 \theta}}$$

RW3. Soldadura placa – pared

$$V_{Rd,w3} = \frac{\sqrt{2} a_3 b f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \tan \theta}$$

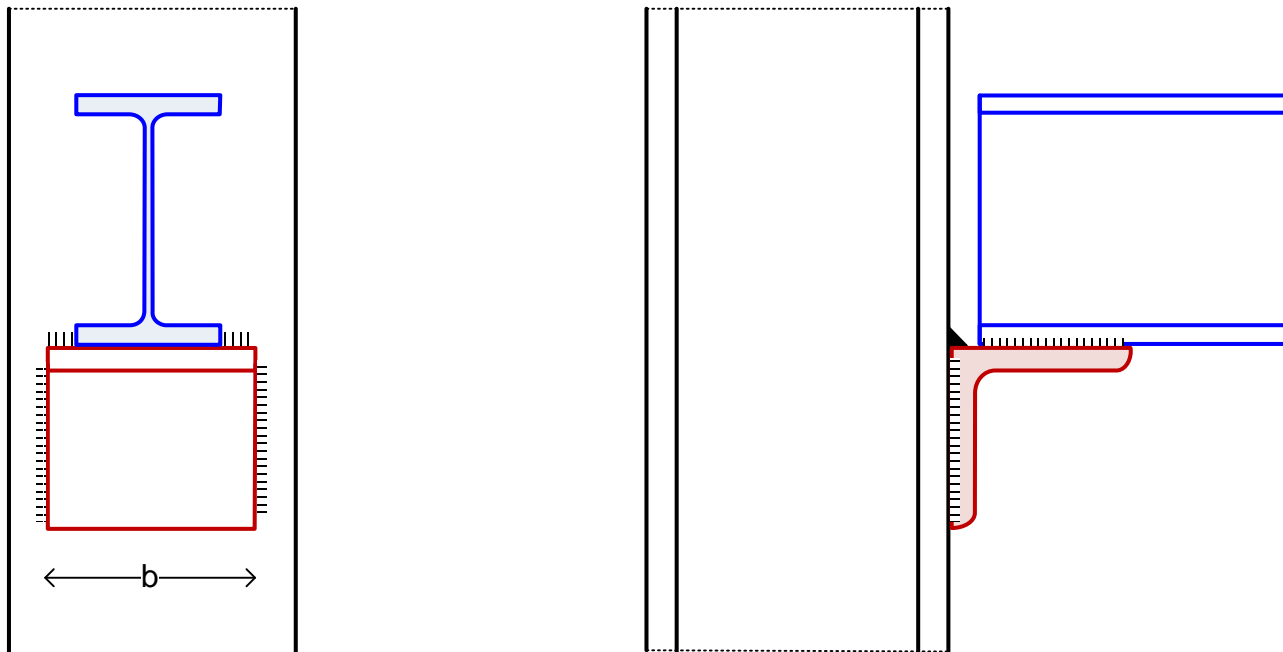
b : anchura de la placa horizontal



Apoyo de viga sobre casquillo L no rigidizado

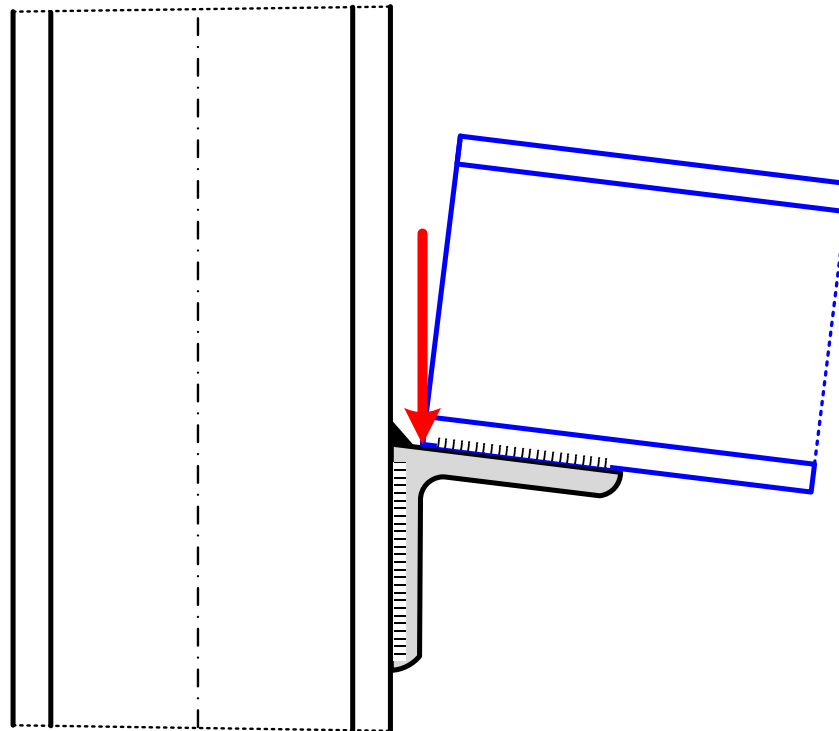
Diseño según la antigua norma EAE

No descrito en el Eurocódigo



Apoyo de viga sobre casquillo L no rigidizado

La débil rigidez a flexión del ala del angular L desplaza la reacción al extremo de la viga, salvo que se empleen casquillos de L muy grandes



Apoyo de viga sobre casquillo L no rigidizado

Sólo para apoyo de vigas pequeñas o viguetas, cuando la reacción no es muy grande

Cordón de soldadura resistente en el vértice del angular. Deber ser $a = 0.7 t_a$

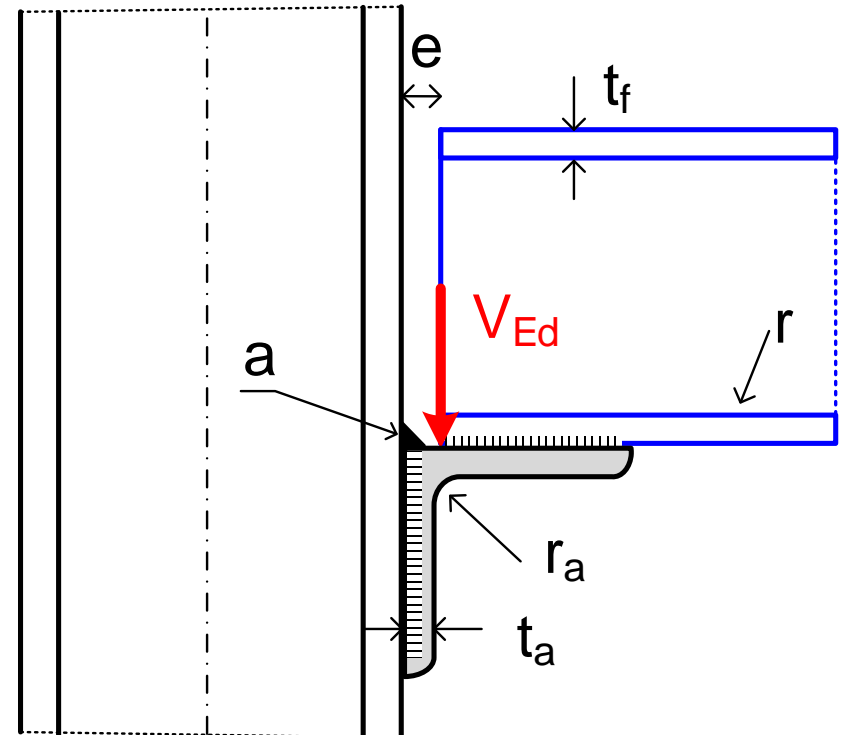
La reacción pasa por el extremo de la viga

La reacción no debe estar aplicada en la zona horizontal recta del ala del angular:

$$e \leq t_a + 0.5 r_a$$

Si no se cumple, debe comprobarse el ala del angular a flexión (ancho b , canto t_a) con el momento de la fuerza en voladizo:

$$M_a = V_{Ed} (e - t_a - r_a) \leq \frac{b t_a^2 f_y}{6 \gamma_{M0}}$$



Apoyo de viga sobre casquillo L no rigidizado. Comprobaciones

3 comprobaciones de resistencia de la unión: $V_{Ed} < V_{Rd} = \min(V_{Rd,i}) \quad i = 1,3$

R1. Resistencia a **aplastamiento del alma** de la viga

$$V_{Rd,1} = 2.5 (t_f + r) t_w \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

r : radio de acuerdo ala – alma de la viga

t_w : espesor alma de la viga

R2. Resistencia del **cordón de soldadura**

$$V_{Rd,2} = a b \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

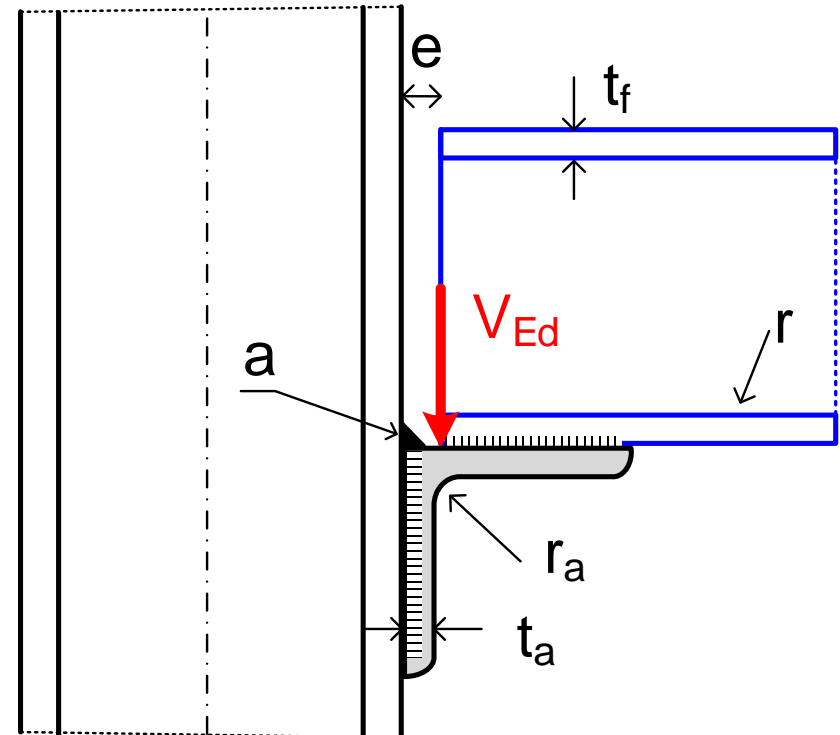
$a = 0.7 t_{min}$ usar garganta máxima recomendada

b : longitud del casquillo angular

No se ha considerado la resistencia de los cordones verticales

R3. Resistencia a **cortante del ala** del angular

$$V_{Rd,3} = b t_a \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$





tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Uniones soldadas viga – viga



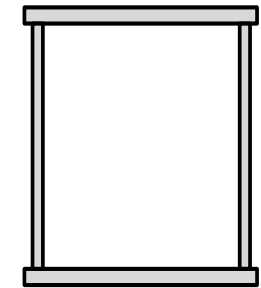
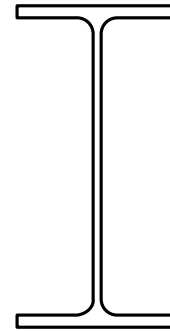
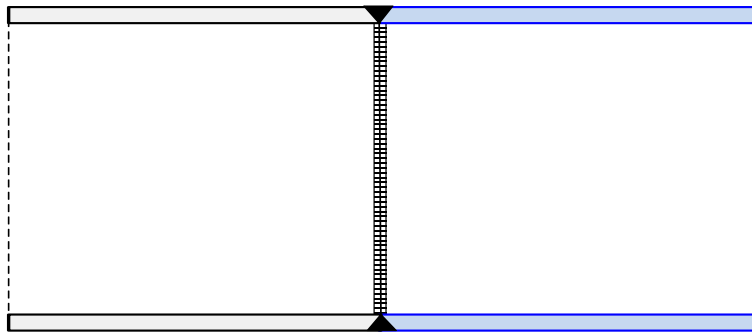
Unión rígida (A) Soldadura perimetral completa

Soldadura **a tope de penetración completa** en todo el perímetro de la viga (alas y alma). Usada en perfiles H o cajón. Chaflán simple o doble.

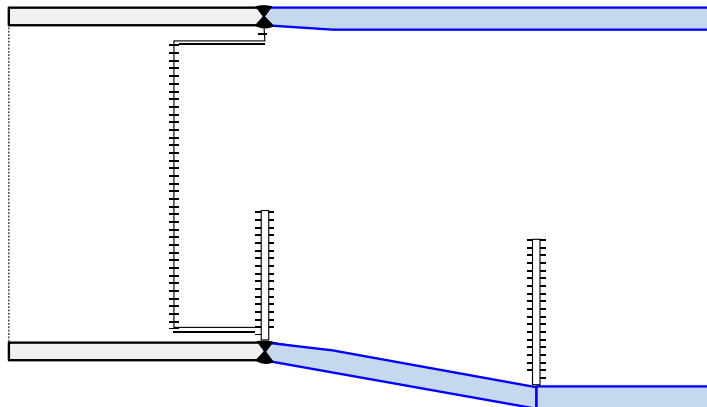
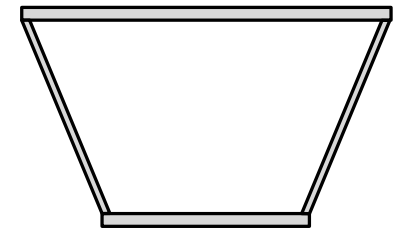
Unión sencilla de ejecutar. Transmite N, M, V.

No es necesario calcularla si la penetración es completa

Solución preferida siempre



Secciones en cajón



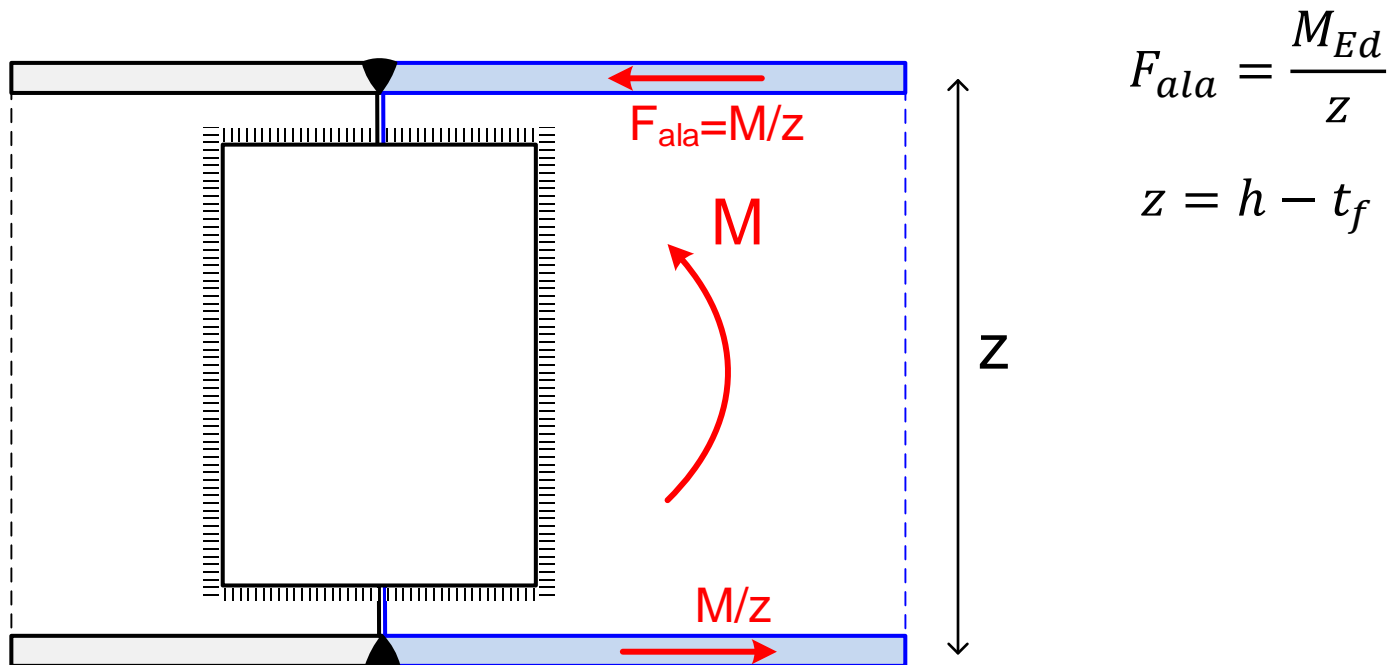
Unión rígida (B) Soldadura a tope de ala + cubrejuntas alma

Soldadura a tope de penetración completa en las alas

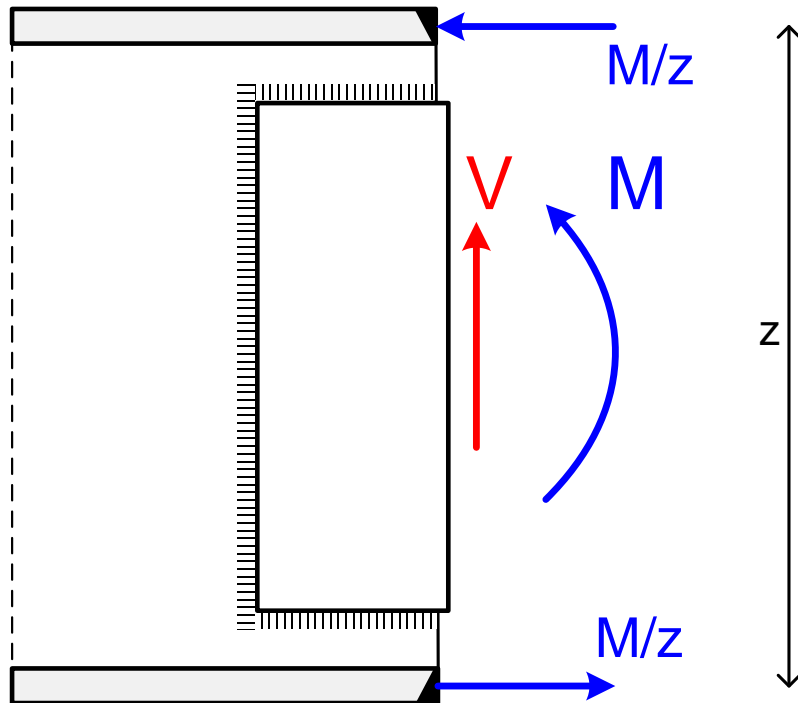
Cubrejuntas lateral en el alma (1 o 2). Almas no soldadas

Momento **flector**: se transmite todo mediante **fuerzas por las alas** F_{ala}

Cortante: se transmite todo por el **cubrejuntas** del alma



Unión rígida (B) Soldadura a tope de ala + cubrejuntas alma



Diseño simplificado:

Si las alas son capaces de transmitir todo el momento flector (M_{Ed}):

$$F_{ala} = \frac{M_{Ed}}{z} \leq A_{ala} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{ala} = b t_f$$

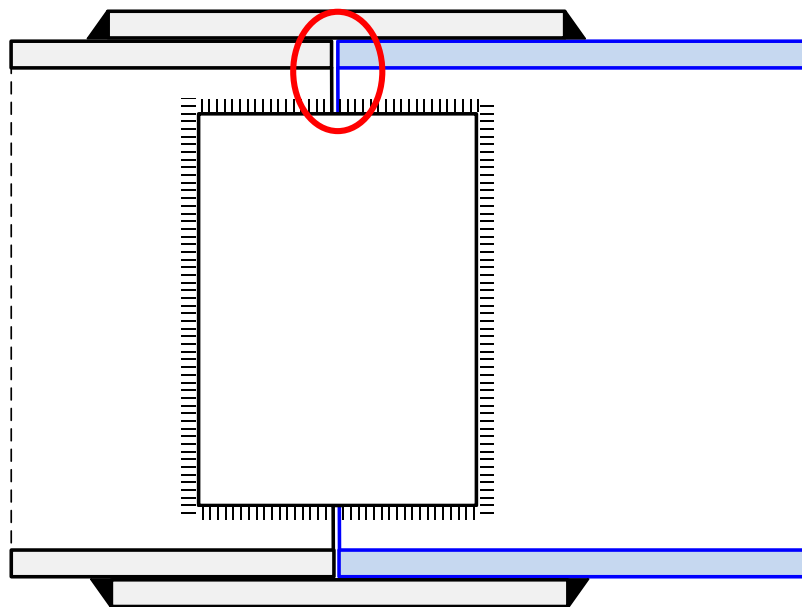
Soldadura de las **alas** a tope : no necesita cálculo si es de penetración completa.

Soldadura del **cubrejuntas de alma**: calcular como **unión plana excéntrica** sometida al cortante V situado en la sección de la unión

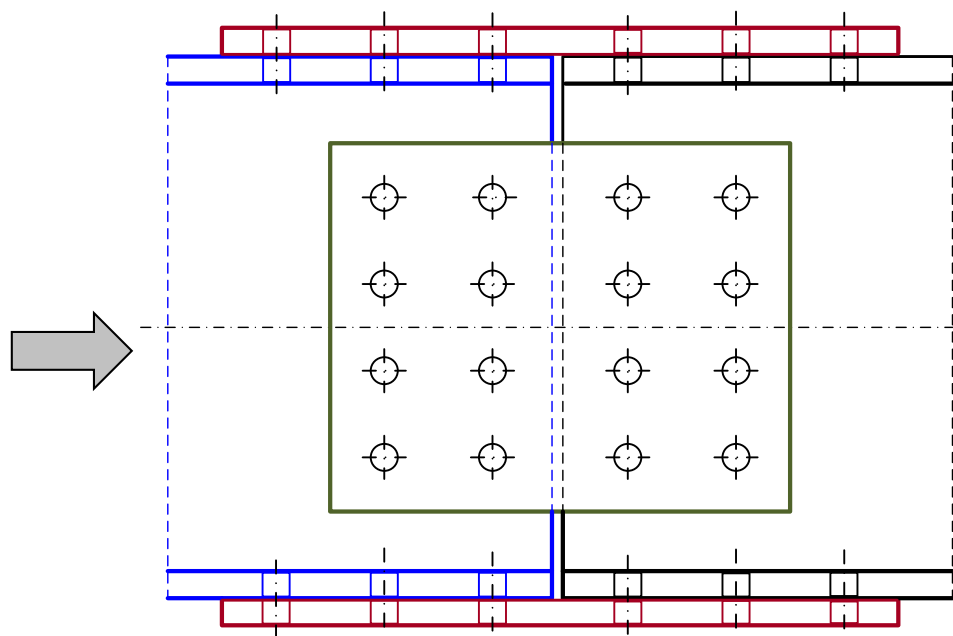
Unión rígida (C) Cubrejuntas de ala y alma

Sin soldadura a tope en las alas

Sólo se debe emplear **para reparación o refuerzo**



Diseñar siempre con **tornillos**.



Antigua norma EAE sólo autoriza esta unión **para reparación o refuerzo**

Unión articulada. Cubrejuntas lateral en el alma

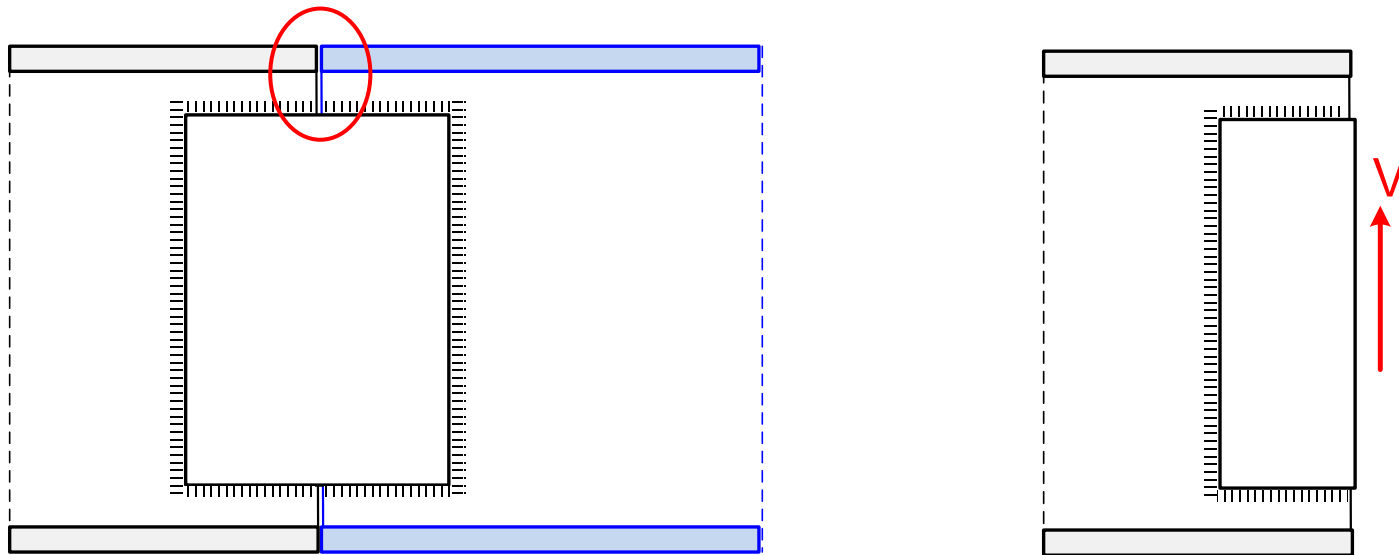
Alas no unidas: no se transmite momento.

Sólo transmite fuerza cortante V por el cubrejuntas de alma.

Disponer 1 o 2 cubrejuntas. Mismo material que la viga $A_{cubrejuntas} \geq A_{v,viga}$

Soldadura cubrejuntas: diseñar como una **unión plana excéntrica** sometida al cortante V situado en la sección de la unión

Recomendado: $h_{cubrejuntas} < \frac{2}{3} h_{viga}$





tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Unión soldada rígida poste - poste

© tecnun, J. T. Celigüeta, 2021



Unión soldada rígida poste - poste

Soldadura **a tope de penetración completa** en todo el perímetro del perfil H (alas y alma). Usada en perfiles H.
Chaflán doble en alas y simple en alma o doble.

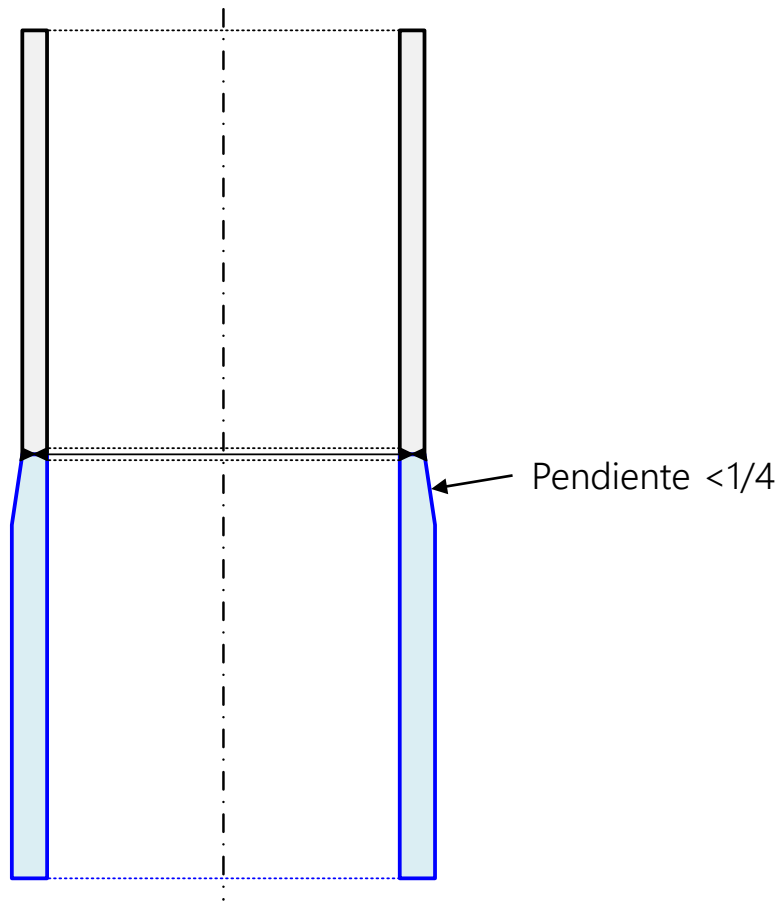
Unión sencilla de ejecutar. Transmite N, M, V

No es necesario calcularla si la penetración es completa

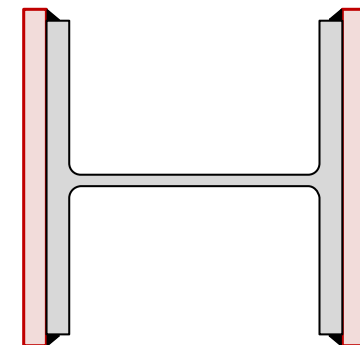
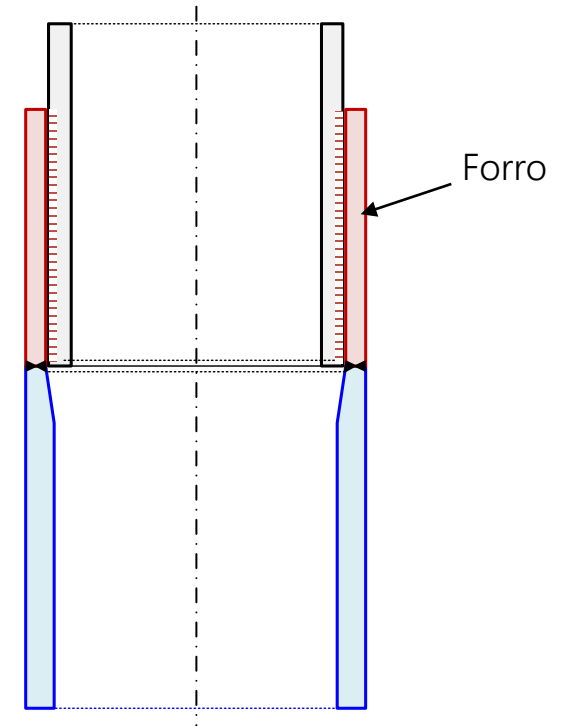
Solución habitual con perfiles series HEM, HEB, HEA: coinciden las caras interiores de las alas

Emplear forros de alas si hay diferencia de cantos (no recomendado)

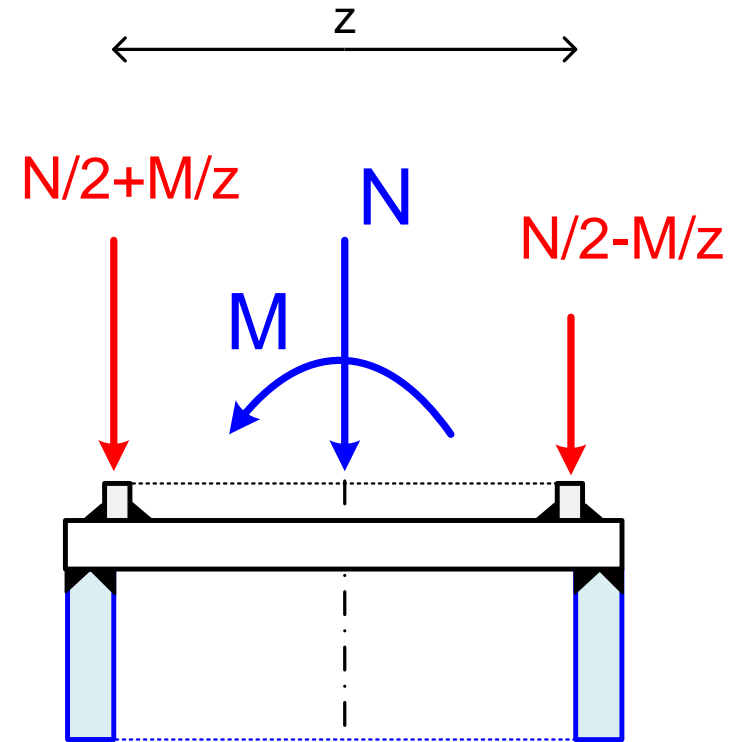
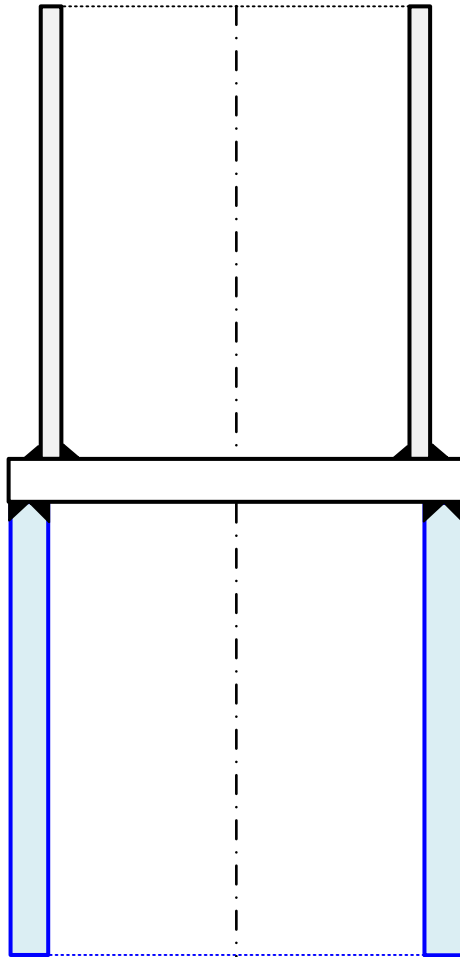
Unión soldada rígida poste - poste



Solución habitual con perfiles HEM, HEB, HEA, en los que coinciden las caras interiores de las alas



Prolongación con cambio de sección grande



Dos uniones centradas planas



Unión soldada rígida viga – poste

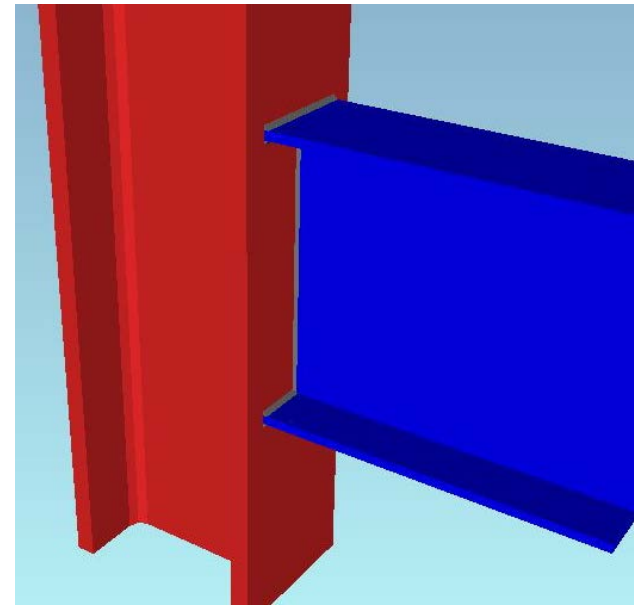
Normativa:

EN 1993-1-8 §6

Código Estructural Anejo 26

Bibliografía:

- The Steel Construction Institute (SCI), Joints in Steel Construction, Moment-Resisting Joints to EC3, Publication P398
- Design of Joints in Steel and Composite Structures, J. P. Jaspart, K. Weynard, Wiley, 2016

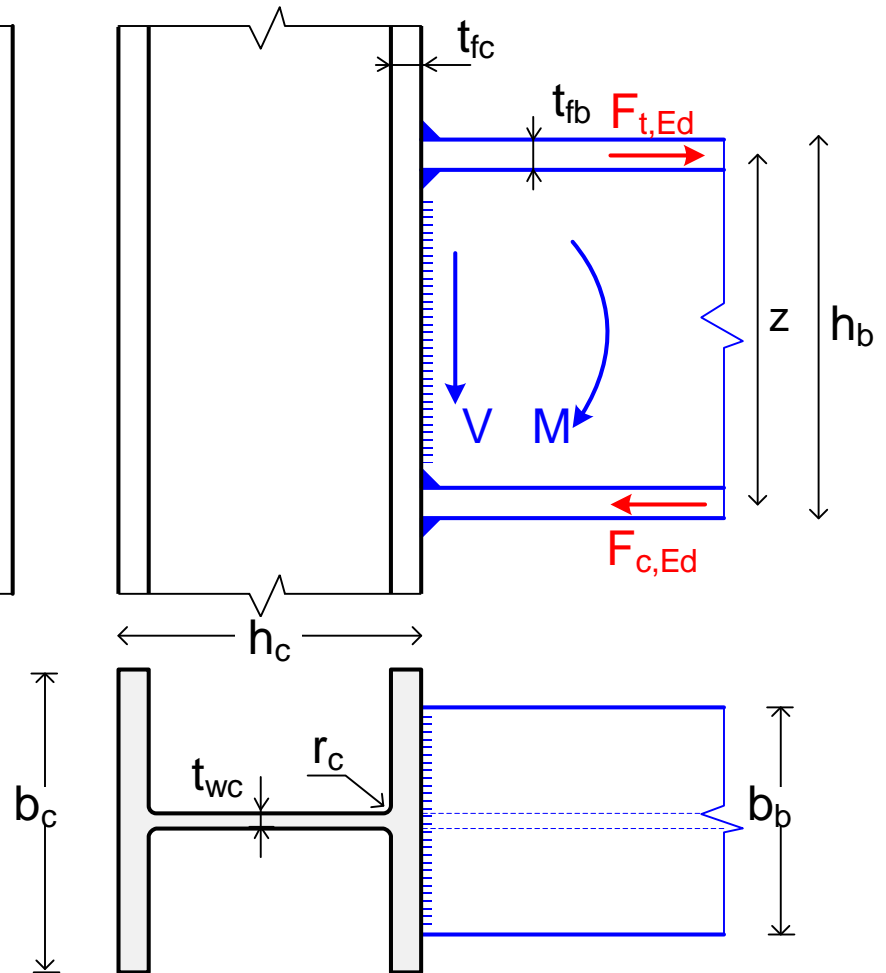
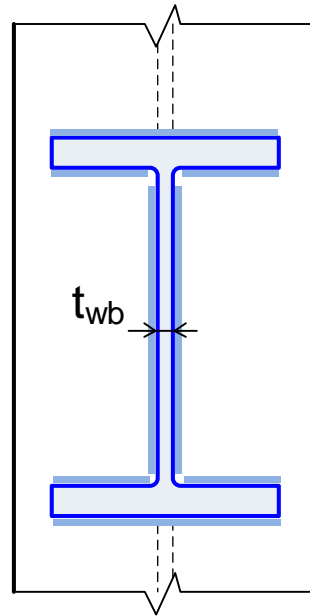
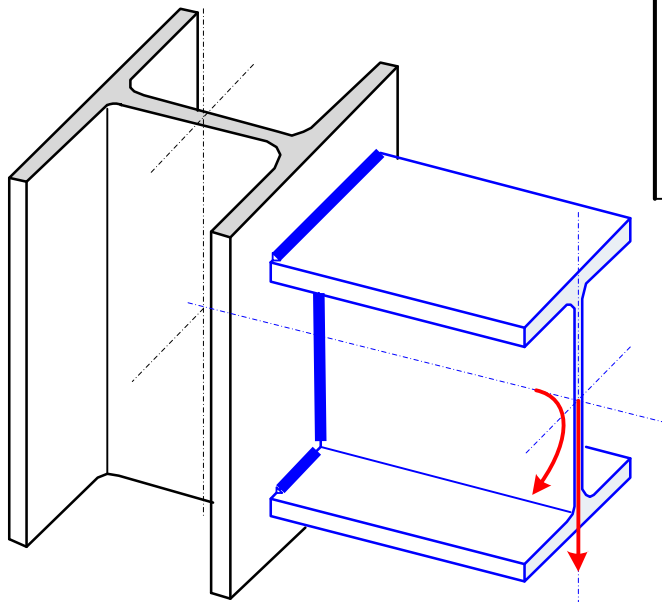


Unión soldada rígida viga - poste sin reforzar

Ejecución sencilla. Transmite M, V, N . Representa un empotramiento en el poste
Diseño requiere varias comprobaciones de resistencia

Soldadura en todo el
perímetro de la viga

Sin rigidizadores



Transmisión de esfuerzos

Momento flector equivale a 2 fuerzas en las alas

Si no hay fuerza axial, ambas son iguales

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed}}{z} \quad F_{c,Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

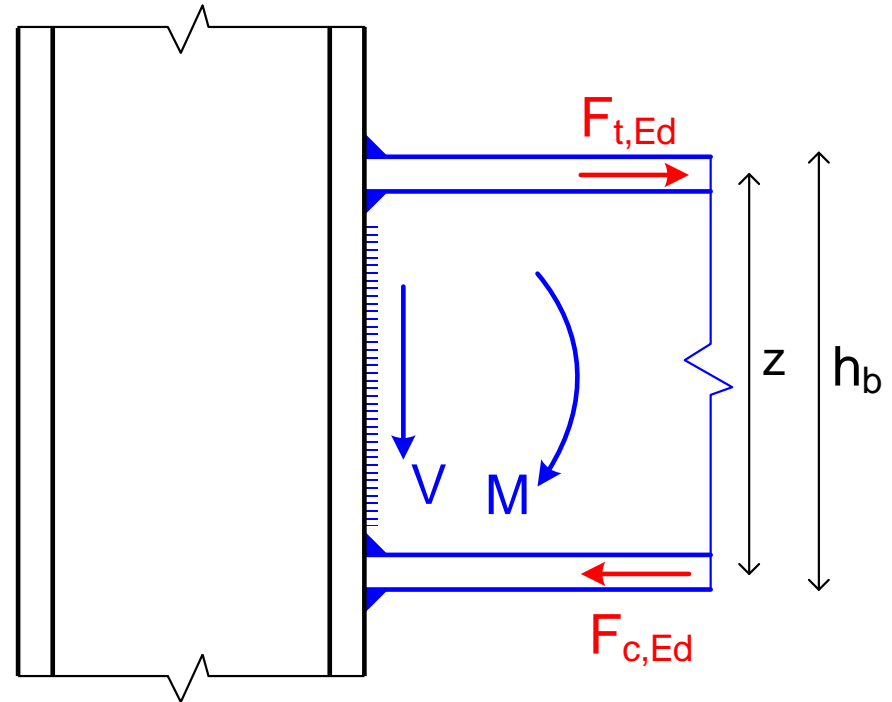
z : brazo de palanca

z : distancia entre centros de las alas

$$z = h_b - t_{fb}$$

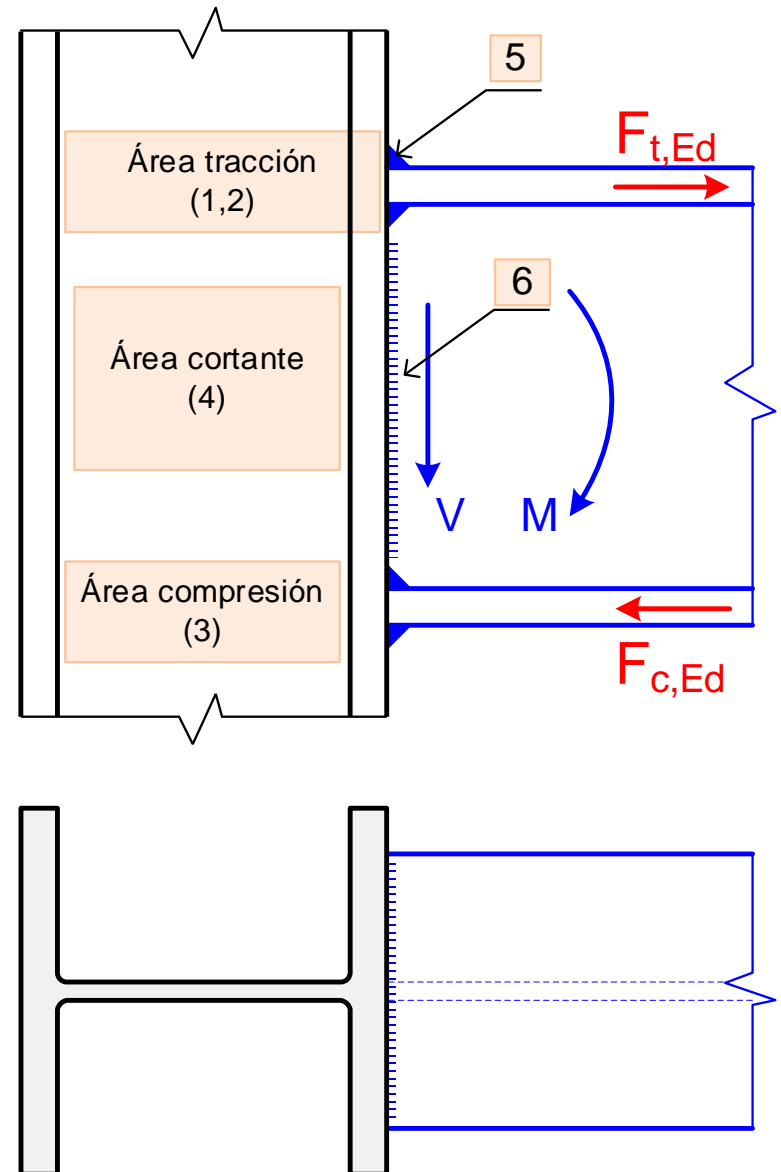
Centro de compresiones: en línea con el centro del ala de compresión

Cortante transmitido por la soldadura de alma



Comprobaciones de resistencia

- R1. Tracción del ala del poste
- R2. Tracción del alma del poste
- R3. Compresión del alma del poste
- R4. Cortante del panel del alma del poste
- R5. Soldaduras ala viga – ala poste
- R6. Soldaduras alma viga – ala poste



Anchura eficaz del ala de la viga

La distribución de tensiones en el ala traccionada de la viga no es uniforme.

b_{eff} : Ancho eficaz del ala. Zona que se supone transmite la fuerza del ala

$$b_{eff} = t_{wc} + 2s + 7k t_{fc} \quad k = \frac{f_{yc} t_{fc}}{f_{yb} t_{fb}} \leq 1 \quad b_{eff} \leq \min(b_b, b_c)$$

Poste laminado: $s = r_c$

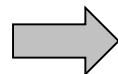
Poste soldado: $s = \sqrt{2} a_c$

a_c : garganta cordón entre alma y ala del poste

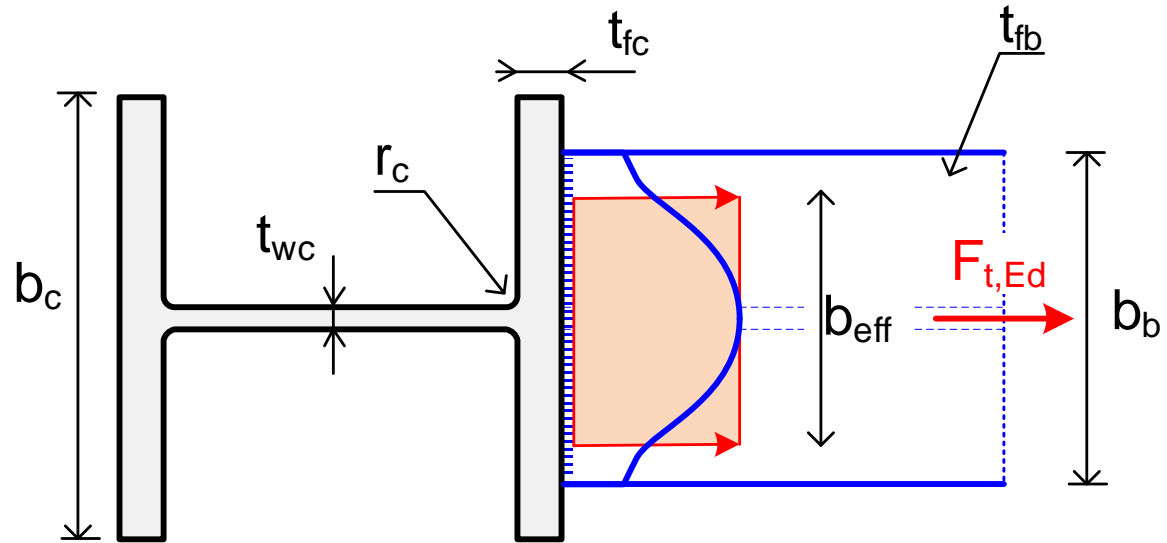
Se debe cumplir:

$$b_{eff} \geq \frac{f_{yb}}{f_{ub}} b_b \approx 0.7 b_b$$

Si no se cumple:



El ala del poste flexa demasiado.
Se deben **situar rigidizadores** horizontales interiores en el poste



R1. Resistencia del ala del poste a tracción transversal (f_c)

§ 6.2.6.4.3

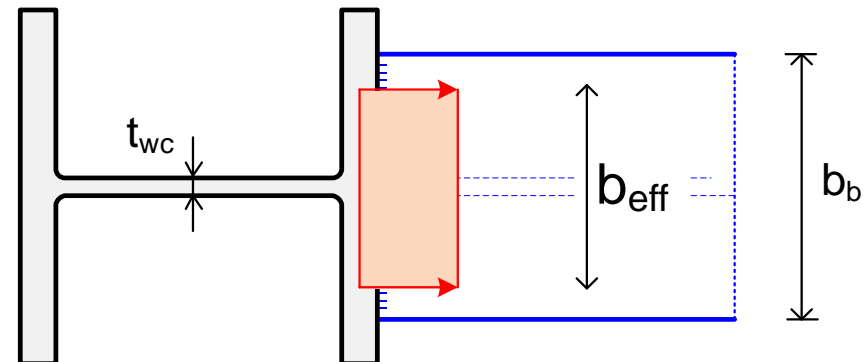
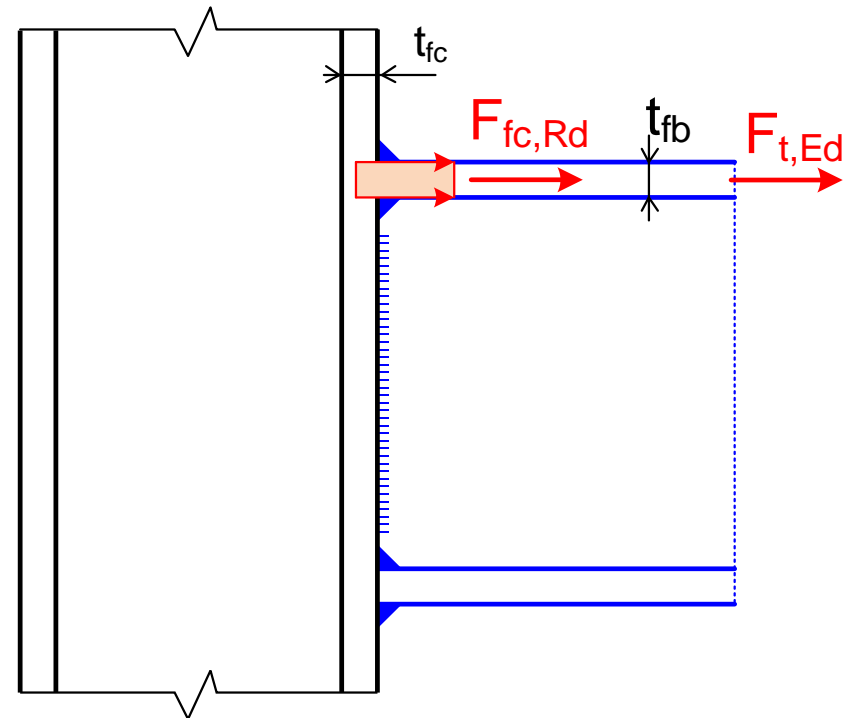
Máxima fuerza de tracción que puede soportar el ala del poste, sin rigidizar, debida a la fuerza de tracción en el ala de la viga:

$$F_{fc,Rd} = t_{fb} b_{eff} \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$

$f_{y,fb}$: Límite elástico del ala de la viga

Comprobación:

$$F_{fc,Rd} \geq F_{t,Ed}$$



R2. Resistencia del alma del poste a tracción transversal (t, wc)

§ 6.2.6.3

Máxima fuerza de tracción que puede soportar el alma del poste, sin rigidizar:

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

$b_{eff,t,wc}$: **Altura eficaz** de la parte de alma del poste que soporta la tracción:

$$b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + r_c)$$

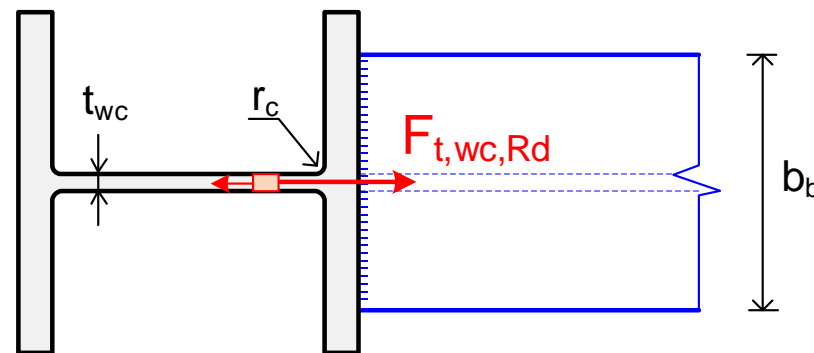
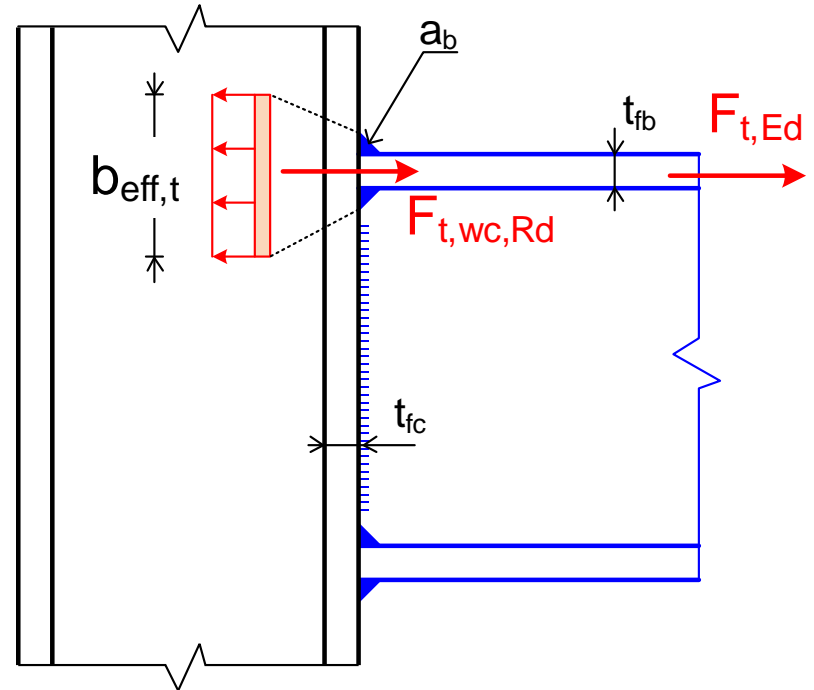
a_b : garganta del cordón entre ala viga y ala poste

Poste soldado: $r_c \rightarrow \sqrt{2} a_c$

a_c : garganta alma-ala del poste

ω : **coeficiente de reducción por interacción con el cortante** en el alma del poste

CTE utiliza $\omega = 1$



Coeficiente de interacción con el cortante en el alma del poste ω

Depende del parámetro de transformación β

Tabla 6.3 EN 1993-1-8

Parámetro de transformación β	Coeficiente de interacción ω
$0 \leq \beta \leq 0.5$	$\omega = 1$
$0.5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$

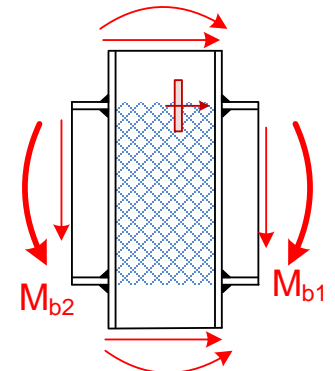
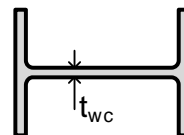
$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left(\frac{t_{wc} b_{eff,t,wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \left(\frac{t_{wc} b_{eff,t,wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

$b_{eff,t,wc}$: Altura eficaz del alma del poste a tracción

A_{vc} : Área del poste a cortante

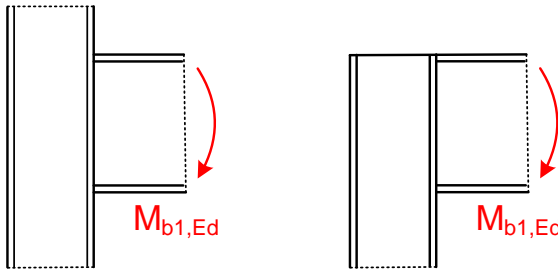
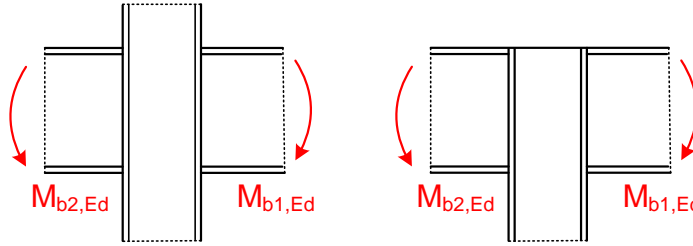
t_{wc} : Espesor del alma del poste



Parámetro de transformación β

Depende de la relación entre los momentos M_{b1}, M_{b2} a ambos lados del poste

Tabla 5.4 EN 1993-1-8

Tipo de unión	Acción	β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ (*)
	$\frac{M_{b1,Ed}}{M_{b2,Ed}} > 0$	$\beta \approx 1$
	$\frac{M_{b1,Ed}}{M_{b2,Ed}} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

(*) En este caso el valor de β es exacto

R3. Resistencia del alma del poste a compresión transversal (c, wc) (1)

§ 6.2.6.2

Máxima fuerza de compresión que puede soportar el alma del poste sin rigidizar:

$$F_{c,wc,Rd} = k_{wc} \rho \omega \underbrace{b_{eff,c,wc} t_{wc}}_{=R2} \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$$

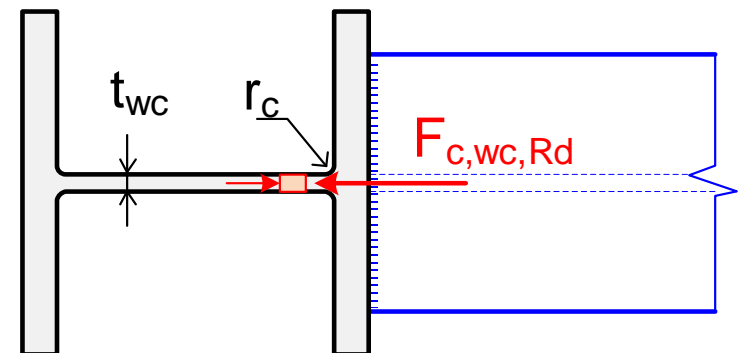
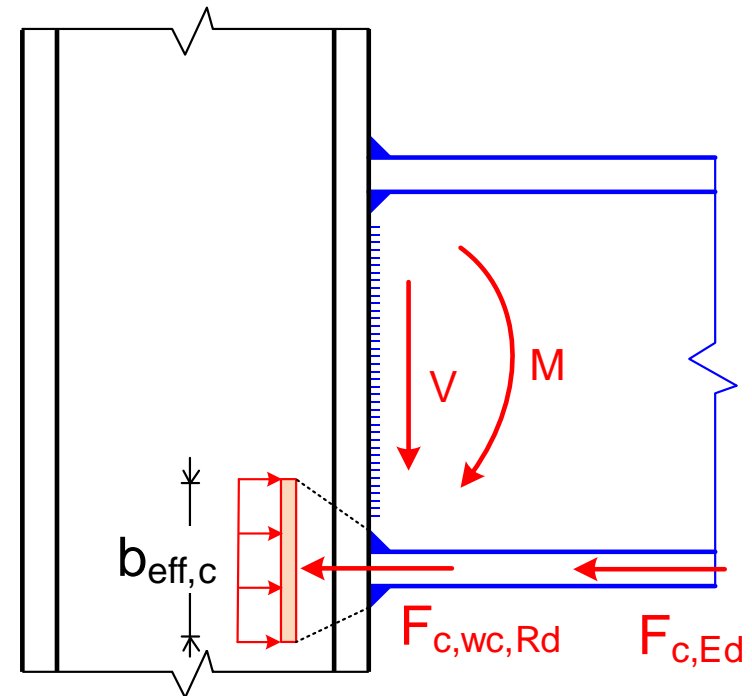
Comprobación: $F_{c,wc,Rd} \geq F_{c,Ed}$

$b_{eff,c,wc}$: alto eficaz en el alma. Mismo valor que en R2, tracción alma poste ($= b_{eff,t,wc}$)

ω : coeficiente de interacción con el cortante
Mismo valor que en R2 tracción alma poste

k_{wc} : factor de tensión de compresión (≤ 1)

ρ : factor de abolladura del alma (≤ 1)



R3. Resistencia del alma del poste a compresión transversal (2)

k_{wc} : factor de tensión de compresión

Si el alma del poste está muy comprimida axialmente, se debe reducir su resistencia a compresión transversal

$\sigma_{com,Ed}$: máxima tensión axial de compresión en el alma del poste, debida a N_c y M_c : en el punto pésimo del alma (unión entre zona recta y acuerdo curvo: $d_{wc}/2$)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{c,Ed}}{A_{col}} + \frac{M_{c,Ed} (d_{wc}/2)}{I_{col}}$$

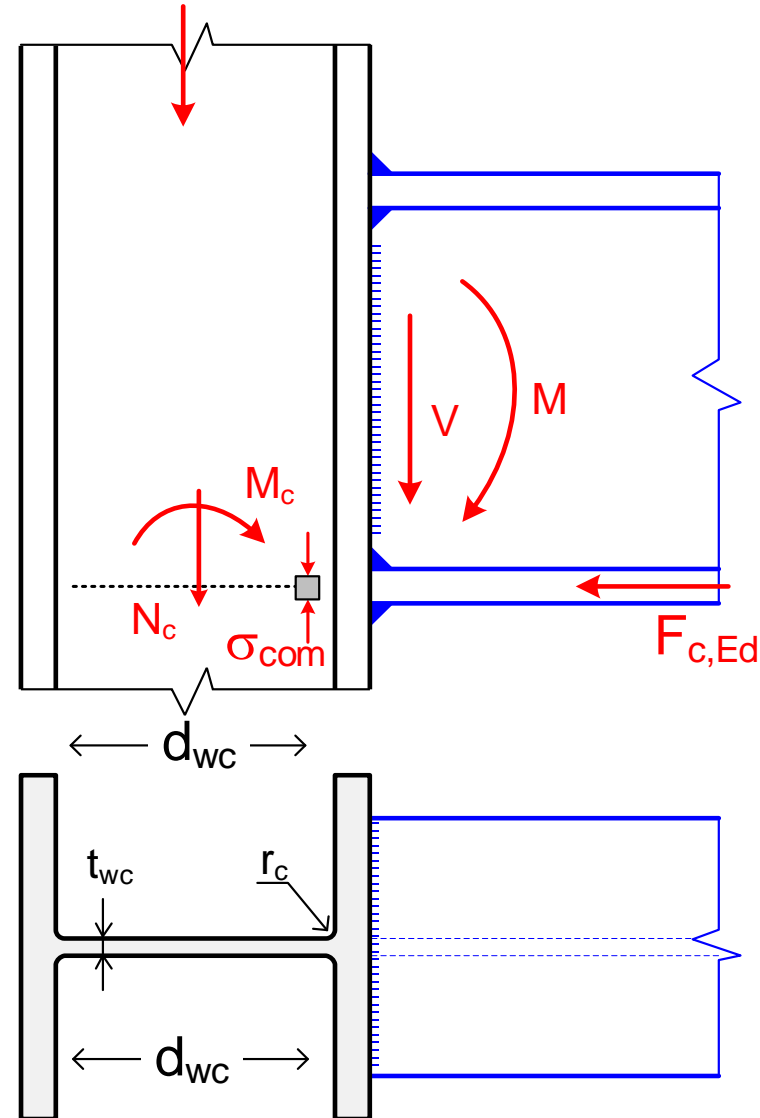
d_{wc} : zona recta del alma del poste

- Hasta el 70% de $f_{y,wc}$ no hay reducción

$$\sigma_{com,Ed} \leq 0.7 f_{y,wc} \rightarrow k_{wc} = 1$$

- A partir del 70% de f_{yc} : reducción lineal

$$\sigma_{com,Ed} > 0.7 f_{y,wc} \rightarrow k_{wc} = 1.7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}$$



R3. Resistencia del alma del poste a compresión transversal (3)

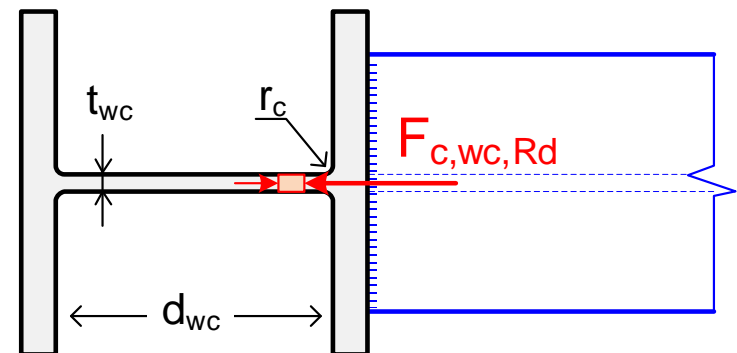
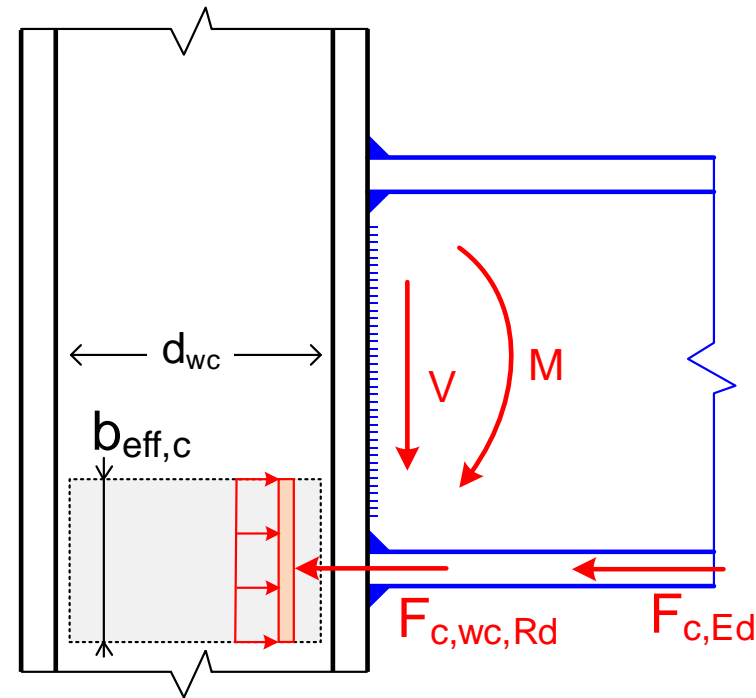
ρ : factor de abolladura del alma del poste

Si el alma del poste está muy comprimida: se puede producir una abolladura de la zona rectangular $d_{wc} \times b_{eff,c,wc}$ si ésta es muy esbelta. ρ depende de:

$\bar{\lambda}_p$: esbeltez de la zona de alma del poste ($d_{wc} \times b_{eff,c,wc}$) que puede pandear:

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \bar{\lambda}_p \leq 0.72 & \rho = 1 \\ \bar{\lambda}_p > 0.72 & \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.2}{\bar{\lambda}_p^2} \end{array} \right.$$



R3. CTE: Resistencia del alma del poste a compresión transversal

Formula de CTE para considerar el aplastamiento (sin pandeo):

$$F_{c,wc,Rd} = k_{wc} b_{ef} t_{wc} \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

b_{ef} : longitud eficaz en el alma

$$b_{ef} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r_c)$$

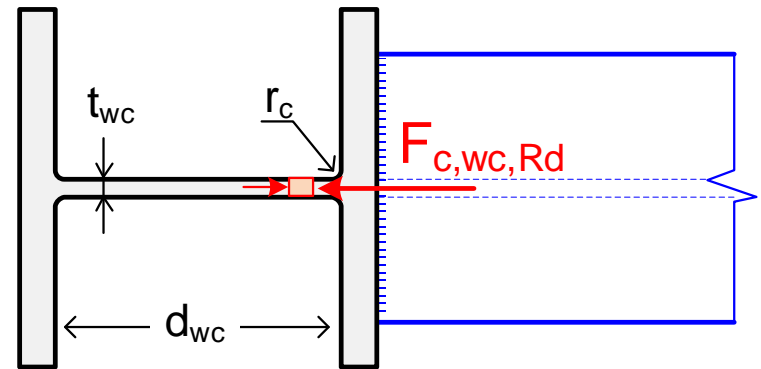
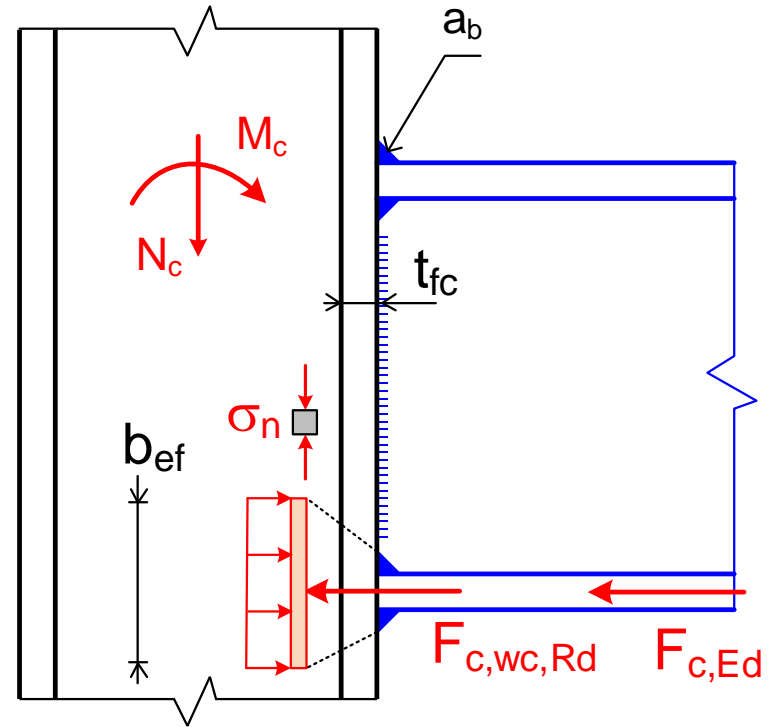
k_{wc} : factor de tensión de compresión (distinto del EC3)

$$k_{wc} = 1.25 - 0.5 \frac{\sigma_{n,Ed}}{f_{y,wc}} \gamma_{M0}$$

$$k_{wc} \leq 1$$

$\sigma_{n,Ed}$ máxima tensión de compresión en el alma

CTE indica que se debe considerar el pandeo local del alma del poste, pero no especifica cómo (SE-A 8.8.6-12)



R4. Resistencia del panel del alma del poste a cortante (w_p)

§ 6.2.6.1

Para unión por un lado, o por 2 lados con cantos similares

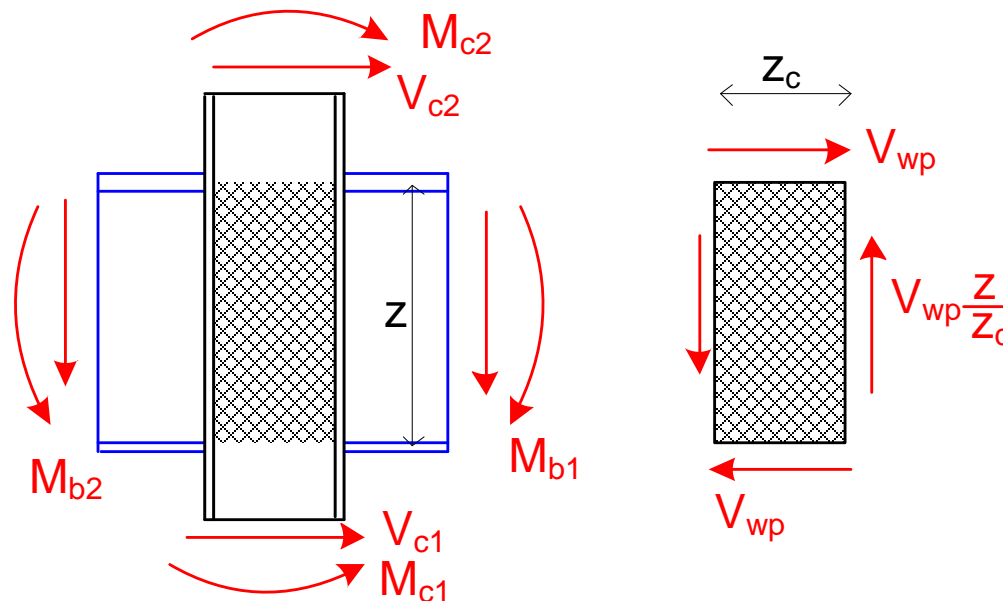
$$V_{wp,Rd} = 0.9 A_{vc} \frac{f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área a cortante del poste

Sólo válido si: $\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69 \epsilon$

d_{wc} : zona recta del alma del poste

Todos los perfiles estándar cumplen



R4. Resistencia del panel del alma del poste a cortante (w_p)

Esfuerzo cortante de cálculo en el alma:

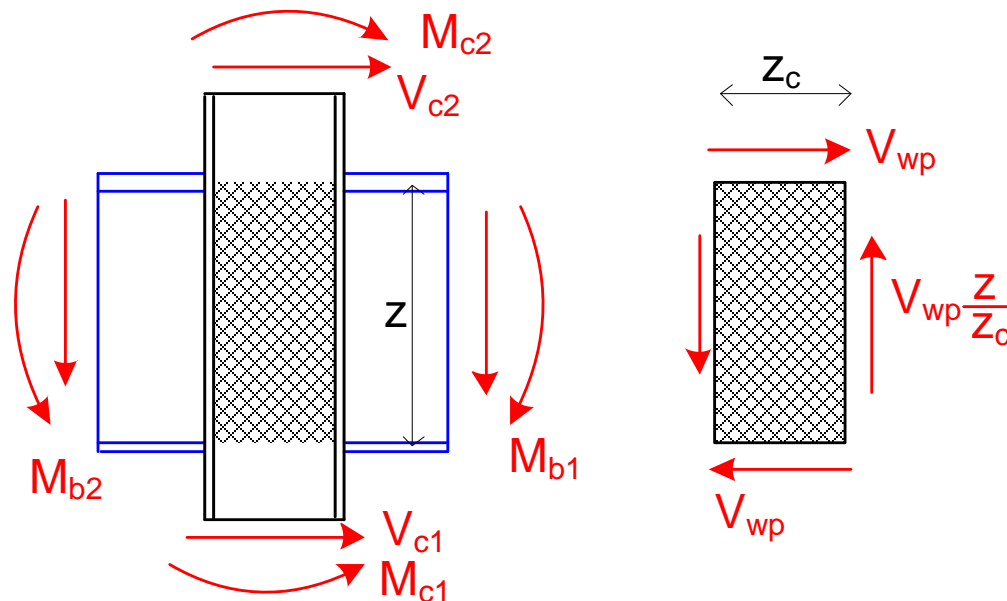
§ 5.3

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2}$$

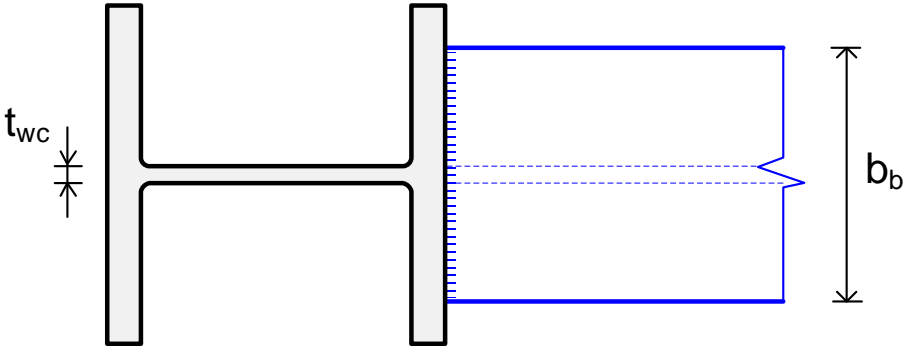
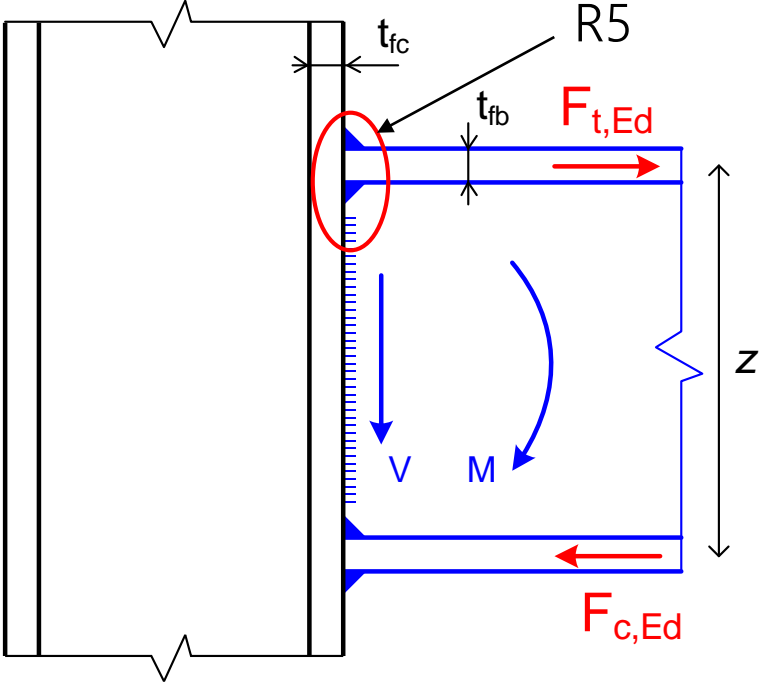
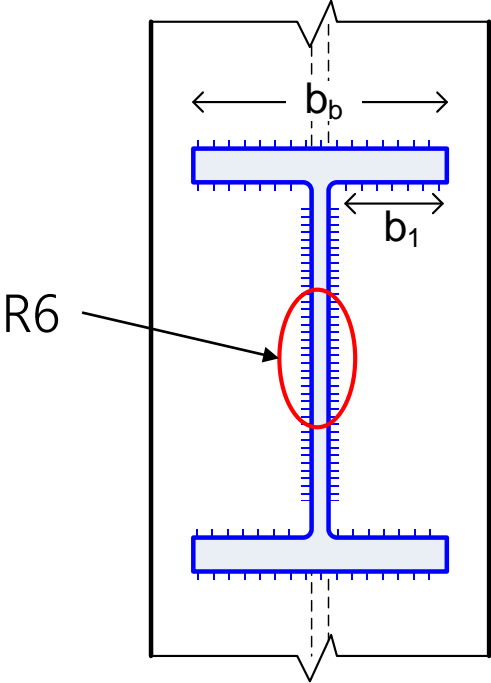
Comprobación

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} = 0.9 A_{vc} \frac{f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Si no cumple: es necesario reforzar el alma: rigidizadores horizontales o chapa de alma



Soldaduras de unión viga – poste: R5, R6



R5. Soldaduras de unión de las alas de la viga al poste (1)

Debe ser de resistencia total (EN 1993-1-8 4.10 (5))

Fuerza de diseño a transmitir: la resistencia completa del ala $F_{fb,Rd}$

$$F_{fb,Rd} = (b_b t_{fb}) \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$

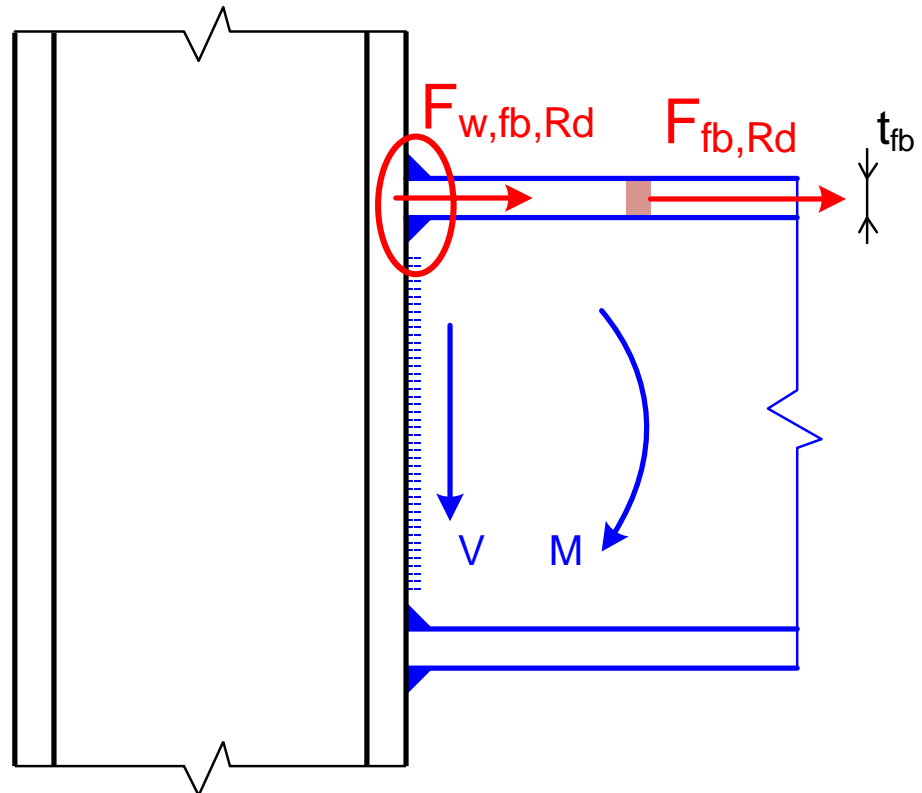
Resistencia de la soldadura:
como **unión plana centrada** en el ala superior, con ancho eficaz b_{eff}

$$F_{w,fb,Rd} = \sum a L_w \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

Comprobación:

$$F_{w,fb,Rd} \geq F_{fb,Rd}$$

Resistencia soldadura \geq Resistencia ala viga



Unión soldada rígida viga - poste

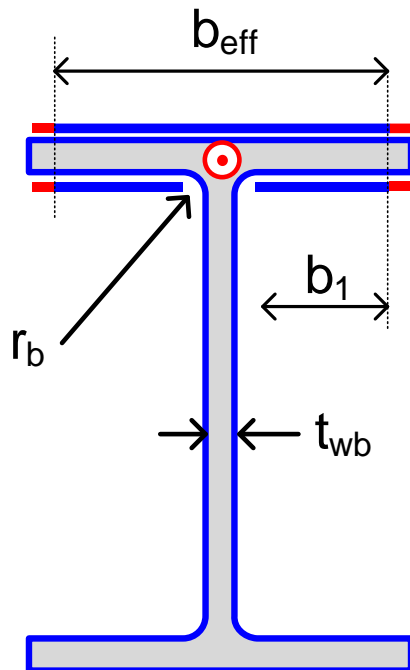
R5. Soldaduras de unión de las alas de la viga al poste (2)

Unión plana centrada en el ala superior, con ancho eficaz b_{eff}

La longitud de diseño de los cordones no debe superar la anchura eficaz del ala b_{eff}

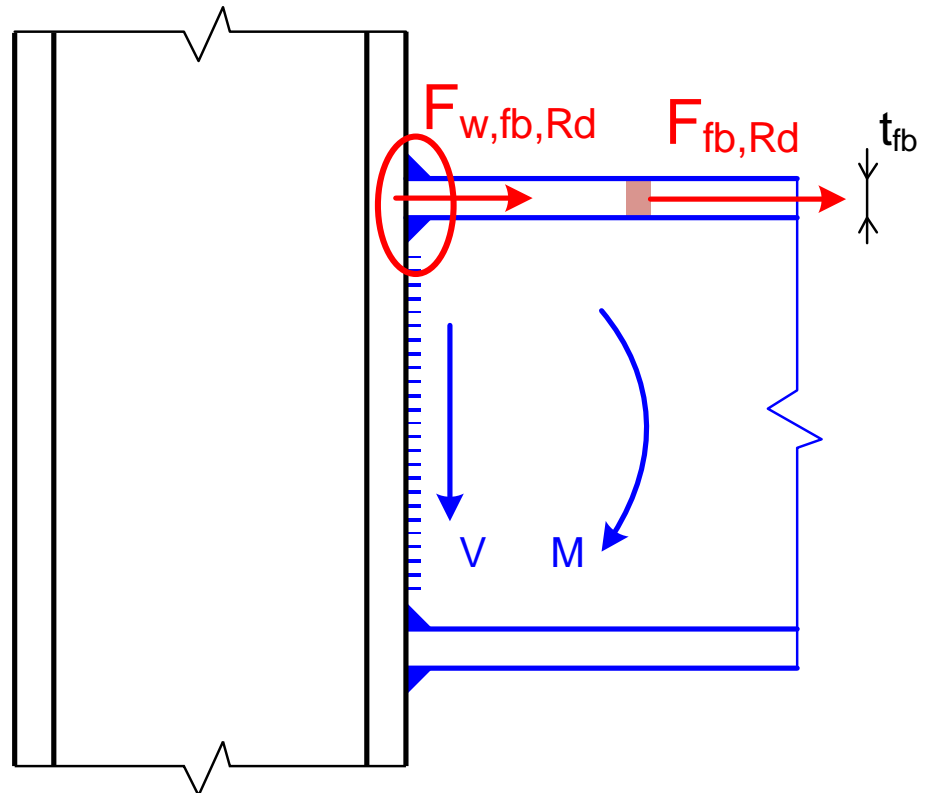
Cordón exterior: b_{eff}

Dos cordones interiores: b_1



$$\Sigma a L_w = a b_{eff} + 2 a b_1$$

$$b_1 = \frac{b_{eff} - t_{wb} - 2 r_b}{2}$$



R6. Soldaduras de unión del alma de la viga al poste

Cordones a ambos lados del alma. Fuerza a transmitir: todo el cortante V_{Ed}

Dimensionar como la unión de viga por soldadura directa al alma

Puede resultar limitante si V es muy grande, pues no se puede aumentar la longitud de los cordones.

Resistencia a cortante de la soldadura del alma:

$$V_{Ed} \leq V_{w,wb,Rd} = 2 a_w L_w \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

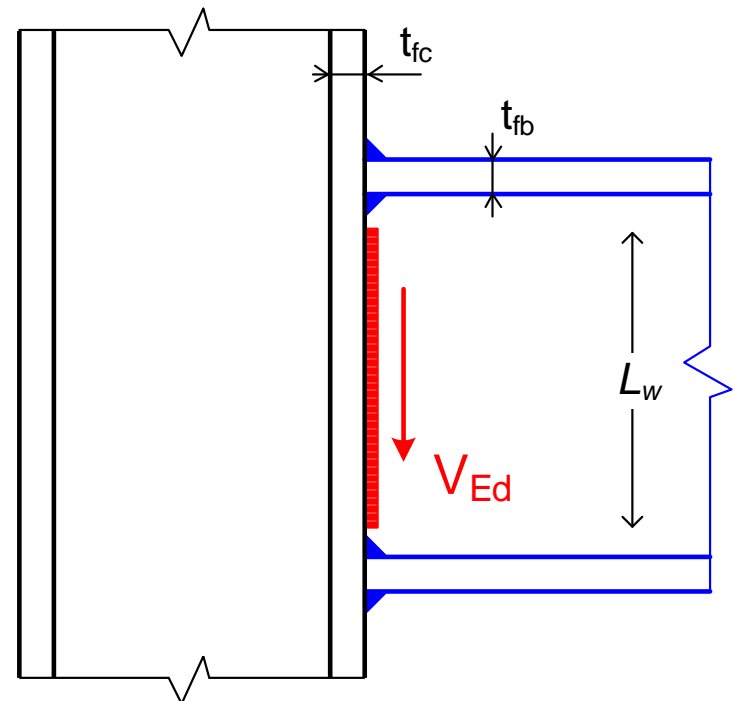
Emplear la máxima garganta recomendada

$$a_w = 0.7 \min(t_{wb}, t_{fc})$$

Soldar en toda la parte recta del alma

$$L_w \leq \text{Parte recta del alma de la viga}$$

$$L_w \leq h_b - 2 t_{fb} - 2 r_b$$



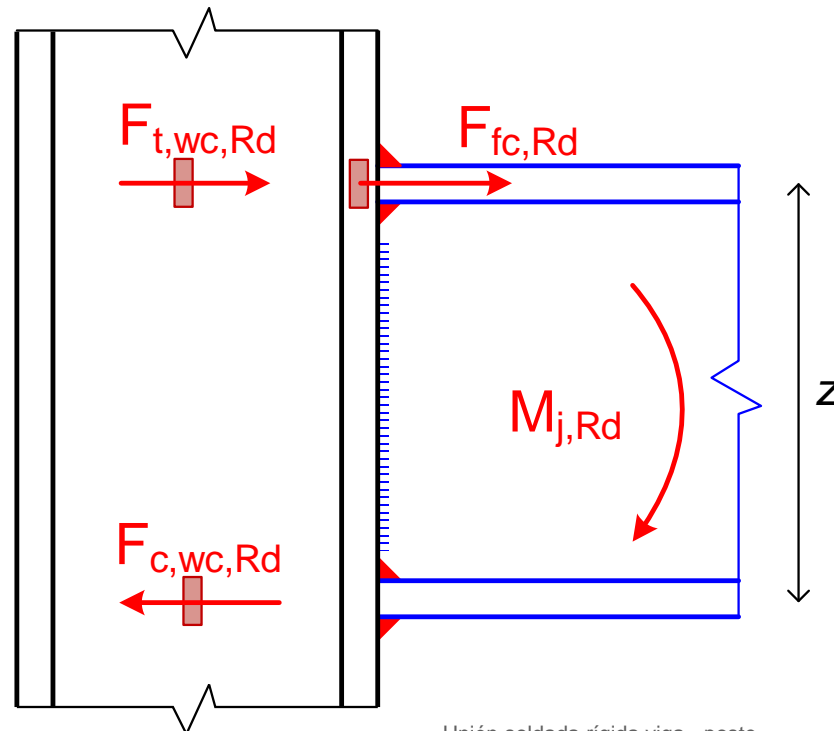
Momento resistente de la unión

Si no se conoce M_{Ed} , se puede determinar el momento que resiste la unión:

$$M_{j,Rd} = z \min(F_{fc,Rd}, F_{t,wc,Rd}, F_{c,wc,Rd})$$

R1 R2 R3

Además, deben cumplirse R4 (cortante en alma poste) y R5 (soldadura ala)

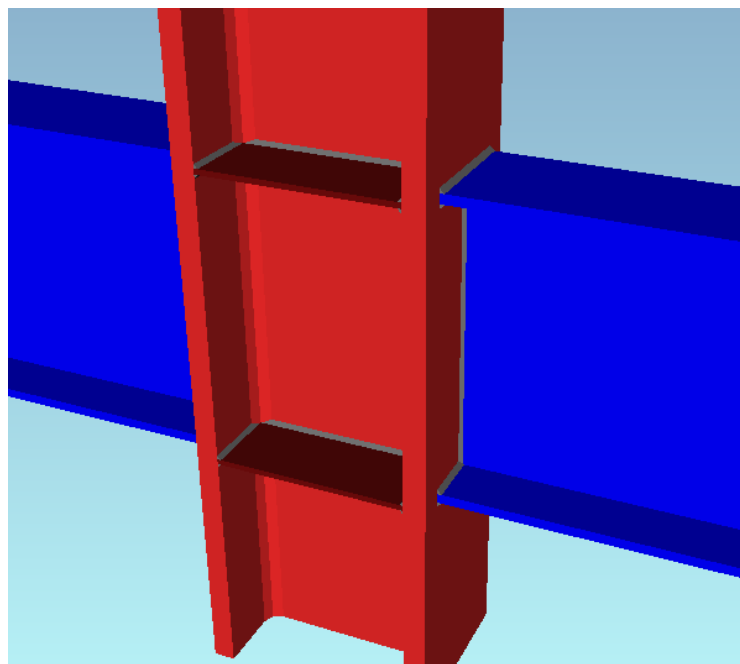


$$z = h - t_f$$

z : brazo de palanca



Unión soldada rígida viga-poste reforzada



Refuerzos horizontales interiores

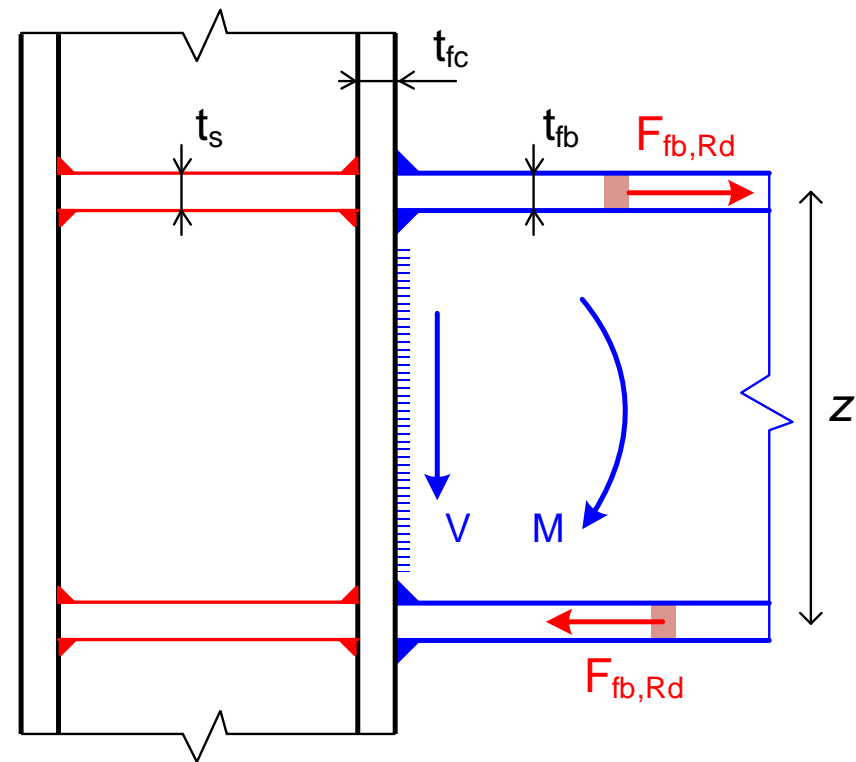
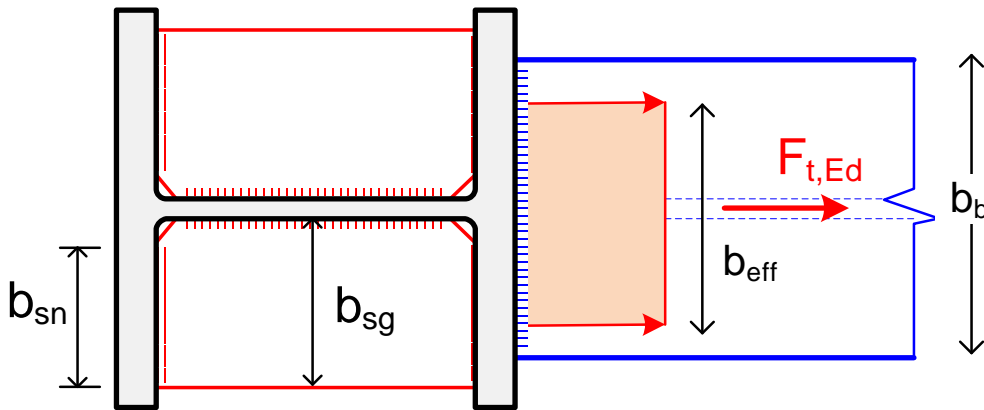
Obligatorios si la anchura eficaz del ala a tracción es pequeña $b_{eff} < 0.7 b_b$

4 refuerzos interiores al poste coincidiendo con las alas de la viga (2 parejas)

Anchura mínima: $b_{sg} \geq 0.75 \frac{b_c - t_{wc}}{2}$

Se puede aumentar la anchura eficaz:

$b_{eff} \rightarrow 2b_{sg} + t_{wc}$ pero $b_{eff} \leq b_b$



EN 1993-1-8 no indica cómo diseñar estos rigidizadores

Refuerzos horizontales interiores. Condiciones

Si se cumplen unas ciertas condiciones, las resistencias R2 (tracción alma del poste) y R3 (compresión ala del poste) se pueden tomar iguales a la resistencia del ala de la viga $F_{fb,Rd}$

$$F_{fb,Rd} = (t_{fb} b_b) \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$

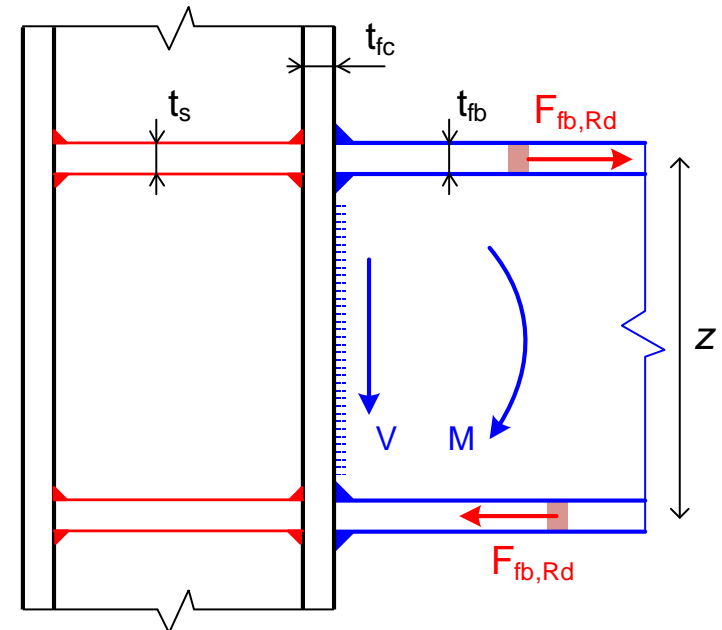
- Área de cada par de refuerzos \geq área del ala de la viga

$$t_s (2 b_{sg} + t_{wc}) \geq t_{fb} b_b$$

Se permite incluir el espesor del alma

- Resistencia de los refuerzos \geq resistencia del ala de la viga

$$F_{t,s,Rd} = 2 t_s b_{sn} \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} \geq F_{fb,Rd} = t_{fb} b_b \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$



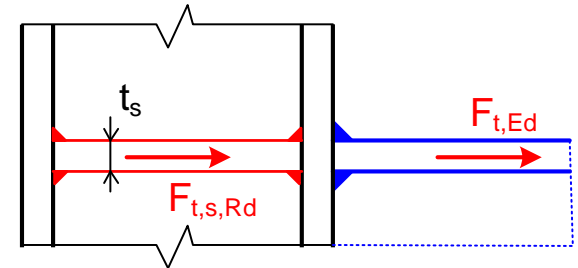
Condiciones indicadas en la antigua instrucción EAE

Refuerzos horizontales interiores. Otros criterios

Criterios anteriores son muy conservadores.

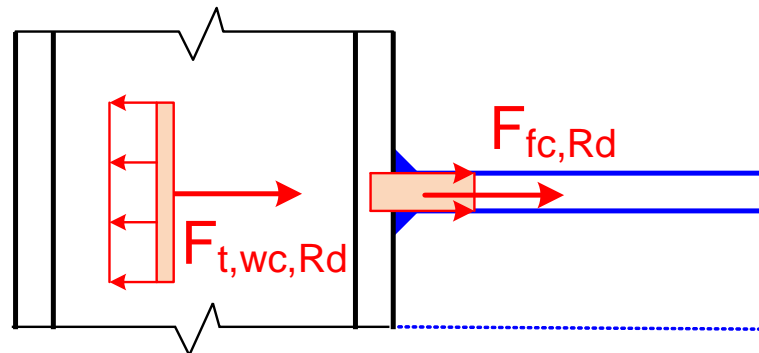
- La resistencia de los refuerzos debe ser superior a la fuerza real transmitida por el ala $F_{t,Ed}$

$$F_{t,s,Rd} = 2 t_s b_{sn} \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} \geq F_{t,Ed}$$



- La resistencia de los refuerzos debe ser superior a la diferencia entre la resistencia del ala de la columna (R1) y la resistencia del alma de la columna (R2)

$$F_{t,s,Rd} = F_{fc,Rd} - F_{t,wc,Rd}$$



R4. Resistencia a cortante del panel de alma del poste rigidizado

Si hay rigidizadores (espesor t_s) frente a las dos alas, la resistencia a cortante del panel central del alma del poste se puede aumentar en (§ 6.2.6.1 (4)):

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

Como máximo:

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

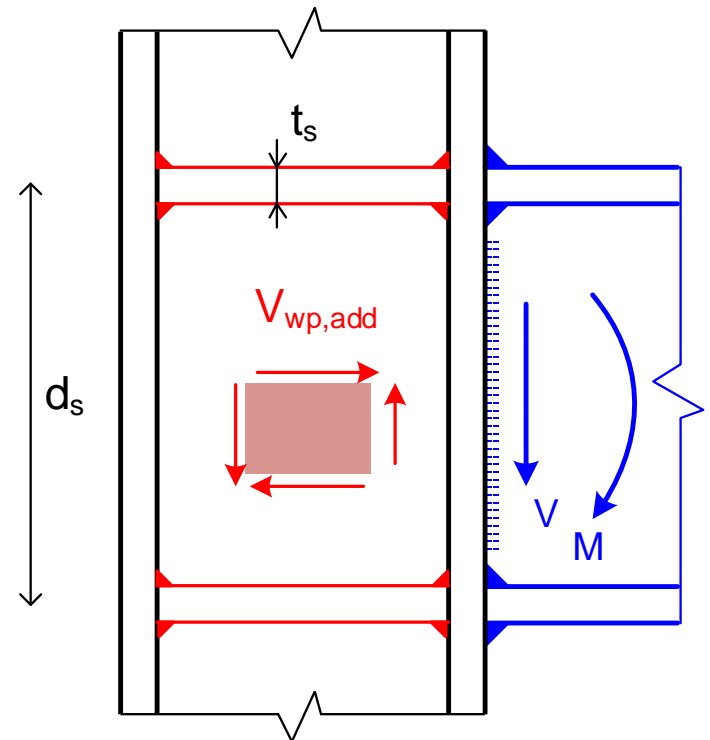
d_s : distancia entre ejes de rigidizadores

Momento resistente plástico del ala del poste:

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{b_{fc} t_{fc}^2}{4} \frac{f_{y,fc}}{\gamma_{M0}}$$

Momento resistente plástico de cada rigidizador:

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{(2 b_s) t_s^2}{4} \frac{f_{y,s}}{\gamma_{M0}}$$



Refuerzos horizontales interiores. Soldaduras (1)

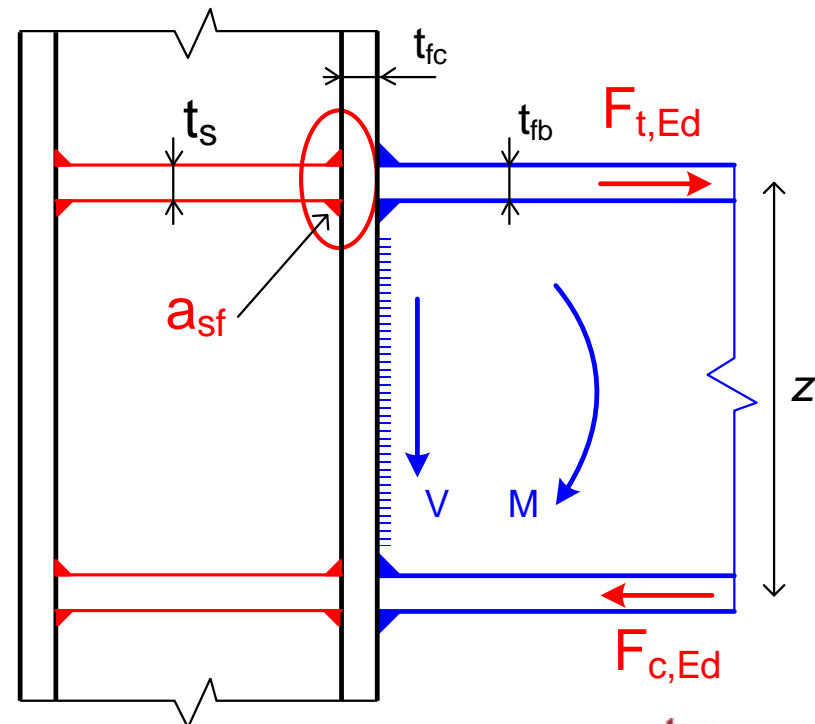
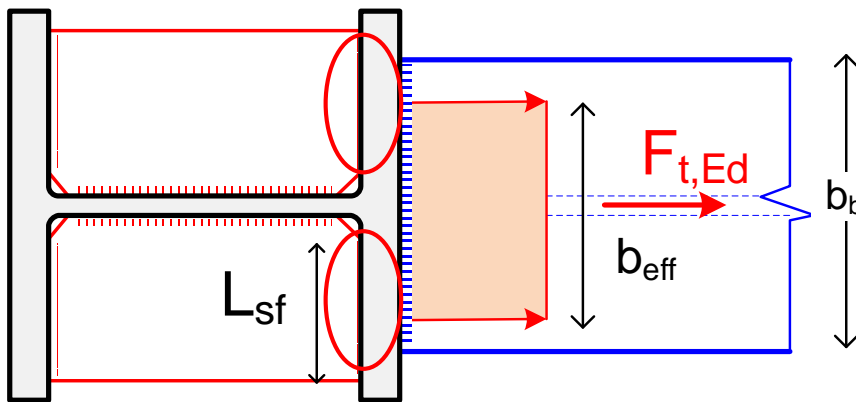
1. Soldaduras entre el refuerzo y el interior del ala del poste

Fuerza a transmitir: la transmitida por el ala de la viga $F_{t,Ed}$

Diseñar como unión plana centrada

$$\frac{F_{t,Ed}}{4 a_{sf} L_{sf}} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

L_{sf} : longitud del cordón entre cada rigidizador y el interior del ala



Refuerzos horizontales interiores. Soldaduras (2)

2. Soldaduras entre el refuerzo y el interior del alma del poste

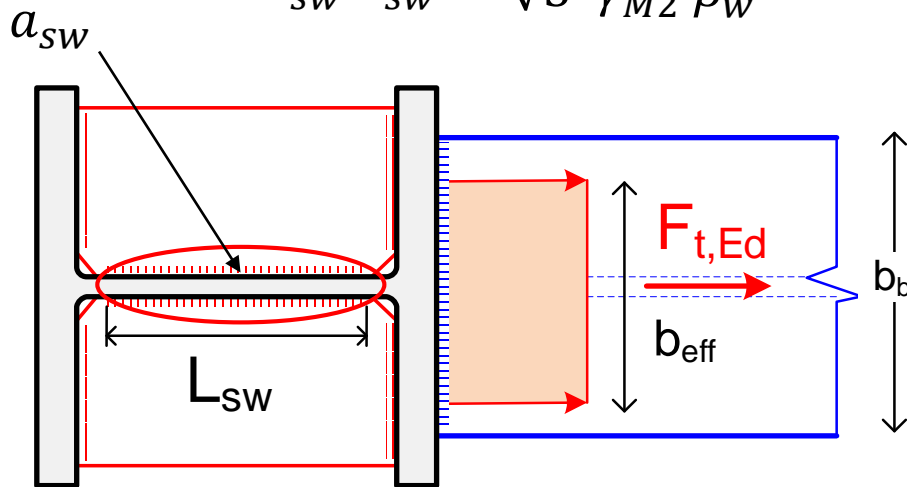
Fuerza a transmitir F_w : la diferencia entre la fuerza en el ala $F_{t,Ed}$ y la resistencia R2 o R3 calculada sin refuerzos, en las zonas a tracción o compresión

$$F_w = F_{t,Ed} - F_{t,wc,Rd}$$

$$F_w = F_{c,Ed} - F_{c,wc,Rd}$$

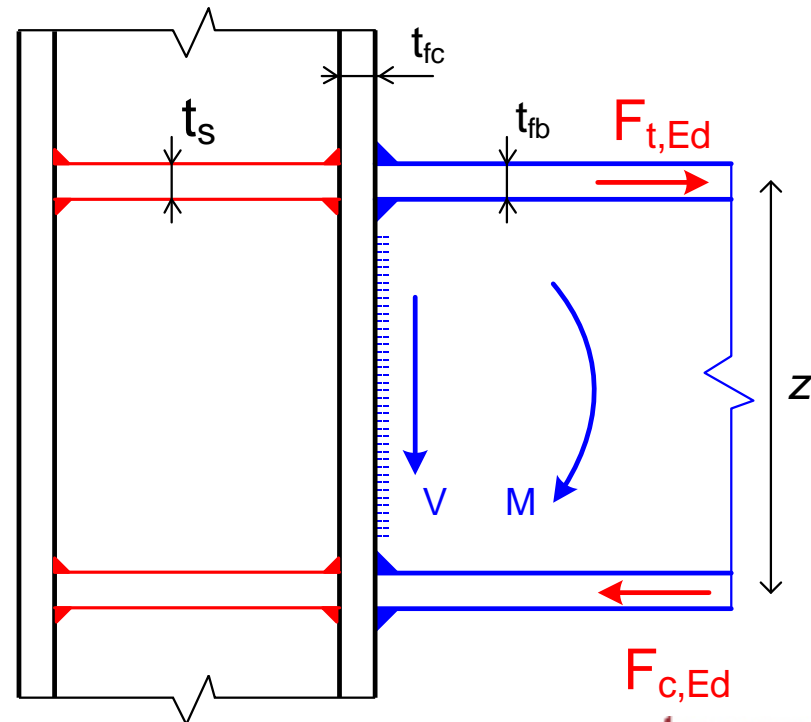
Diseñar como unión plana centrada

$$\frac{F_w}{4 a_{sw} L_{sw}} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$



L_{sw} : longitud del cordón entre cada rigidizador y el alma

$$a_{sw} \geq \min(0.4 t_{wc}, 0.4 t_s)$$



Refuerzo del alma del poste mediante chapa lateral (1)

Si no se cumple R4 (resistencia a cortante alma del poste insuficiente):

Chapa de refuerzo lateral del alma:

Espesor $t_s \geq t_{wc}$

Mismo material que el alma del soporte

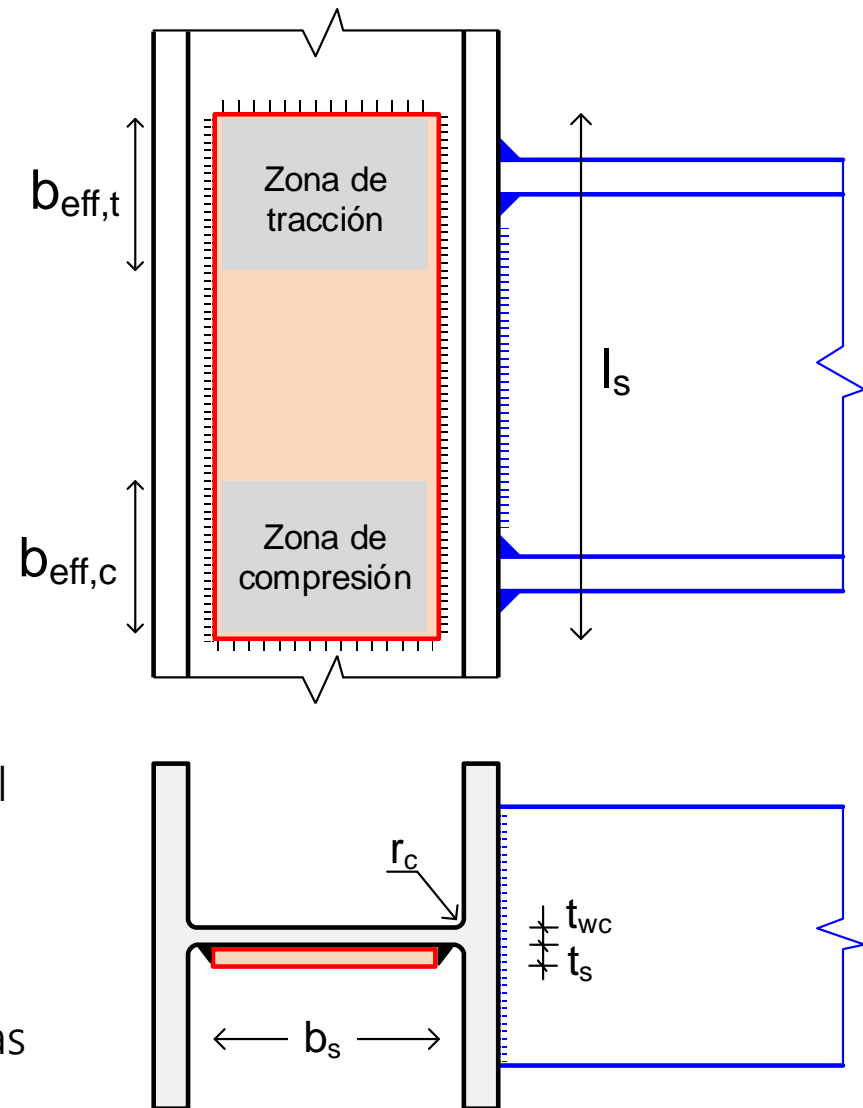
Dimensiones $b_s \times l_s$

l_s debe cubrir las alturas eficaces de tracción $b_{eff,t,wc}$ y compresión $b_{eff,c,wc}$

b_s debe llegar hasta el pie del radio de acuerdo alma – ala del pilar, o la punta del cordón de soldadura

Debe ser: $b_s < 40 \epsilon t_s$

Si $b_s > 40 \epsilon t_s$ se deben añadir soldaduras de botón o tornillos entre el refuerzo y el alma (detalles en la antigua instrucción EAE)



Refuerzo del alma del poste mediante chapa lateral (2)

Comprobación R4: resistencia a cortante del alma del poste reforzada con chapa lateral

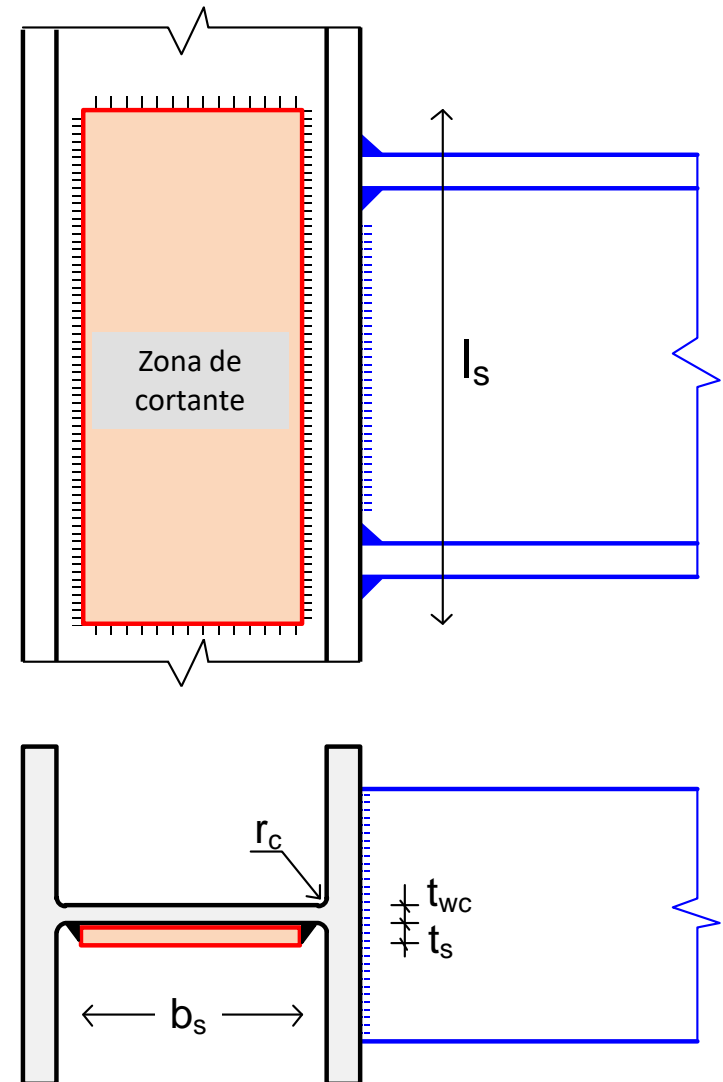
En las condiciones anteriores, el área a cortante A_{vc} puede aumentarse:

- Si se añade una chapa de espesor t_s :

$$A_{vc}^{ref} = A_{vc} + b_s t_{wc}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc}^{ref} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

- Si se añade otra chapa por el otro lado, no se puede aumentar más el área de cortante A_{vc} .



Refuerzo del alma del poste mediante chapa lateral (3)

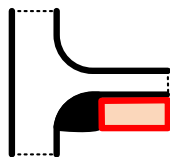
Aumento de la resistencia de la zona de tracción (R2) del alma del poste por la presencia de la chapa de refuerzo lateral del alma.

En presencia de chapa de refuerzo de alma, la resistencia a tracción depende de la garganta de las soldaduras longitudinales que conectan la chapa de refuerzo al alma. Se puede aumentar el espesor del alma:

a. Soldaduras longitudinales a tope, penetración total, con $a \geq t_s$

a.1. Una chapa de refuerzo $t_{wc,eff} = 1.5 t_{wc}$

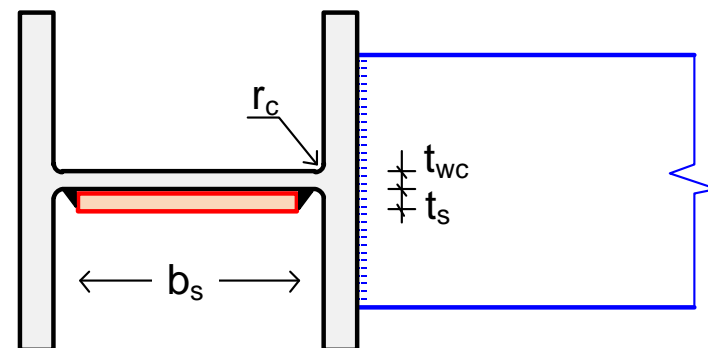
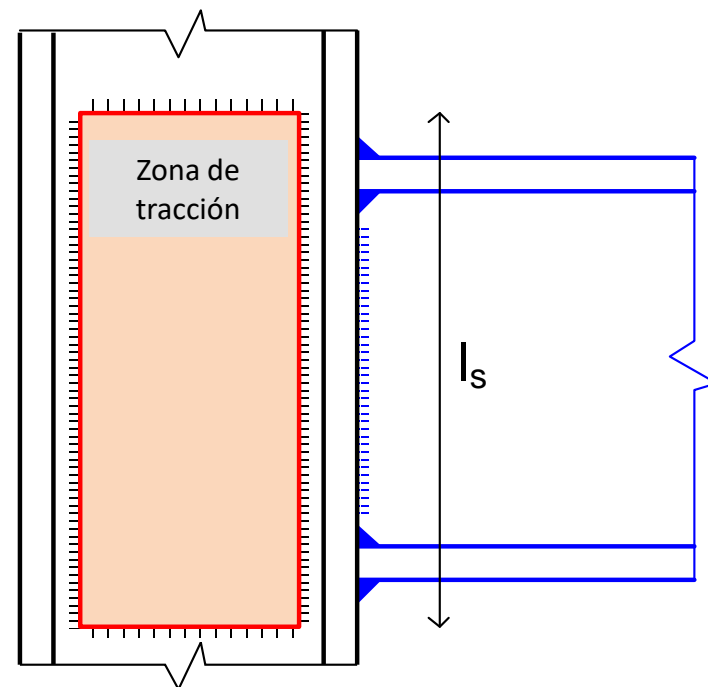
a.2. Dos chapas de refuerzo $t_{wc,eff} = 2.0 t_{wc}$



b. Soldaduras longitudinales en ángulo, con $a \geq t_s/\sqrt{2}$, para una o dos chapas de refuerzo

b.1. Aceros S235 a S355 $t_{wc,eff} = 1.4 t_{wc}$

b.2. Aceros S420, S460 $t_{wc,eff} = 1.3 t_{wc}$



Refuerzo del alma del poste mediante chapa lateral (4)

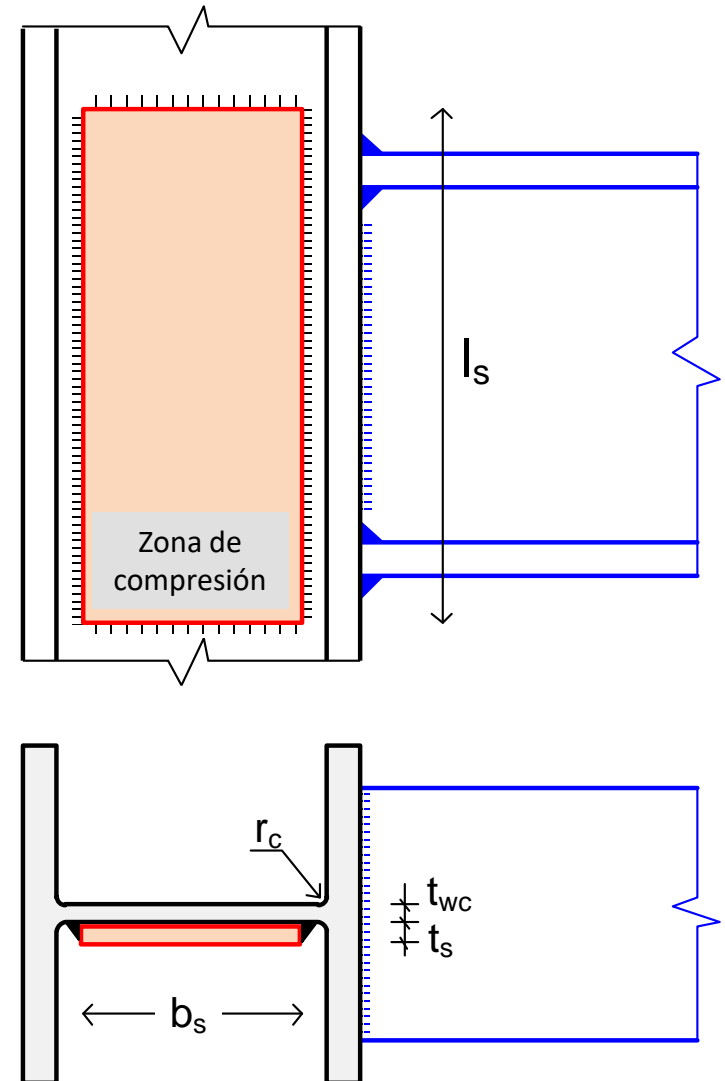
Aumento de la resistencia de la zona de compresión (R3) del alma del poste por la presencia de la chapa de refuerzo lateral del alma.

Se puede aumentar el espesor del alma:

a.1. Una chapa de refuerzo $t_{wc,eff} = 1.5 t_{wc}$

a.2. Dos chapas de refuerzo $t_{wc,eff} = 2.0 t_{wc}$

Al calcular el coeficiente de interacción con el cortante ω , el área a cortante puede incrementarse sólo hasta A_{vc}^{ref} (ver R4)



Refuerzo del alma del poste mediante refuerzos oblicuos (1)

Chapas de refuerzos oblicuas de longitud d

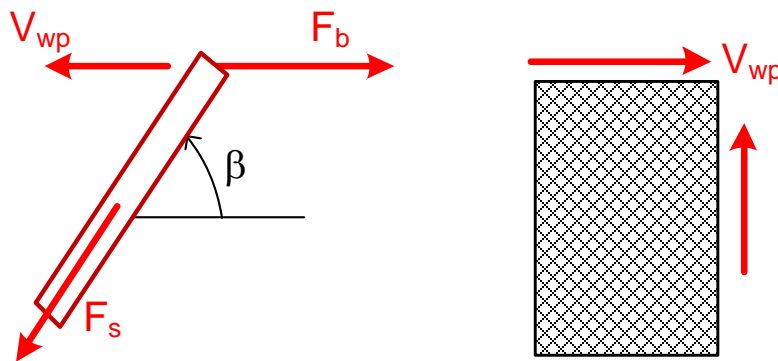
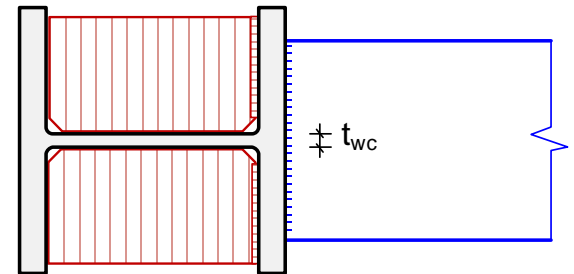
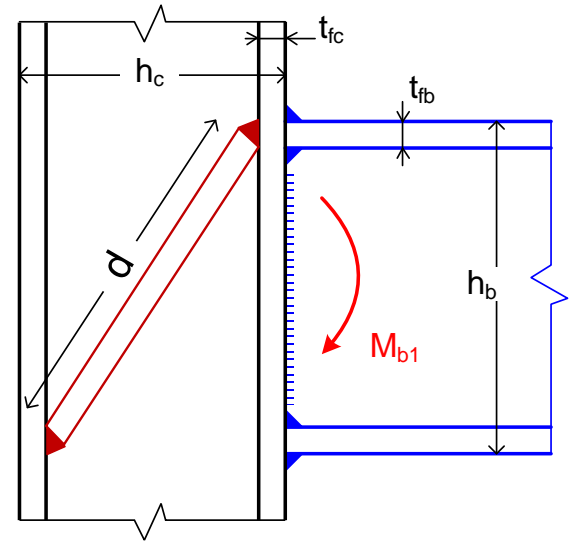
Equilibrio horizontal $F_b - V_{wp} = F_s \cos \beta$

Fuerza entre alas de las vigas:

$$F_b = \frac{M_{b1} - M_{b2}}{h_b - t_{fb}}$$

Cortante máximo en el alma del poste:

$$V_{wp} = \frac{t_{wc} (h_c - 2 t_{fc}) f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$



$$\cos \beta = \frac{h_c - 2 t_{fc}}{d}$$

Refuerzo del alma del poste mediante refuerzos oblicuos (2)

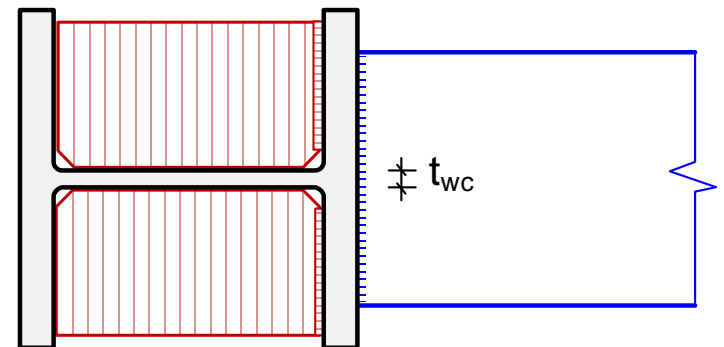
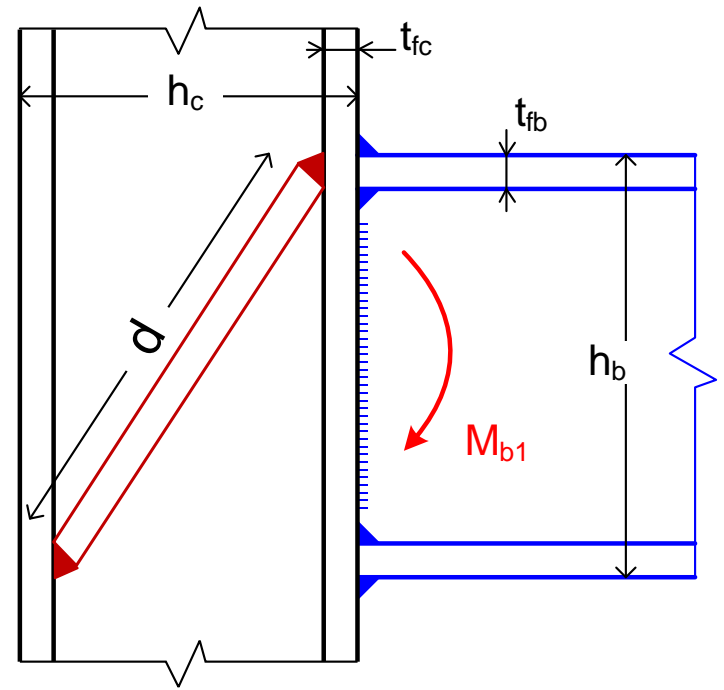
Mismo material que el poste.

Resistencia:
$$F_S = A_S \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Sustituyendo F_S en la ecuación de equilibrio se obtiene A_S

Área de los refuerzos necesarios:

$$A_S = \frac{d}{\sqrt{3}} \left[\frac{\sqrt{3} (M_{b1} - M_{b2}) \gamma_{M0}}{(h_b - t_{fb}) (h_c - 2 t_{fc}) f_{y,wc}} - t_{wc} \right]$$





Uniones atornilladas

Comportamiento básico

EN 1993-1-8 §3
Código Estructural Anejo 26

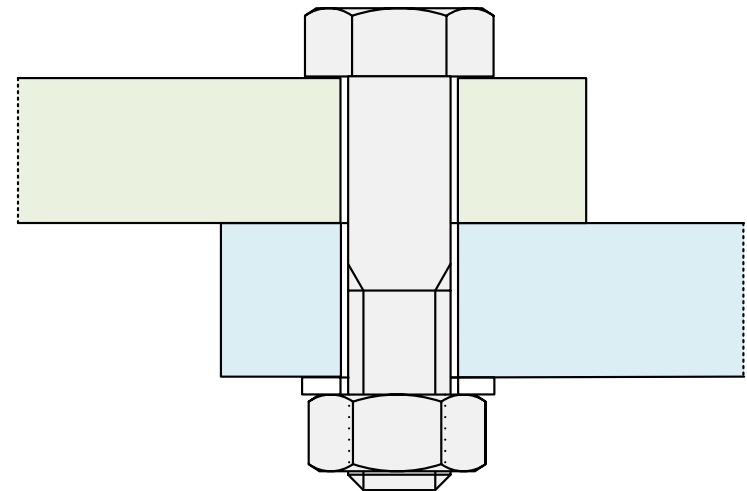
Calidades de material para tornillos

	Ordinarios			Alta resistencia	
Grado	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (MPa)	240	300	480	640	900
f_{ub} (MPa)	400	500	600	800	1000

Grado X.Y {

Carga de rotura
 $f_{ub} = X \times 100$

Límite elástico
 $f_{yb} = f_{ub} \times \frac{Y}{10}$

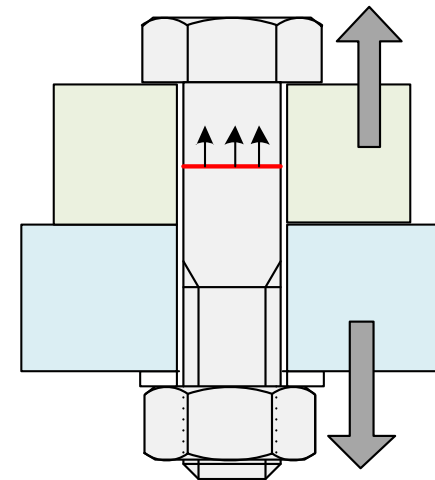
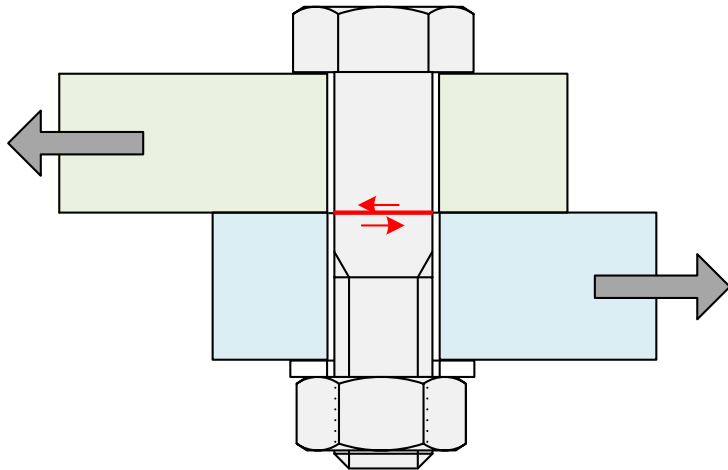


Tornillos ordinarios (T)

Destinados a trabajar a esfuerzo cortante y/o axial

Sin pretensado previo

Pueden usarse también calidades 8.8 y 10.9 sin pretensar.



CTE: en agujeros redondos, en principio no es necesaria arandela, pero ésta protege el recubrimiento

Uniones en solape, con una fila de tornillos: se debe incluir arandela en tornillo y tuerca, y con calidades 8.8 y 10.9, se deben emplear arandelas templadas

Tornillos de alta resistencia pretensados (TR)

Sólo grados 8.8 y 10.9

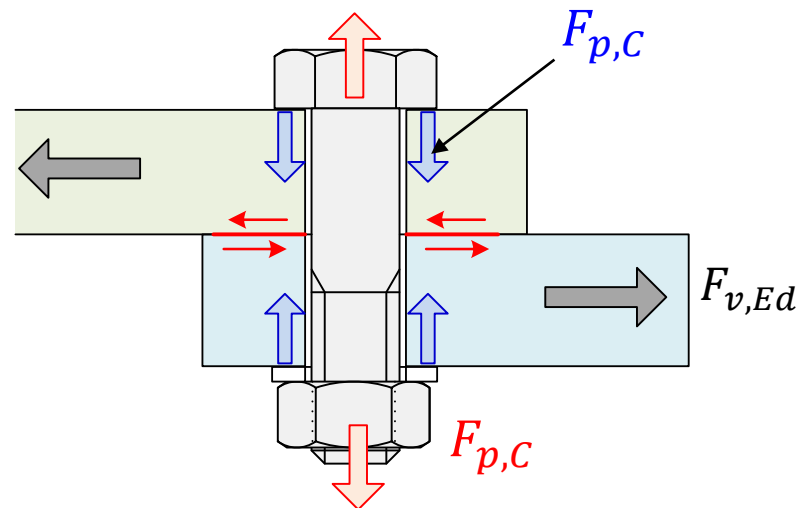
Son sometidos a un gran esfuerzo de pretensión inicial $F_{p,C}$.

El tornillo trabaja a esfuerzo axial.

El esfuerzo transversal se transmite entre las piezas unidas **por rozamiento** entre ellas, debido al apriete a que las someten los tornillos.

Mejor distribución de tensiones en las piezas unidas

Menor deformación: mayor rigidez de la unión



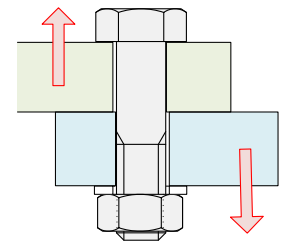
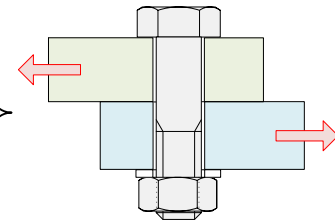
Colocar arandela en la parte que gira al apretar
CTE: en ambos, para 10.9

El par de apriete a aplicar se puede calcular como: $M_t = 0.18 d F_{p,C}$

Categorías de uniones atornilladas - Resumen

EN 1993-1-8 §3.4

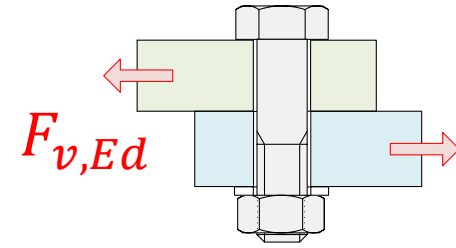
Cat.	Esfuerzo	Tipo
A	Cortante	T o TR sin pretensar. Resistentes a <u>cortante</u> y al <u>aplastamiento</u> en ELU y ELS
B	Cortante	TR pretensados. Resistentes al <u>deslizamiento en ELS</u> y al <u>aplastamiento</u> y a <u>cortante en ELU</u>
C	Cortante	TR pretensados. Resistentes al <u>deslizamiento en ELU</u> y también al <u>aplastamiento en ELU</u>
D ⁽¹⁾	Tracción	T o TR <u>sin pretensar</u> . Resistentes a <u>tracción</u> y a <u>punzonamiento</u> en ELU
E	Tracción	<u>TR Pretensados</u> (TR 8.8 y 10.9) Resistentes a <u>tracción</u> y a <u>punzonamiento</u> en ELU



(1) No debe usarse con cargas variables frecuentemente, salvo si son de viento

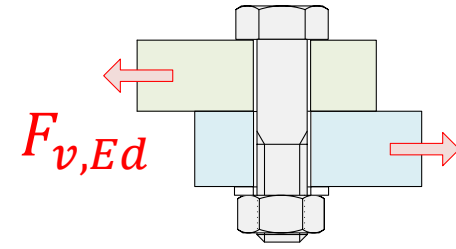
Categorías de uniones atornilladas con fuerza normal a su eje (cortante)

EN 1993-1-8 Tabla 3.2



Cat.	Esfuerzo	Tipo	ELS	ELU
A	Cortante	T o TR	Ídem a ELU	Resistentes a <u>cortante y aplastamiento</u> $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ TR no es necesario que estén pretensados ni superficie preparada
B	Cortante	TR	<u>Resistentes al deslizamiento en ELS</u> : por rozamiento. Superficies preparadas $F_{v,Ed,ELS} \leq F_{s,Rd,ELS}$	Resistentes a <u>cortante y aplastamiento</u> $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ Con deslizamiento en ELU
C ⁽³⁾	Cortante	TR	Ídem a B	<u>Resistentes al deslizamiento en ELU</u> (por rozamiento) y resistentes al <u>aplastamiento en ELU</u> $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ Además se debe cumplir (1) en ELU

Categorías de uniones atornilladas con fuerza normal a su eje (cortante)



Notas a las categorías A, B y C:

(1) Categoría C: Para una unión a tracción, se debe comprobar en ELU la resistencia plástica del área neta ($N_{net,Rd}$) de la pieza en la zona de agujeros de los tornillos:

$$\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd} = A_{net} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

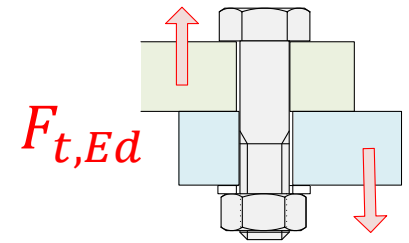
(2) Categorías A y B: Para una unión a tracción, se debe comprobar la resistencia ($N_{t,Rd}$) de la pieza en la zona de tornillos:

$$\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}, N_{u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}})$$

(3) Emplear categoría C cuando, para facilitar el montaje, se utilicen taladros a sobremedida o rasgados en dirección de la fuerza

Categorías de uniones atornilladas con fuerza según su eje (tracción)

EN 1993-1-8 Tabla 3.2



Cat.	Esfuerzo	Tipo	ELS	ELU
D	Tracción	T o TR	Ídem a ELU	<p>Tornillos resisten a <u>tracción</u> Comprobar también a <u>punzonamiento</u></p> $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} \quad F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ <p>TR no es necesario que estén pretensados, ni superficies preparadas.</p> <p>No recomendada para cargas variables frecuentemente, salvo si es viento.</p>
E	Tracción	TR	Ídem a ELU	<p>Tornillos alta resistencia TR (8.8 y 10.9) pretensados</p> <p>Tornillos trabajan a <u>tracción</u> Comprobar también a <u>punzonamiento</u></p> $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} \quad F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ <p>Preparación de superficies sólo si además hay fuerza transversal.</p> <p>Recomendada si hay cargas variables</p>

Diámetros de agujeros de tornillos d_0

Agujeros estándar:

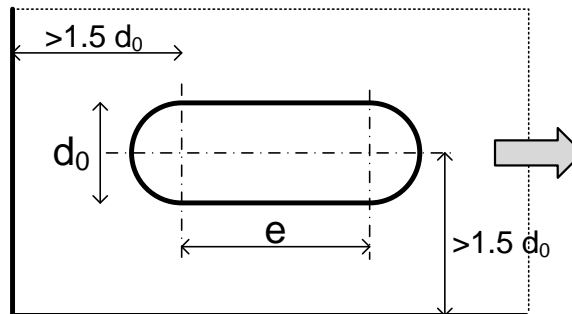
ϕ tornillo (d)	12 y 14	16 a 24	≥ 27
ϕ agujero (d_0)	$d + 1$ mm	$d + 2$ mm	$d + 3$ mm

Agujeros a sobremedida. Facilitar el montaje. Uniones pretensadas

ϕ tornillo (d)	12	14 a 22	24	≥ 27
ϕ agujero (d_0)	$d + 3$ mm	$d + 4$ mm	$d + 6$ mm	$d + 8$ mm

Agujeros rasgados

ϕ tornillo (d)	12 o 14	16 a 22	24	≥ 27
e	$d + 4$ mm	$d + 6$ mm	$d + 8$ mm	$d + 10$ mm



Disposiciones constructivas de tornillos

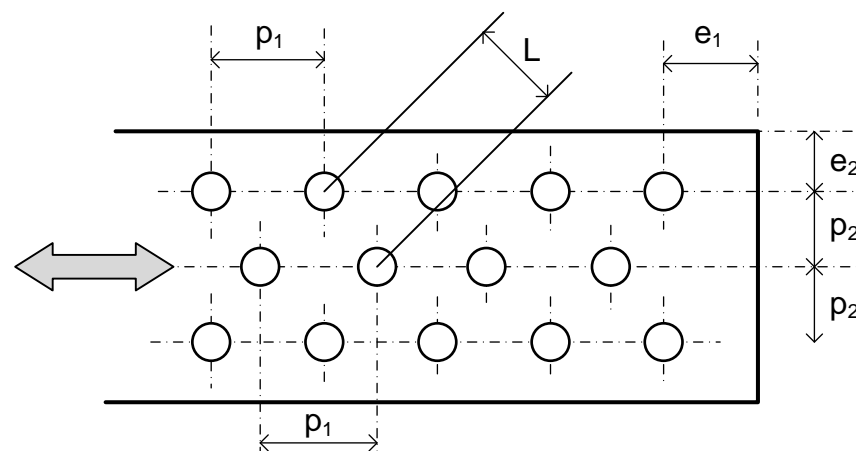
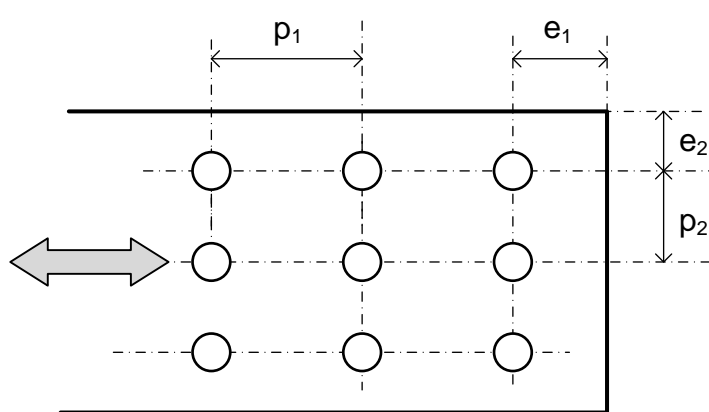
Tabla 3.3 EN 1993-1-8

Tabla 3.2 Anejo 26

	Mínimo	Máximo		
		Acero expuesto a las inclemencias meteorológicas o a ambiente corrosivo, salvo tipo W	Acero no expuesto a las inclemencias meteorológicas o a ambiente corrosivo, salvo tipo W	Acero con resistencia mejorada a la corrosión (W) EN 10025-5 Sin proteger
e_1	$1.2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$	Ilimitado, salvo en elementos a compresión: usar $4 t + 40 \text{ mm}$	$\max(8 t, 125 \text{ mm})$
e_2	$1.2 d_0$	$4 t + 40 \text{ mm}$		$\max(8 t, 125 \text{ mm})$
p_1	$2.2 d_0$	$\min(14 t, 200 \text{ mm})$	$\min(14 t, 200 \text{ mm})$	$\min(14 t_{min}, 175)$
$p_2^{(1)}$	$2.4 d_0$	$\min(14 t, 200 \text{ mm})$	$\min(14 t, 200 \text{ mm})$	$\min(14 t_{min}, 175)$

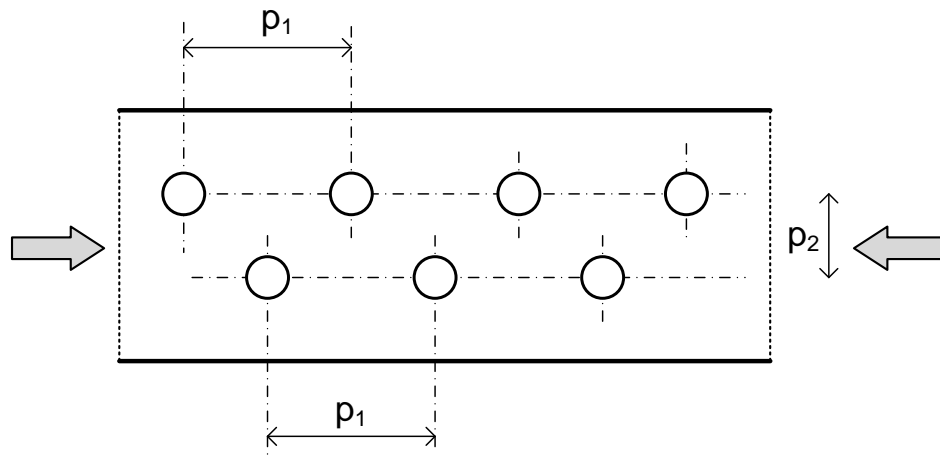
(1) En disposiciones al tresbolillo, puede usarse $p_2 = 1.2 d_0$ si se cumple $L \geq 2.4 d_0$

d_0 : diámetro del agujero t : espesor de la pieza más delgada



Disposiciones constructivas de tornillos (cont.)

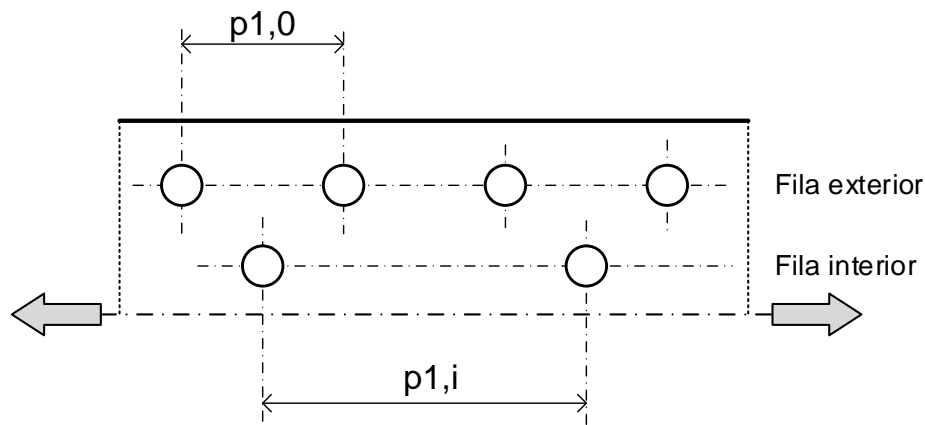
Tornillos al tresbolillo en elementos a compresión



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

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

Tornillos al tresbolillo en elementos a tracción



$$p_{1,0} \leq \min(14 t, 200 \text{ mm})$$

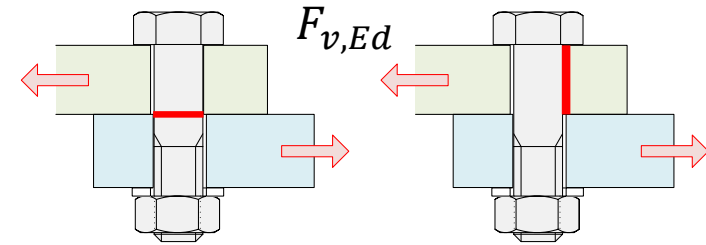
$$p_{1,i} \leq \min(28 t, 400 \text{ mm})$$

Modos de fallo de una unión con tornillo. Resumen

- Tornillo sometido a fuerza transversal

Fallo por **cortadura** del núcleo del tornillo

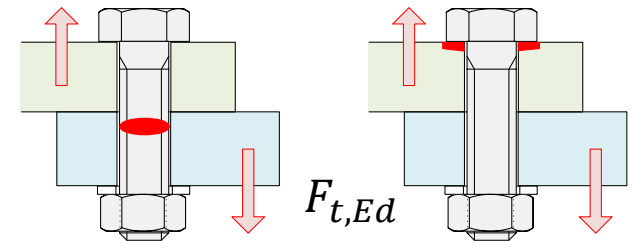
Fallo por **aplastamiento** de la chapa en contacto lateral con el tornillo



- Tornillo sometido a fuerza axial

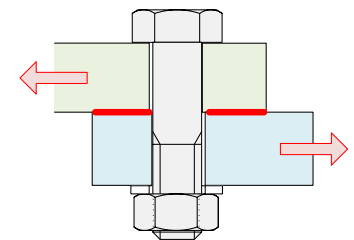
Fallo por esfuerzo **axial** en el tornillo

Fallo por **punzonamiento** de la chapa en contacto con la cabeza del tornillo

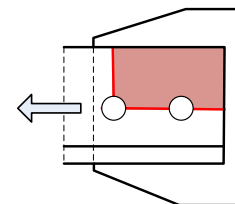


- Tornillo pretensado sometido a fuerza transversal

Fallo por **deslizamiento** de las chapas unidas



- Rotura de las chapas taladradas (desgarro de las almas)

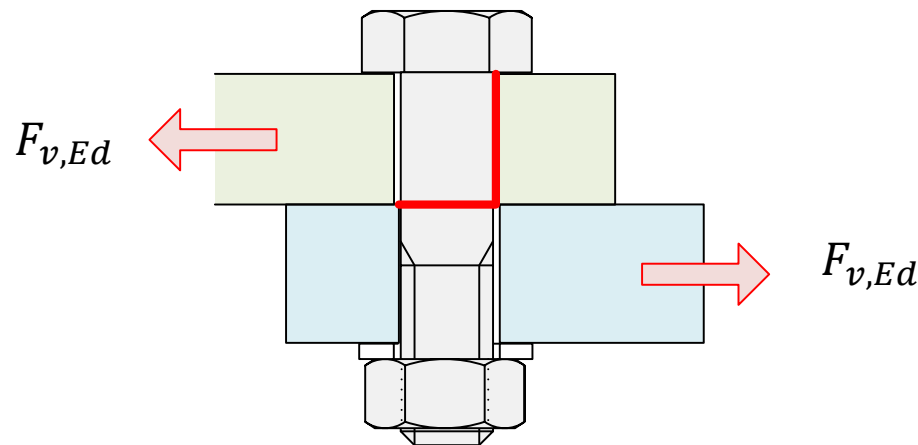


Tornillos sometidos a fuerza transversal

EN 1993-1-8 §3.6.1

Comprobación de la resistencia de un tornillo sometido a fuerza transversal, en ELU:

- Resistencia a **cortadura** del núcleo del tornillo
- Resistencia a **aplastamiento** de la chapa en contacto lateral con el tornillo



$F_{v,Ed}$ Valor de cálculo de la fuerza transversal que solicita al tornillo

Tornillo cargado en dirección perpendicular a su eje en ELU

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$F_{v,Ed}$ Valor de cálculo de la fuerza transversal que solicita al tornillo

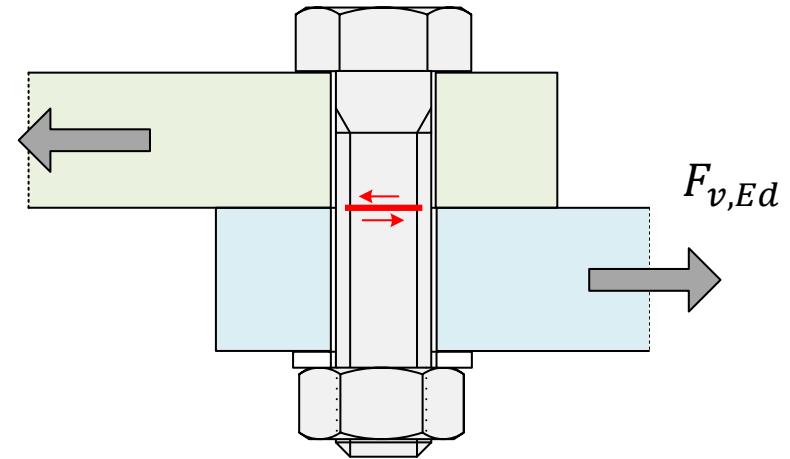
$F_{v,Rd}$ Resistencia a cortante del tornillo

- Algun plano de corte en zona con rosca

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} n_{pc}$$

- Todos los planos de corte en zona sin rosca

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} n_{pc}$$



$\alpha_v = 0.6$ Calidad 5.6 y 8.8

$\alpha_v = 0.5$ Calidad 6.8 y 10.9

A_s Área resistente

n_{pc} : número de planos de corte

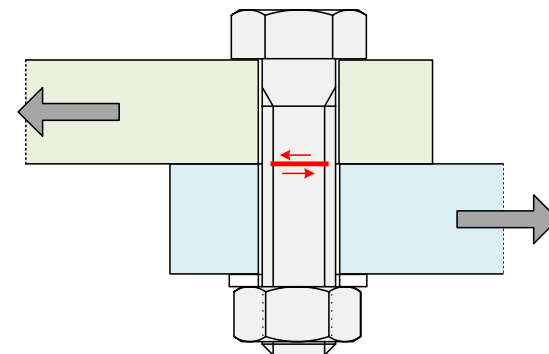
A : Área del vástago

$\gamma_{M2} = 1.25$ Coef. minoración

Resistencia a cortante de un tornillo $F_{v,Rd}$ (kN)

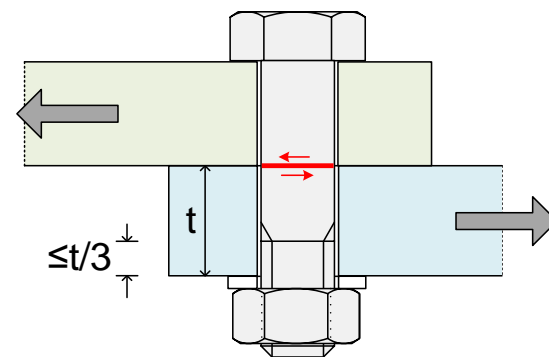
Un plano de corte en **zona con rosca** $n_{pc} = 1$

d (mm)	A_s (mm ²)	8.8	10.9
12	84.3	32.37	33.72
16	157	60.29	62.80
20	245	94.08	98.00
22	303	116.35	121.20
24	353	135.55	141.20
27	459	176.26	183.60
30	561	215.42	224.40



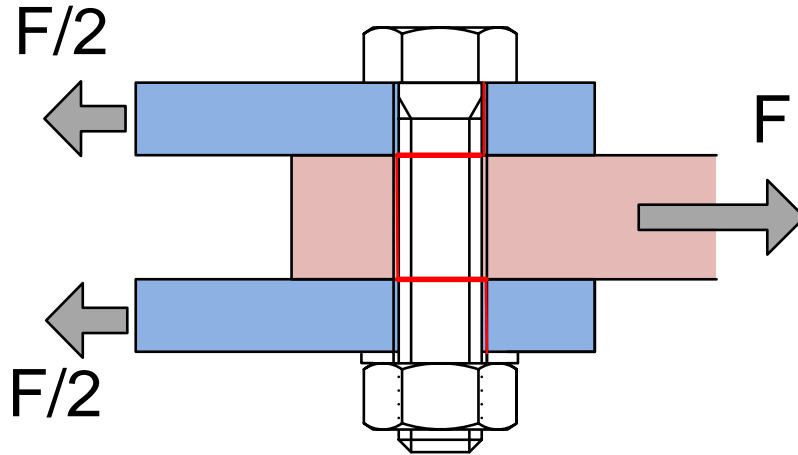
Un plano de corte en **zona sin rosca** $n_{pc} = 1$

d (mm)	A (mm ²)	8.8	10.9
12	113	43.43	54.29
16	201	77.21	96.51
20	314	120.64	150.80
22	380	145.97	182.46
24	452	173.72	217.15
27	572	219.86	274.83
30	706	271.43	339.29

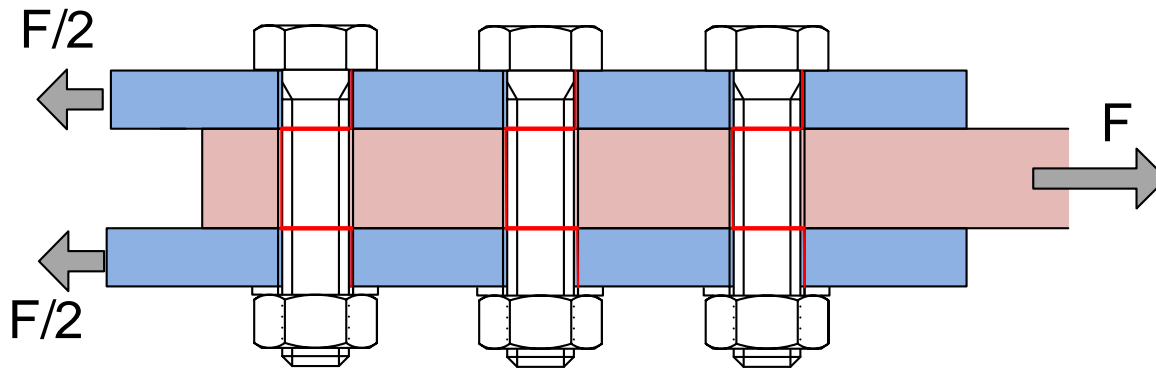


Coincidencia de zona
roscada con la chapa $\leq t/3$

Dos planos de corte $n_{pc} = 2$



$$F_{Ed} \leq \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} 2$$



Cada tornillo transmite $\frac{F}{n_{tor}}$

$$n_{tor} = 3$$

$$\frac{F_{Ed}}{n_{tor}} \leq \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} 2$$

Tornillo (diámetro d) cargado en dirección perpendicular a su eje en ELU. Contacta lateralmente con una chapa (espesor t), que puede aplastarse.

$F_{b,Rd}$ Resistencia a aplastamiento de la chapa

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

f_u carga de rotura de la chapa

t espesor de la chapa

$k_1 \alpha_b$: factores en dirección de la carga (α_b) o perpendicular a ella (k_1)

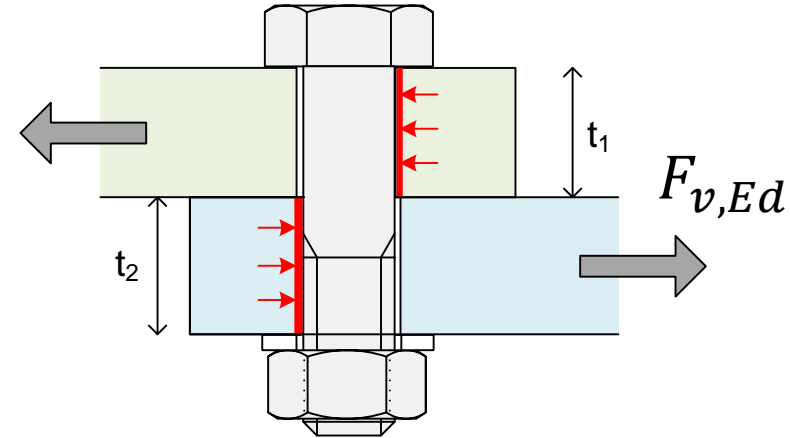
Agujeros con holgura: multiplicar $F_{b,Rd}$ por 0.8

Agujeros rasgados perpendiculares a la fuerza: multiplicar $F_{b,Rd}$ por 0.6

Uniones de solape único con una fila de tornillos:
colocar arandelas bajo tornillo y tuerca y usar:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1.5 f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Grupos de tornillos: ver 3.7 (1)



Coeficientes de resistencia al aplastamiento de la chapa contra el tornillo

En la dirección de la carga α_b :

Tornillos de extremo:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0\right)$$

Tornillos interiores:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0\right)$$

En dirección perpendicular a la carga k_1 :

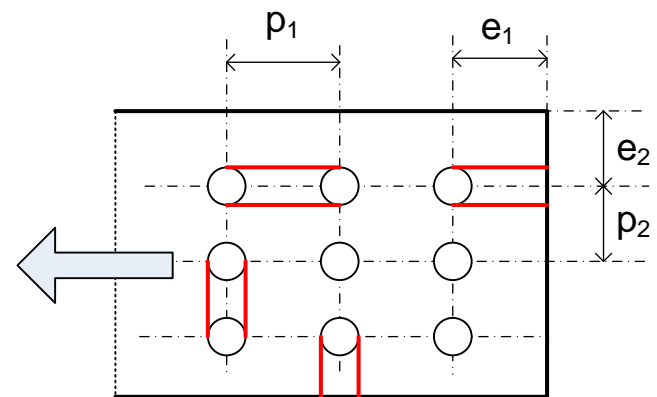
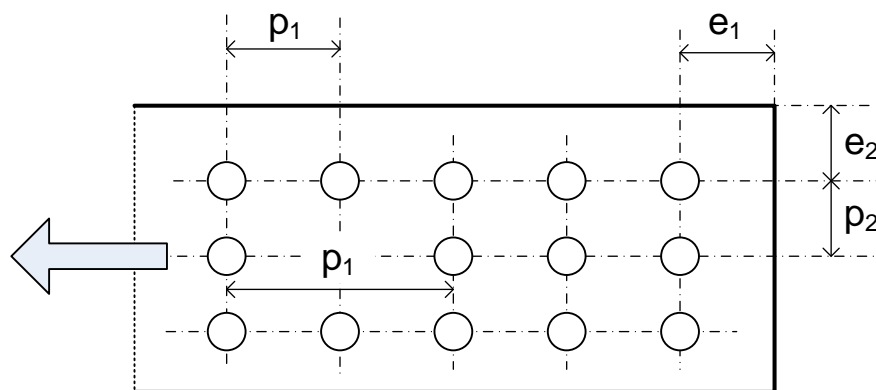
Tornillos de borde:

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Tornillos interiores:

$$k_1 = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Si la carga no es paralela al borde, verificar por separado sus dos componentes, paralela y perpendicular al borde (Tabla 3.4 (3))



Resistencia al aplastamiento de grupos EN 1993-1-8 §3.7

- Si la resistencia a cortante individual es superior a la resistencia a aplastamiento individual

$$F_{v,Rd} > F_{b,Rd}$$

La resistencia de cálculo a aplastamiento de un grupo puede tomarse como la suma de la resistencia de cada tornillo:

$$F_{b,Rd,grupo} = \sum_i F_{b,Rd,i}$$

Esto permite distinguir entre tornillos interiores y de extremo.

Tornillos de extremo pueden ser menos resistentes si e_1 es pequeño.

- Si no se cumple: tomar la resistencia mínima para todos los tornillos (normalmente la de los tornillos de extremo)

$$F_{v,Rd} < F_{b,Rd} \longrightarrow F_{b,Rd,grupo} = n_{tor} \min(F_{b,Rd,i})$$

- Criterio conservador : tomar la resistencia mínima para todos los tornillos (normalmente la de los tornillos de extremo)

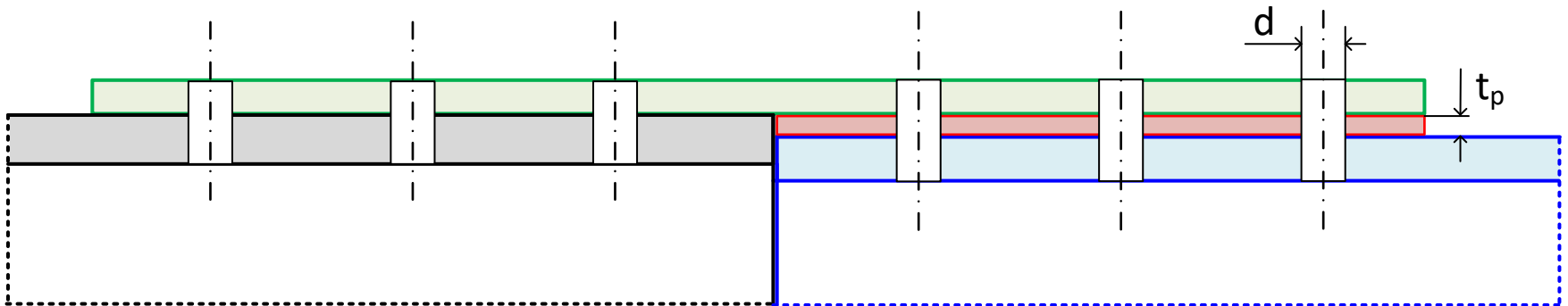
Tornillo a cortante que atraviesa una chapa de forro

EN 1993-1-8 §3.6.1 (12)

Cuando un tornillo sometido a fuerza cortante y a aplastamiento pase a través de una chapa de forro de espesor t_p mayor que $1/3$ del diámetro nominal d , la resistencia a cortante $F_{v,Rd}$ se debe reducir multiplicándola por un factor β_P :

$$\beta_P = \frac{9 d}{8 d + 3 t_p} \quad \text{con } \beta_P \leq 1$$

Para uniones a doble cortadura, con forros a ambos lados del empalme, t_p debería tomarse como el del forro de mayor espesor

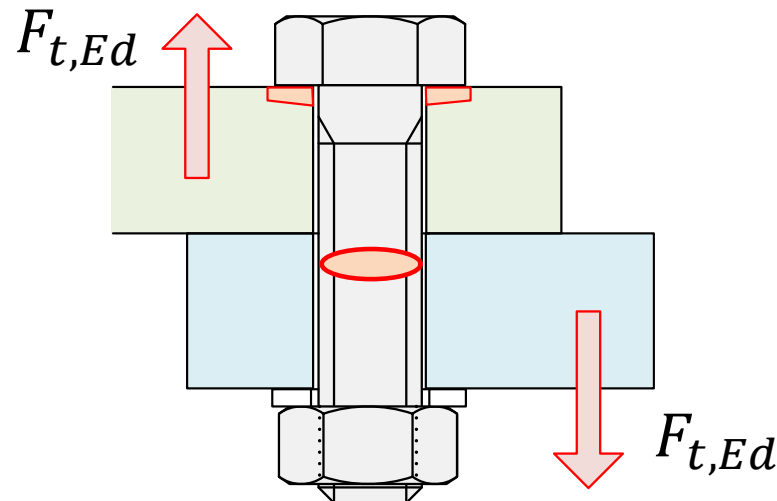


Tornillos sometidos a fuerza axial

EN 1993-1-8 §3.6.1

Comprobación de la resistencia de un tornillo sometido a fuerza axial, en ELU

- Resistencia a **tracción** del tornillo
- Resistencia a **punzonamiento** de la chapa en contacto con la cabeza del tornillo o la tuerca



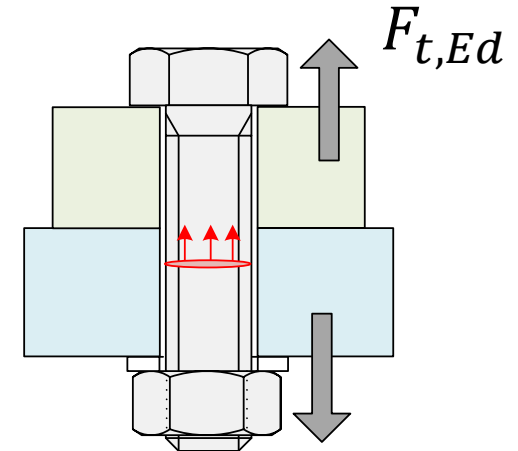
$F_{t,Ed}$ Fuerza de tracción que solicita al tornillo

Resistencia a tracción de un tornillo ordinario

EN 1993-1-8 §3.6.1

Tornillo cargado en dirección de su eje en ELU

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



Resistencia $F_{t,Rd}$ (kN)

d (mm)	A_s (mm ²)	8.8	10.9
12	84.3	48.56	60.70
16	157	90.43	113.04
20	245	141.12	176.40
22	303	174.53	218.16
24	353	203.33	254.16
27	456	262.66	328.30
30	561	323.14	403.92

$F_{t,Ed}$ Fuerza de tracción que solicita al tornillo (valor de cálculo)

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

A_s Área resistente a tracción

f_{ub} carga de rotura del tornillo

$\gamma_{M2} = 1.25$

Tornillos de cabeza avellanada:
sustituir 0.9 por 0.63

Resistencia a punzonamiento de una chapa

EN 1993-1-8 §3.6.1

Chapa de espesor t , sobre la que apoya un tornillo sometido a tracción

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t f_u}{\gamma_{M2}}$$

$F_{t,Ed}$ Fuerza de tracción que actúa sobre el tornillo
(valor de cálculo)

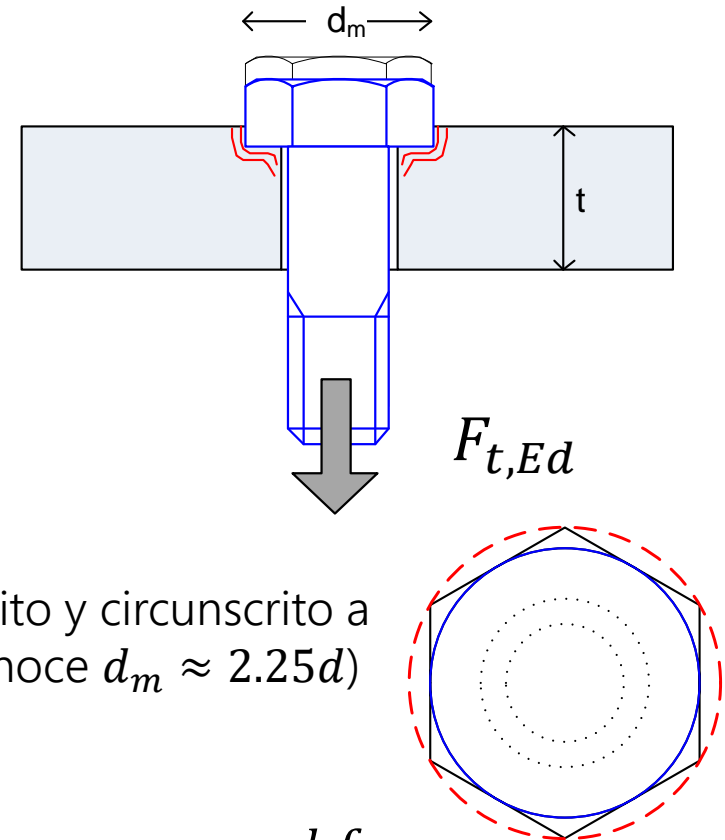
$B_{p,Rd}$ Resistencia a punzonamiento de la chapa

d_m Menor diámetro medio entre los círculos inscrito y circunscrito a la tuerca o a la cabeza del tornillo (si no se conoce $d_m \approx 2.25d$)

f_u Resistencia a la tracción de la chapa

Normalmente no es necesario comprobar si el espesor es: $t \geq \frac{d f_{ub}}{6 f_u}$

Se obtiene sustituyendo el valor de $F_{t,Ed}$ por la resistencia del tornillo a esfuerzo axial $F_{t,Rd}$, aproximando $d_m \approx 2.25 d$ y despejando t



Espesor mínimo de chapa para no tener que comprobar el punzonamiento

$$t \geq \frac{d f_{ub}}{6 f_u}$$

Espesor mínimo (mm)		S 275	S 355	S 420	S 460
		f_u (MPa)			
d (mm)	Clase	370	470	520	540
12	8.8	4.3	3.4	3.1	3.0
16		5.8	4.5	4.1	4.0
20		7.2	5.7	5.1	4.9
22		7.9	6.2	5.6	5.4
24		8.6	6.8	6.2	5.9
27		9.7	7.7	6.9	6.7
30		10.8	8.5	7.7	7.4
12	10.9	5.4	4.3	3.8	3.7
16		7.2	5.7	5.1	4.9
20		9.0	7.1	6.4	6.2
22		9.9	7.8	7.1	6.8
24		10.8	8.5	7.7	7.4
27		12.2	9.6	8.7	8.3
30		13.5	10.6	9.6	9.3

Resistencia de un tornillo a tracción y cortante

EN 1993-1-8 §3.6.1

Interacción de esfuerzos:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1$$

$F_{v,Ed}$ Esfuerzo cortante de cálculo

$F_{v,Rd}$ Resistencia a cortante

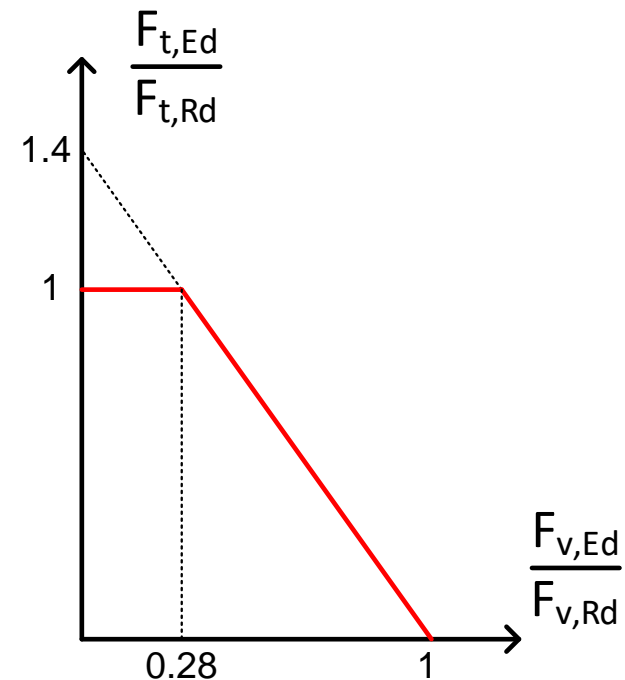
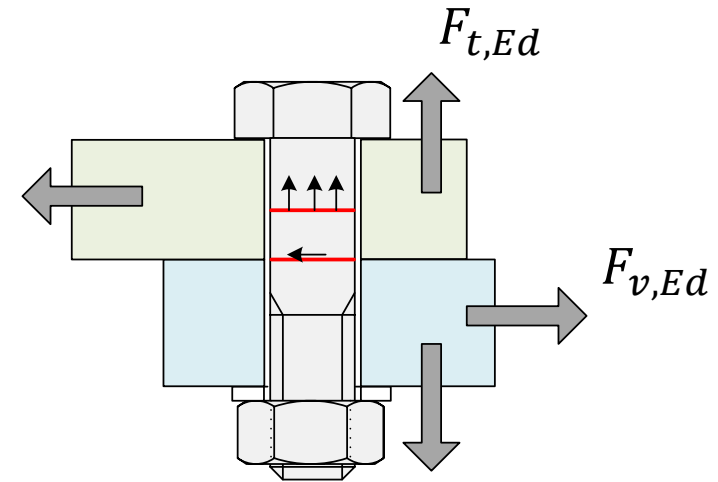
$F_{t,Ed}$ Fuerza de tracción de cálculo

$F_{t,Rd}$ Resistencia a tracción

Además se debe cumplir con la resistencia a tracción $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$

Un tornillo cargado con la máxima fuerza de tracción, puede soportar esfuerzo cortante, hasta un 28.6% de su resistencia

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 1 \longrightarrow F_{v,Ed} \leq 0.286 F_{v,Rd}$$





tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Tornillos de alta resistencia pretensados (TR)



Tornillo TR pretensado. Resistencia al deslizamiento de las chapas

EN 1993-1-8 §3.9

$$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

$F_{v,Ed}$ Valor de cálculo de la fuerza lateral que transmite el tornillo

$F_{s,Rd}$ Resistencia al deslizamiento del tornillo

k_s Factor de tipo de agujeros

n Número de planos de rozamiento (1 o 2)

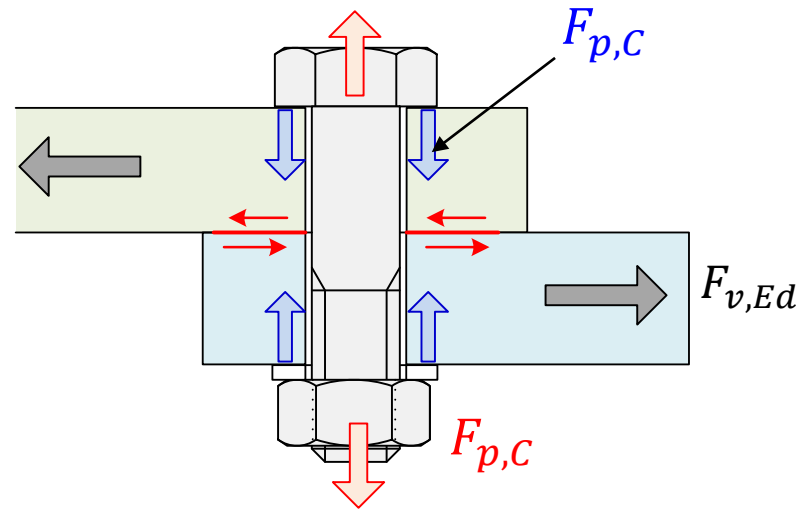
μ Coeficiente de rozamiento entre las chapas

γ_{M3} Coeficiente de minoración de resistencia al deslizamiento

$F_{p,C}$ Esfuerzo de pretensado en el tornillo

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_S$$

Es similar a la resistencia a esfuerzo axial $F_{t,Rd} = \frac{0.9}{1.25} f_{ub} A_S = 0.72 f_{ub} A_S$



Tornillo TR pretensado. Resistencia al deslizamiento de las chapas

μ Coeficiente de rozamiento entre las chapas:

Clase	μ	Tratamiento
A	0.5	Chorreado con granalla o arena (grado Sa 2 ½) si la unión se ejecuta inmediatamente, o chorreado con granalla o arena y proyección térmica posterior de aluminio
B	0.4	Chorreado con granalla o arena (grado Sa 2 ½) y pintadas con silicato de Zn, espesor 50 a 80 μm
C	0.3	Cepillado con cepillo de alambre
D	0.2	Superficie sin tratar o galvanizada

k_s Factor de tipo de agujeros

Tipo de agujero	k_s
Agujeros normalizados	1.0
Agujeros con holguras	0.85
Agujero rasgado corto en dirección perpendicular a la carga	0.85
Agujero rasgado largo en dirección perpendicular a la carga	0.70
Agujero rasgado corto en la dirección de la carga	0.76
Agujero rasgado largo en la dirección de la carga	0.63

γ_{M3} Coeficiente de minoración de resistencia al deslizamiento

γ_{M3}	Tipo de unión
1.10	Uniones de categoría B sin deslizamiento en ELS
1.25	Uniones de categoría C sin deslizamiento en ELU, o uniones a fatiga

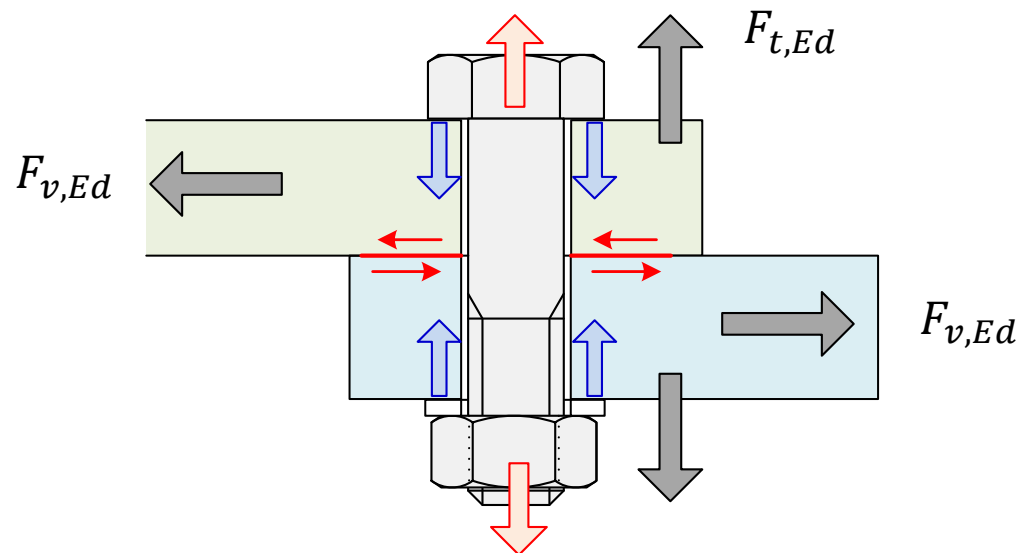
Tornillo TR pretensado.

Resistencia al deslizamiento con esfuerzo axial de tracción

Unión sometida a cortante $F_{v,Ed}$ y a un esfuerzo axial de tracción $F_{t,Ed}$

La resistencia al deslizamiento disminuye, pues disminuye la fuerza de compresión de las chapas

Comprobación:
$$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} (F_{p,C} - 0.8 F_{t,Ed})$$



Tornillos pretensados. Comportamiento (1)

b : tornillo a : acero k_b : rigidez tornillo k_a : rigidez acero

$$k_a \gg k_b$$

- Se aplica al tornillo la pretensión de tracción: $N_0 (> 0)$

$$k_a \approx 10 k_b$$

Esto produce una compresión igual en el acero: $-N_0$

$$N_0 = k_b \Delta_{0b} = -k_a \Delta_{0a} \quad \Delta_{0a} = -\frac{k_b}{k_a} \Delta_{0b} = -\frac{N_0}{k_a}$$

El acero se comprime inicialmente un poco

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ecuación de comportamiento del tornillo:} \quad N_b = k_b \Delta + N_0 \\ \text{Ecuación de comportamiento del acero:} \quad N_a = k_a \Delta + (-N_0) \end{array} \right.$$

- Se aplica fuerza exterior F , soportada por tornillo y acero:

$$F = N_a + N_b = k_a \Delta - N_0 + k_b \Delta + N_0 = (k_a + k_b) \Delta$$

La rigidez de la unión es $(k_a + k_b)$, mucho mayor que sin pretensión (sólo k_b)

Tornillos pretensados. Comportamiento (2)

- Fuerza final en el tornillo:

$$N_b = k_b \frac{F}{k_a + k_b} + N_0 = \frac{k_b/k_a}{1 + k_b/k_a} F + N_0 \approx \frac{k_b}{k_a} F + N_0$$

Aumenta muy poco respecto de la fuerza de pretensión inicial, pues el primer sumando es muy pequeño ($\frac{k_b}{k_a} \approx 0.1$). El tornillo se carga muy poco más al aplicar la fuerza exterior

- Fuerza final en el acero:

$$N_a = k_a \frac{F}{k_a + k_b} - N_0 = \frac{1}{1 + k_b/k_a} F - N_0 \approx F - N_0$$

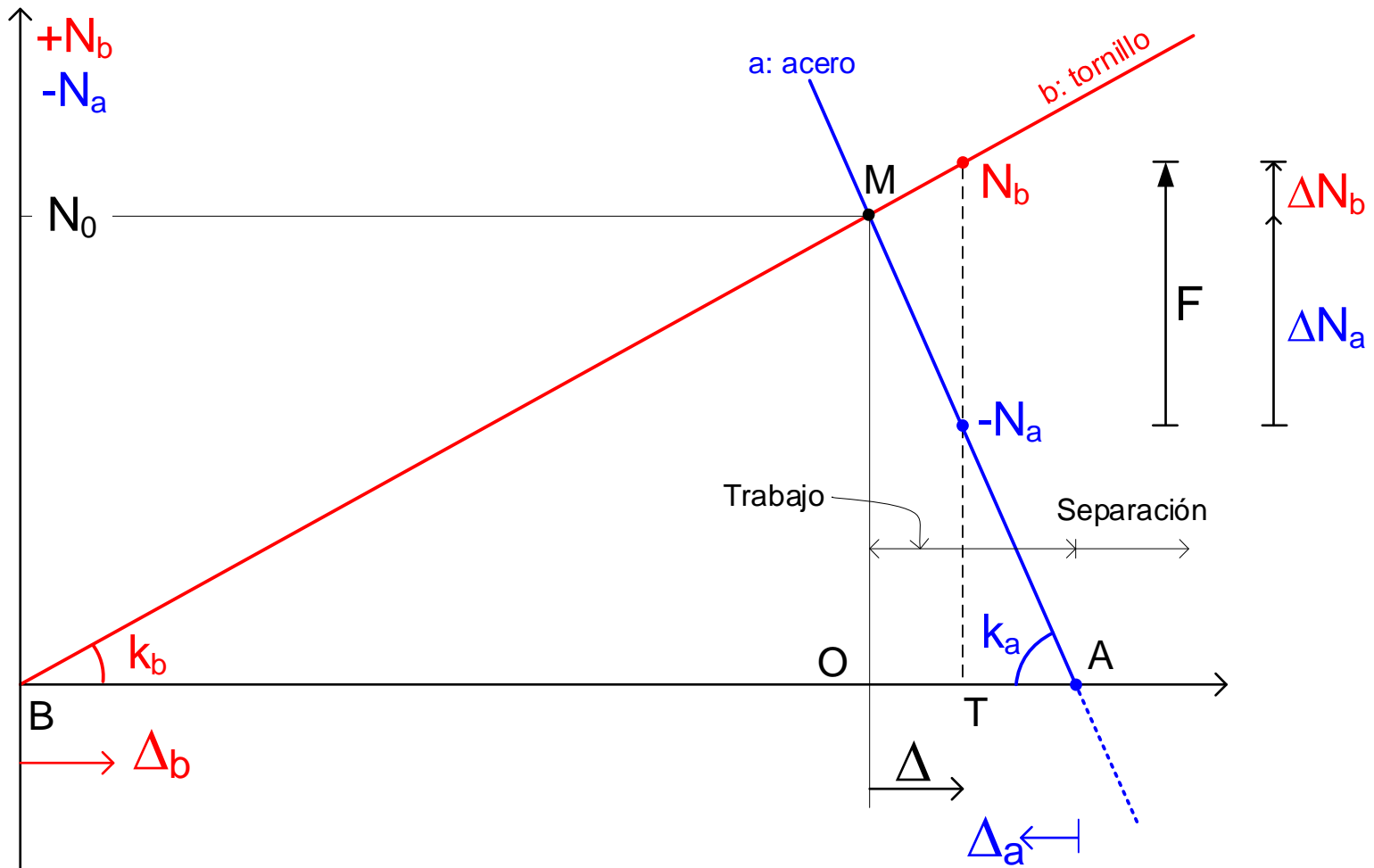
El acero disminuye mucho su compresión inicial, y absorbe casi toda la fuerza F

- Separación de las chapas unidas: se produce cuando $N_a = 0$

$$N_a = 0 \quad \rightarrow \quad F_{sep} = N_0$$

La máxima fuerza exterior F sin que se separen las chapas es la fuerza de pretensión

Tornillos pretensados. Ley fuerza - deformación



BO: alargamiento inicial tornillo Δ_{0b}

AO: compresión inicial acero Δ_{0a}

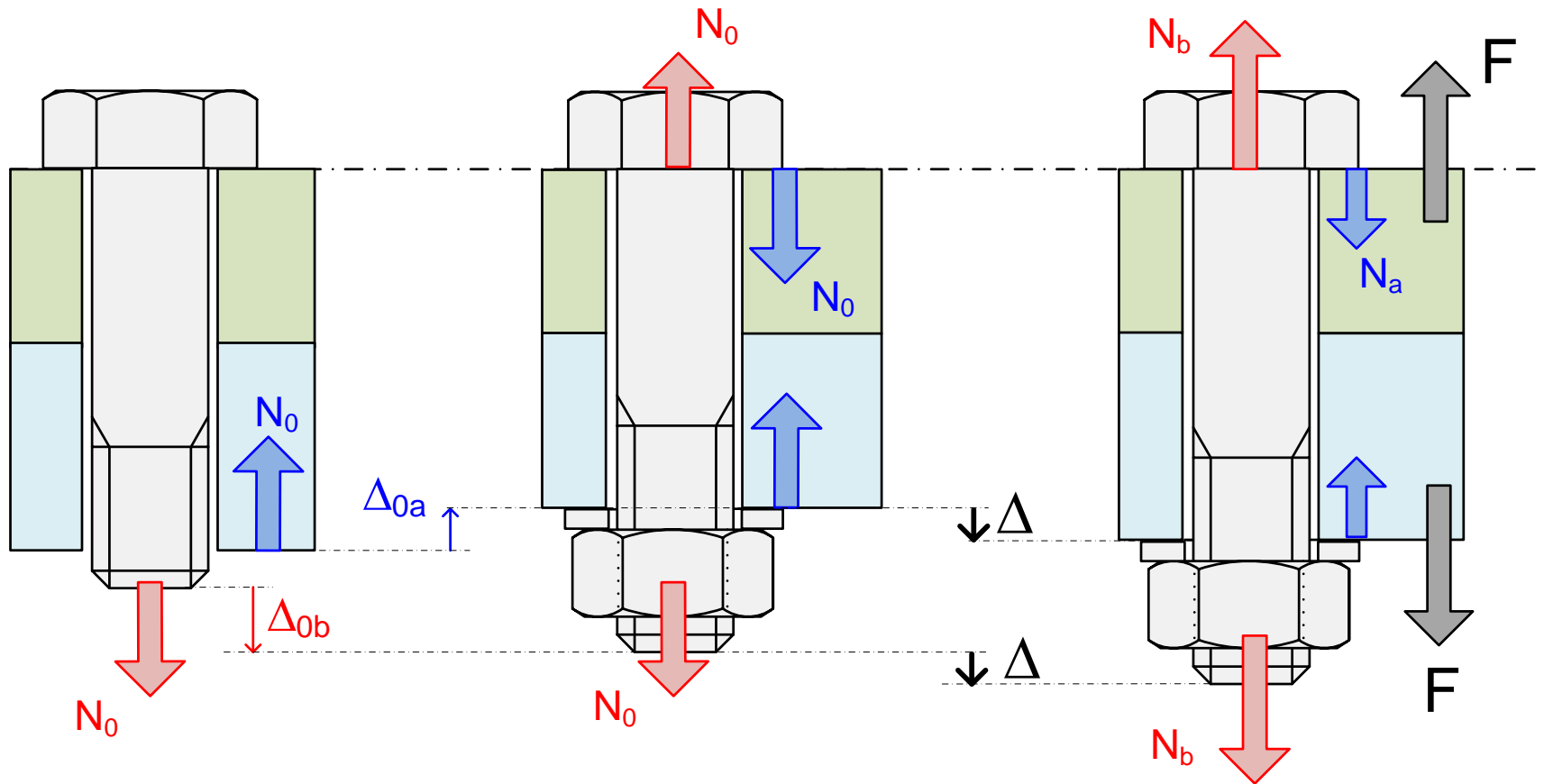
M: situación de montaje pretensado

F: fuerza exterior aplicada

AO: zona útil de trabajo

OT: deformación activa bajo la fuerza F

Tornillos pretensados. Estados de montaje y funcionamiento



Pretensado inicial

$$\Delta_{0a} = \frac{k_b}{k_a} \Delta_{0b} \approx \frac{\Delta_{0b}}{10}$$

Montaje pretensado
Sin carga

$$N_b = N_0$$

$$N_a = -N_0$$

Trabajo

$$N_b \approx N_0 + \frac{F}{10}$$

$$N_a \approx -N_0 + F$$

Tornillo de alta resistencia TR pretensado sometido a tracción

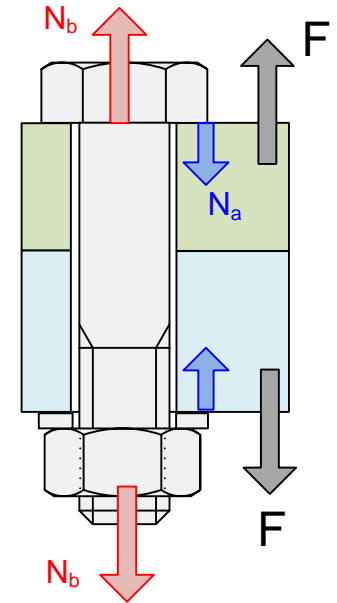
Al aplicar una fuerza de tracción F , el tornillo se alarga Δ y el acero disminuye su deformación de compresión en Δ

La fuerza en el tornillo aumenta en $\Delta N_b = k_b \Delta$

La fuerza en el acero disminuye en $\Delta N_a = k_a \Delta$

Como $k_b \ll k_a \rightarrow \Delta N_b \ll \Delta N_a$

El aumento en la fuerza en el tornillo es mucho menor que la disminución de la fuerza en el acero



La fuerza de tracción es soportada en su mayoría por disminución de la fuerza de compresión en el acero

La separación se produce para una fuerza F mayor que la pretensión

Se adopta como **resistencia a tracción**, el valor de la fuerza de pretensión, que es muy similar a la resistencia a axial

Pretensión $F_{p,c} = 0.7 f_{ub} A_S$

Resistencia axial $F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_S}{\gamma_{M2}} = 0.72 f_{ub} A_S$

Tornillos pretensados. Rigidez

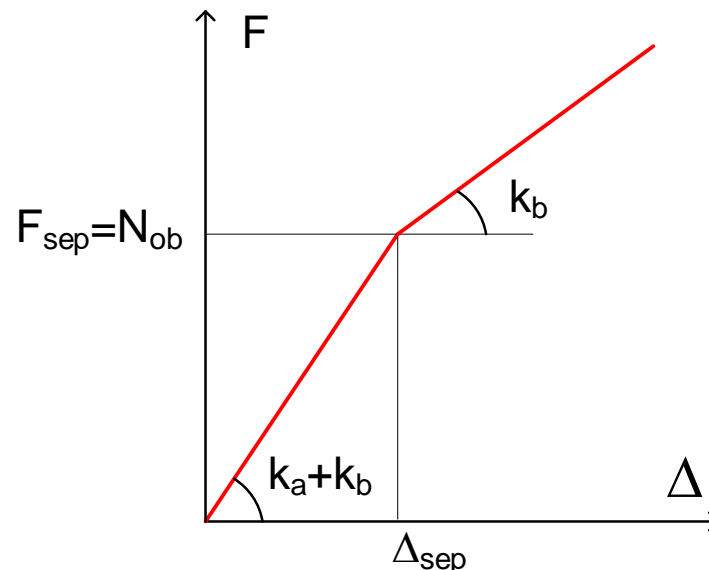
En el momento de la separación, la deformación del acero es igual a su deformación de compresión inicial:

$$N_a = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta_{sep} = \Delta_{0a}$$

La rigidez de la unión es:

$$F = (k_a + k_b) \Delta \quad \text{si} \quad \Delta < \Delta_{sep}$$

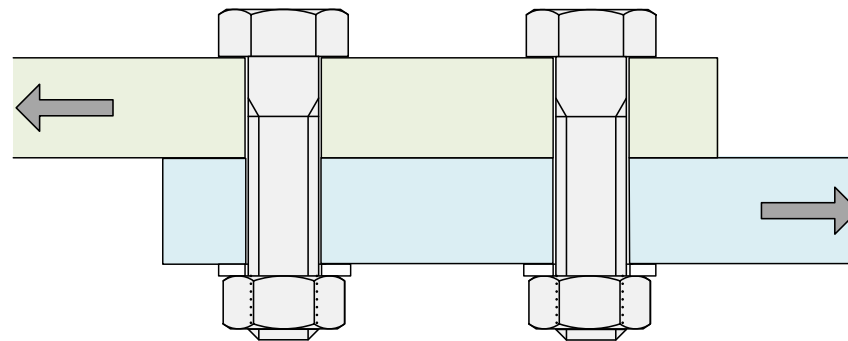
$$F = k_b \Delta \quad \text{si} \quad \Delta > \Delta_{sep}$$



Uniones planas a esfuerzo axial, con tornillos trabajando a esfuerzo cortante

EN 1993-1-8 §3

Código Estructural: Anejo 26 §3



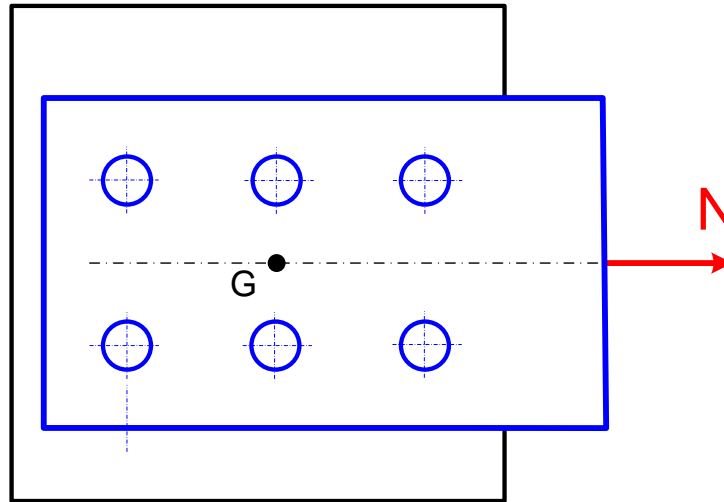
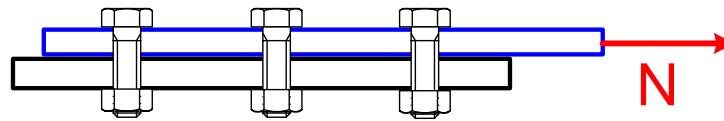
Uniones centradas planas

Todos los tornillos tienen su plano medio contenido en un plano

Los tornillos forman una retícula regular, o al tresbolillo

La fuerza N_{Ed} a transmitir pasa por el c.d.g. de los tornillos G

Caso simple: fuerza N_{Ed} en una dirección de la retícula de tornillos



Uniones centradas planas - Comportamiento

Hipótesis: las chapas unidas son mucho más rígidas que los tornillos

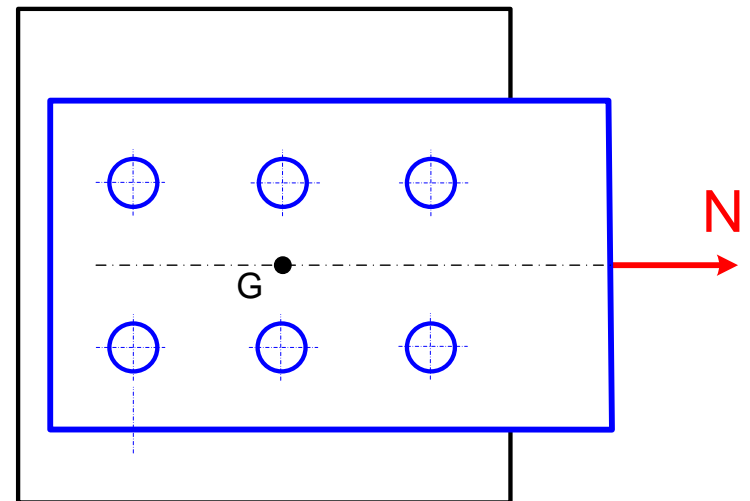
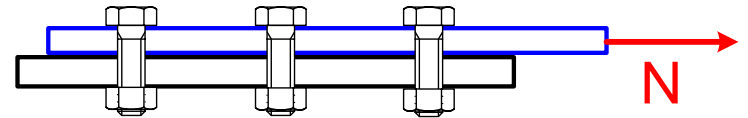
La fuerza axial N_{Ed} se reparte por igual entre todos los n_{tor} tornillos:

Comprobación:
$$\frac{N_{Ed}}{n_{tor}} \leq F_{tor,Rd}$$

$F_{tor,Rd}$ Resistencia de un tornillo

Los tornillos trabajan a cortadura y aplastamiento o a deslizamiento, según la categoría de la unión (A, B, C)

Sólo es válido si la longitud de la unión, medida en la dirección de aplicación de la fuerza es inferior a $15 d$.



Resistencia de un tornillo en uniones planas a cortante

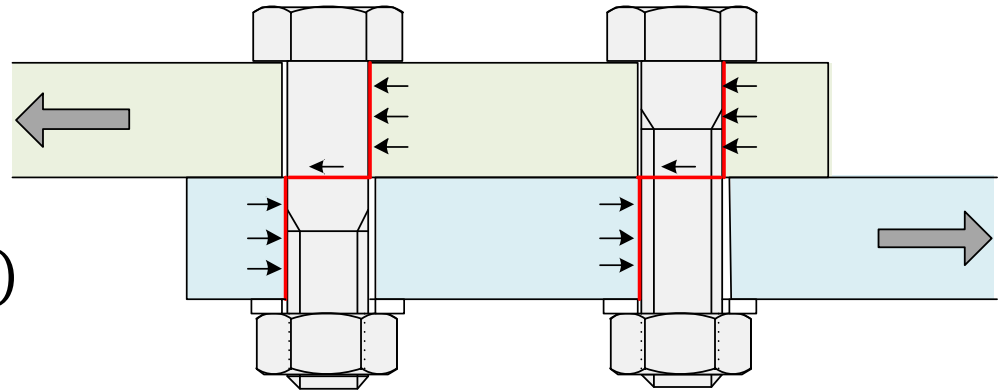
Unión simple

Categorías A, B (ELU)

$$F_{tor,Rd} = \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

$F_{v,Rd}$ Resistencia a cortante del tornillo

$F_{b,Rd}$ Resistencia a aplastamiento de la chapa

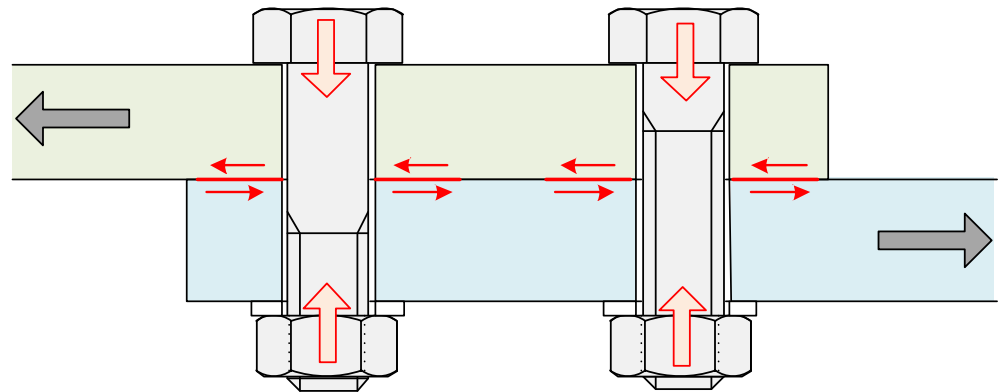


Unión simple pretensada

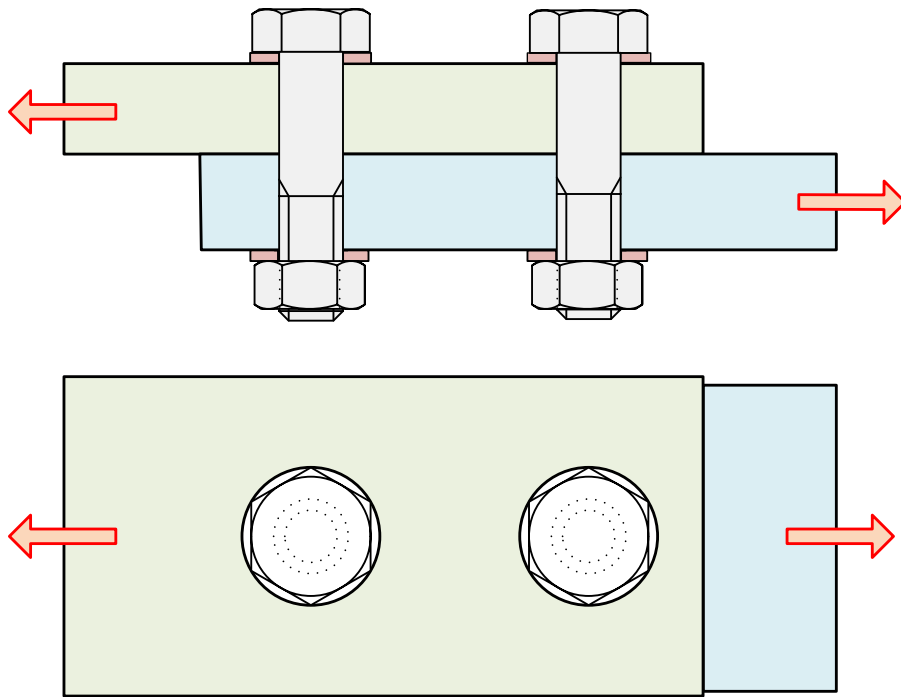
Categorías B (ELS) o C

$$F_{tor,Rd} = F_{s,Rd}$$

$F_{s,Rd}$ Resistencia al deslizamiento de un tornillo



Unión de solape único con una fila de tornillos



EN 1993-1-8 §3.6.1(10):

$$\frac{N_{Ed}}{n_{tor}} \leq \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$$

$F_{v,Rd}$ Resistencia a cortante

$F_{b,Rd}$ Resistencia a aplastamiento

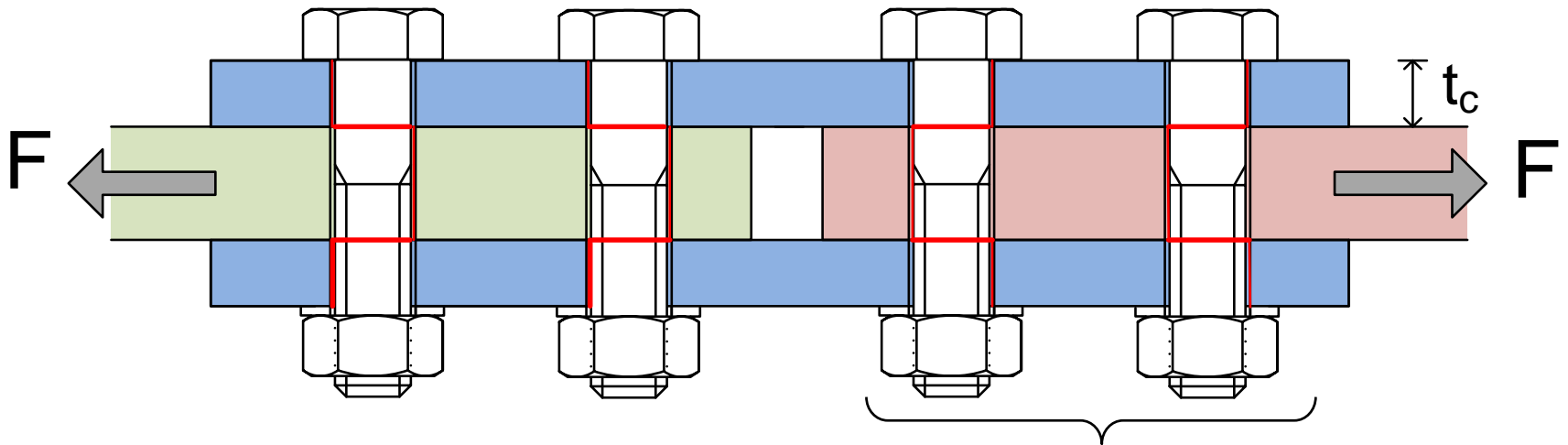
Limitar la resistencia a aplastamiento a:

$$F_{b,Rd} \leq 1.5 \frac{f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

Se debe incluir arandela en tornillo y tuerca

Calidades 8.8 y 10.9: se deben emplear arandelas templadas

Unión plana centrada con cubrejuntas doble



n_{tor} : número de tornillos en cada chapa

$$n_{tor} = 2$$

$$\frac{F}{n_{tor}} \leq F_{v2,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} 2$$

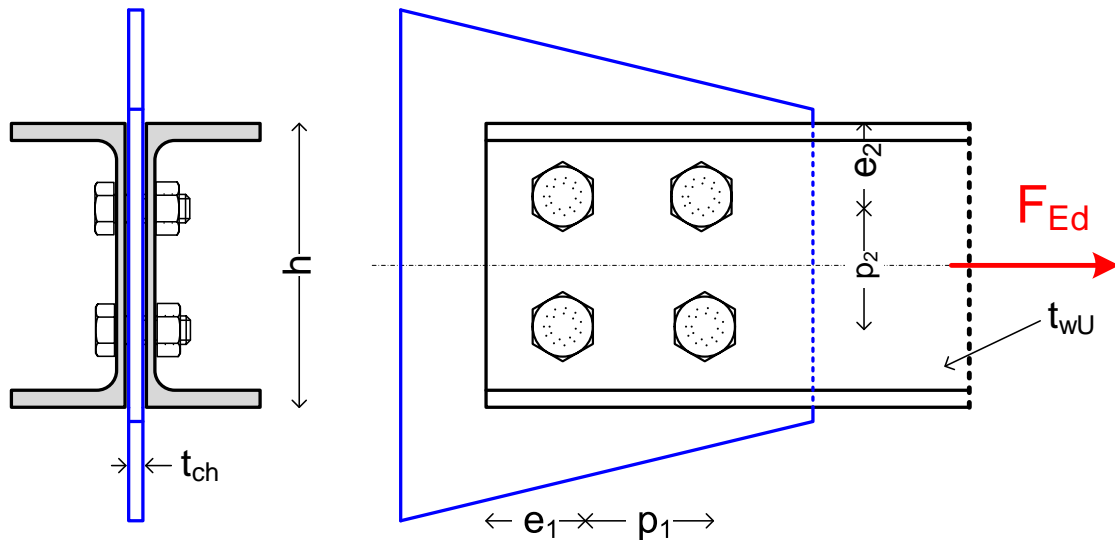
$$\frac{F}{2 n_{tor}} \leq F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_u t_c}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v2,Rd}$: Resistencia a cortante de cada tornillo con 2 planos de corte

Resistencia a aplastamiento: comprobar con $\frac{F}{2 n_{tor}}$ contra el cubrejuntas

y con $\frac{F}{n_{tor}}$ contra la chapa, el que tenga menor resistencia $f_u t$

Unión centrada con 2 perfiles U



$$n_{tor} = 4$$

Resistencia a cortante

$$\frac{F}{n_{tor}} \leq F_{v2,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} 2$$

Aplastamiento contra el alma de las U

$$\frac{F}{2 n_{tor}} \leq F_{b,U,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,U} d t_{wU}}{\gamma_{M2}}$$

Aplastamiento contra la cartela

$$\frac{F}{n_{tor}} \leq F_{b,ch,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,ch} d t_{ch}}{\gamma_{M2}}$$

$F_{v2,Rd}$ Resistencia a cortante de un tornillo con 2 planos de corte

$F_{b,U,Rd}$ Resistencia a aplastamiento contra el alma de los perfiles U con $\frac{F}{2 n_{tor}}$

$F_{b,ch,Rd}$ Resistencia a aplastamiento contra la chapa cartela con $\frac{F}{n_{tor}}$

Uniones largas

Si la longitud de la unión es superior a $15 d$, la fuerza no se reparte por igual entre todos los tornillos y la resistencia de la unión disminuye :

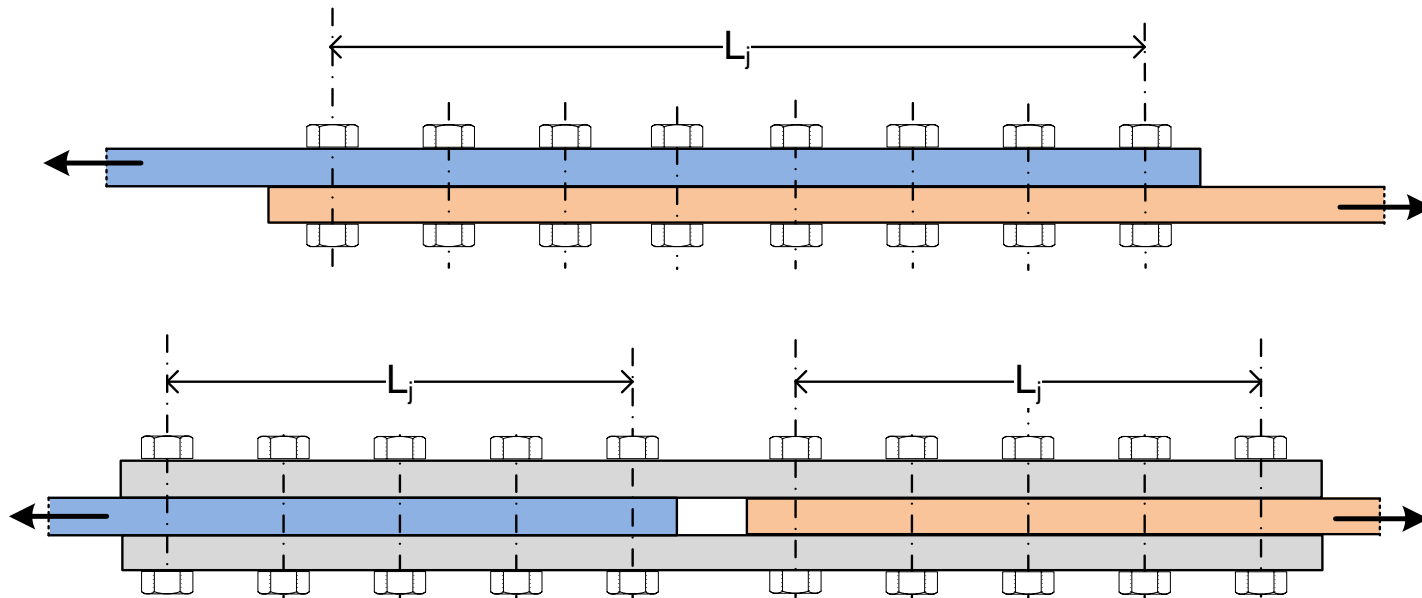
Comprobación de resistencia: $\frac{N_{Ed}}{n_{tor}} \leq \beta F_{tor,Rd}$

$$\beta = 1 - \frac{L_j - 15 d}{200 d}$$

$$0.75 \leq \beta \leq 1$$

Resistencia de un tornillo

L_j : distancia entre centros de agujeros extremos

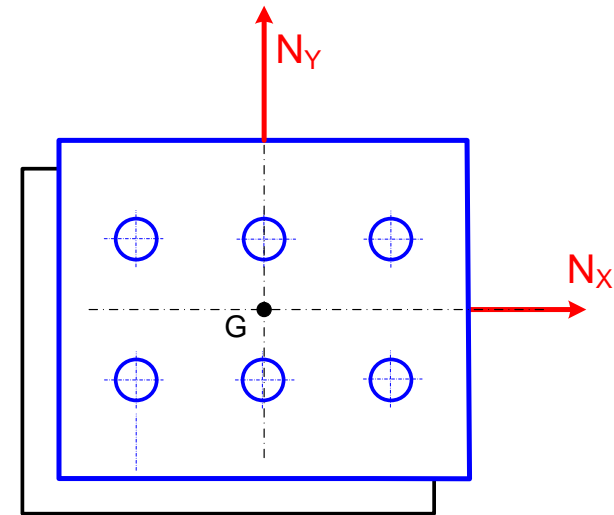


Uniones centradas planas - Fuerza en dos direcciones

Fuerzas $N_{Ed,X}$, $N_{Ed,Y}$, cuya resultante pasa por el c.d.g. G de los tornillos

Resistencia a cortante:
$$\frac{\sqrt{N_{Ed,X}^2 + N_{Ed,Y}^2}}{n_{tor}} \leq F_{v,Rd}$$

$F_{v,Rd}$ Resistencia de un tornillo



Resistencia a aplastamiento:

Comprobar en cada dirección por separado (EN 1993-1-8 Tabla 3.4), para la chapa con menor resistencia (producto $t f_u$)

$$\frac{N_{Ed,X}}{n_{tor}} \leq F_{b,X,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 d f_u t}{\gamma_{M2}} \qquad \frac{N_{Ed,Y}}{n_{tor}} \leq F_{b,Y,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 d f_u t}{\gamma_{M2}}$$

α_b, k_1 según dimensiones en cada dirección

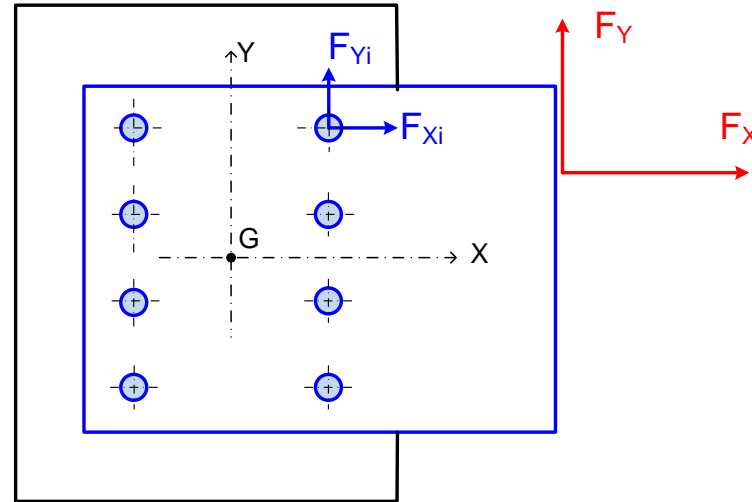
Unión plana excéntrica

EN 1993-1-8 §3.12

Código Estructural: Anejo 26 §3.12

Unión plana excéntrica

La fuerza a transmitir F_X, F_Y no pasa por el centro de gravedad de los tornillos G.



Reparto de la fuerza entre los tornillos: se efectúa de forma elástica.

- Piezas unidas infinitamente rígidas
- Tornillos deformables

Validez:

Resistencia a cortante menor $F_{v,Rd}$ que la resistencia a aplastamiento $F_{b,Rd}$

O bien, unión de categoría C (resistente al deslizamiento en ELU)

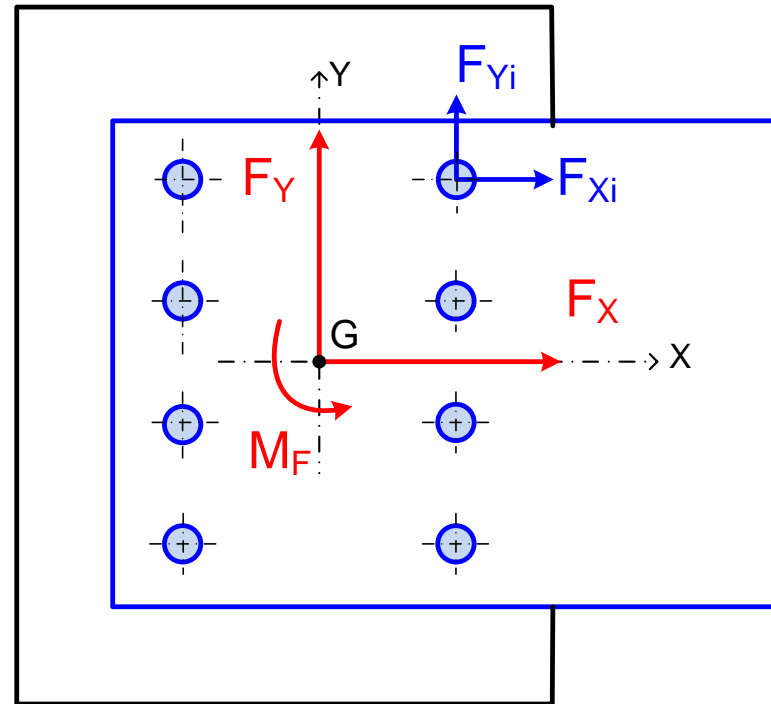
Unión plana excéntrica (1)

La pieza (rígida) gira alrededor del c.d.g. de los tornillos G debido a la flexibilidad de los tornillos.

1. Se trasladan las fuerzas F_X F_Y al c.d.g. de los tornillos G, añadiendo el momento M_F que producen

$$M_F = F_Y x_F - F_X y_F$$

x_F, y_F : posición de la fuerza respecto de G



Unión plana excéntrica (2)

2. Fuerzas en los tornillos debidas a las fuerzas F_X F_Y

$$F_{Xi}^F = \frac{F_X}{n_{tor}} \quad F_{Yi}^F = \frac{F_Y}{n_{tor}}$$

Se supone que todos los tornillos son iguales

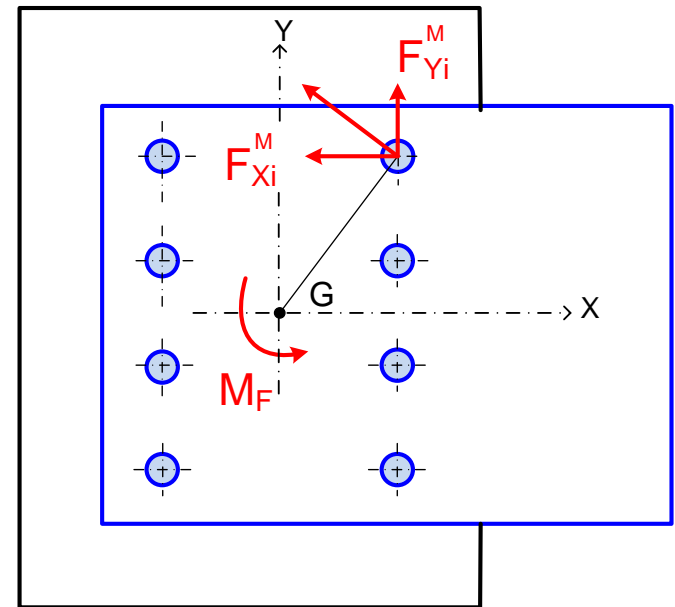
3. El momento M_F se reparte entre los tornillos mediante fuerzas cortantes:

- perpendiculares a la línea que une el tornillo con el c.d.g.
- de módulo proporcional a la distancia del tornillo al c.d.g.

$$F_{Xi}^M = -\frac{M_F y_i}{J_G} \quad F_{Yi}^M = \frac{M_F x_i}{J_G}$$

J_G : momento polar de inercia de los tornillos respecto de G

$$J_G = \sum (x_i^2 + y_i^2)$$



Unión plana excéntrica (3)

4. Combinar las fuerzas debidas a F_X , F_Y y a M_F según sus direcciones, en cada tornillo

$$F_{Xi} = \frac{F_X}{n_{tor}} - \frac{M_F y_i}{J_G} \qquad F_{Yi} = \frac{F_Y}{n_{tor}} + \frac{M_F x_i}{J_G}$$

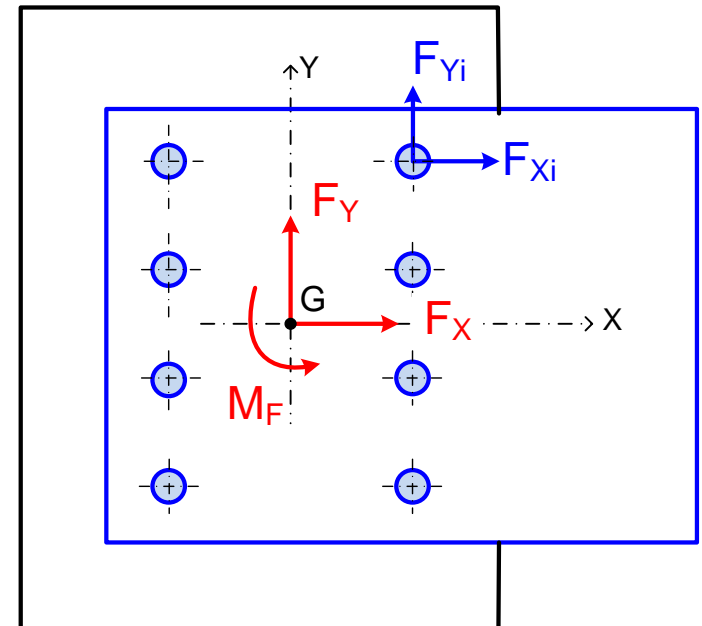
5. Identificar el tornillo de máximas fuerzas $F_{X,max}$ $F_{Y,max}$

En retículas regulares, el más alejado de G: $x_i = x_{max}$ $y_i = y_{max}$

Puede haber varios candidatos, en función de F_X , F_Y , M_F

Resultante en el tornillo más cargado:

$$F_{tor,max} = \sqrt{F_{X,max}^2 + F_{Y,max}^2}$$



Unión plana excéntrica (4) Comprobación

- Uniones a cortante: clase A o B (ELU)

Resistencia a cortante $F_{tor,max} \leq F_{v,Rd}$

Resistencia a aplastamiento en cada dirección, que son diferentes

$$F_{X,max} \leq F_{b,X,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 d f_u t}{\gamma_{M2}} \quad F_{Y,max} \leq F_{b,Y,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 d f_u t}{\gamma_{M2}}$$

Comprobar en cada dirección por separado (EN 1993-1-8 Tabla 3.4), para la chapa con menor resistencia (producto $t f_u$)

α_b, k_1 según dimensiones en cada dirección

- Uniones sin deslizamiento: clase C o B (ELS)

Resistencia a deslizamiento $F_{tor,max} \leq F_{s,Rd}$

Unión excéntrica con una columna de n tornillos y fuerza vertical F_Y (1)

Fuerza vertical F_Y a una distancia z de los tornillos

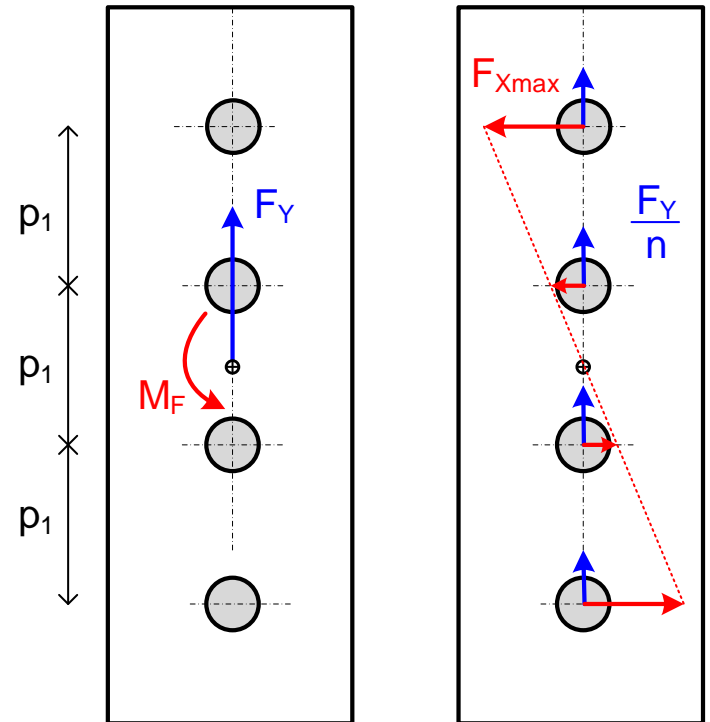
Momento de la fuerza vertical: $M_F = z F_Y$

Fuerza vertical se distribuye en todos los tornillos: $F_{Yi} = \frac{F_Y}{n}$

Fuerza horizontal en el tornillo más alejado:

$$J_G = \sum y_i^2 = \frac{n}{12} (n^2 - 1) p_1^2 \quad y_{max} = \frac{(n - 1) p_1}{2}$$

$$F_{X,max} = \frac{M_F y_{max}}{J_G} = \frac{6 z}{n (n + 1) p_1} F_Y = \beta F_Y$$



Fuerza máxima, en el tornillo más alejado:

$$F_{tor,max} = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{n}\right)^2 + F_{X,max}^2} = \frac{F_Y}{n} \sqrt{1 + (\beta n)^2} \leq F_{v,Rd}$$

Resistencia de un tornillo a cortante

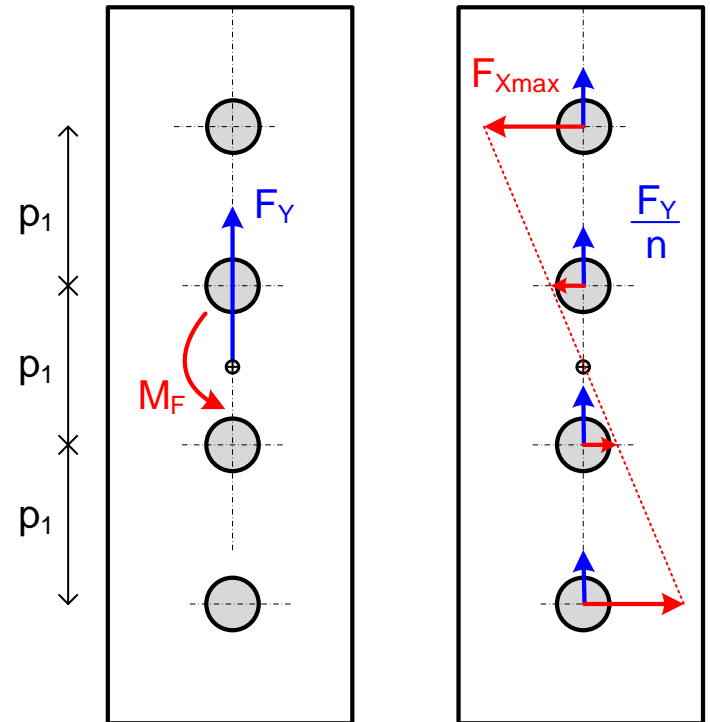
Unión excéntrica con una columna de n tornillos y fuerza vertical F_Y (2)

Reordenando se puede despejar la fuerza vertical F_Y máxima

Esto define la resistencia de la unión V_{Rd} ante fuerza vertical F_Y :

$$F_Y \leq \frac{n}{\sqrt{1 + (\beta n)^2}} F_{v,Rd} \equiv V_{Rd}$$

$$\beta = \frac{6 z}{n (n + 1) p_1}$$



Esta comprobación puede emplearse para resistencia a cortante ($F_{v,Rd}$) y para resistencia a deslizamiento ($F_{s,Rd}$)

Caso particular: Unión excéntrica con 2 o 3 tornillos

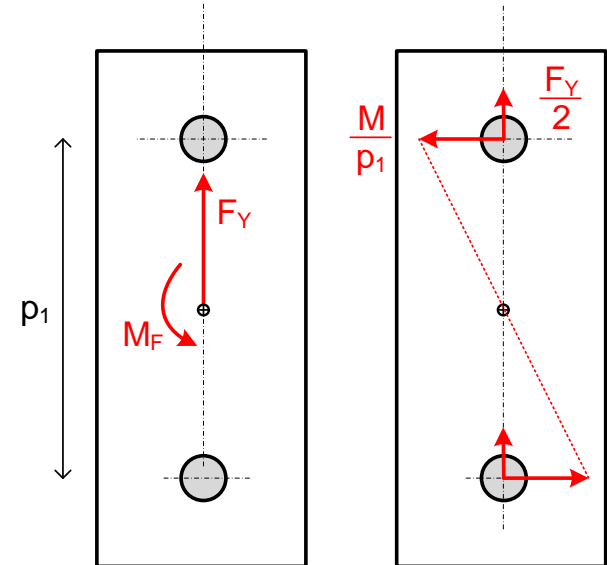
2 tornillos

Fuerza horizontal en los 2 tornillos:

$$F_{X,max} = \frac{M_F}{p_1} = \frac{z F_Y}{p_1}$$

Fuerza en los 2 tornillos

$$F_{tor} = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{2}\right)^2 + \left(\frac{M_F}{p_1}\right)^2} \leq F_{v,Rd}$$



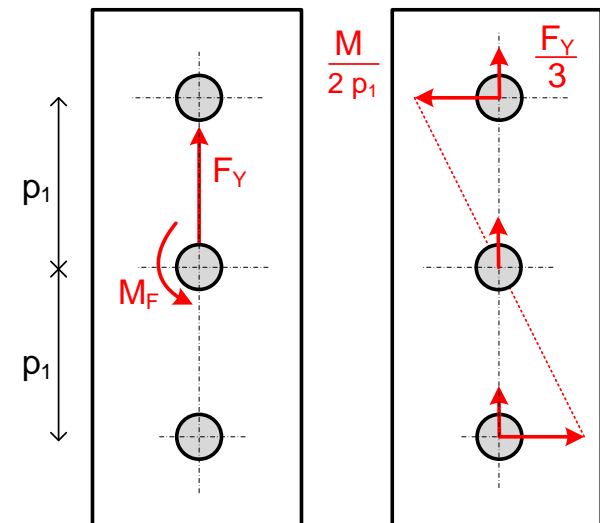
3 tornillos

Fuerza horizontal en los 2 tornillos extremos:

$$F_{X,max} = \frac{M_F}{2 p_1} = \frac{z F_Y}{2 p_1}$$

Fuerza máxima, en los tornillos extremos

$$F_{tor,max} = \sqrt{\left(\frac{F_Y}{3}\right)^2 + \left(\frac{M_F}{2 p_1}\right)^2} \leq F_{v,Rd}$$



Resistencia al aplastamiento. Unión con 1 columna, fuerza vertical

La resistencia es distinta en cada dirección, depende de la disposición de los tornillos

$$\text{Fuerza Y máxima en un tornillo} \quad F_{Y,max} = \frac{F_Y}{n} \leq F_{b,Y,Rd}$$

$$\text{Fuerza X máxima en un tornillo} \quad F_{X,max} = \beta F_Y \leq F_{b,X,Rd}$$

Según EC3 es suficiente con comprobar en ambas direcciones (Tabla 3.4 (3))

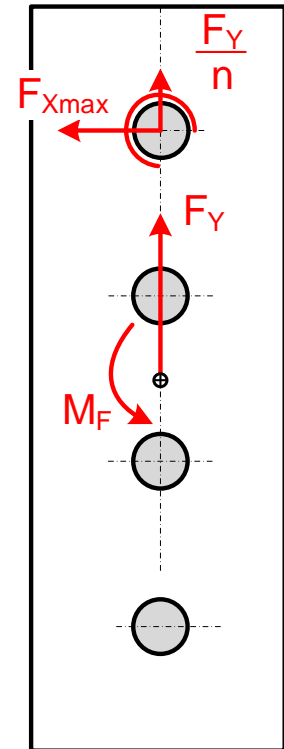
Se suele emplear una combinación cuadrática conservadora que permite obtener un único valor de la resistencia:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Y,max}}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{X,max}}{F_{b,X,Rd}}\right)^2} \leq 1$$

Sustituyendo y operando:

$$F_Y \leq \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}} = V_{Rd}$$

Resistencia de la unión a aplastamiento:



Unión excéntrica con dos columnas de tornillos y fuerza vertical

Fuerza vertical: F_Y

Excentricidad de la fuerza vertical: z

Momento de la fuerza vertical: $M_F = z F_Y$

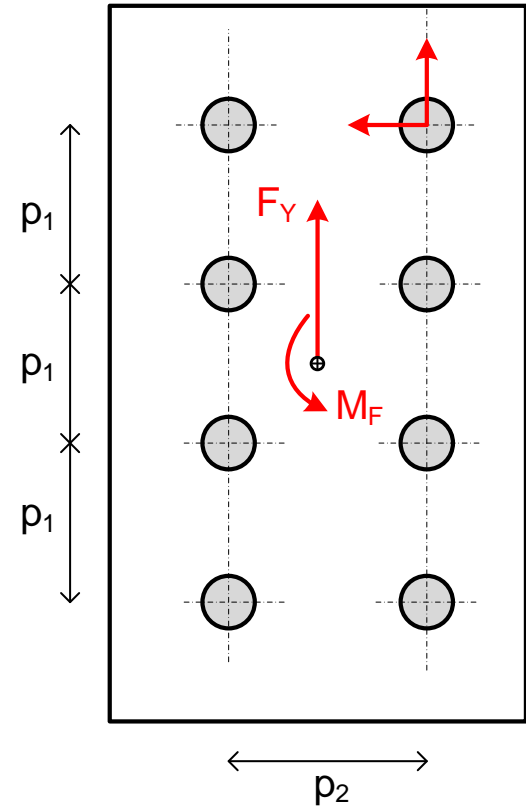
Número total de tornillos: $n = n_1 \times 2$

Fuerza máxima (en el tornillo más alejado):

$$F_{t,max} = \frac{F_Y}{n} \sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2} \leq F_{v,Rd}$$

$$\alpha = \frac{z p_2}{2 J_G} \quad \beta = \frac{z p_1 (n_1 - 1)}{2 J_G}$$

$$J_G = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{n_1}{6} (n_1^2 - 1) p_1^2$$



Resistencia de la unión V_{Rd}
ante fuerza vertical F_Y :

$$F_Y \leq \frac{n}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}} F_{v,Rd} = V_{Rd}$$

Esta comprobación puede emplearse para la resistencia a cortante ($F_{v,Rd}$)
y para la resistencia a deslizamiento ($F_{s,Rd}$)

Resistencia al aplastamiento. Unión con 2 columnas, fuerza vertical

La resistencia es distinta en cada dirección, depende de la disposición de los tornillos

Fuerza Y máxima en un tornillo $F_{Y,max} = \frac{F_Y}{n} (1 + \alpha n) \leq F_{b,Y,Rd}$

Fuerza X máxima en un tornillo $F_{X,max} = \frac{F_Y}{n} (\beta n) \leq F_{b,X,Rd}$

Según EC3 es suficiente con comprobar en ambas direcciones por separado (Tabla 3.4 (3))

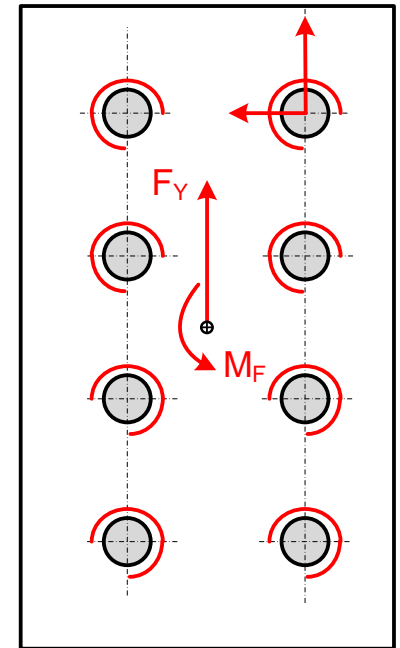
Se suele emplear una combinación cuadrática conservadora que permite obtener un único valor de la resistencia:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Y,max}}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{X,max}}{F_{b,X,Rd}}\right)^2} \leq 1$$

Sustituyendo y operando:

$$F_Y \leq \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}} = V_{Rd}$$

Resistencia de la unión a aplastamiento:



Resistencia al aplastamiento. Unión con 2 columnas, fuerzas X e Y

La resistencia es distinta en cada dirección, depende de la disposición de los tornillos

Fuerza Y máxima en un tornillo $F_{Y,max} = \frac{F_Y}{n} (1 + \alpha n) \leq F_{b,Y,Rd}$

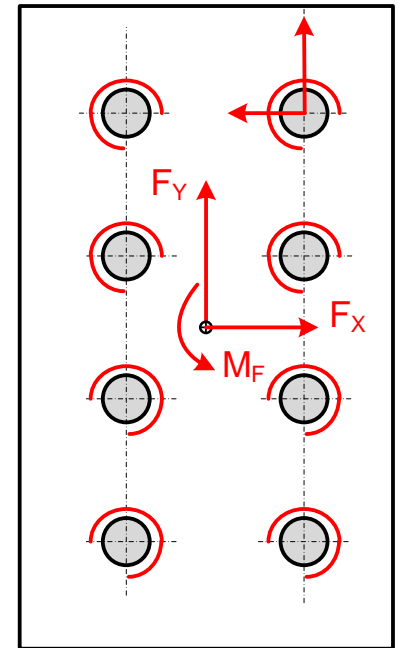
Fuerza X máxima en un tornillo $F_{X,max} = \frac{F_X}{n} + \frac{F_Y}{n} (\beta n) \leq F_{b,X,Rd}$

La fuerza X debe pasar por el c.d.g de los tornillos

Según EC3 es suficiente con comprobar en ambas direcciones (Tabla 3.4 (3))

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

Coeficientes k_1, α_b según geometría en cada dirección



Unión con angulares a tracción

Fuerza axial en el c.d.g. Tornillos en la línea de gramil, no coincide con el c.d.g.

Diseño como unión excéntrica con $z = e - y_G$, y una fila de tornillos

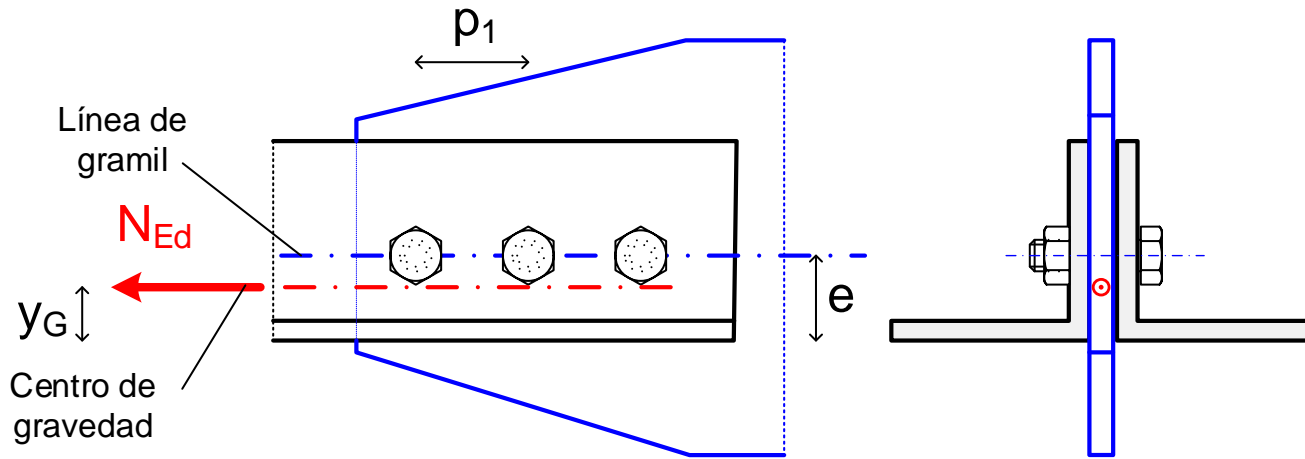
$$N_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\beta n)^2}} n F_{v,Rd}$$

$$\beta = \frac{6 (e - y_G)}{n (n - 1) p_1}$$

El efecto de la excentricidad desaparece si $\beta = 0$
 Minimizar $e - y_G$, aumentar n , aumentar p_1

Pérdida de resistencia por excentricidad

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (\beta n)^2}}$$



	e	p_1	n	Perd.	
	60.6	36	70	2	0.52
	60.6	36	70	3	0.77
	80.8	38	70	3	0.83
	100.10	50	90	3	0.81
	100.10	50	120	4	0.94
	120.12	52	90	3	0.86
	120.12	52	120	3	0.91
	120.12	72	120	4	0.84

Resistencia de piezas con agujeros

EN 1993-1-8 §3.10
Código Estructural: Anejo 26

Rotura de chapas taladradas

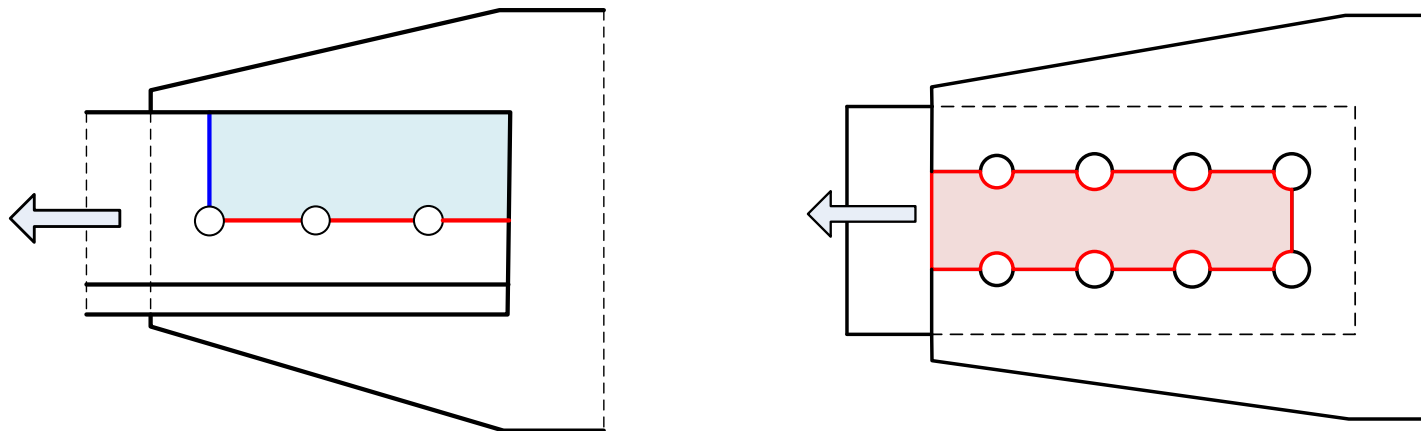
Las uniones atornilladas requieren taladrar las chapas: se debe verificar que no rompen bajo los esfuerzos que debe transmitir la unión

Tracción: se debe comprobar

1. La resistencia de la pieza empleando su área neta y f_u
2. El desgarro de la cartela

Flexión: comprobar como se ha indicado en la resistencia de las secciones

Cortante: comprobar el desgarro del alma en extremos de vigas apoyadas o en extremos de barras a tracción



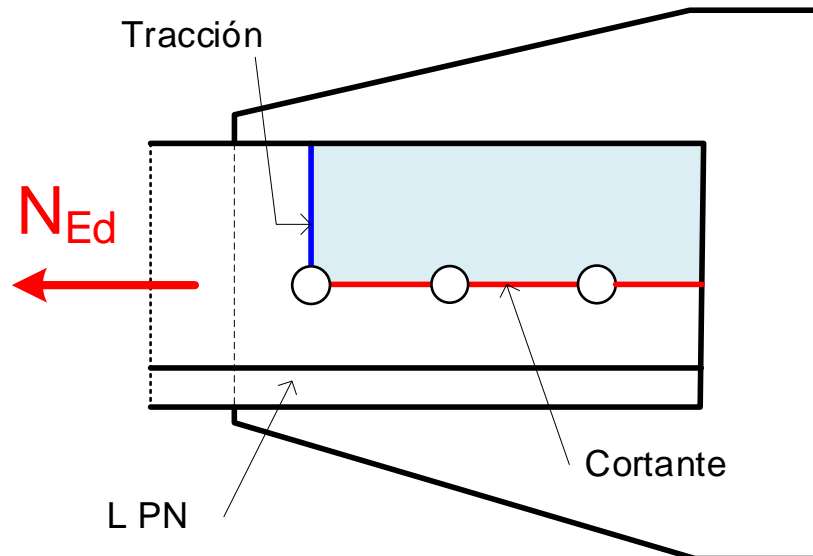
Desgarro del alma en extremos de barras a tracción

En piezas tipo L, es necesario comprobar que el axial a transmitir N_{Ed} es menor que la resistencia al desgarro del alma, que tiene dos sumandos:

$$N_{Ed} \leq A_{neta,t} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{neta,v} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{neta,t}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a tracción

$A_{neta,v}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a cortante



Se supone que el grupo de tornillos es concéntrico con la fuerza N_{Ed} (EN 1993-1-8, 3.10.2(3))

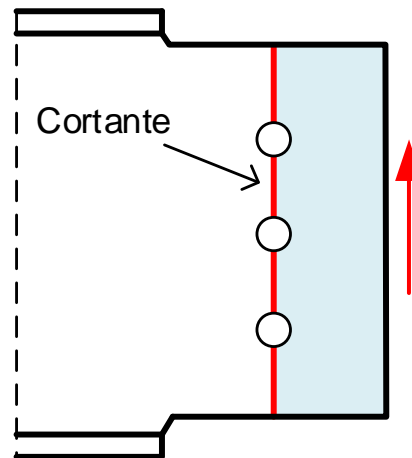
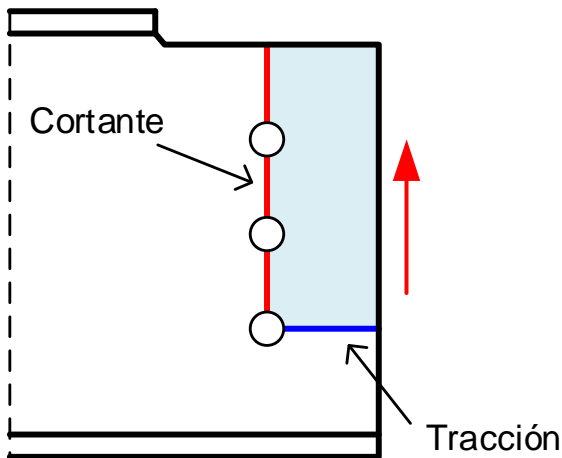
Desgarro del alma en extremos de vigas apoyadas

Si se ha eliminado el ala de la viga, es necesario comprobar que el cortante a transmitir (reacción) es menor que la resistencia al desgarro del alma, que tiene dos sumandos:

$$V_{Ed} \leq 0.5 A_{neta,t} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{neta,v} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{neta,t}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a tracción

$A_{neta,v}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a cortante



El factor reductor 0.5 es debido a que la fuerza V_{Ed} es excéntrica respecto del grupo de tornillos (EN 1993-1-8, 3.10.2(3))

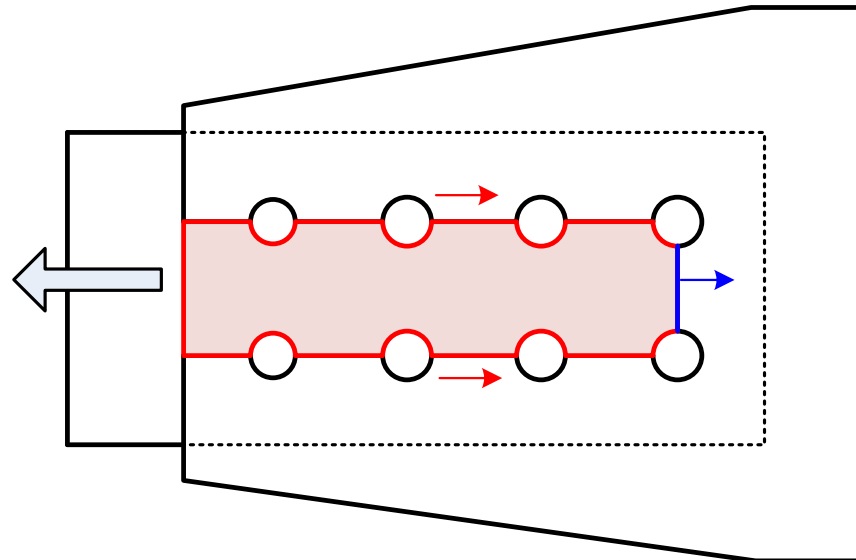
Desgarro de la cartela

$$N_{Ed} \leq A_{neta,t} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{neta,v} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

No hay factor reductor de 0.5 si el grupo de tornillos es simétrico respecto de la fuerza axial N_{Ed} (EN 1993-1-8, 3.10.2(2))

$A_{neta,t}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a tracción

$A_{neta,v}$ Área neta de la zona de desgarro sometida a cortante



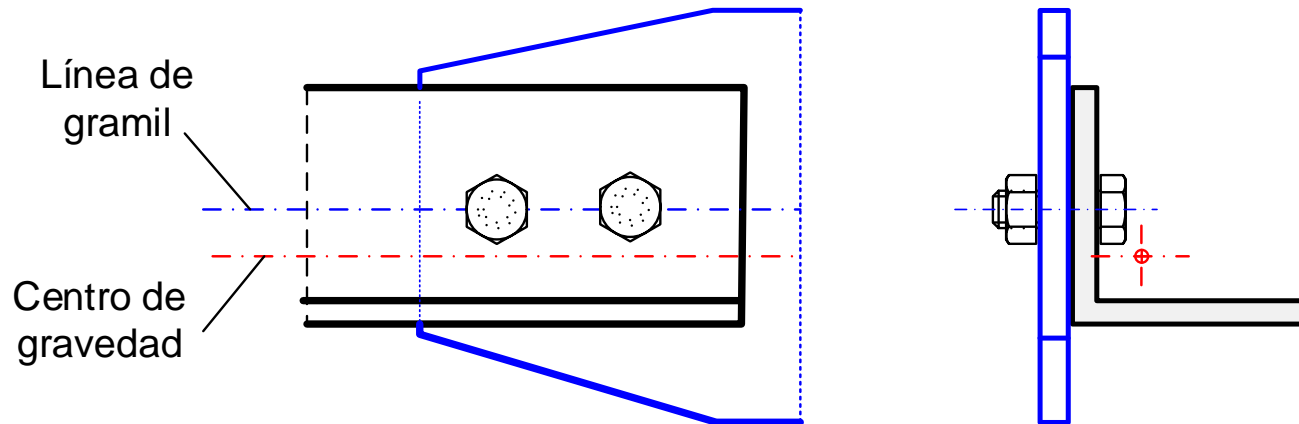
Angulares a tracción unidos sólo por un lado

Fuerza axial en el c.d.g. del perfil angular

Tornillos en la línea de gramil, no coincide con el c.d.g.

Situación de unión excéntrica.

Un angular único, unido por una única fila de tornillos en un lado puede tratarse como si estuviese cargado concéntricamente, pero empleando un área eficaz distinta (menor).



Angulares a tracción unidos sólo por un lado

Resistencia última de cálculo del perfil angular L:

EN 1993-1-8 3.10.3

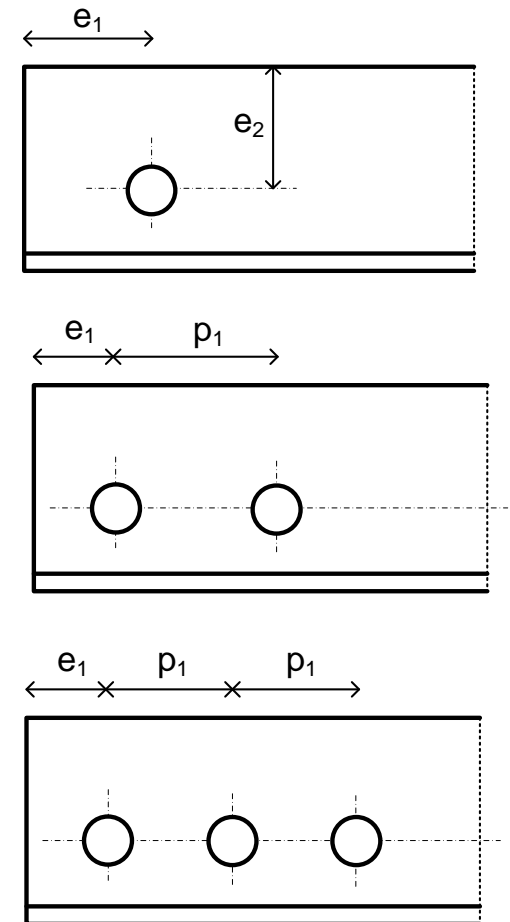
1 tornillo
$$N_{u,Rd} = 2(e_2 - 0.5 d_0) t \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

2 tornillos
$$N_{u,Rd} = \beta_2 A_{neta} \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

3 o más tornillos
$$N_{u,Rd} = \beta_3 A_{neta} \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

A_{neta} : área neta del perfil angular L

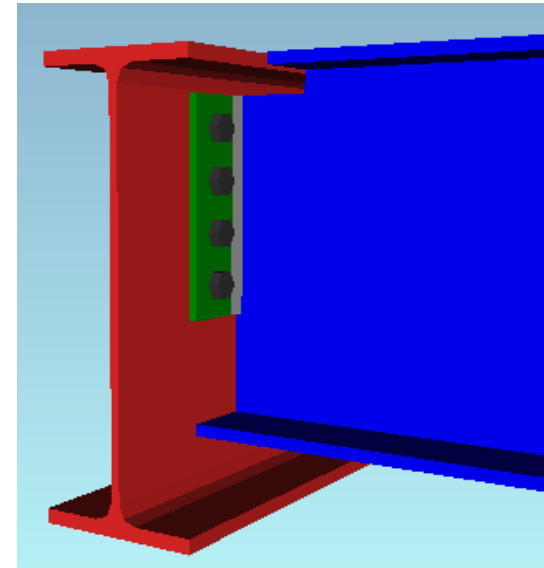
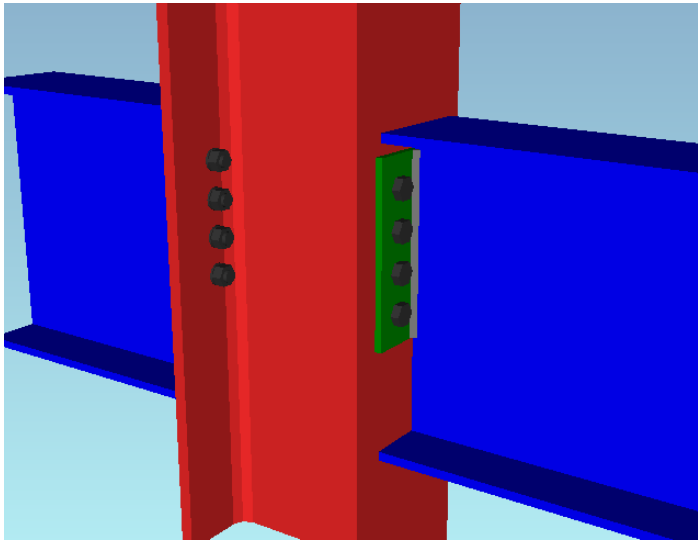
d_0 : diámetro del agujero



	$p_1 \leq 2.5 d_0$	$p_1 \geq 5 d_0$
2 tornillos	$\beta_2 = 0.4$	$\beta_2 = 0.7$
3 o más tornillos	$\beta_3 = 0.5$	$\beta_3 = 0.7$

Para valores de p_1 intermedios, interpolar linealmente

Unión de viga apoyada mediante chapa frontal de extremo soldada al alma



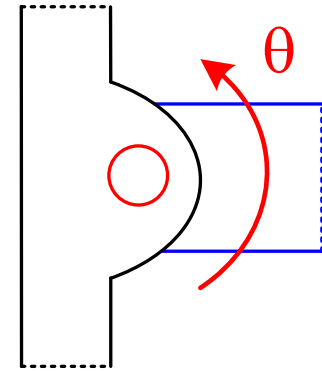
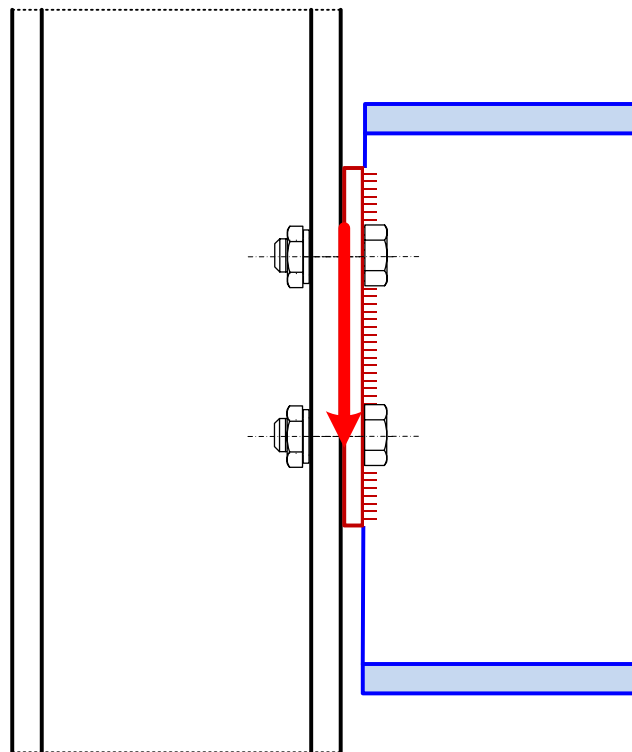
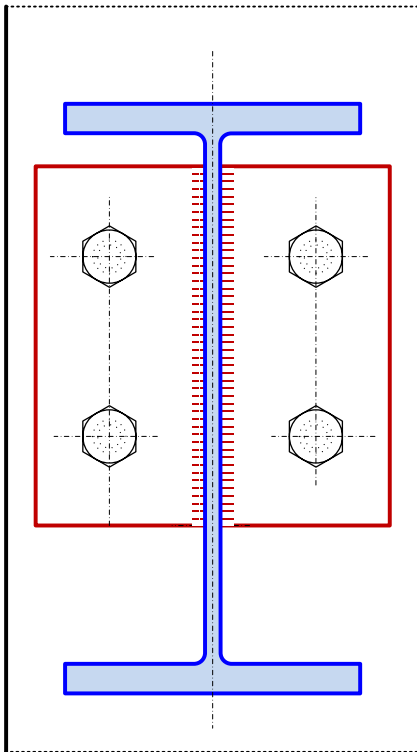
Apoyo de viga en ala de poste mediante chapa frontal de extremo

Representa una articulación. Se emplea para transmitir esfuerzo cortante V_{Ed}

Fuerza cortante se supone aplicada en la cara de contacto chapa - soporte

Uniones atornilladas suelen ser de categoría A (tornillos ordinarios trabajando a cortante y aplastamiento)

Situar la chapa de extremo en la parte superior (comprimida) para estabilidad



Dimensiones recomendadas

(The Steel Construction Institute)

Los ejes de viga y poste deben estar en el mismo plano

Una columna de tornillos a cada lado. n_1 : número de filas de tornillos

Dos columnas de tornillos (se pueden emplear más)

Altura chapa $h_p \geq 0.6 h_b$ para evitar torsión

Para evitar contacto viga – poste en la parte inferior al girar la viga:

Altura chapa < zona recta del alma de la viga

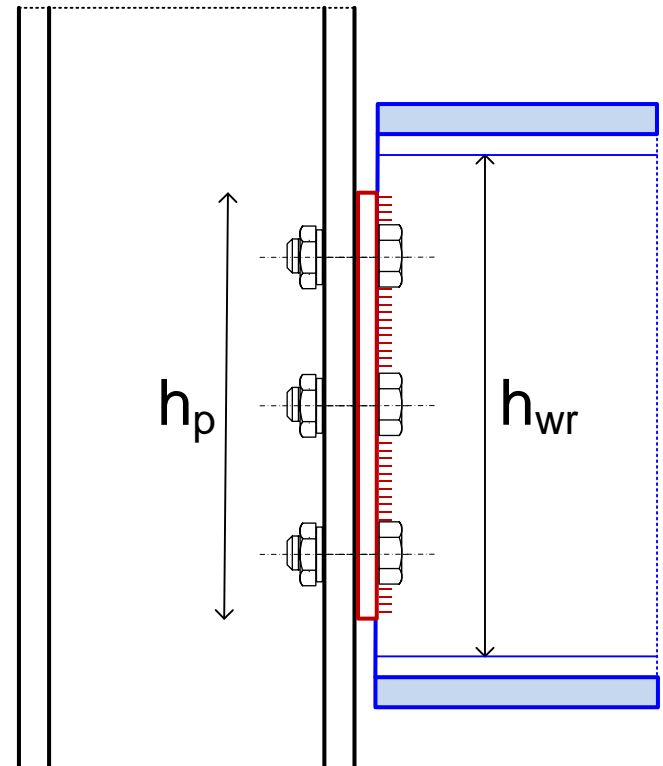
$$h_p \leq h_{wr} = h_b - 2 t_{fb} - 2 r_b$$

Espesor chapa pequeño para garantizar rotación

$$t_p \approx 10 \div 12 \text{ mm}$$

Tornillos M16 - M20, 8.8 o 10.9

Agujeros: $d_0 = 20 - 22 \text{ mm}$



Dimensiones recomendadas

(The Steel Construction Institute)

Para tornillos M20 y agujeros: $d_0 = 22 \text{ mm}$

Canto viga (mm)	Ancho chapa b_p (mm)	Espesor chapa t_p (mm)	Espaciado horizontal tornillos (p_3) mm
$h_b \leq 500$	150	10	90
$h_b > 500$	200	12	140

Paso vertical entre tornillos:

$$p_1 \approx 70 \text{ mm}$$

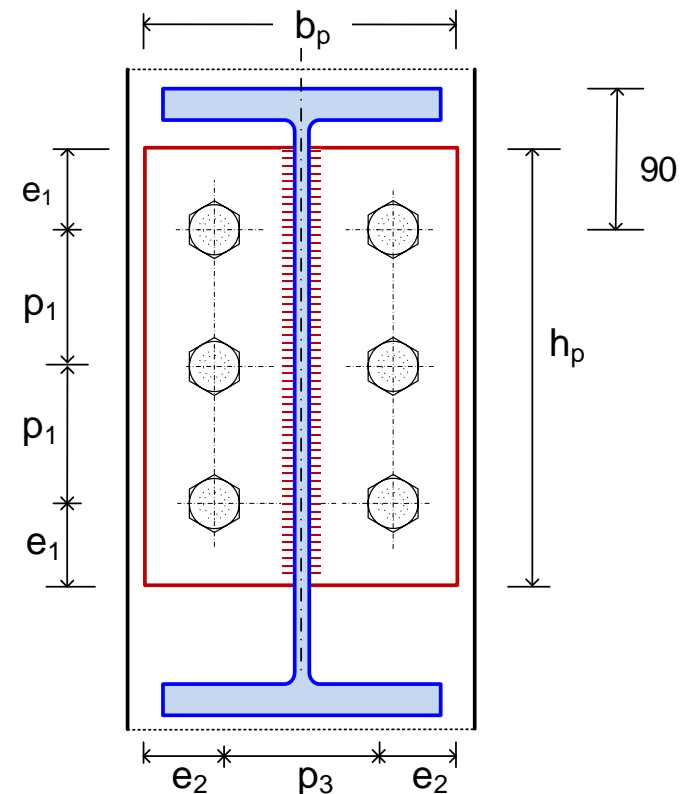
Distancia tornillos al borde superior:

$$e_1 \geq 2d \text{ (} 40 \div 50 \text{ mm)}$$

Distancia tornillos al borde lateral:

$$e_2 \geq 1.5d \text{ (} 30 \text{ mm)}$$

Distancia primera fila de tornillos al borde superior de la viga $\approx 90 \text{ mm}$



Capacidad de rotación

Suposiciones:

Elemento de soporte muy rígido. Chapa y tornillos flexibles

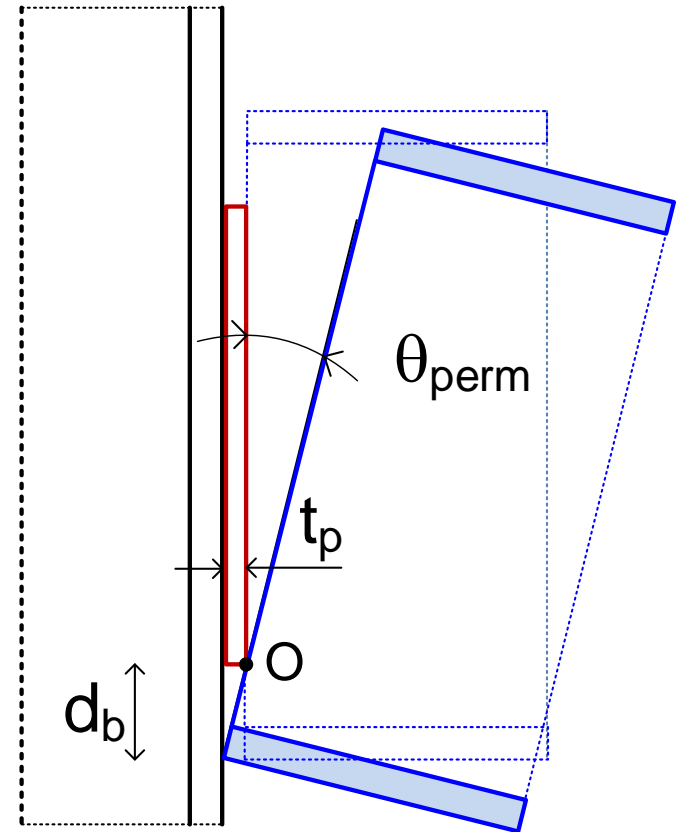
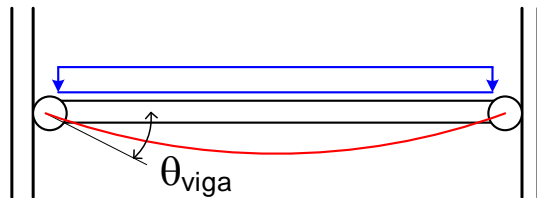
Centro de rotación de la viga en el extremo inferior de la chapa (O)

Rotación permitida por la unión:
hasta que el punto inferior del ala
de la viga contacte con el poste

$$\theta_{perm} \approx \frac{t_p}{d_b}$$

Debe ser superior al giro de la viga
en ELU

P. E. Viga apoyada $\theta_{viga} = \frac{q_{ELU} L^3}{24 E I}$



Predimensionamiento

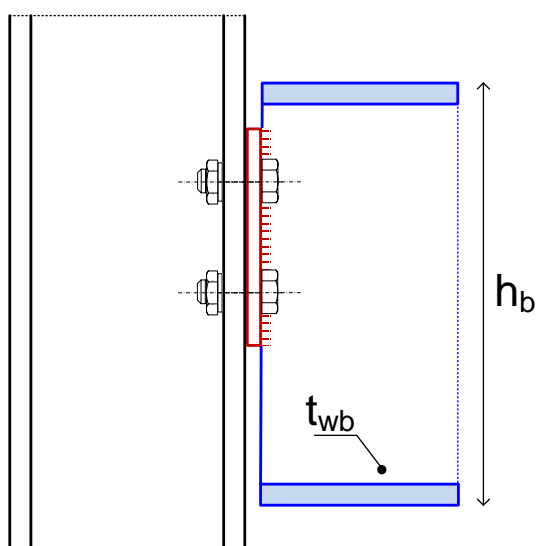
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } V_{Ed} \leq 0.75 V_{c,Rd} \quad \text{canto parcial} \\ \text{Si } V_{Ed} > 0.75 V_{c,Rd} \quad \text{canto total} \end{array} \right.$$

Recomendación Access-Steel SN013a
(Conservadora)

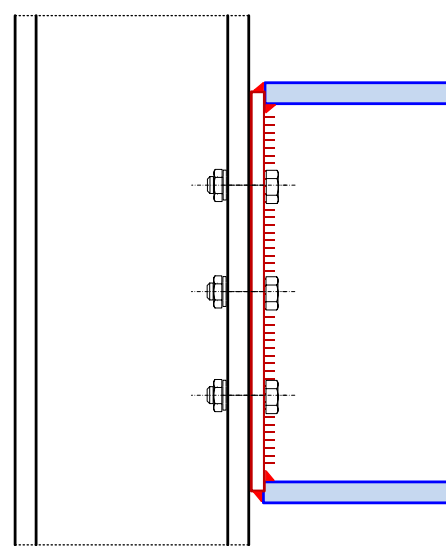
$$V_{c,Rd} = \frac{t_{wb} h_b f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Resistencia a cortante de la viga soportada

Número total de tornillos: $n = 2 n_1 \approx \frac{V_{Ed}}{75}$ V_{Ed} en kN

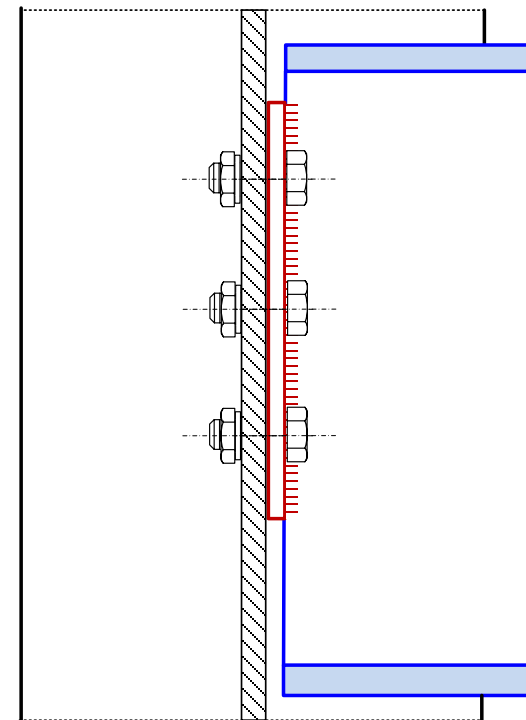
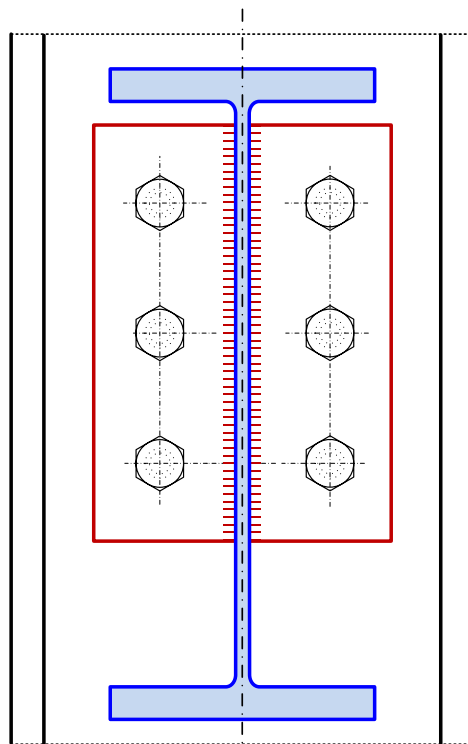
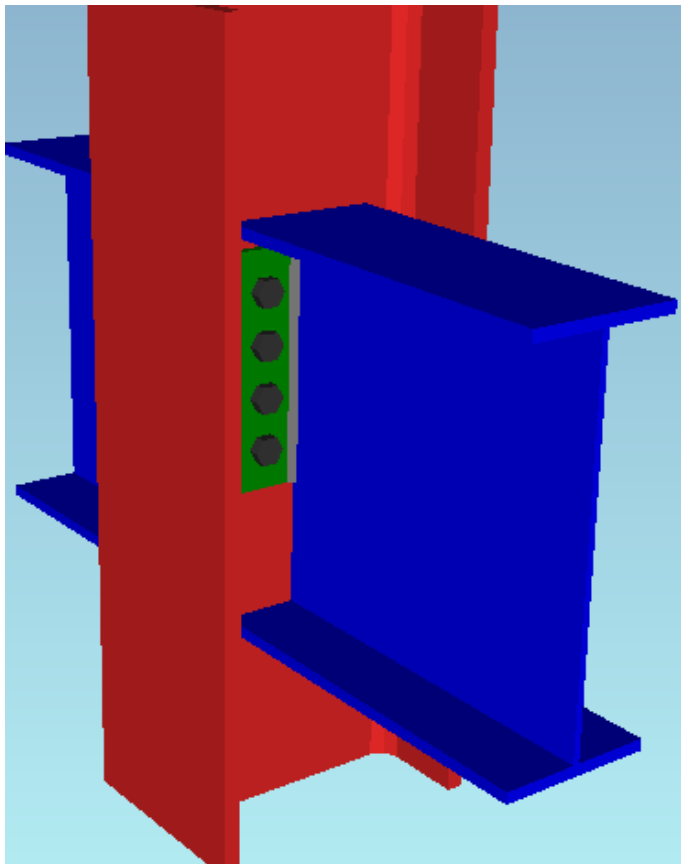


Canto parcial

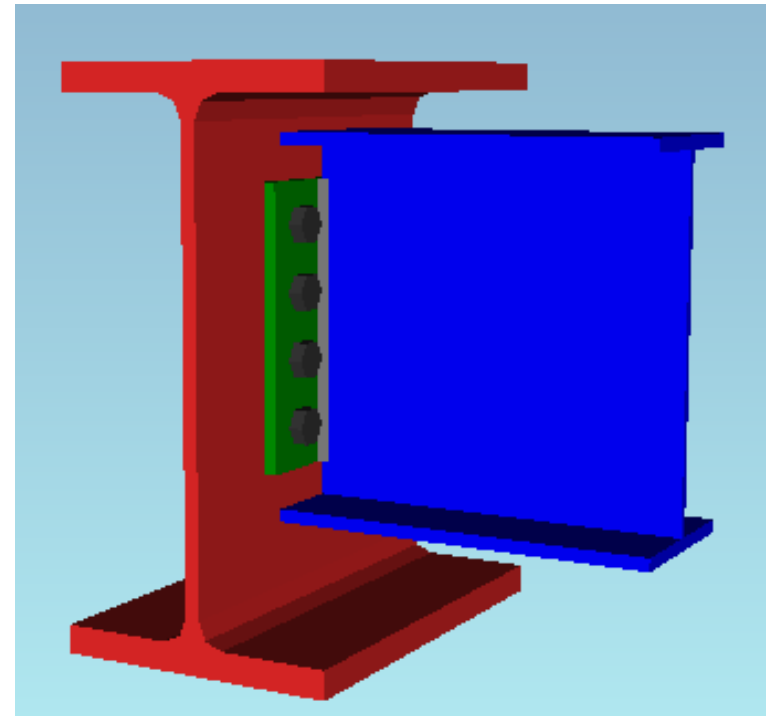
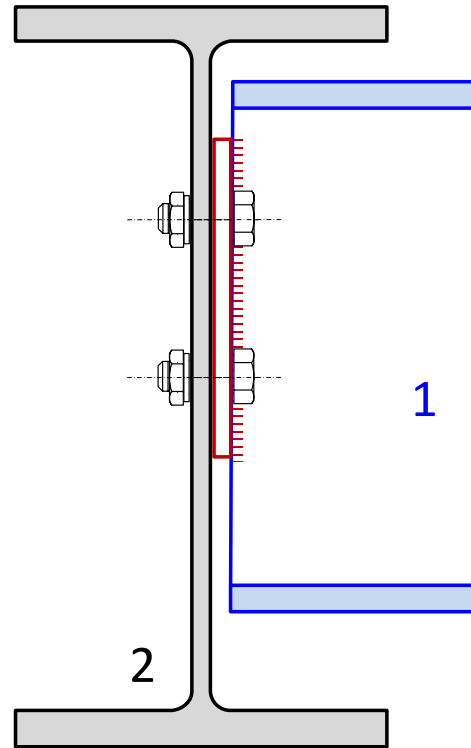
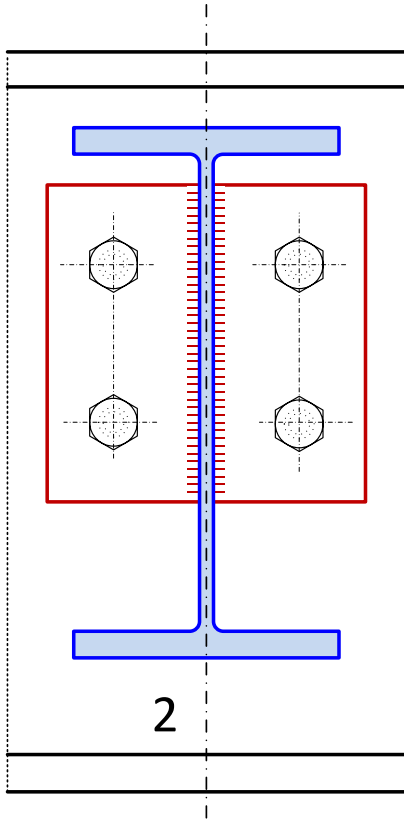


Canto total

Apoyo de viga en alma del poste mediante chapa frontal de extremo

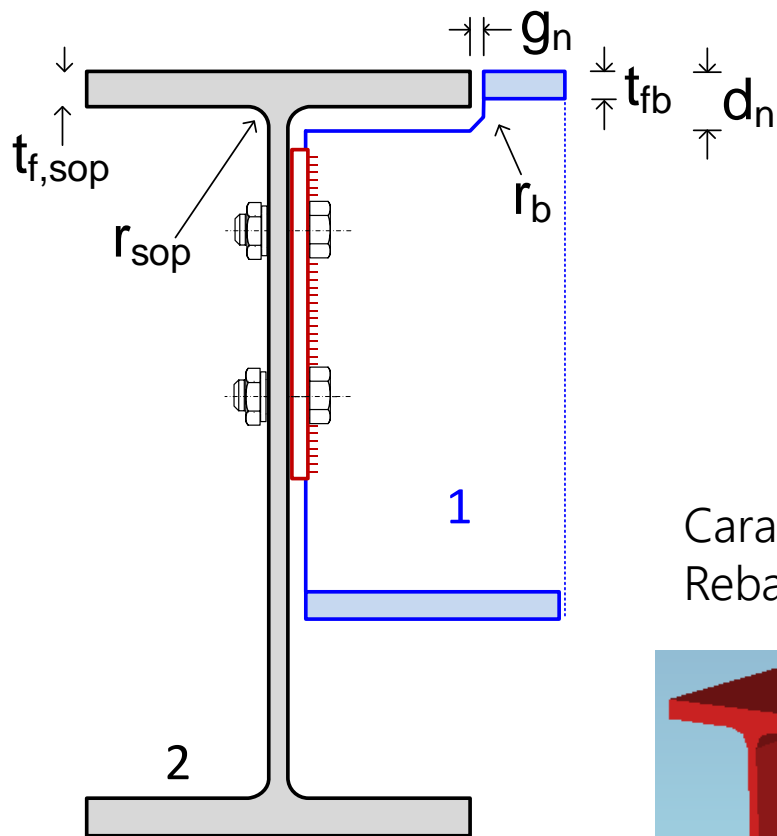


Apoyo de viga en viga mediante chapa frontal de extremo



Cara superior a diferente nivel

Apoyo de viga en viga con caras enrasadas



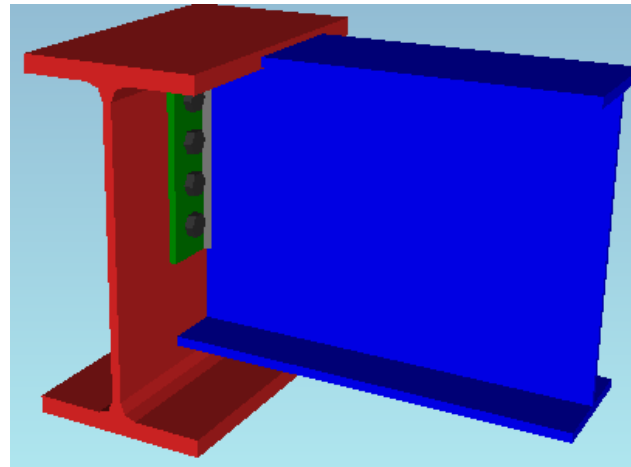
Altura de rebaje: $d_n \approx 40 - 50 \text{ mm}$

$$d_n \geq t_{fb} + r_b$$

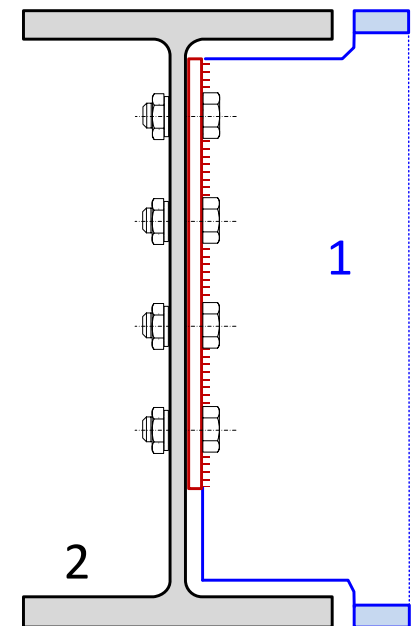
$$d_n \geq t_{f,sop} + r_{sop}$$

Holgura horizontal: $g_n \approx 10 - 15 \text{ mm}$

Cara superior enrasada.
Rebaje simple



Rebaje doble



Criterio para evitar el fallo prematuro de los tornillos a tracción

La unión debe mostrar un **comportamiento dúctil**. Los tornillos y la soldadura está sometidos a fuerzas de tracción, no previstas en el modelo, por lo que hay que evitar su fallo prematuro, que es de tipo frágil.

No normativo. Se recomienda ⁽¹⁾ cumplir una de las limitaciones:

Chapa frontal de espesor t_p y resistencia f_{yp}	$\frac{d}{t_p} \geq 2.8 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}}$	} d : diámetro de tornillos
Apoyo en ala de poste de espesor t_{fc} y resistencia $f_{y,fc}$	$\frac{d}{t_{fc}} \geq 2.8 \sqrt{\frac{f_{y,fc}}{f_{ub}}}$	
Apoyo en alma de viga o de poste de espesor t_w y resistencia $f_{y,w}$	$\frac{d}{t_w} \geq 2.8 \sqrt{\frac{f_{y,w}}{f_{ub}}}$	

≥ 1.64	S275	8.8
≥ 1.47	S275	10.9
≥ 1.86	S355	8.8
≥ 1.68	S355	10.9

Estos criterios implican que se formen mecanismos de rotura plástica en la chapa antes de que rompan los tornillos a tracción

Estos criterios no garantizan que se pueda alcanzar la resistencia a cortante total en los tornillos, sino sólo el 80% de ella (ver R1)

(1) "Design of Joints in Steel and Composite Structures", J. P. Jaspart, K. Weynard, pág. 164

R1 Resistencia de los tornillos a cortante

Grupo de tornillos formando una unión plana centrada

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,1} = 0.8 n F_{v,Rd}$$

Resistencia de un tornillo a cortante:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Tornillo 8.8 $\alpha_v = 0.6$
Tornillo 10.9 $\alpha_v = 0.5$

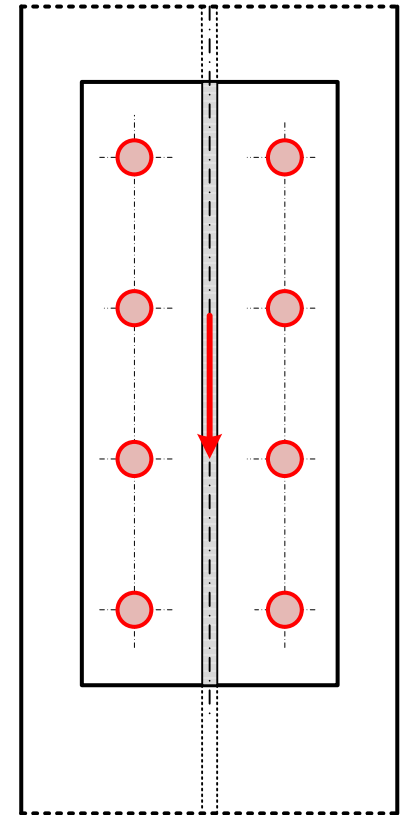
Suponiendo rosca en plano de corte

n : número total de tornillos

El factor reductor 0.8 tiene en cuenta que los tornillos pueden estar sometidos a cierta tracción, hasta $0.5 F_{t,Rd}$, y con esa tracción su resistencia a cortante es sólo $0.64 F_{v,Rd}$. Como sólo están a tracción la mitad de los tornillos (superiores), la reducción final del conjunto es $1/2 \cdot 1 + 1/2 \cdot 0.64 \approx 0.8$

No está exigido por EC3, pero recomendado por el ECCS-TC10 (publicación 126). *The European Convention for Constructional Steelwork* <https://www.steelconstruct.com/>

Ver: "Design of Joints in Steel and Composite Structures", J. P. Jaspart, K. Weynard, pág. 164



R2 Resistencia a aplastamiento en la chapa frontal

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,2} = n F_{b,Rd,p,min}$$

Resistencia a aplastamiento mínima de un tornillo en la chapa frontal

$$F_{b,Rd,p,min} = \frac{\alpha_{b,p} k_{1,p} f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_{b,p} = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1.0 \right)$$

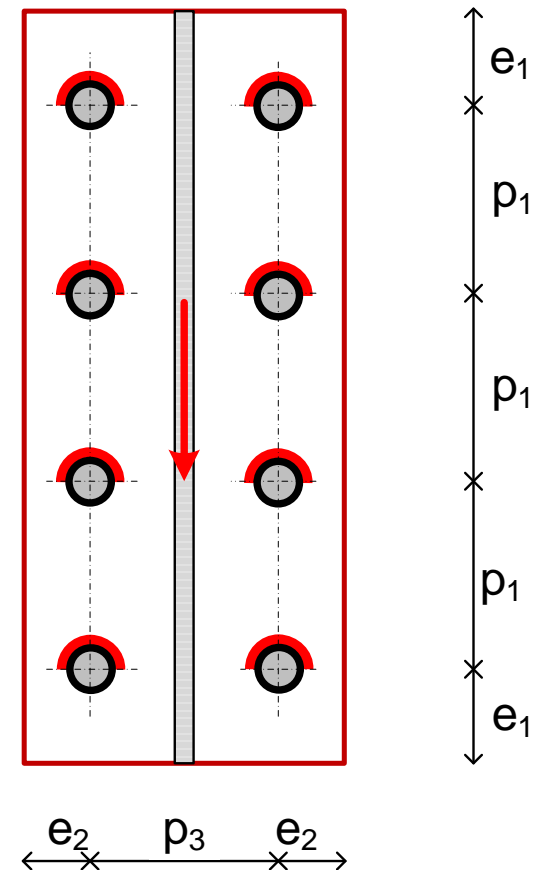
$$k_{1,p} = \min \left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_3}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$$

Con este coeficiente α_b se obtiene la resistencia mínima *minimorum* (tornillo extremo o interior)

Puede obtenerse una resistencia mayor, aplicando EN 1993-1-8 §3.7(1)

$$V_{Rd} = \sum_{i:1}^n F_{b,Rd,p,i}$$

Para ello debe ser $F_{v,Rd} > F_{b,Rd,p,i}$ para \forall tornillo



R3 Resistencia a aplastamiento en la pieza de soporte

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,3} = n F_{b,Rd,s}$$

Resistencia mínima a aplastamiento de un tornillo en la chapa de soporte

$$F_{b,Rd,s} = \frac{\alpha_{b,s} k_{1,s} f_{us} d t_s}{\gamma_{M2}}$$

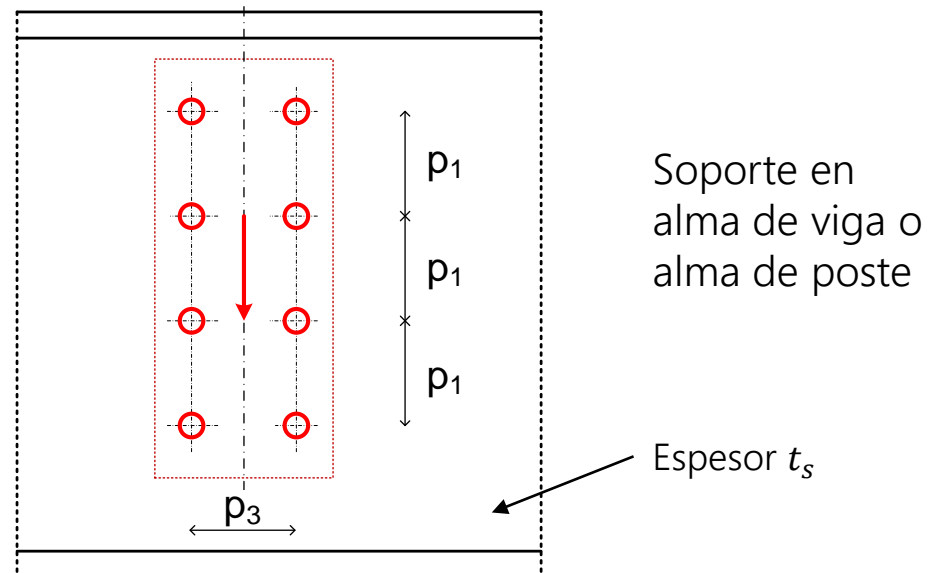
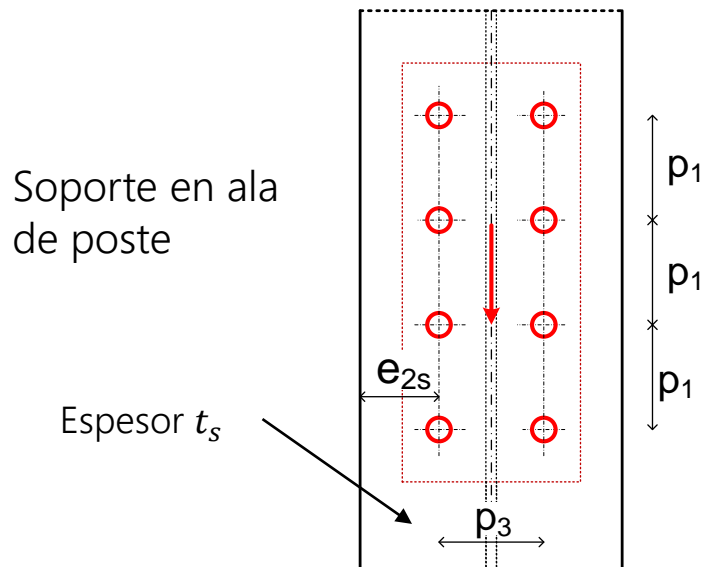
Espesor de la chapa de soporte: t_s

Resistencia de la chapa de soporte: f_{us}

$$\alpha_{b,s} = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{us}}; 1.0\right)$$

$$k_{1,s} = \min\left(\frac{2.8 e_{2s}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_3}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Soporte en alma de viga o poste: no considerar e_{2s}



R4 Resistencia de la chapa frontal a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,4} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

R4a Cortante sección bruta

$$V_{Rd,bru} = \frac{2 h_p t_p}{1.27} \frac{f_{yp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Por presencia de momento flector

f_{yp} : límite elástico de la chapa frontal

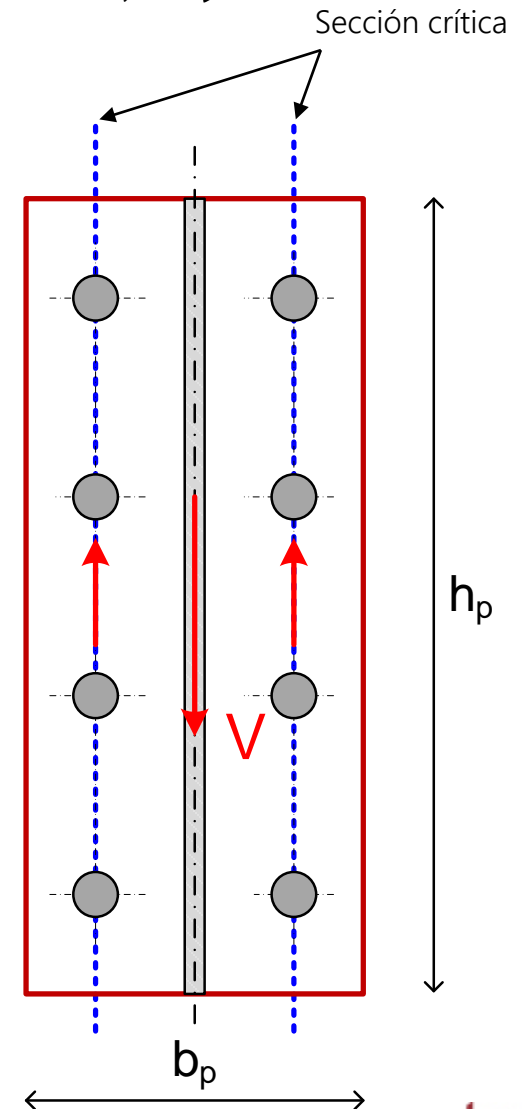
R4b Cortante sección neta

$$V_{Rd,net} = 2 A_{v,net} \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

$$A_{v,net} = t_p (h_p - n_1 d_0)$$

n_1 : número de filas de tornillos

f_{up} : límite de rotura de la chapa frontal



R4 Resistencia de la chapa frontal a cortante

R4c Arranque de los dos bloques

Si los tornillos están juntos: $p_3 \leq \frac{h_p}{1.36}$

$$V_{Rd,blo} = 2 A_{nt} \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} + 2 A_{nv} \frac{f_{yp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Si los tornillos están muy separados (1)

$$p_3 > \frac{h_p}{1.36} \quad \text{y} \quad n_1 > 1$$

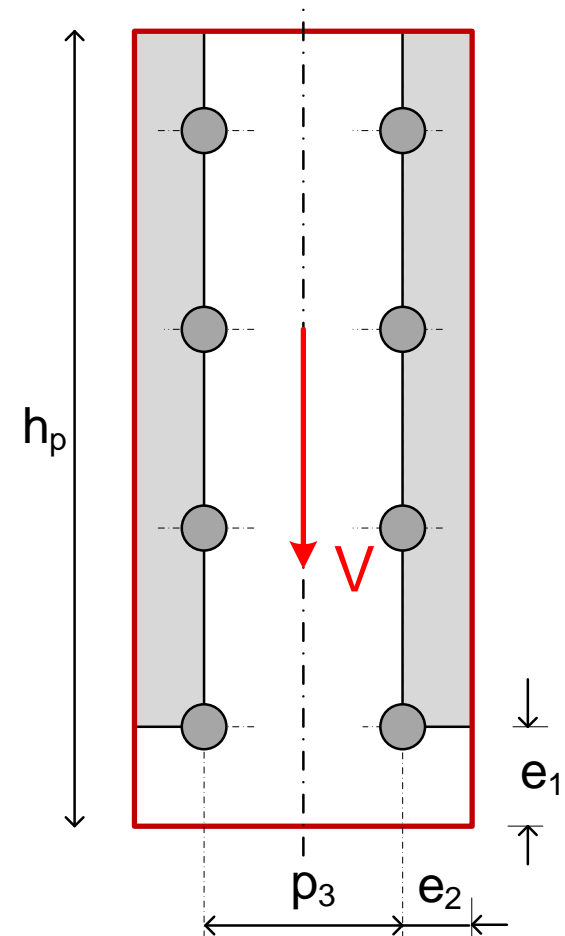
$$V_{Rd,blo} = 0.5 \cdot 2 A_{nt} \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} + 2 A_{nv} \frac{f_{yp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Área de un bloque a tracción:

$$A_{nt} = t_p \left(e_2 - \frac{d_0}{2} \right)$$

Área de un bloque a cortante:

$$A_{nv} = t_p \left(h_p - e_1 - (n_1 - 0.5)d_0 \right)$$



(1) Tornillos muy separados: se considera que $V/2$ es excéntrica respecto de cada grupo de tornillos. Se aplica un factor 0.5 (EN 1993-1-8, 3.10.2(3))

R5 Resistencia de la chapa frontal a flexión

Si la distancia entre las dos columnas de tornillos es grande, el momento flector en la sección central de la chapa puede ser determinante.

Se debe comprobar la resistencia a flexión de la sección central de la chapa si:

$$p_3 > \frac{h_p}{1.36}$$

Momento flector en la sección central de la chapa:

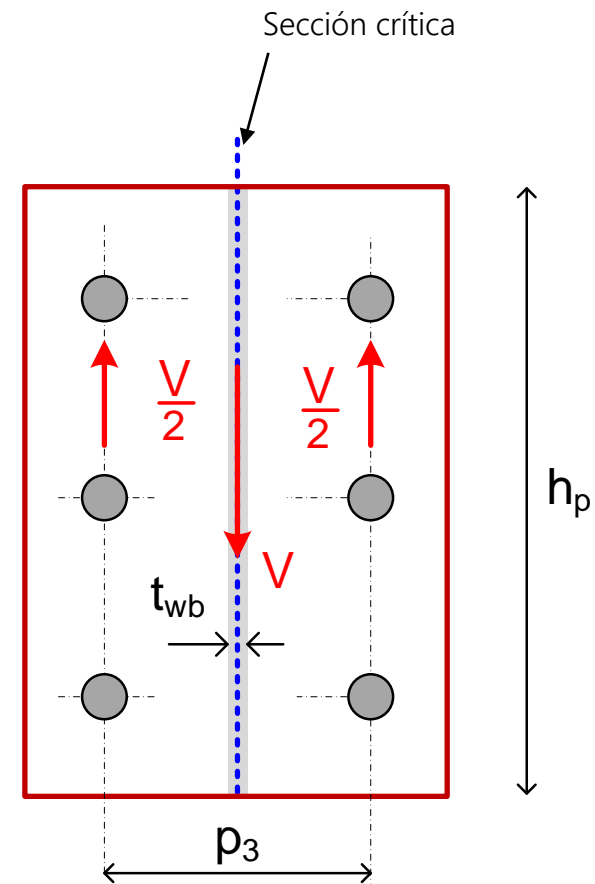
$$M_C = \frac{V_{Ed}}{2} \left(\frac{p_3 - t_{wb}}{2} \right) \leq W_{el} \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

Módulo elástico en la sección central de la chapa:

$$W_{el} = \frac{t_p h_p^2}{6}$$

Despejando:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,5} = \frac{t_p h_p^2}{3} \left(\frac{2}{p_3 - t_{wb}} \right) \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$



R6 Resistencia del alma de la viga a cortante

Se comprueba con un área a cortante de altura igual a la chapa h_p

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,6} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

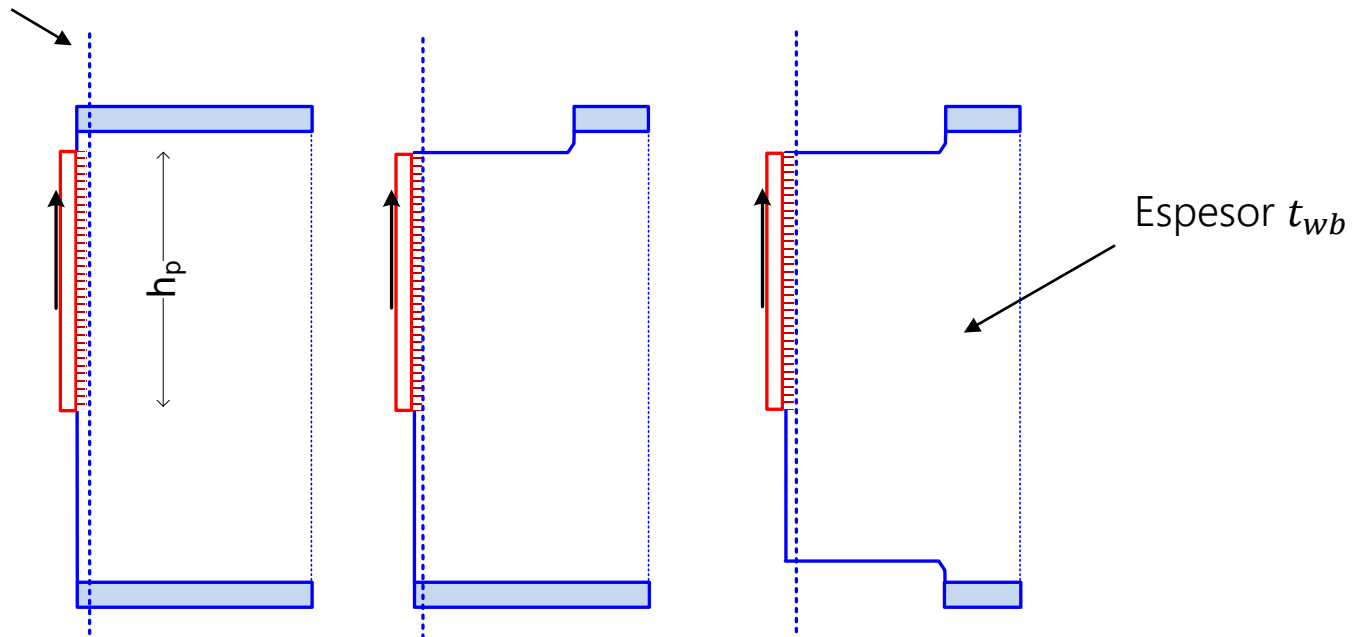
$$A_v = 0.9 h_p t_{wb}$$

f_y : límite elástico de la viga soportada

Recomendación conservadora (Access Steel)

Caso de área a cortante no cubierto por EN 1993-1-1

Sección crítica



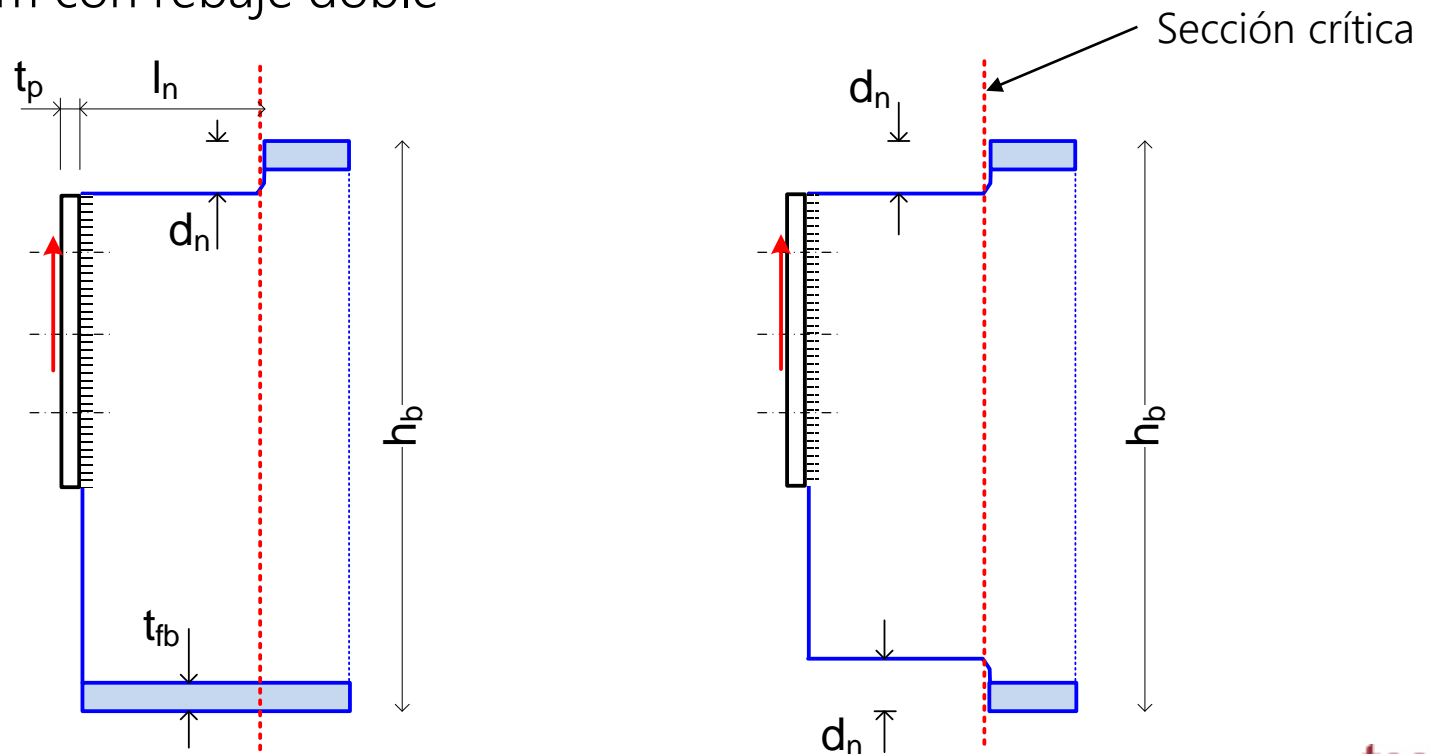
R7 Resistencia de la viga en la sección de rebaje

Rebaje simple $V_{Ed}(t_p + l_n) \leq M_{v,N,Rd}$ $V_{Ed} \leq V_{Rd,7} = \frac{M_{v,N,Rd}}{(t_p + l_n)}$

Rebaje doble $V_{Ed}(t_p + l_n) \leq M_{v,DN,Rd}$ $V_{Ed} \leq V_{Rd,7} = \frac{M_{v,DN,Rd}}{(t_p + l_n)}$

$M_{v,N,Rd}$: momento resistente en la sección rebajada en presencia de cortante

$M_{v,DN,Rd}$: Ídem con rebaje doble



R7 Momento resistente $M_{v,N,Rd}$ en la sección con rebaje simple

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{v,N,Rd} = W_{el,N} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad W_{el,N}: \text{módulo elástico mínimo de la sección en T (en el rebaje)}$$

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{v,N,Rd} = W_{el,N} (1 - \rho) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1 \right)^2$$

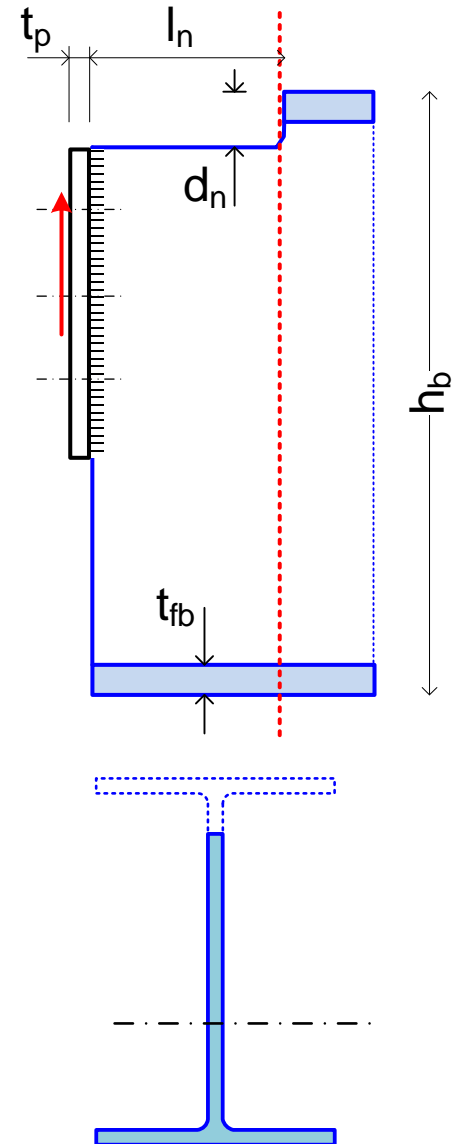
$V_{pl,N,Rd}$: resistencia a cortante de la sección con rebaje simple

$$V_{pl,N,Rd} = A_{V,N} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{V,N}$: área a cortante de la sección rebajada en T

$$A_{V,N} = A_N - b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) \frac{t_{fb}}{2}$$

$$A_{V,N} \approx (h_b - d_n - t_{fb}) t_{wb}$$



R7 Momento resistente $M_{v, DN, Rd}$ en la sección con rebaje doble

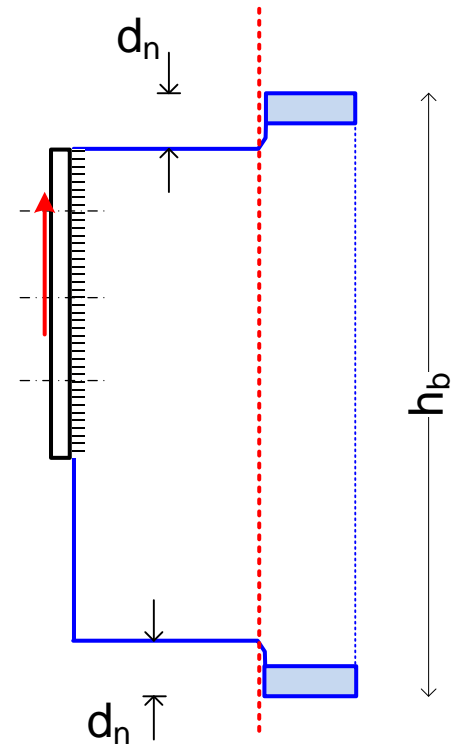
Mismas expresiones que para el rebaje simple, con el valor del módulo elástico de la sección rebajada rectangular

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl, DN, Rd}$

$$M_{v, DN, Rd} = \frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl, DN, Rd}$

$$M_{v, DN, Rd} = \frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2 (1 - \rho) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

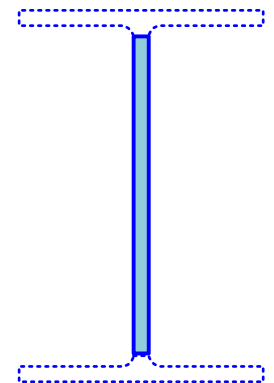


$V_{pl, DN, Rd}$: resistencia a cortante de la sección con rebaje doble

$$V_{pl, DN, Rd} = A_{V, DN} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$A_{V, DN} = 0.9 t_{wb} (h_b - 2 d_n)$$

Recomendación conservadora



R8 Resistencia de la soldadura

Chapa frontal soldada a ambos lados del alma. Longitud: $2 h_p$ Garganta: a

Transmite todo el cortante V_{Ed}

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,8} = (2 a h_p) \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Diseño como unión soldada centrada plana de **resistencia total**, con 2 cordones de garganta a y longitud h_p trabajando a cortante.

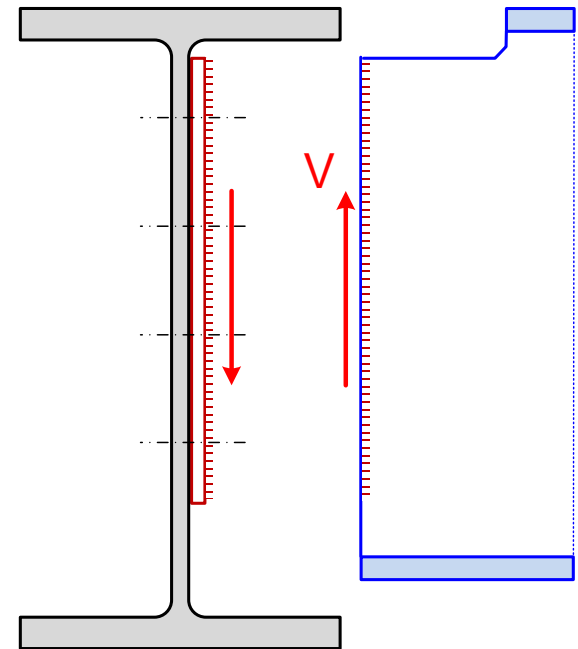
Garganta mínima necesaria para resistencia total

	f_u (MPa)	β_w	a
S275	370	0.85	$a \geq 0.38 t_{wb}$
S355	470	0.90	$a \geq 0.40 t_{wb}$
S420	520	1.00	$a \geq 0.48 t_{wb}$

Recomendación *The Steel Construction Institute*

S275: $a \geq 0.40 t_{wb}$

S355: $a \geq 0.48 t_{wb}$



R9 Resistencia a cortante del alma de la pieza de soporte (poste o viga)

No aplicable si el soporte es ala de poste

Resistencia mínima de la sección bruta y neta:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,9} = 2 \min \left(A_{V,bru} \frac{f_{ys}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} ; A_{V,net} \frac{f_{us}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} \right)$$

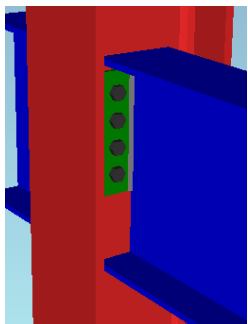
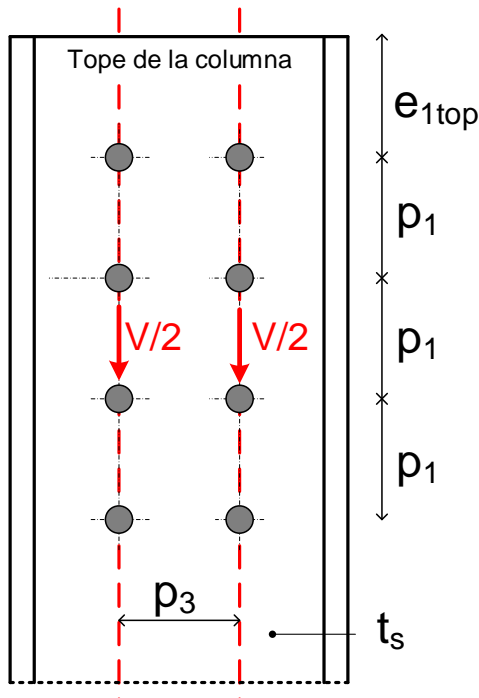
f_{ys}, f_{us} : propiedades del soporte

$$A_{V,bru} = t_s (e_{top} + (n_1 - 1)p_1 + e_{bot})$$

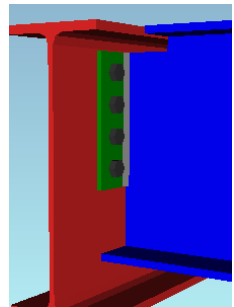
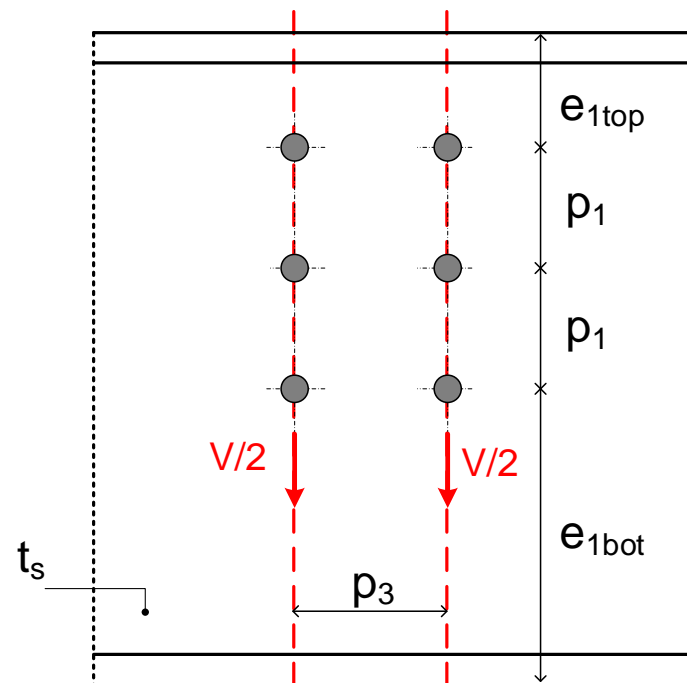
$$A_{V,net} = A_V - n_1 d_0 t_s$$

$$e_{top} = \min(e_{1top} ; 5 d) \quad e_{bot,col} = \min\left(\frac{p_3}{2} ; 5 d\right) \quad e_{bot,beam} = \min(e_{1bot} ; \frac{p_3}{2} ; 5 d)$$

Apoyo en alma de poste



Apoyo en alma de viga



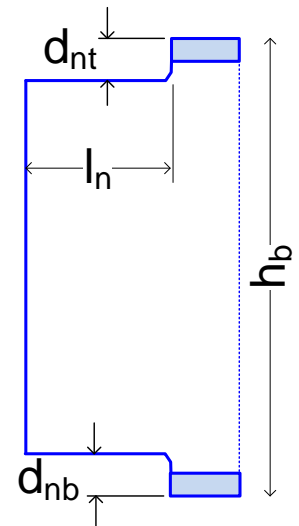
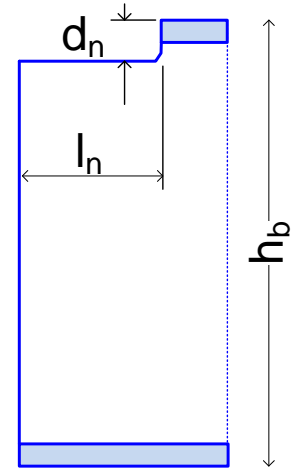
Apoyo de viga mediante chapa frontal soldada al alma

R10 Estabilidad local de la viga rebajada

No es necesario estudiar la inestabilidad local de la viga rebajada si se cumplen las dos condiciones:

Condición 1	
Rebaje simple	$d_n \leq h_b/2$
Rebaje doble	$\max(d_{nt}, d_{nb}) \leq h_b/5$

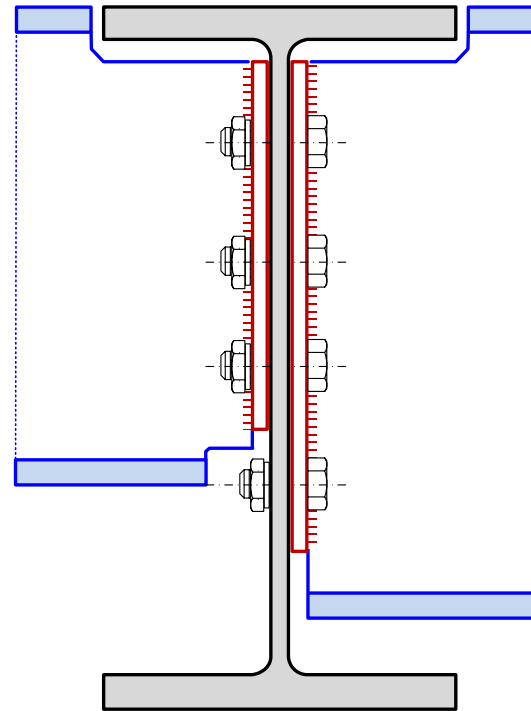
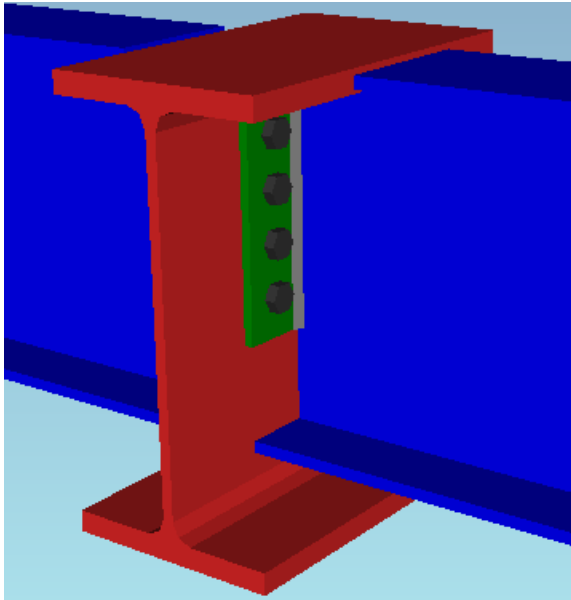
Condición 2		
	$h_b/t_{wb} \leq 54.3$	$l_n \leq h_b$
S275	$h_b/t_{wb} > 54.3$	$l_n \leq \frac{160000 h_b}{(h_b/t_{wb})^3}$
	$h_b/t_{wb} \leq 48.0$	$l_n \leq h_b$
S355	$h_b/t_{wb} > 48.0$	$l_n \leq \frac{110000 h_b}{(h_b/t_{wb})^3}$



Apoyo de dos vigas sobre una viga o sobre alma de poste

Para cada viga por separado, comprobar:

- Resistencias R1, R2, R4, R5, R6, R7, R8, R10
- Resistencias R3 y R9: comprobación diferente



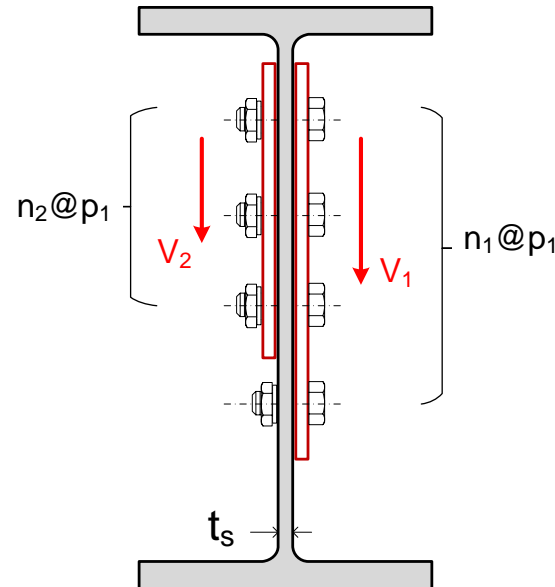
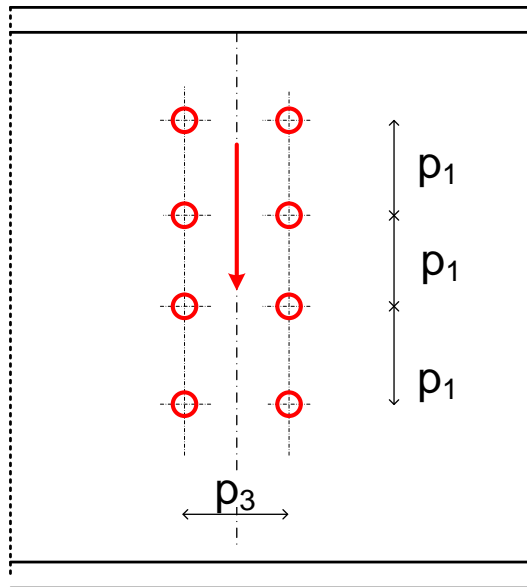
Apoyo de dos vigas. R3: Resistencia a aplastamiento en la chapa soporte

Comprobación a aplastamiento de un tornillo en la chapa de soporte.

$$\frac{V_{Ed,1}}{2 n_1} + \frac{V_{Ed,2}}{2 n_2} \leq F_{b,Rd,s}$$

$F_{b,Rd,s}$: Resistencia mínima a aplastamiento de un tornillo en la chapa de soporte. Como en R3.

$$F_{b,Rd,s} = \frac{\alpha_{b,s} k_{1,s} f_{us} d t_s}{\gamma_{M2}}$$



Apoyo de dos vigas. R9: Resistencia a cortante del alma del soporte

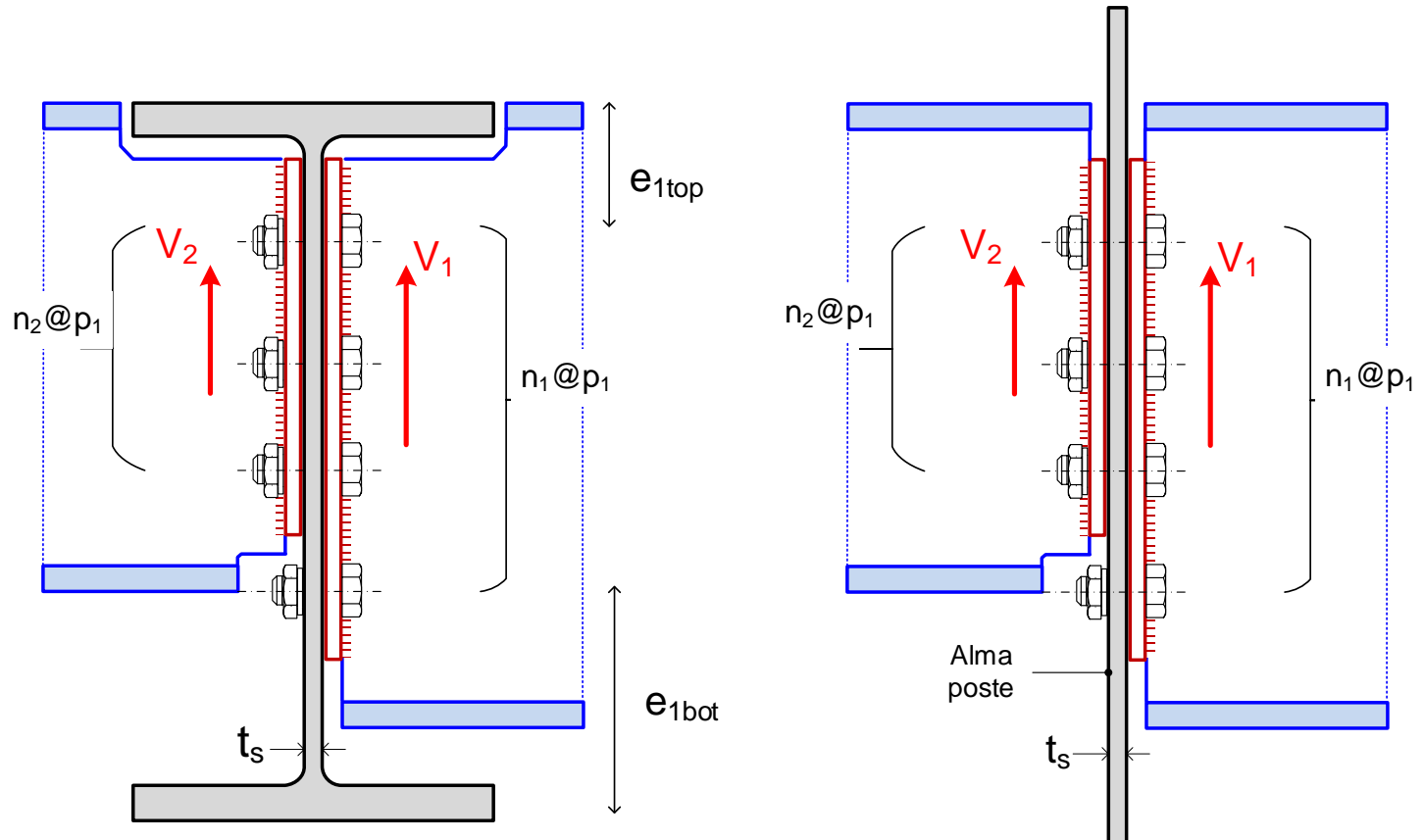
Si el soporte es alma de poste o viga

$$\frac{V_{Ed,1} + V_{Ed,2}}{2} \leq \min \left(A_{V,bru} \frac{f_{ys}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} ; A_{V,net} \frac{f_{us}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} \right)$$

$A_{V,bru}$, $A_{V,net}$, e_{top} : ídem a una viga

$$e_{bot} = \min(e_{1bot} ; \frac{p_3}{2} ; \frac{p_1}{2} ; 5 d)$$

$$n_1 \geq n_2$$



Resistencia a esfuerzo axial (1). Resistencia de atado

No es la función primaria de esta unión

Para edificios de importancia (clases 2 y 3), la norma EN 1991-1-7 "Acciones accidentales" exige cierta resistencia de atado:

En situación accidental, las vigas de atado deben poder soportar un esfuerzo axial de atado mínimo de 75 kN

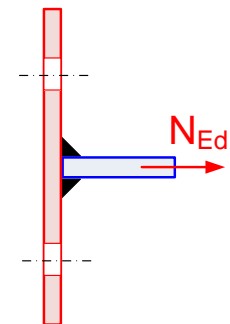
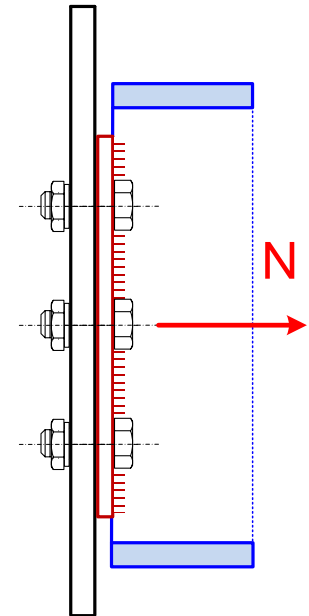
Se suele introducir esta resistencia para tener en cuenta los efectos de pretensión durante el montaje

Cálculo de esta resistencia no indicado en normas

Recomendación del "Steel Construction Institute":

Basada en la resistencia a rotura de un casquillo en T formado por toda la chapa frontal y el alma de la viga, con un modelo muy simple de líneas de rotura

$$N_{Ed} \leq \min(F_{1,Rd,u}, F_{2,Rd,u}, F_{3,Rd,u})$$



Resistencia a esfuerzo axial (2). Chapa y tornillos. Recomendación SCI

Modo 1: plastificación total, a rotura f_u , de la chapa

$$F_{1,Rd,u} = \frac{4 M_{pl,1,Rd,u}}{m} \quad M_{pl,1,Rd,u} = \frac{l_{eff} t_p^2 f_u}{4 \gamma_{M2}}$$

$$m = 0.5(p_3 - t_{wb}) - 0.8 a\sqrt{2}$$

Modo 2: plastificación de la chapa y de los tornillos

$$F_{2,Rd,u} = \frac{2 M_{pl,2,Rd,u} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad M_{pl,2,Rd,u} = M_{pl,1,Rd,u}$$

$$n = \min(e_2, 1.25 m)$$

Modo 3: fallo de todos los tornillos $F_{3,Rd,u} = \sum F_{t,Rd}$

Longitud de la línea de rotura:

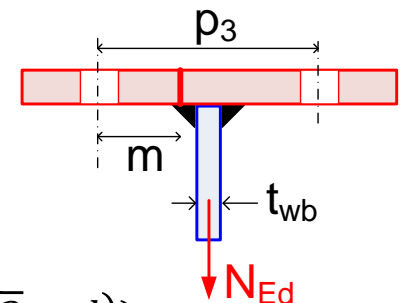
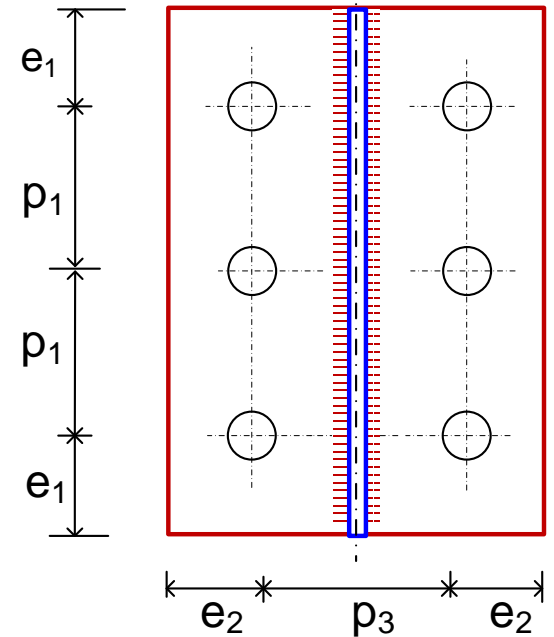
$$l_{eff} = 2 e_{1A} + (n_1 - 1) p_{1A}$$

n_1 : número de filas de tornillos

Con las dimensiones habituales $l_{eff} = h_p$ y la línea de rotura es vertical

$$e_{1A} = \min(e_1, 0.5(p_3 - t_{wb} - 2 a\sqrt{2} + d))$$

$$p_{1A} = \min(p_1, p_3 - t_{wb} - 2 a\sqrt{2} + d)$$



Resistencia a esfuerzo axial (3). Alma de la viga y soldadura

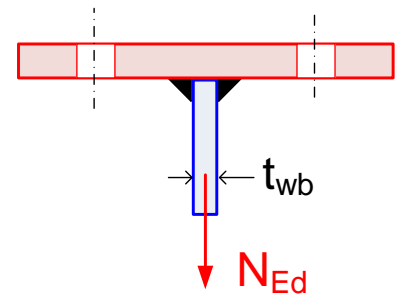
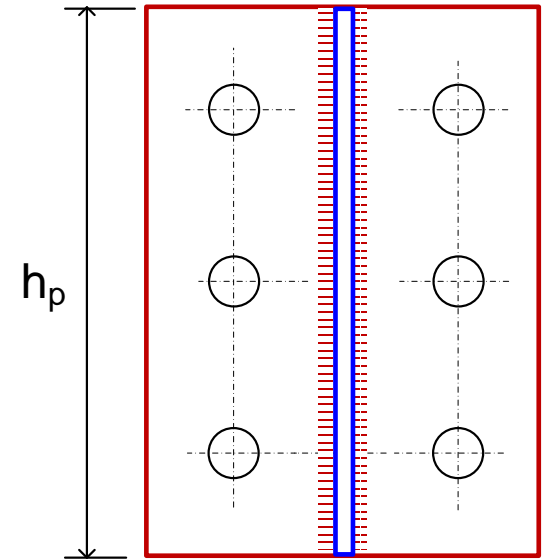
Resistencia a rotura del alma de la viga en la sección de unión con la chapa, de altura h_p

$$N_{Ed} \leq F_{Rd,wb} = t_{wb} h_p \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Resistencia de la soldadura a tracción

Unión con dos cordones frontales de longitud h_p

$$\frac{N_{Ed}}{2 a h_p} \leq \frac{f_u}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Unión de canto total

Chapa soldada al alma y a las alas

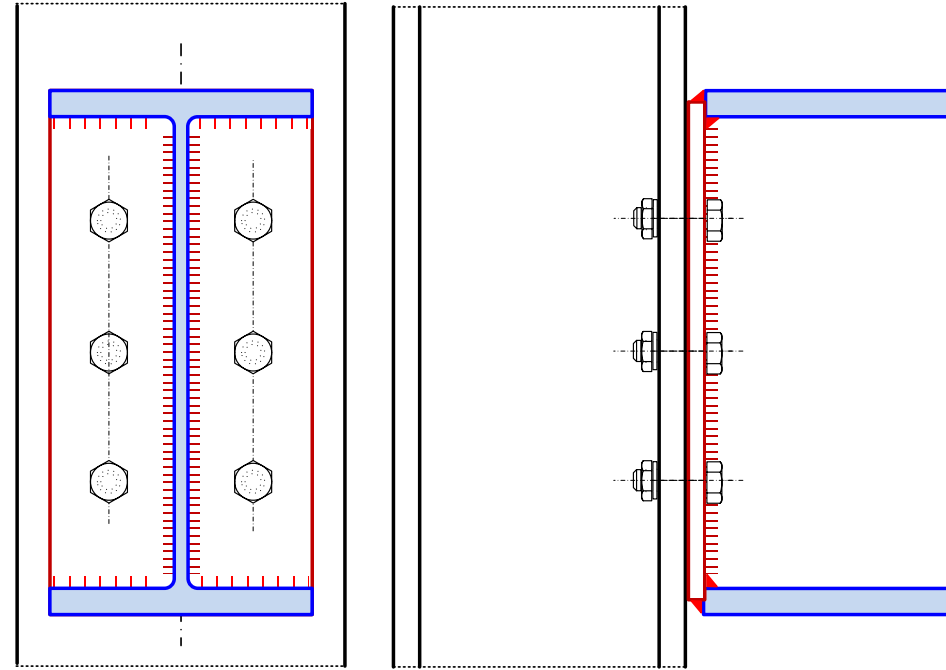
Mayor resistencia a cortante

Pequeña capacidad de rotación

Puede considerarse articulada si se emplean las dimensiones indicadas y los tornillos están cercanos al eje. Pueden aparecer momentos en ELU, pero son pequeños y se redistribuyen en la viga (*The Steel Construction Institute* ⁽¹⁾)

Espesor chapa ≤ 12 mm

Recomendado 10 mm



Resistencias R1, R2, R3, R8, R9: igual que la unión de canto parcial

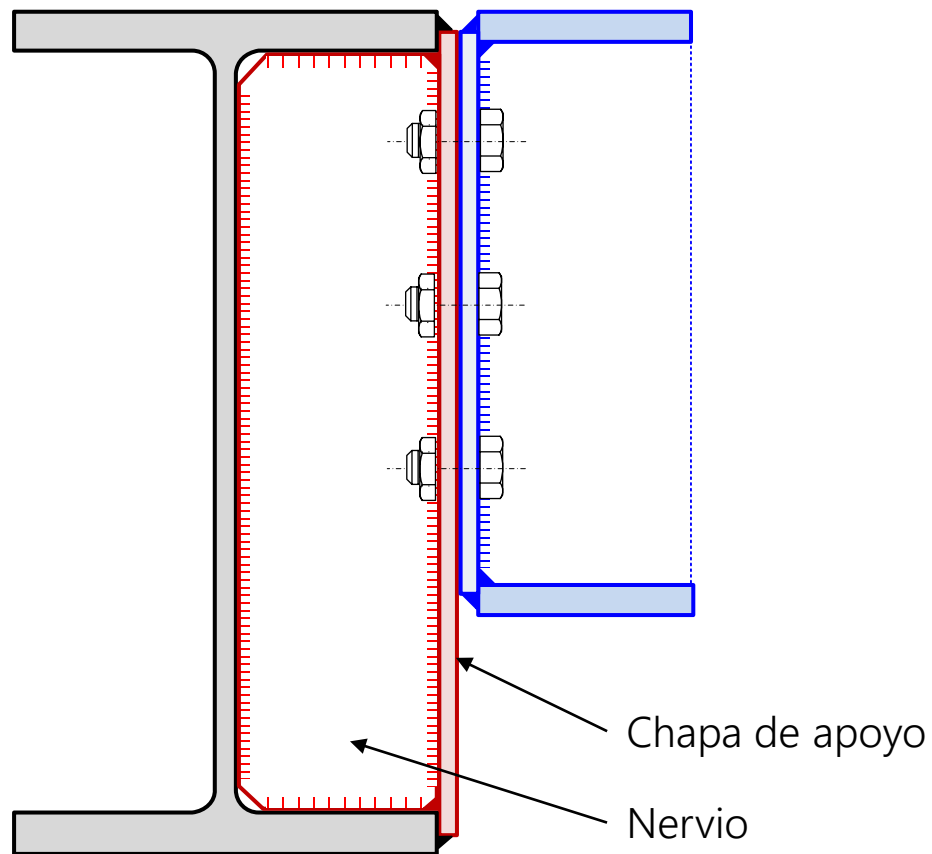
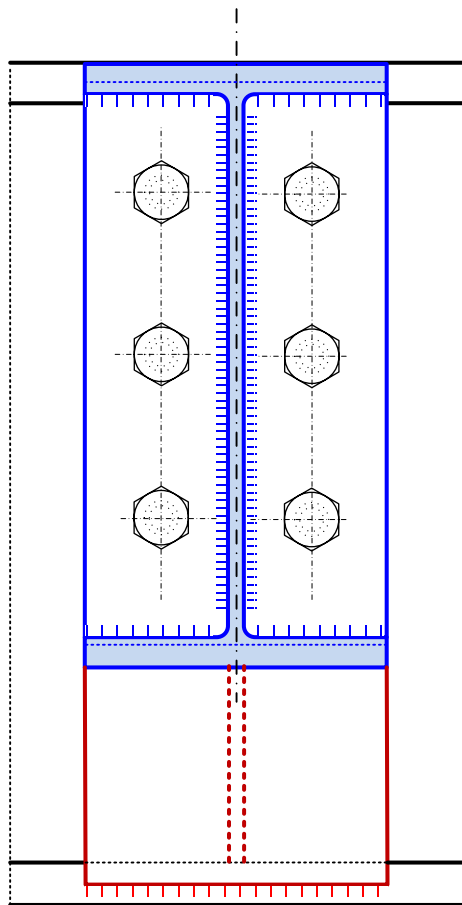
Resistencias R4, R5, R7: no necesarias

Resistencia R6: igual que la unión de canto parcial, con el área a cortante A_v de la viga

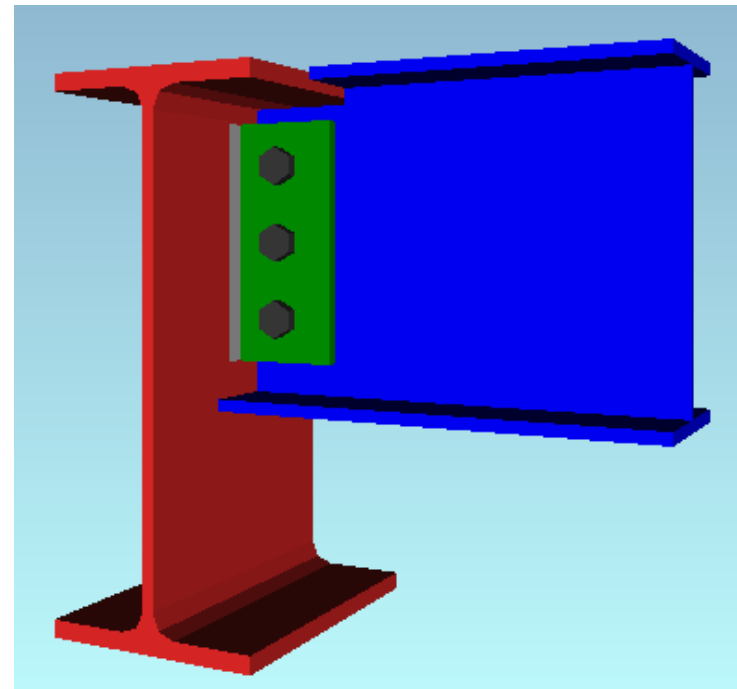
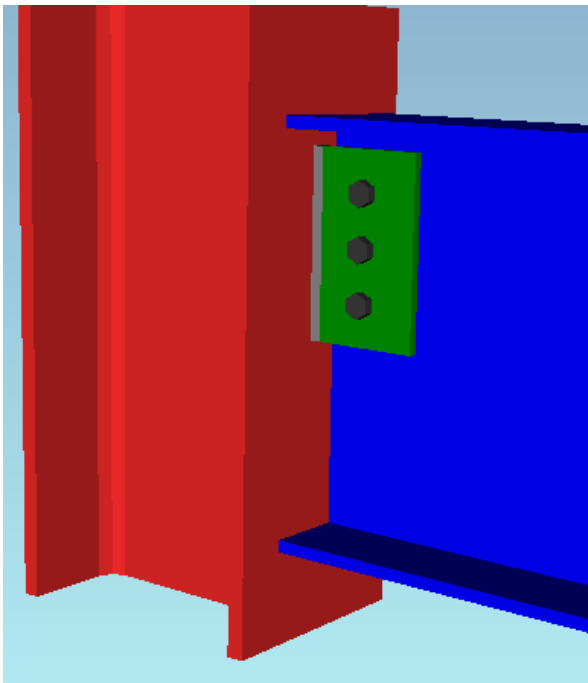
$$A_v \geq 0.9 h_{wb} t_{wb}$$

(1) *Joints in Steel Construction, Simple Joints to EC3*, The Steel Construction Institute, pág. 11.

Unión viga – viga con nervio lateral y chapa frontal



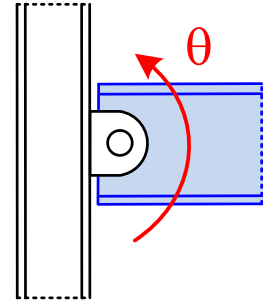
Unión de viga apoyada mediante chapa de aleta (cartela) atornillada al alma



Unión de viga apoyada mediante chapa de aleta atornillada al alma

Representa una articulación. Se usa para transmitir esfuerzo cortante V_{Ed}

El cortante se considera aplicado en la cara de contacto de la chapa aleta con el ala del soporte



Uniones atornilladas suelen ser de categoría A (tornillos ordinarios trabajando a cortante y aplastamiento)

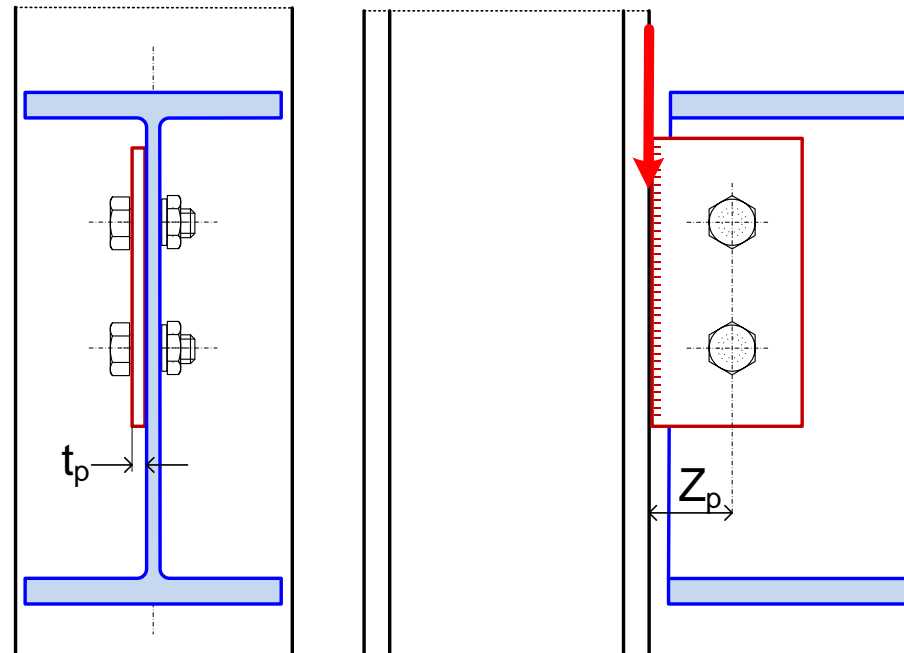
Aletas cortas: distancia z_p cara soporte – primera columna tornillos

$$z_p \leq 7 t_p$$

Situar la aleta en la parte superior de la viga (comprimida) para estabilidad

n_1 : número de filas de tornillos

n_2 : número de columnas de tornillos (1 o 2)



Dimensiones recomendadas

(The Steel Construction Institute)

Ejes de viga y poste deben estar en el mismo plano

Altura aleta $h_p > 0.6 h_b$

Altura aleta $h_p <$ zona recta del alma de la viga

Espesor aleta $t_p \approx 8 \div 10 \text{ mm}$

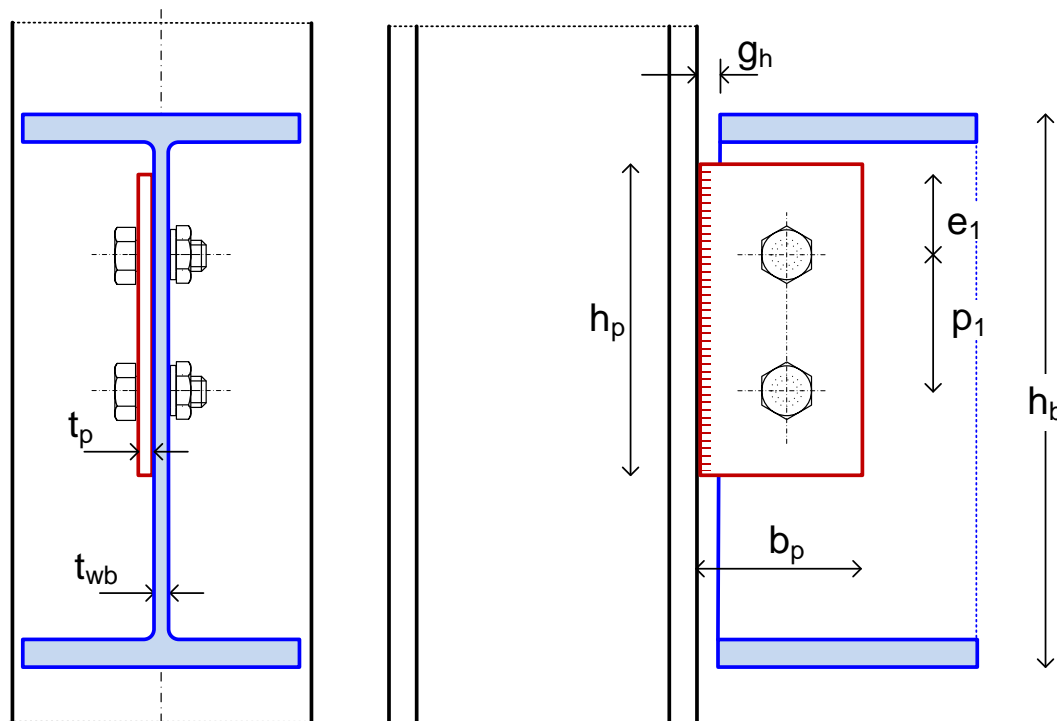
Garantizar rotación:

S275: $t_{wb} \leq 0.50 d$
 $t_p \leq 0.50 d$

S355: $t_{wb} \leq 0.42 d$
 $t_p \leq 0.42 d$

Tornillos M16, M24 - 8.8 o 10.9

Agujeros: $d_0 = 18,26 \text{ mm}$



Holgura viga – poste $g_h \approx 10 \text{ a } 20 \text{ mm}$

Dimensiones recomendadas

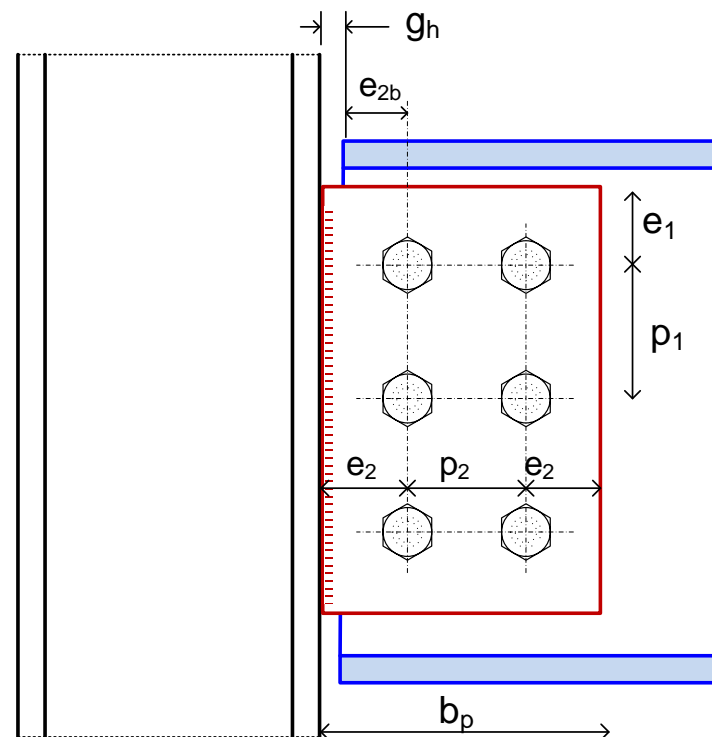
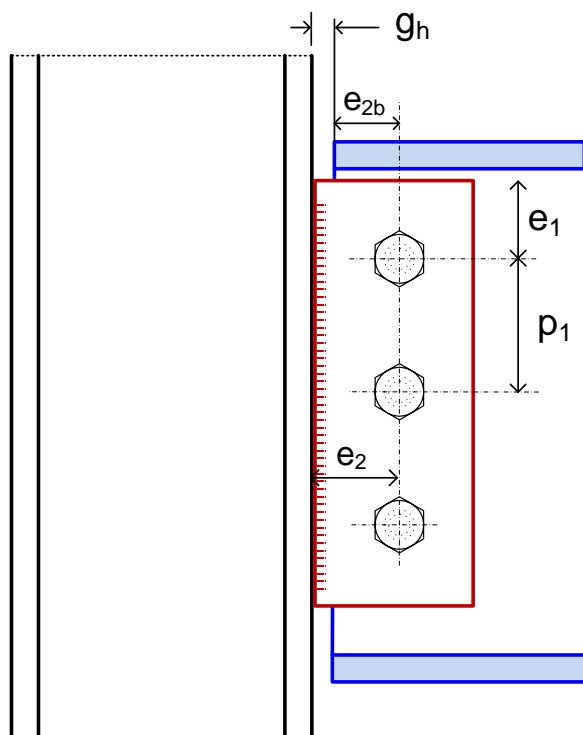
Paso vertical entre tornillos $p_1 \approx 70$ mm

Distancia tornillos al borde superior $e_1 \geq 2d$ (50 mm)

Distancia tornillos al borde lateral $e_2 \geq 2d$ (50 mm)

Paso horizontal entre columnas: $p_2 \geq 2.5d$ ($\approx 55 - 70$ mm)

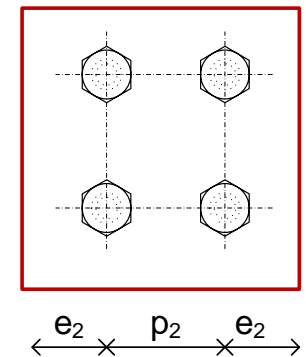
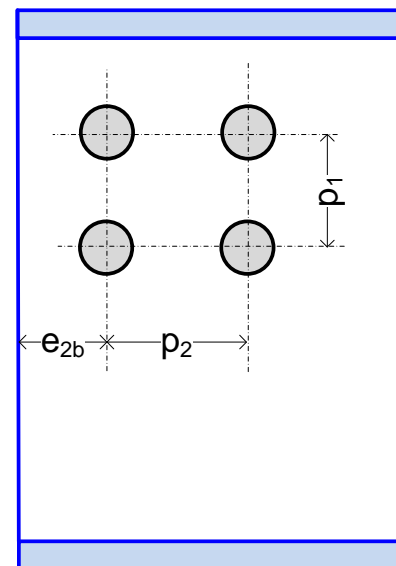
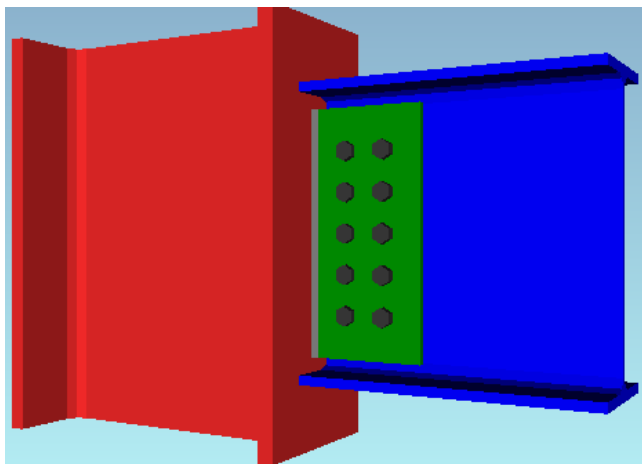
No es habitual más de 2 columnas de tornillos



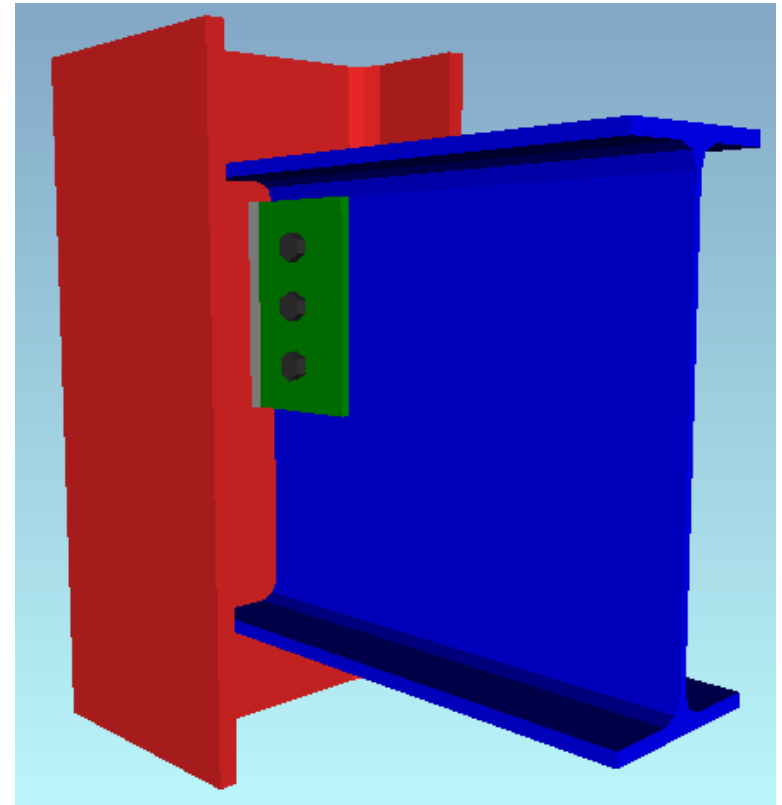
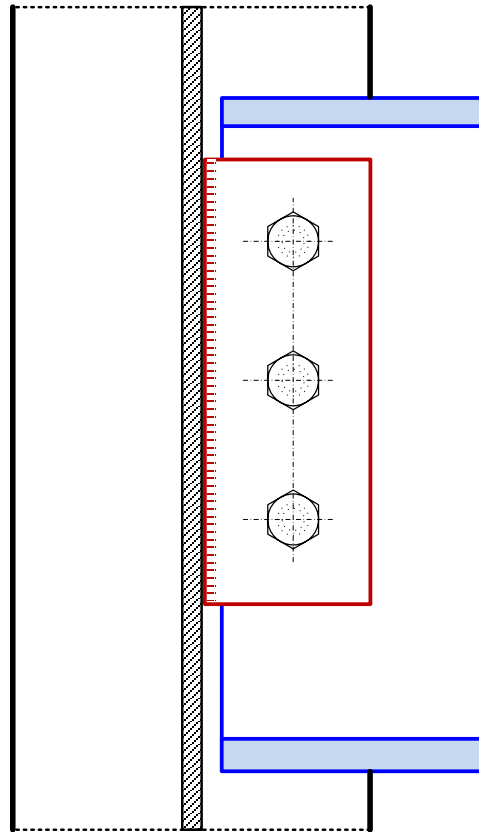
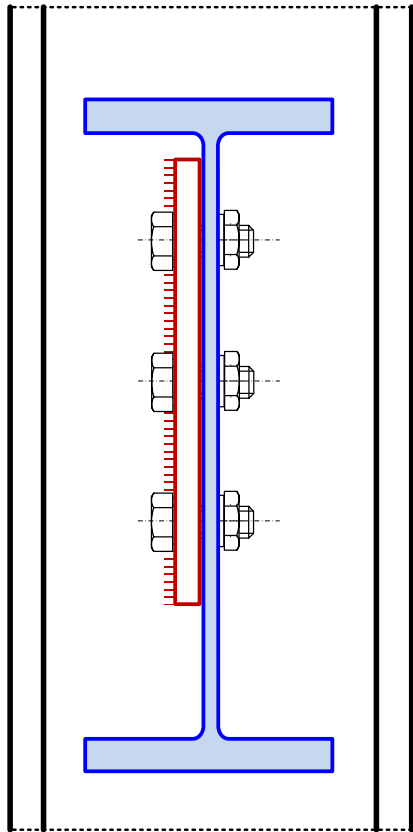
Dimensiones recomendadas

Para tornillos M20 y agujeros: $d_0 = 22$ mm

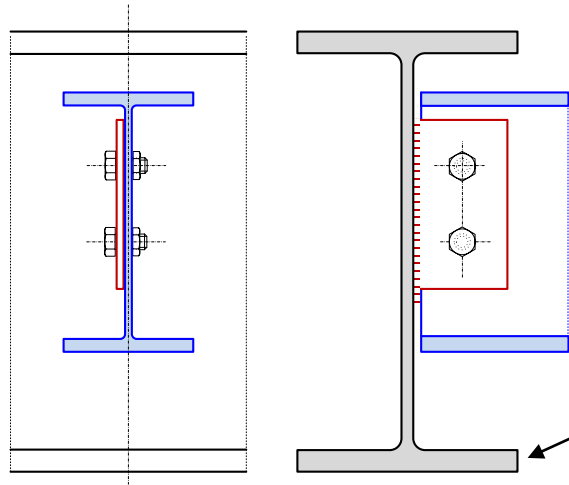
Canto viga (mm)	n_2	Aleta $b_p \times t_p$ (mm)	Espaciado horizontal tornillos ($e_2/p_2/e_2$) mm	Distancia al borde viga e_{2b} (mm)	Gap g_h (mm)
$h_b \leq 600$	1	100 x 10	50 / 50	40	10
$h_b > 600$	1	120 x 10	60 / 60	40	20
$h_b \leq 600$	2	160 x 10	50 / 60 / 50	40	10
$h_b > 600$	2	180 x 10	60 / 60 / 60	40	20



Apoyo de viga en alma de poste mediante aleta en el alma

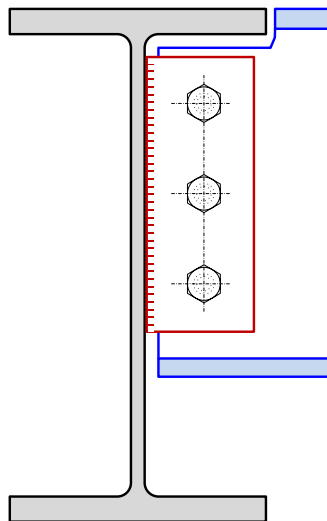
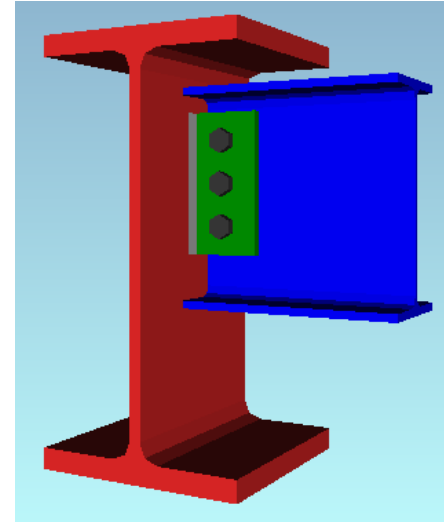


Apoyo de viga sobre viga mediante chapa de aleta

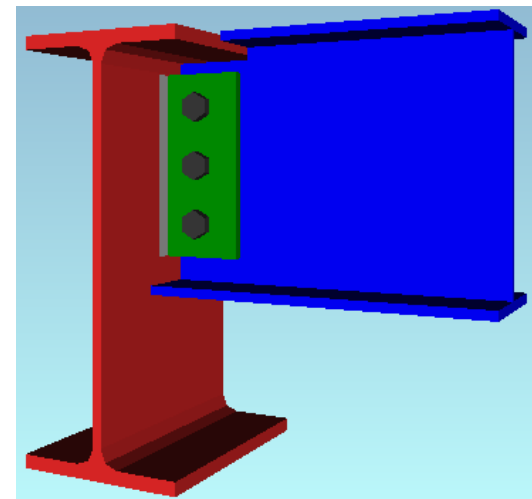


Cara superior
no enrasada

Viga de soporte



Cara superior
enrasada

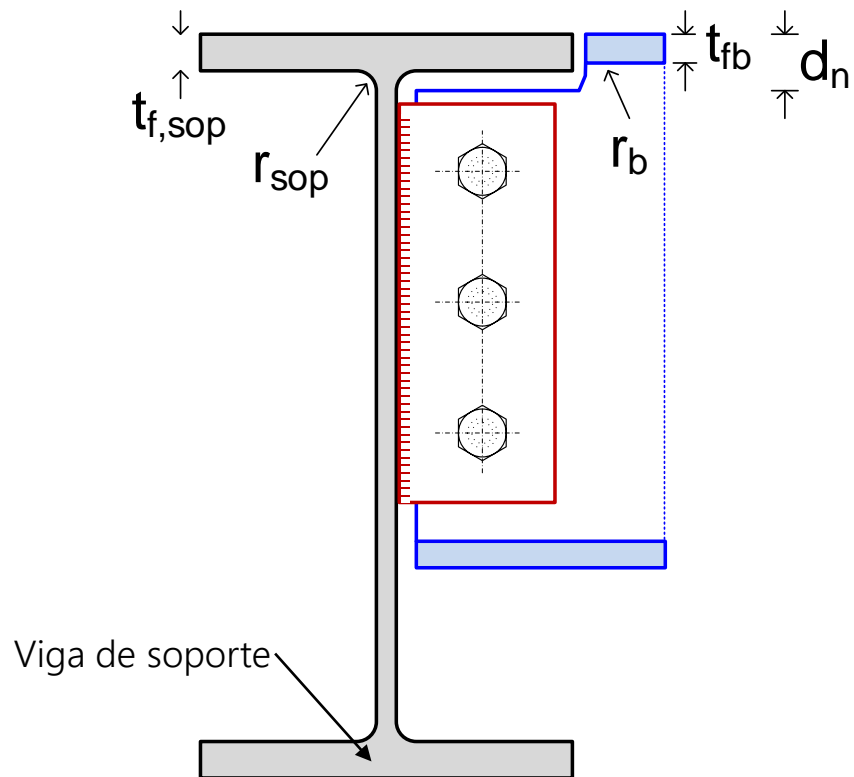


Apoyo de viga rebajada. Caras enrasadas

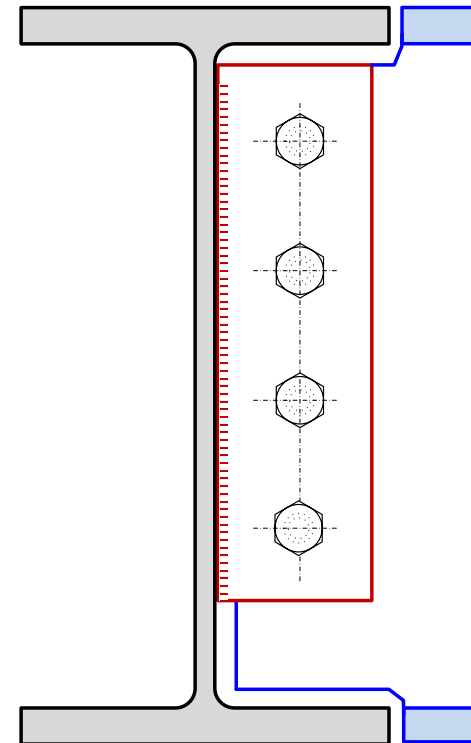
Altura de rebaje: $d_n \approx 40 - 50$ mm

Rebaje mínimo: $\max(t_{fb} + r_b, t_{f,sop} + r_{sop})$

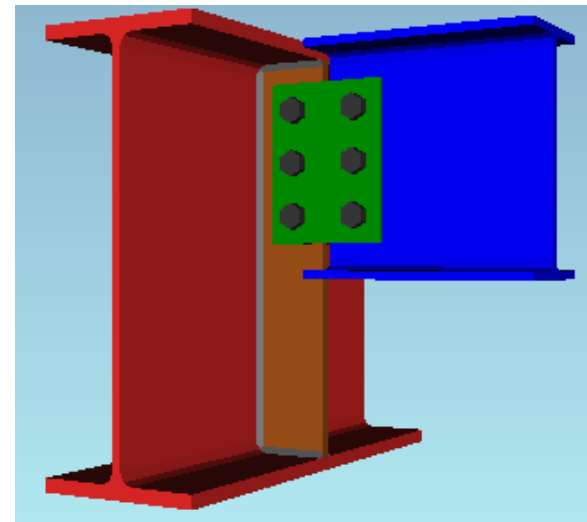
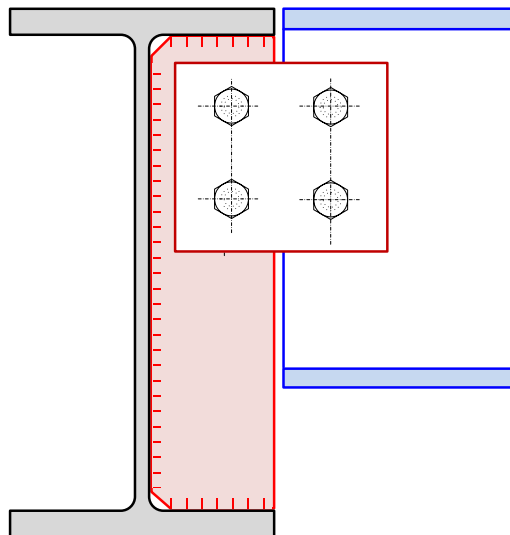
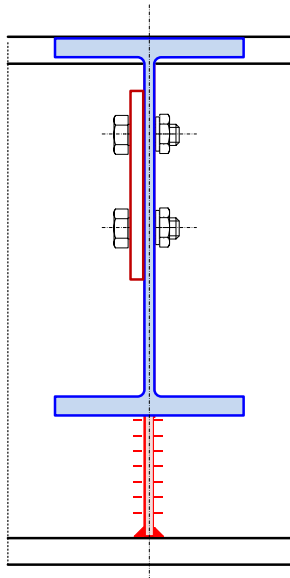
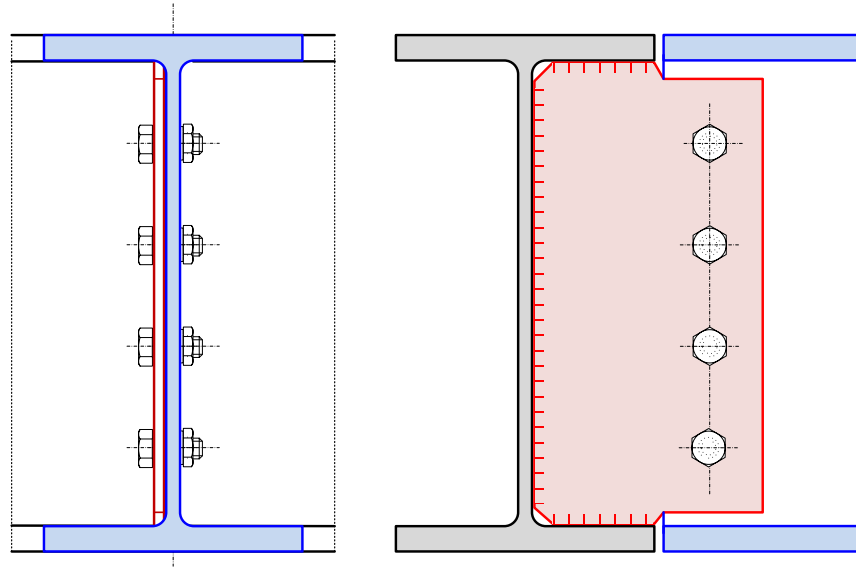
Rebaje simple



Rebaje doble



Apoyo de viga sobre viga mediante nervio lateral



Predimensionamiento

- Si $V_{Ed} \leq 0.5 V_{c,Rd}$ una columna de tornillos
- Si $0.5 V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq 0.75 V_{c,Rd}$ dos columnas de tornillos
- Si $V_{Ed} > 0.75 V_{c,Rd}$ utilizar unión con chapa frontal

Resistencia a cortante de la viga soportada $V_{c,Rd} = \frac{t_{wb} h_b f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$

Número total de tornillos: $n = n_1 n_2 = \frac{V_{Ed}}{K}$ V_{Ed} en kN Recomendación Access-Steel SN016a (Conservadora)

	Canto de la viga (mm)	(K) Una columna		(K) Dos columnas	
		$t_p = 10 \text{ mm}$	$t_p = 8 \text{ mm}$	$t_p = 10 \text{ mm}$	$t_p = 8 \text{ mm}$
S275	$h_b \leq 400$	40	35	25	25
	$400 < h_b \leq 600$	60	50	35	35
	$h_b > 600$	65	55	40	40
S355	$h_b \leq 400$	45	40	30	30
	$400 < h_b \leq 600$	70	60	40	40
	$h_b > 600$	80	65	45	45

Capacidad de rotación

Rotación permitida por la unión θ_{perm} : hasta que la esquina inferior del ala de la viga (A) contacte con el poste (B)

Suposiciones:

Elemento de soporte y chapa aleta son muy rígidos. Deformación de los agujeros y a cortante de los tornillos

Centro de rotación de la viga: en el centro geométrico de los tornillos (O)

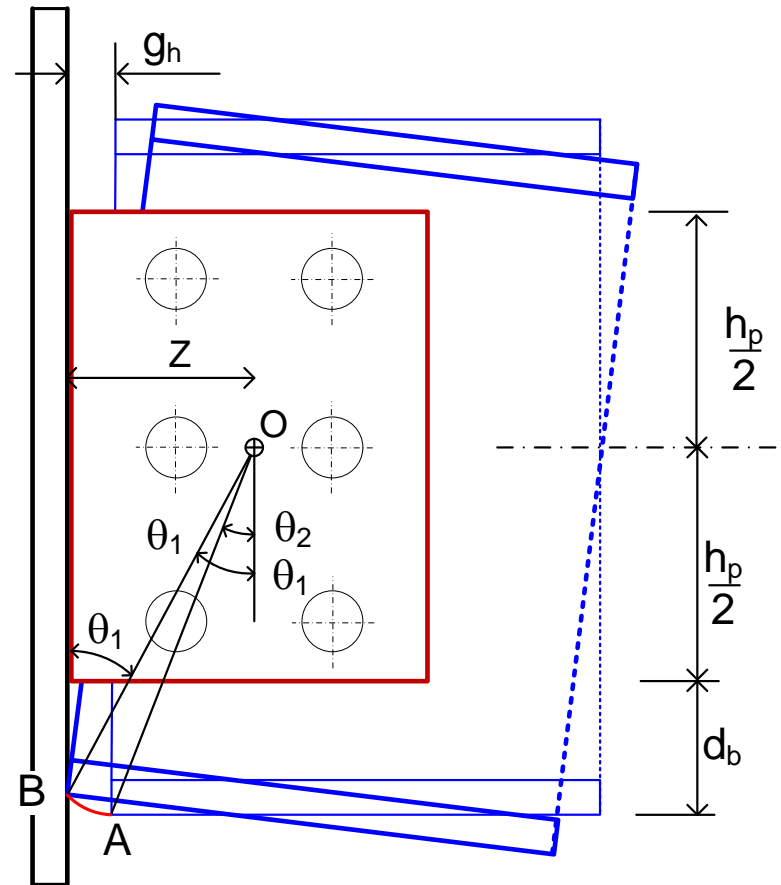
$$\theta_{perm} = \widehat{OAB} = \theta_1 - \theta_2$$

$$\sin \theta_1 = \frac{Z}{d_{OB}} = \frac{Z}{d_{OA}} \quad \tan \theta_2 = \frac{Z - g_h}{h_p/2 + d_b}$$

$$d_{OA} = \sqrt{(Z - g_h)^2 + (h_p/2 + d_b)^2}$$

Si $Z > d_{OA} \rightarrow \sin \theta_1 > 1$ el giro no está limitado $\phi_{perm} = \infty$

ϕ_{perm} debe ser superior al giro de la viga en ELU



Comprobaciones de resistencia

R1, R2, R3: resistencia de los tornillos

R4, R5, R6: resistencia de la chapa aleta

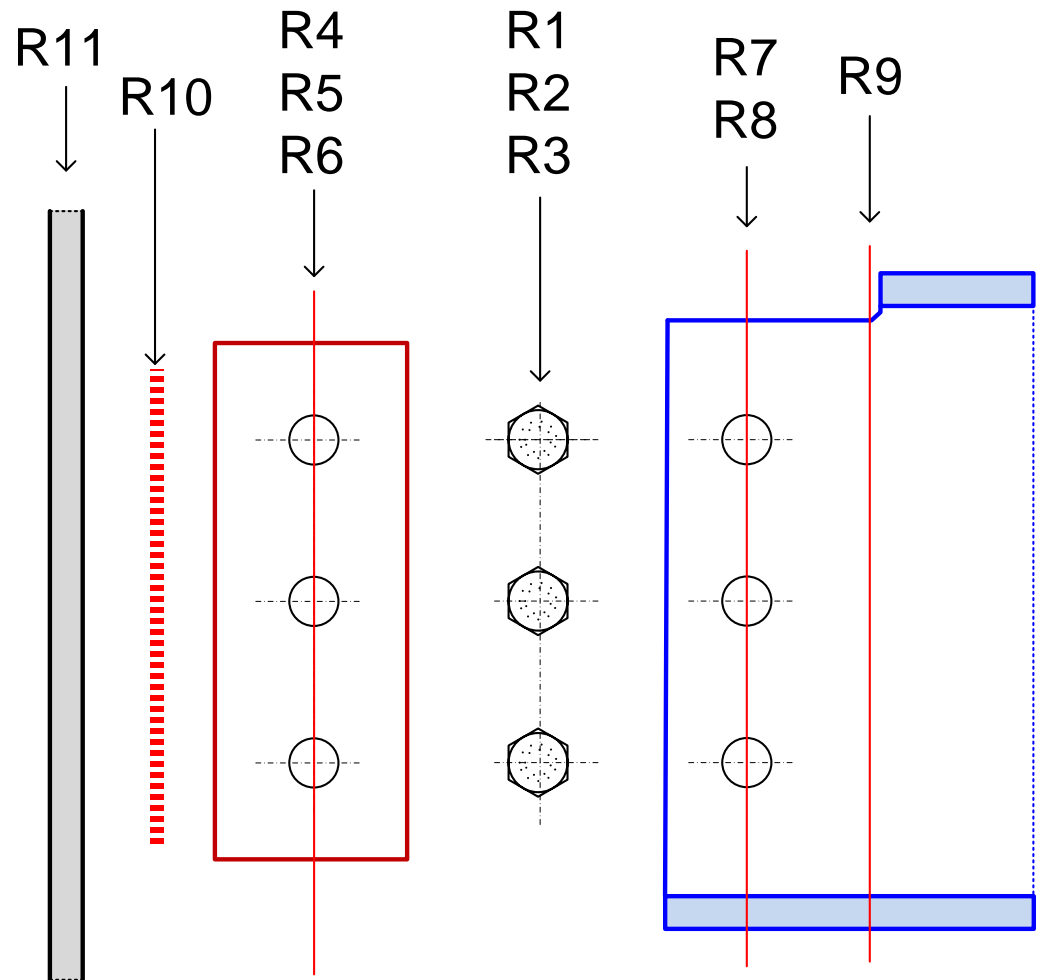
R7: resistencia del alma de la viga taladrada

R8: resistencia a flexor + cortante de la sección crítica del alma de la viga (2 columnas)

R9: resistencia de la sección de la entalla

R10: resistencia de la soldadura

R11: resistencia del soporte



R1 Resistencia de los tornillos a cortante. Una columna

El cortante está aplicado en la cara de contacto de la chapa con el ala del soporte

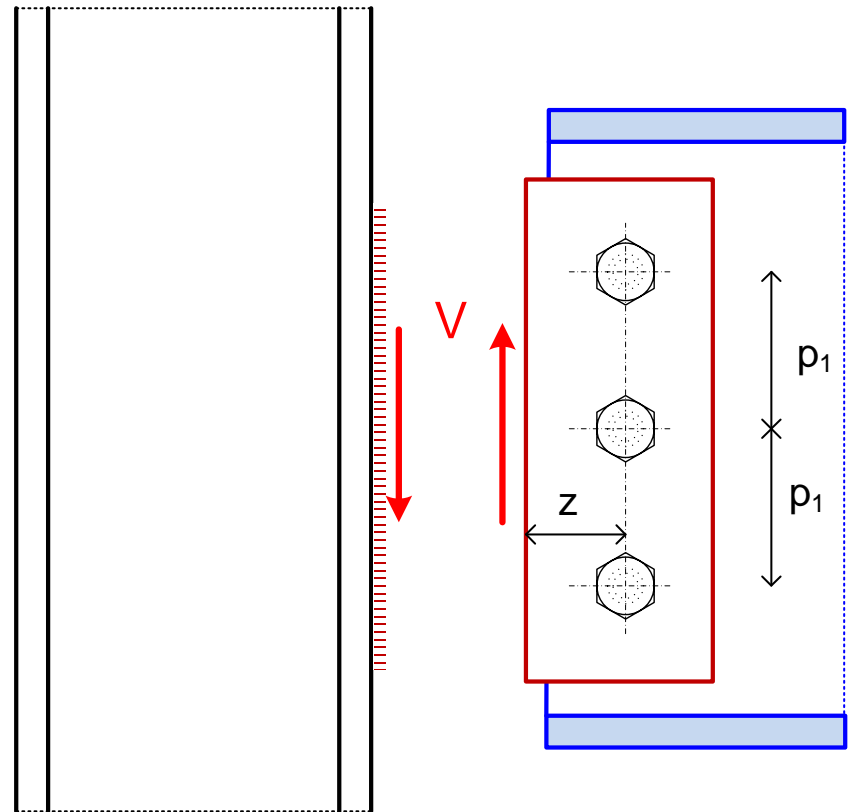
z : distancia desde la cara de contacto de la chapa con el ala del soporte hasta el c.d.g. de los tornillos

Unión plana excéntrica con una columna de n_1 tornillos separados p_1

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,1} = \frac{n_1 F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + (\beta n_1)^2}}$$

$$\beta = \frac{6z}{n_1(n_1 + 1)p_1}$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante



Deducción en "Uniones Planas a Cortante, Excéntricas"

R1 Resistencia de los tornillos a cortante. 2 columnas

Unión plana excéntrica, con dos columnas de n_1 tornillos cada una, separadas p_2

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,1} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

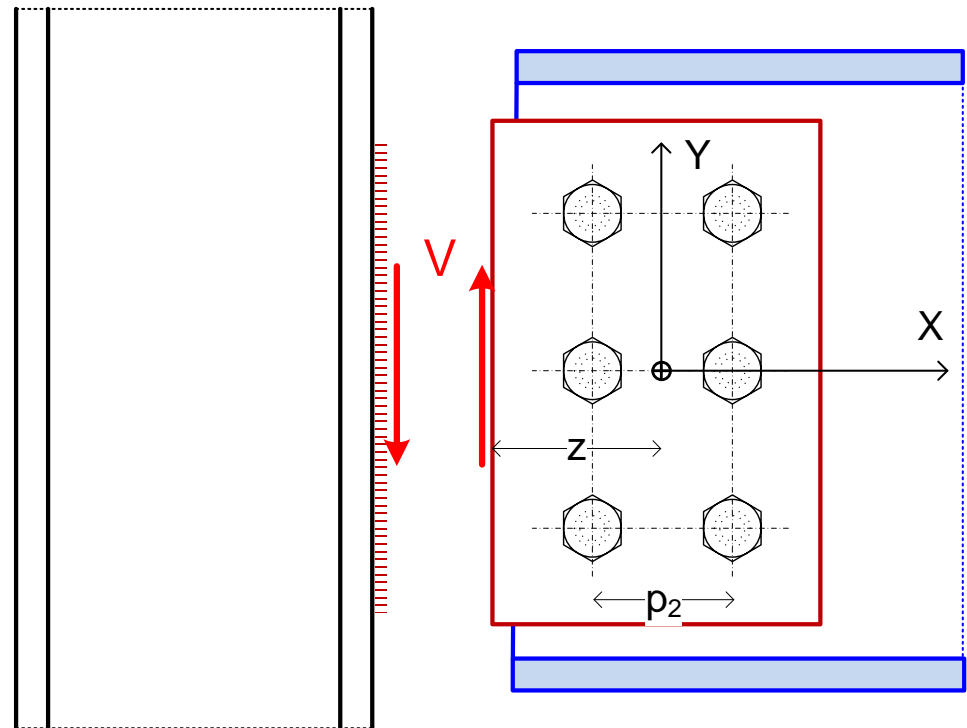
$$n = 2 n_1$$

$$\alpha = \frac{z p_2}{2 I}$$

$$\beta = \frac{z p_1 (n_1 - 1)}{2 I}$$

$$I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{n_1}{6} (n_1^2 - 1) p_1^2$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante



R2 Resistencia a aplastamiento en la chapa de aleta

Resistencia de la unión excéntrica a aplastamiento:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,2} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$

Promedio cuadrático en X, Y, conservador

Emplear α, β según el número de columnas, como en R1

Resistencia a aplastamiento mínima de un tornillo en la aleta en cada dirección:

$$F_{b,(X,Y),Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

Para la resistencia vertical $F_{b,Y,Rd}$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

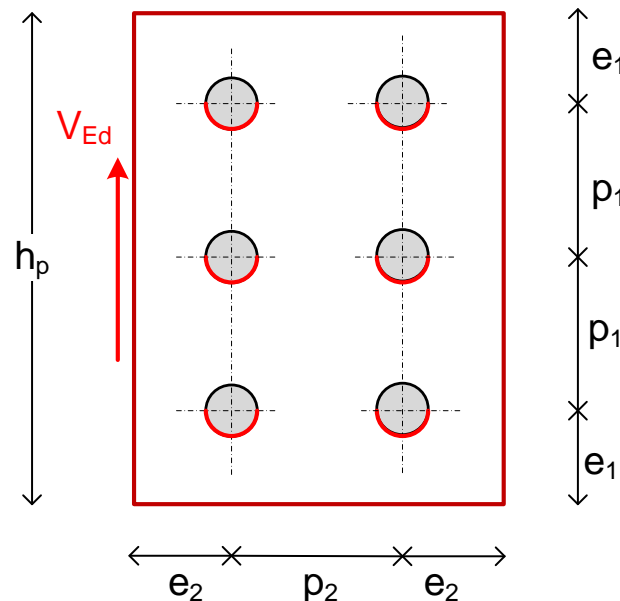
Válido para una columna, ignorando p_2

Para la resistencia horizontal $F_{b,X,Rd}$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{up}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_1}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

f_{up} Resistencia a la tracción de la chapa aleta



R3 Resistencia a aplastamiento en el alma de la viga

Resistencia de la unión excéntrica a aplastamiento:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,3} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$

Promedio cuadrático en X, Y, conservador

Emplear α, β según el número de columnas, como en R1

Resistencia a aplastamiento mínima de un tornillo en la viga en cada dirección:

$$F_{b,(X,Y),Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_u d t_{wb}}{\gamma_{M2}}$$

Para la resistencia vertical $F_{b,Y,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_{2b}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{1b}}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0\right)$$

Válido para una columna, ignorando p_2

Viga sin rebaje: ignorar e_{1b}

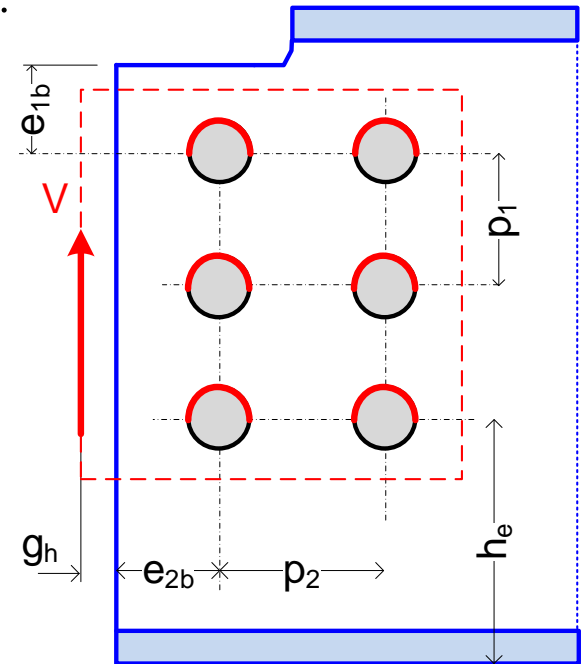
Para la resistencia horizontal $F_{b,X,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_{1b}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0\right)$$

f_u Resistencia a la tracción del alma de la viga

f_{ub} Resistencia a la tracción del tornillo



R4 Resistencia de la aleta a cortante - 1 columna

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,4} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

R4a. Cortante de la sección bruta (al límite elástico)

$$V_{Rd,bru} = \frac{h_p t_p f_{yp}}{1.27 \sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

(1) →

R4b. Cortante de la sección neta (a rotura)

$$V_{Rd,net} = (h_p - n_1 d_0) t_p \frac{f_{up}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

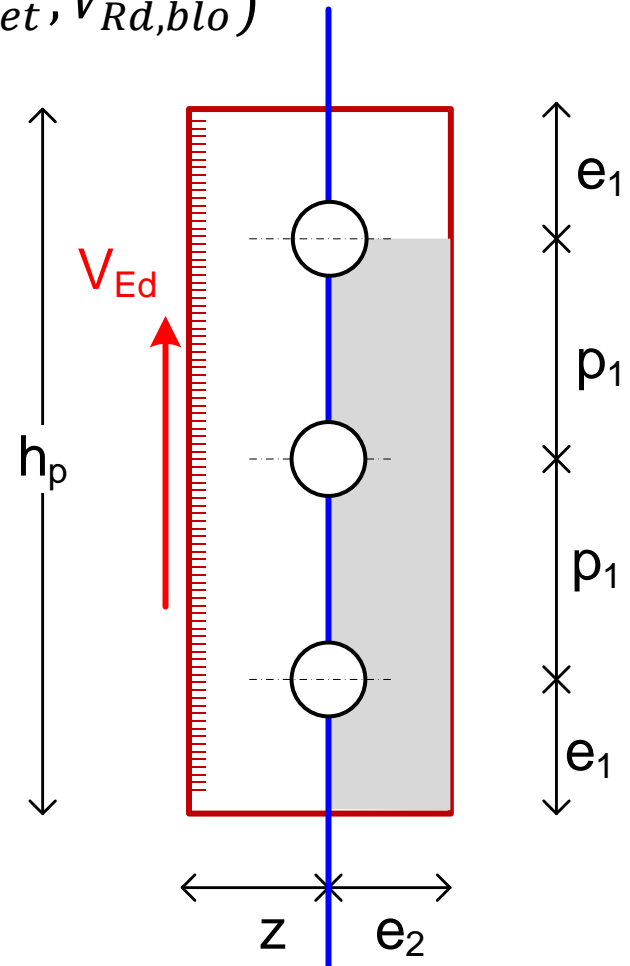
R4c. Arranque de bloque

$$V_{Rd,blo} = 0.5 A_{nt} \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_{yp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Factor 0.5 por excentricidad de V_{Ed} respecto de los tornillos
EN 1993-1-8, 3.10.2(3).

$$A_{nt} = t_p \left(e_2 - \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_{nv} = t_p (h_p - e_1 - (n_1 - 0.5)d_0)$$



(1) Reducción por presencia de momento flector

R4 Resistencia de la aleta a cortante - 2 columnas

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,4} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

R4a. Cortante sección bruta: ídem a 1 columna

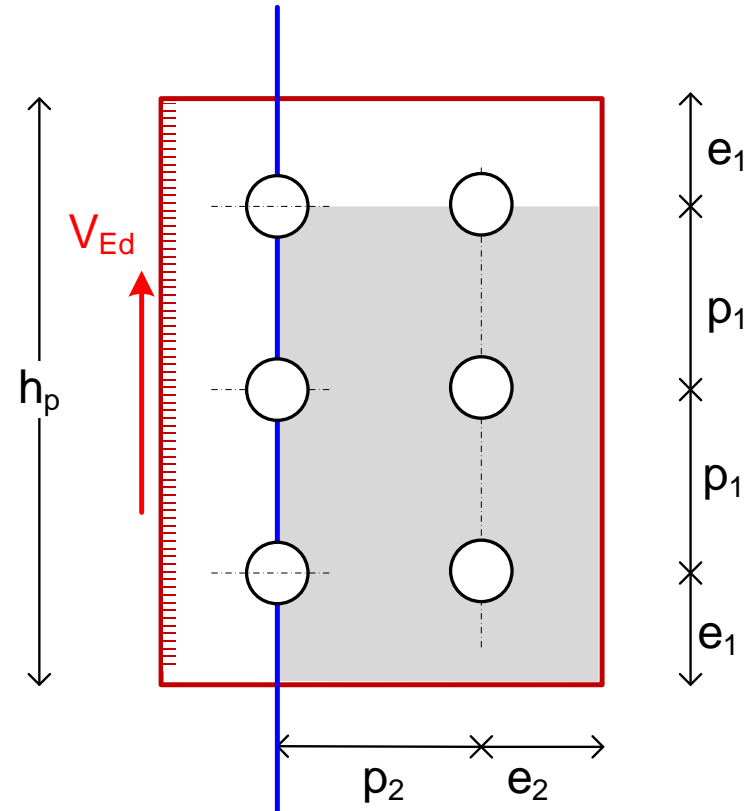
R4b. Cortante sección neta: ídem a 1 columna

R4c. Arranque del bloque

Ídem a 1 columna, con otras áreas

$$A_{nt} = t_p (p_2 + e_2 - 1.5 d_0)$$

A_{nv} : ídem a 1 columna



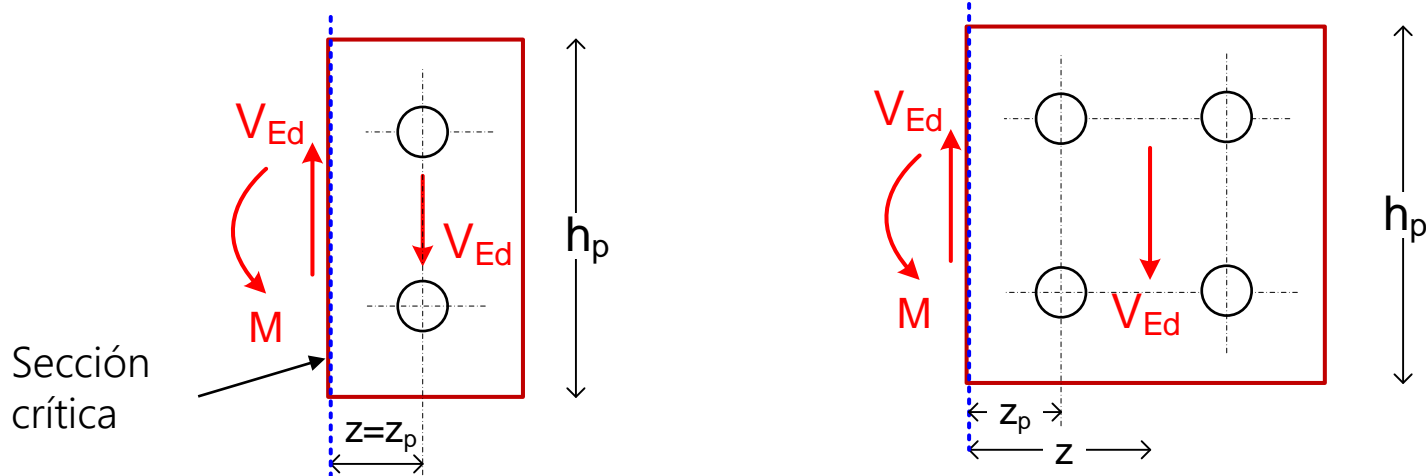
R5 Resistencia de la aleta a flexión

Aletas de poco canto $h_p < 2.3 z \rightarrow$ Comprobar a flexión

Momento flector producido por el cortante: $V_{Ed} z$

$$V_{Ed} z \leq W_{el,p} \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed} \leq V_{Rd,5} = \frac{W_{el,p}}{z} \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}}$$

Módulo elástico de la aleta $W_{el,p} = \frac{t_p h_p^2}{6}$
(sección rectangular $h_p \times t_p$)



R6 Resistencia de la aleta a pandeo lateral torsional

Sólo para aletas largas: $z_p > 7 t_p$

$$t_p = 10 \rightarrow z_p > 70 \text{ mm}$$

$$t_p = 8 \rightarrow z_p > 56 \text{ mm}$$

Momento flector producido por el cortante: $V_{Ed} z$

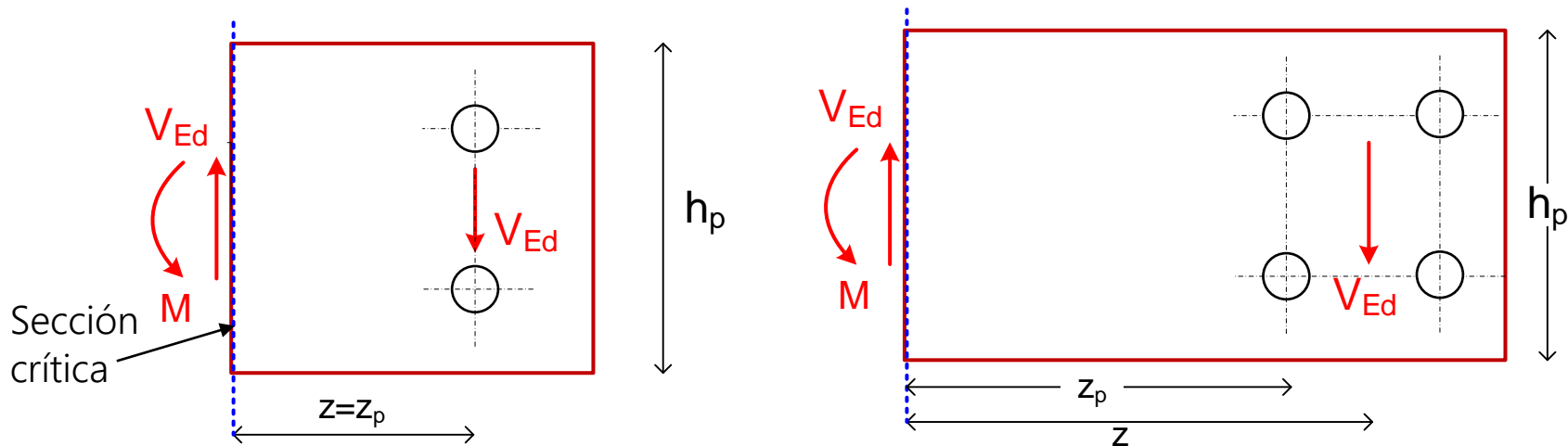
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,6} = \frac{W_{el,p}}{z} \frac{\chi_{LT} f_{yp}}{0.6 \gamma_{M1}}$$

Factor 0.6 tiene en cuenta el diagrama de momentos lineal en la aleta

χ_{LT} factor de reducción por pandeo lateral, según 6.3.2.2 de EN 1993-1-1, con $\alpha_{LT} = 0.76$

$\bar{\lambda}_{LT}$ esbeltez de la aleta

$$S275 \quad \bar{\lambda}_{LT} = \frac{2.8}{86.8} \left(\frac{z_p h_p}{1.5 t_p^2} \right)^{1/2}$$



R7 Resistencia del alma de la viga a cortante (1)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,7} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

R7a. Cortante de la sección bruta

$$V_{Rd,bru} = A_{Vbru} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

1. Sin rebaje

$$A_{Vbru} = A_{Vb}$$

2. Rebaje simple

$$A_{Vbru} \approx (h_b - d_n - t_{fb}) t_{wb}$$

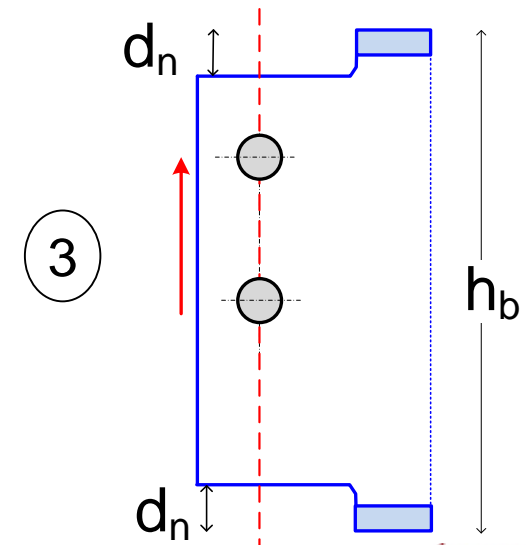
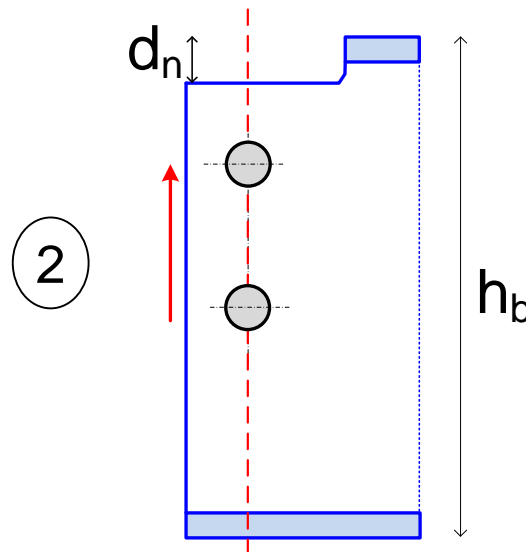
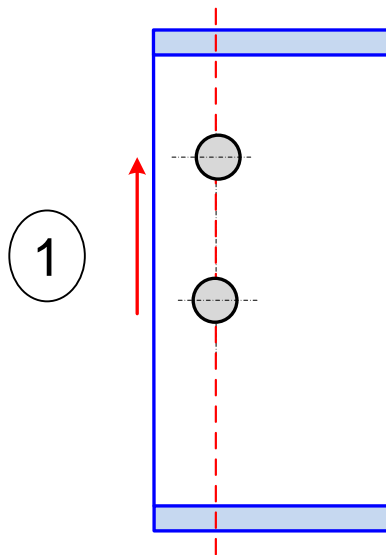
Expresión detallada, más adelante

3. Rebaje doble

$$A_{Vbru} = 0.9 t_{wb} (h_b - 2 d_n)$$

A_{Vb} : Área a cortante de la viga

f_y Límite elástico del alma de la viga



Apoyo de viga mediante chapa de aleta atornillada al alma

R7 Resistencia del alma de la viga a cortante (2)

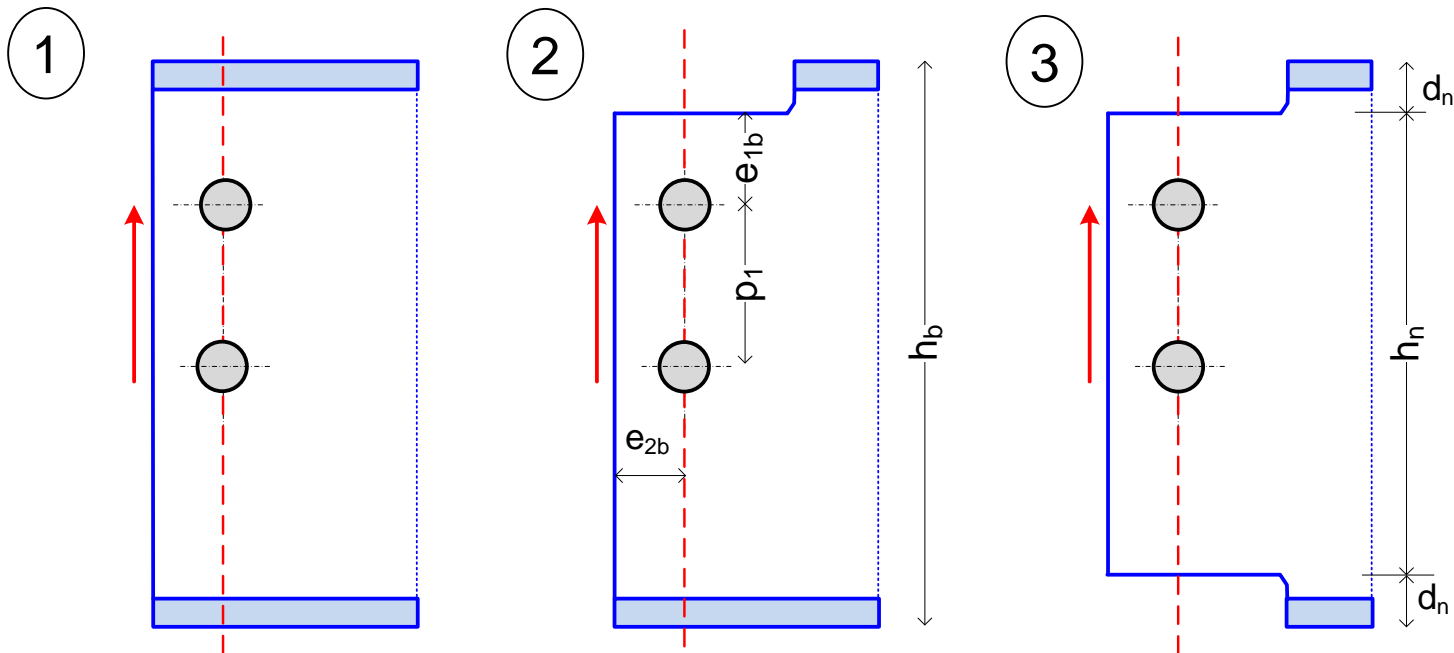
R7b. Cortante de la sección neta

A_{Vnet} : Área a cortante de la sección neta de la viga

$$V_{Rd,net} = A_{Vnet} \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

$$A_{Vnet} = A_{Vbru} - n_1 d_0 t_{wb}$$

f_u Resistencia a la tracción del alma de la viga



R7 Resistencia del alma de la viga a cortante (3)

R7c. Arranque del bloque

Sólo aplicable a vigas con rebaje

$$V_{Rd,blo} = 0.5 A_{nt} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_{wb} (e_{2b} - 0.5 d_0)$$

1 columna

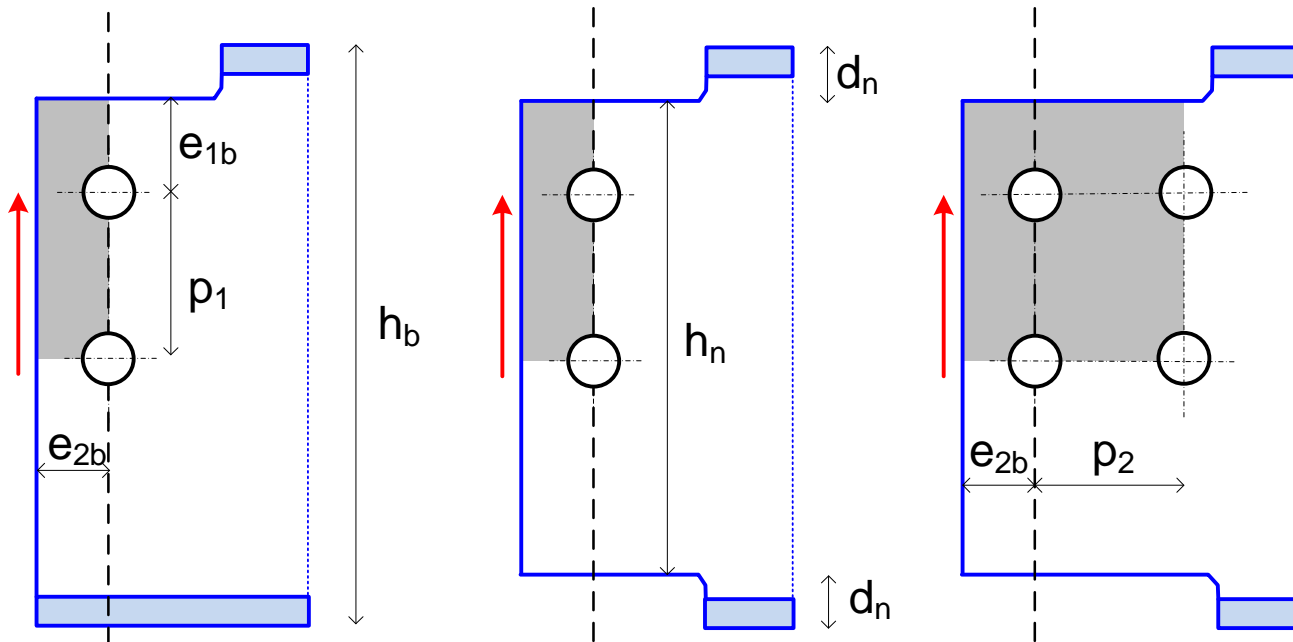
$$A_{nt} = t_{wb} (p_2 + e_{2b} - 1.5 d_0)$$

2 columnas

} Área neta a tracción

$$A_{nv} = t_{wb} (e_{1b} + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0.5) d_0)$$

Área neta a cortante



f_y, f_u : propiedades del alma de la viga

El factor 0.5 de A_{nt} es debido a que la fuerza es excéntrica respecto del bloque EN 1993-1-8, 3.10.2(3)

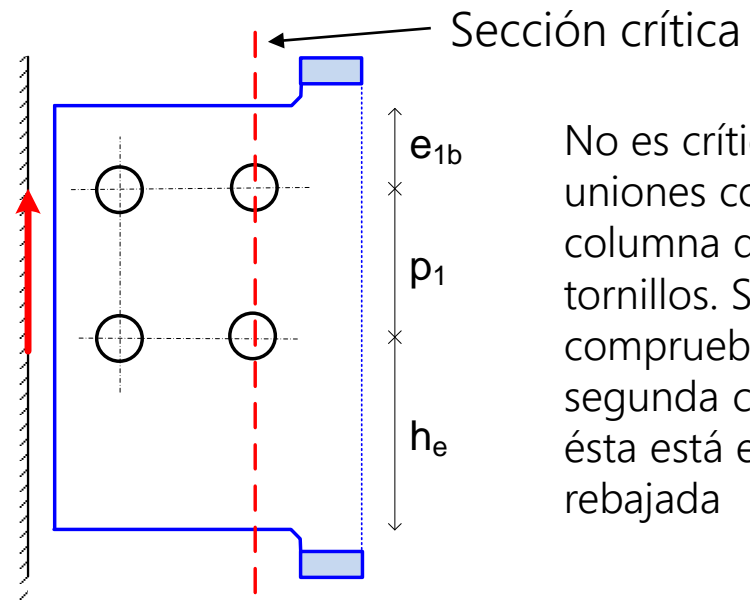
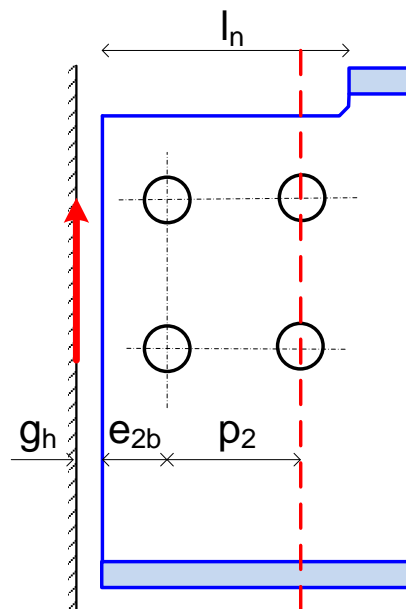
R8 Resistencia a cortante + flector en la sección crítica del alma de la viga

Uniones con 2 columnas de tornillos, y rebaje largo del ala

$$l_n > e_{2b} + p_2$$

$$V_{Ed}(g_h + e_{2b} + p_2) \leq M_{C,Rd} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed} \leq V_{Rd,8} = \frac{M_{C,Rd}}{(g_h + e_{2b} + p_2)}$$

$M_{C,Rd}$: momento resistente de la viga rebajada en la sección crítica, en presencia de cortante



No es crítico en uniones con una columna de tornillos. Sólo se comprueba la segunda columna, si ésta está en la zona rebajada

R8 Momento resistente M_C en la sección crítica. Rebaje simple

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{C,Rd} = W_{el,N} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$W_{el,N}$: módulo elástico de la sección rebajada en T

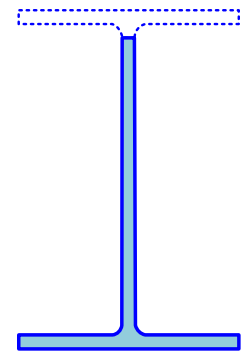
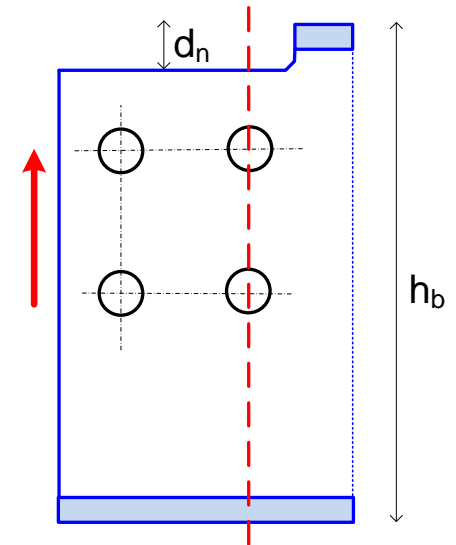
$V_{pl,N,Rd}$: resistencia a cortante de la viga con rebaje simple en la sección crítica. Mínima de bruta y neta

$$V_{pl,N,Rd} = \min\left(A_{v,bru} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}, A_{v,net} \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}\right)$$

f_y, f_u : propiedades de la viga

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{C,Rd} = (1 - \rho) W_{el,N} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1\right)^2$$



Propiedades de la sección con rebaje simple

Altura del alma: $h_w = h_b - d_n - t_{fb}$

Área: $A_N = h_w t_w + b_b t_{fb}$

Distancia al c.d.g. desde la parte inferior de la T

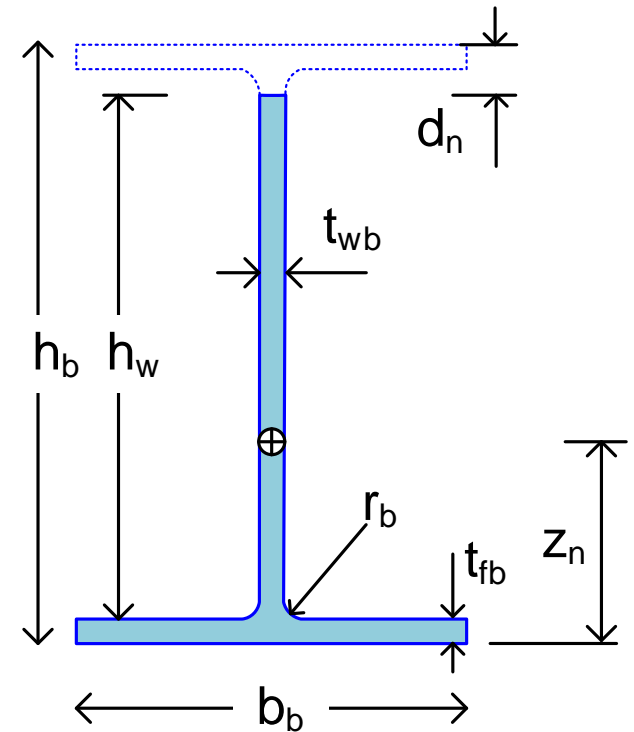
$$z_N = \frac{(b_b t_{fb}) \frac{t_{fb}}{2} + h_w t_w b \left(\frac{h_w}{2} + t_{fb} \right)}{A_N}$$

Momento de inercia respecto del c.d.g.

$$I_N = \left(\frac{b_b t_{fb}^3}{12} + b_b t_{fb} \left(z_N - \frac{t_{fb}}{2} \right)^2 \right) + \left(\frac{t_w b h_w^3}{12} + t_w b h_w \left(\frac{h_w}{2} + t_{fb} - z_N \right)^2 \right)$$

Módulo elástico: $W_{el,N} = \frac{I_N}{z_{max}}$ $z_{max} = \max(z_N, h_b - d_n - z_N)$

Área de cortante: $A_{V,N} = A_N - b_b t_{fb} + (t_w b + 2 r_b) \frac{t_{fb}}{2}$



R8 Momento resistente M_C en la sección crítica. Rebaje doble

Mismas expresiones que para el rebaje simple, con el valor del módulo elástico de la sección rebajada rectangular

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,DN,Rd}$

$$M_{C,Rd} = \underbrace{\frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2}_{\text{módulo elástico de la sección rebajada}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

módulo elástico de la sección rebajada

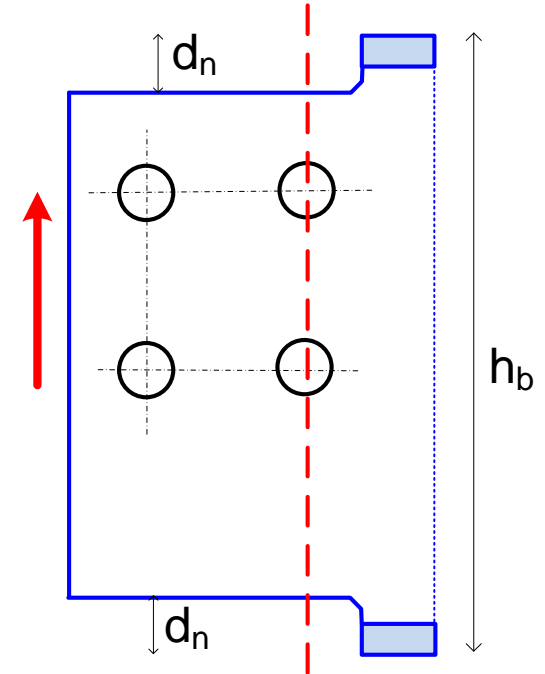
$V_{pl,DN,Rd}$: resistencia a cortante de la viga con rebaje doble en la sección crítica

$$V_{pl,DN,Rd} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net})$$

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl,DN,Rd}$

f_y Límite elástico del alma de la viga

$$M_{C,Rd} = \underbrace{\frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2}_{\text{módulo elástico de la sección rebajada}} (1 - \rho) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,DN,Rd}} - 1 \right)^2$$



R9 Resistencia de la sección de la entalla de rebaje

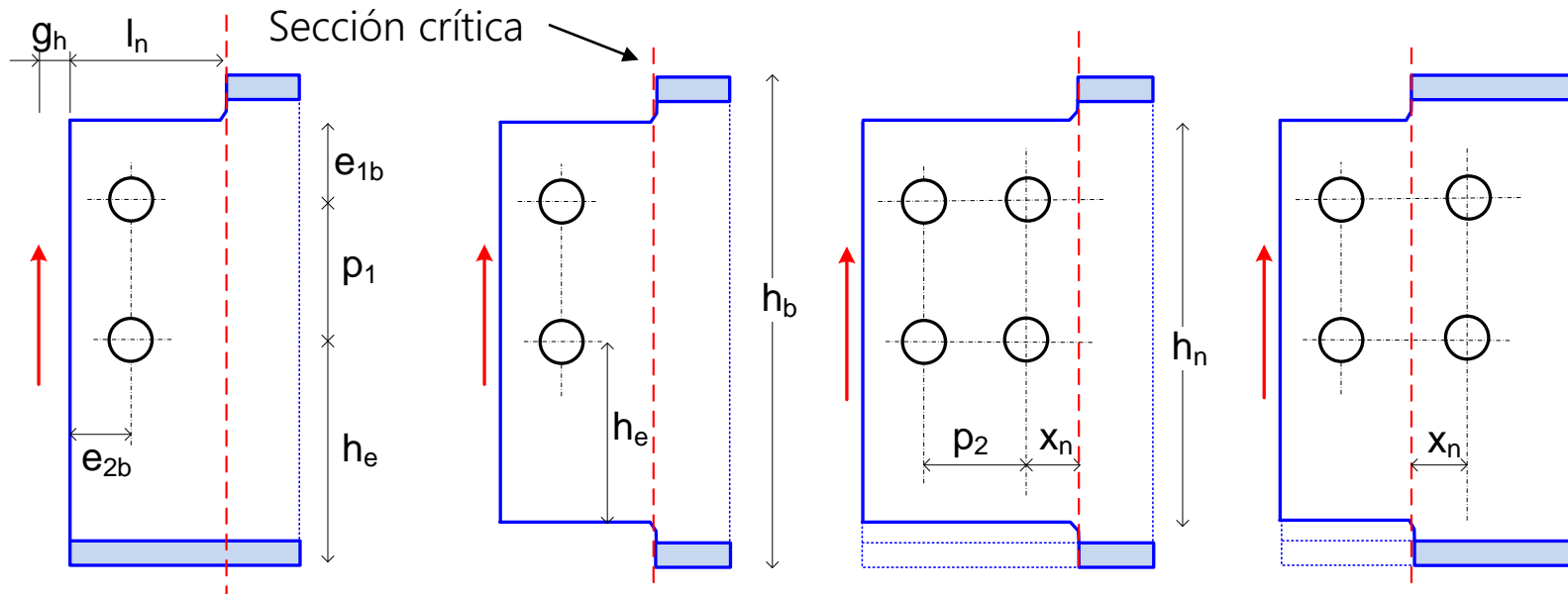
R9a. Una columna, o dos columnas si $x_n \geq 2d$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,9} = \frac{M_{v,N,Rd}}{(g_h + l_n)} \quad \text{Rebaje doble: } M_{v,DN,Rd}$$

$M_{v,N,Rd}$: momento resistente en la sección rebajada en presencia de cortante

x_n : Distancia desde la segunda columna hasta la sección de rebaje

$x_n \geq 2d$: la sección rebajada está alejada de la sección con tornillos



R9a Momento resistente $M_{v,N,Rd}$ en la sección con rebaje simple y cortante

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{v,N,Rd} = W_{el,N} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad W_{el,N}: \text{módulo elástico mínimo de la sección en T (en el rebaje)}$$

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl,N,Rd}$

$$M_{v,N,Rd} = (1 - \rho) W_{el,N} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1 \right)^2$$

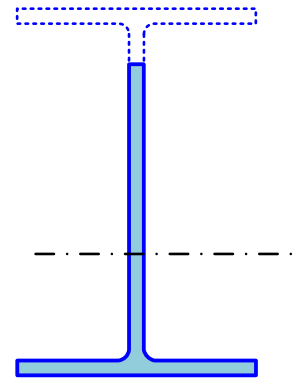
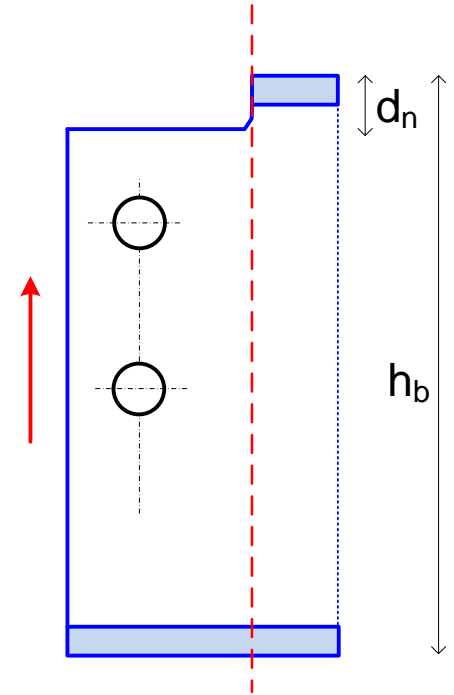
$V_{pl,N,Rd}$: resistencia a cortante de la sección con rebaje simple

$$V_{pl,N,Rd} = A_{V,N} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{V,N}$: área a cortante de la sección rebajada en T

$$A_{V,N} = A_N - b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) \frac{t_{fb}}{2}$$

$$A_{V,N} \approx (h_b - d_n - t_{fb}) t_{wb}$$



R9a Momento resistente $M_{v, DN}$ en la sección con rebaje doble y cortante

Mismas expresiones que para el rebaje simple, con el valor del módulo elástico de la sección rebajada rectangular

- Cortante pequeño $V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl, DN, Rd}$

$$M_{v, DN, Rd} = \underbrace{\frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2}_{\gamma_{M0}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cortante grande $V_{Ed} > 0.5 V_{pl, DN, Rd}$

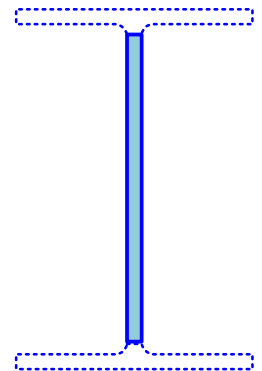
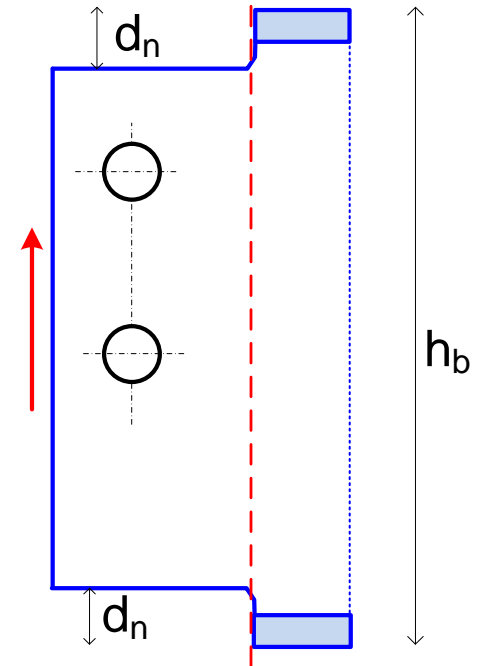
$$M_{v, DN, Rd} = \frac{t_{wb}}{6} (h_b - 2 d_n)^2 (1 - \rho) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl, DN, Rd}} - 1 \right)^2$$

$V_{pl, DN, Rd}$: resistencia a cortante de la sección con rebaje doble

$$A_{V, DN} = 0.9 t_{wb} (h_b - 2 d_n)$$

$$V_{pl, DN, Rd} = A_{V, DN} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

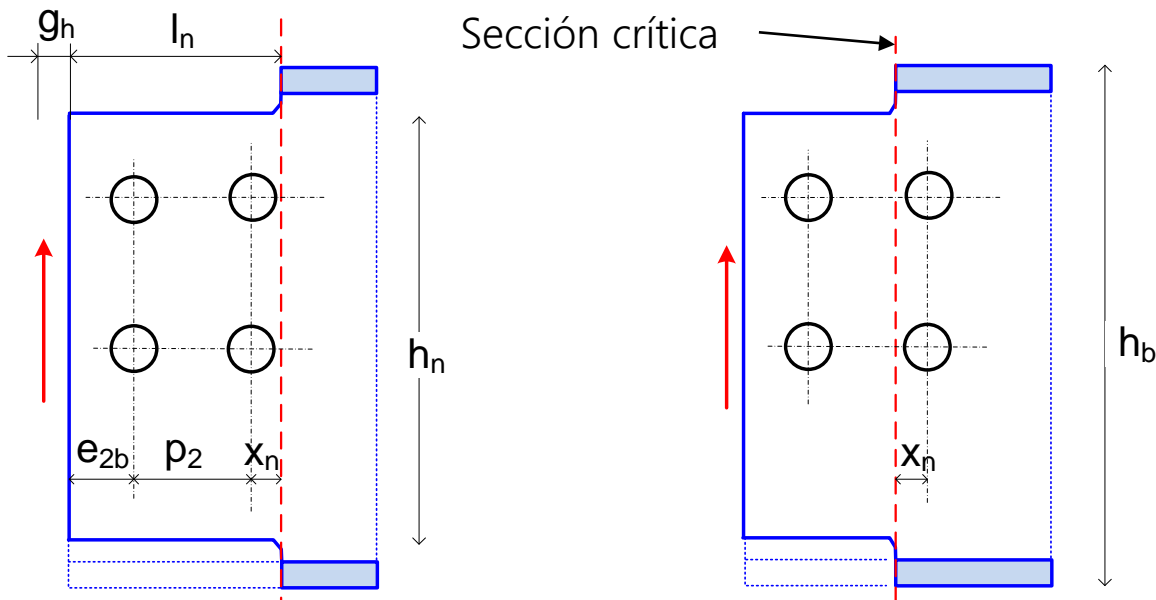


R9b Resistencia de la sección de entalla

R9b. Dos columnas si $x_n < 2d$ ← La sección rebajada está próxima a la sección con tornillos

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,9} = \frac{M_{C,Rd}}{\max(g_h + l_n; g_h + e_{2b} + p_2)}$$

$M_{C,Rd}$: momento resistente en la sección rebajada en presencia de cortante, calculado en R8 (sección con agujeros)



Propiedades de la sección con rebaje simple

Altura del alma: $h_w = h_b - d_n - t_{fb}$

Área: $A_N = h_w t_{wb} + b_b t_{fb}$

Distancia al c.d.g. desde la parte inferior de la T

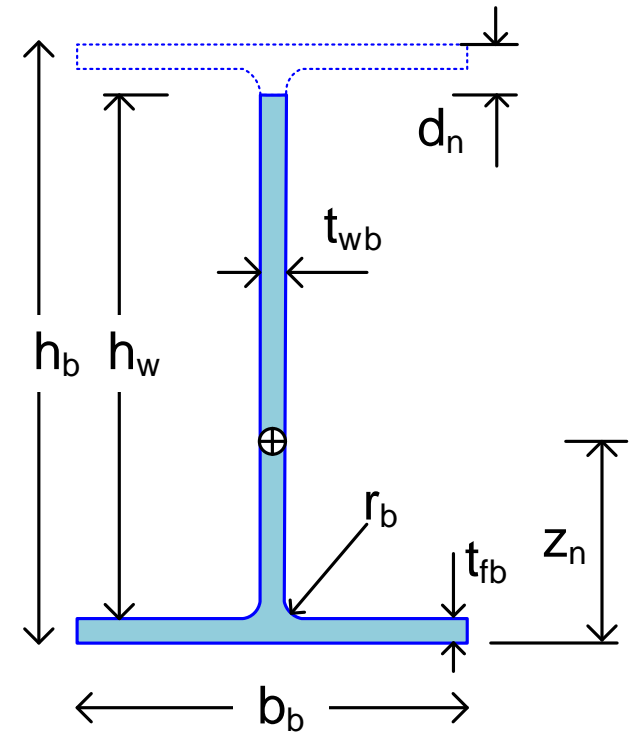
$$z_N = \frac{(b_b t_{fb}) \frac{t_{fb}}{2} + h_w t_{wb} \left(\frac{h_w}{2} + t_{fb} \right)}{A_N}$$

Momento de inercia respecto del c.d.g.

$$I_N = \left(\frac{b_b t_{fb}^3}{12} + b_b t_{fb} \left(z_N - \frac{t_{fb}}{2} \right)^2 \right) + \left(\frac{t_{wb} h_w^3}{12} + t_{wb} h_w \left(\frac{h_w}{2} + t_{fb} - z_N \right)^2 \right)$$

Módulo elástico: $W_{el,N} = \frac{I_N}{z_{max}}$ $z_{max} = \max(z_N, h_b - d_n - z_N)$

Área de cortante: $A_{V,N} = A_N - b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2 r_b) \frac{t_{fb}}{2}$



R10 Resistencia de la soldadura aleta - soporte

Aleta soldada a ambos lados (longitud $2 h_p$). Garganta: a

Diseño como unión soldada plana centrada.

Cordones con carga longitudinal.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,10} = (2 a h_p) \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \quad f_u = \min(f_{up}, f_{us})$$

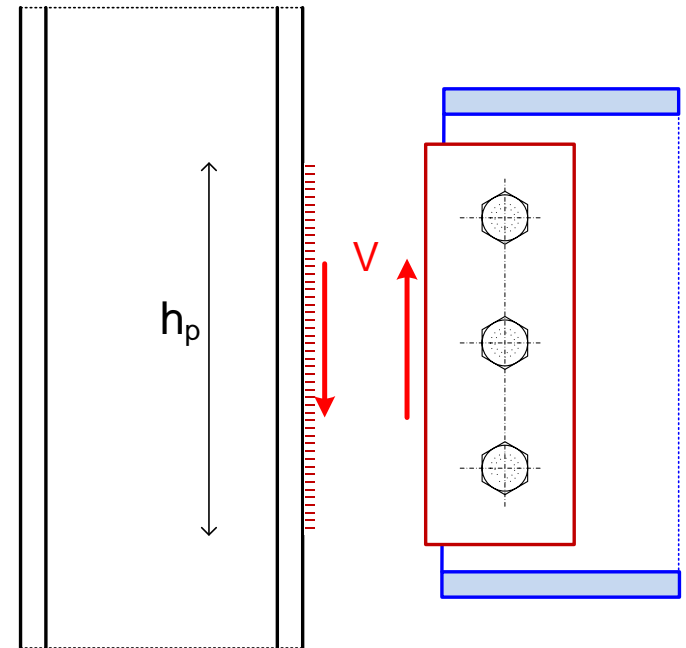
La soldadura está sometida a un momento $V z$ (no considerado)

Para garantizar que la soldadura no es el punto más débil, emplear como mínimo:

$$S275: a \geq 0.50 t_p$$

$$S355: a \geq 0.60 t_p$$

Se recomienda que la resistencia de esta soldadura $V_{Rd,10}$ sea mayor que la de la aleta a cortante $V_{Rd,A}$, para que la rotura (dúctil) de la aleta se produzca antes que la rotura (frágil) de la soldadura.



R11 Resistencia del alma del elemento soporte

Si el elemento soporte es alma de viga o alma de poste (no ala de poste)

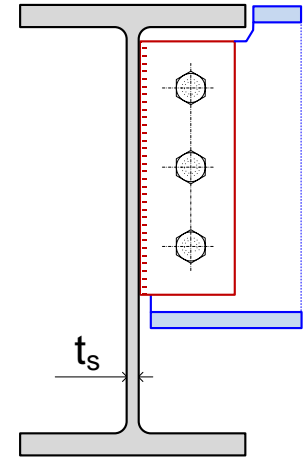
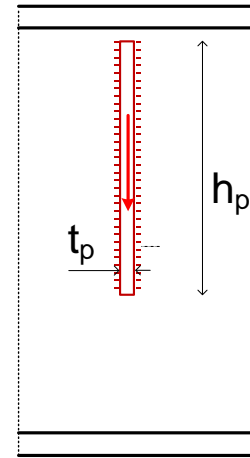
- Resistencia a cortante vertical local del soporte:

En la periferia de la aleta soldada

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,11} = (2 h_p t_s) \frac{f_{ys}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

t_s : espesor del elemento soporte

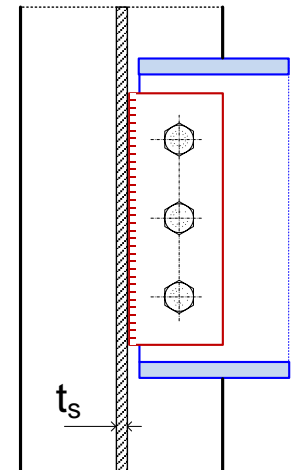
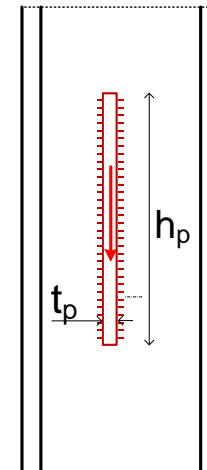
f_{ys}, f_{us} : propiedades del alma del soporte



- Resistencia a punzonamiento del soporte:

$$t_s \geq t_p \frac{f_{yp} \gamma_{M2}}{f_{us}} \quad (\text{conservador})$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,11} = \frac{t_s h_p^2 f_{us}}{6 z \gamma_{M2}} \quad (\text{riguroso})$$



Si no se cumple: necesario rigidizador posterior

R11 Resistencia del alma del soporte. Dos vigas

Cortante equivalente medio:

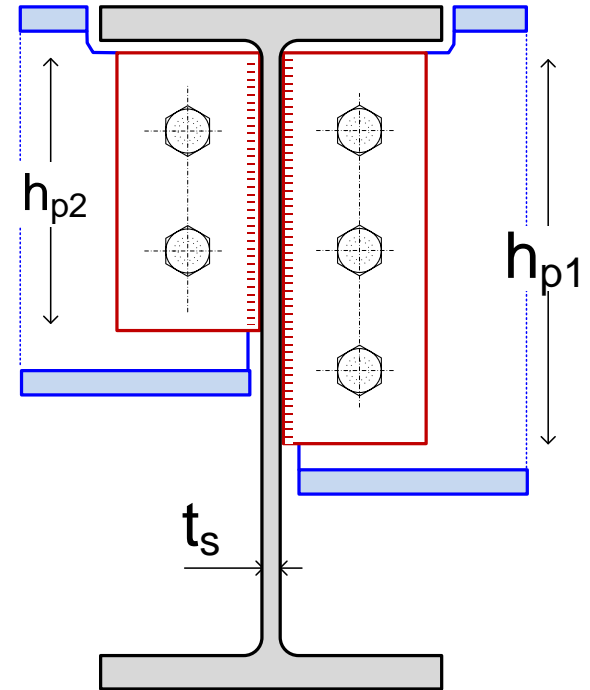
$$V_{Ed,tot} = \left(\frac{V_{Ed1}}{h_{p1}} + \frac{V_{Ed2}}{h_{p2}} \right) \min(h_{p1}, h_{p2})$$

Resistencia a cortante vertical local del soporte:

$$V_{Ed,tot} \leq A_{v,per} \frac{f_{ys}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Área de la periferia del soporte en la menor aleta soldada:

$$A_{v,per} = 2 \min(h_{p1}, h_{p2}) t_s$$



Resistencia de la unión. Requisitos de ductilidad

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,1}, \dots, V_{Rd,11})$$

Para garantizar un comportamiento como articulación, la unión debe garantizar cierta **ductilidad**, que permita los reajustes plásticos de las fuerzas interiores entre los distintos componentes. No se deben producir roturas frágiles o inestabilidades durante esta redistribución

La resistencia de la unión V_{Rd} no debe estar producida por la de elementos que tengan comportamiento frágil: tornillos a cortante ($V_{Rd,1}$), pandeo de la aleta ($V_{Rd,6}$), fallo de la soldadura ($V_{Rd,10}$). Estos elementos frágiles no pueden ser los limitantes:

$$V_{Rd,1} > V_{Rd}$$

$$V_{Rd,6} > V_{Rd}$$

$$V_{Rd,10} > V_{Rd}$$

Las resistencias a aplastamiento contra chapa ($V_{Rd,2}$) y viga ($V_{Rd,3}$) (dúctiles) deben ser menores que la resistencia a cortante de los tornillos $V_{Rd,1}$ (frágil)

$$V_{Rd,2} < V_{Rd,1}$$

$$V_{Rd,3} < V_{Rd,1}$$

Resistencia a esfuerzo axial

No es la función primaria de esta unión

Para edificios de importancia (clases 2 y 3), la norma EN 1991-1-7 "Acciones accidentales" exige cierta resistencia de atado:

En situación accidental, las vigas de atado deben poder soportar un esfuerzo axial de atado mínimo de 75 kN

Se suele introducir esta resistencia para tener en cuenta efectos de pretensión durante el montaje

Unión plana con tornillos a cortante.

Comprobaciones:

Tornillos a cortante

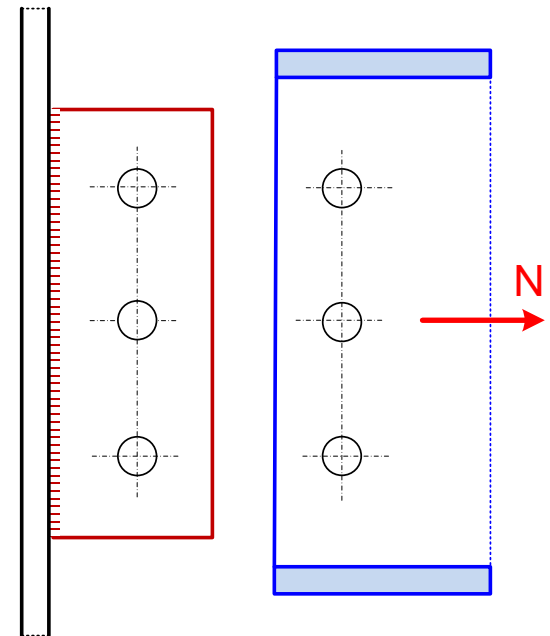
Aplastamientos contra chapa y contra alma de viga

Sección bruta y neta de la chapa

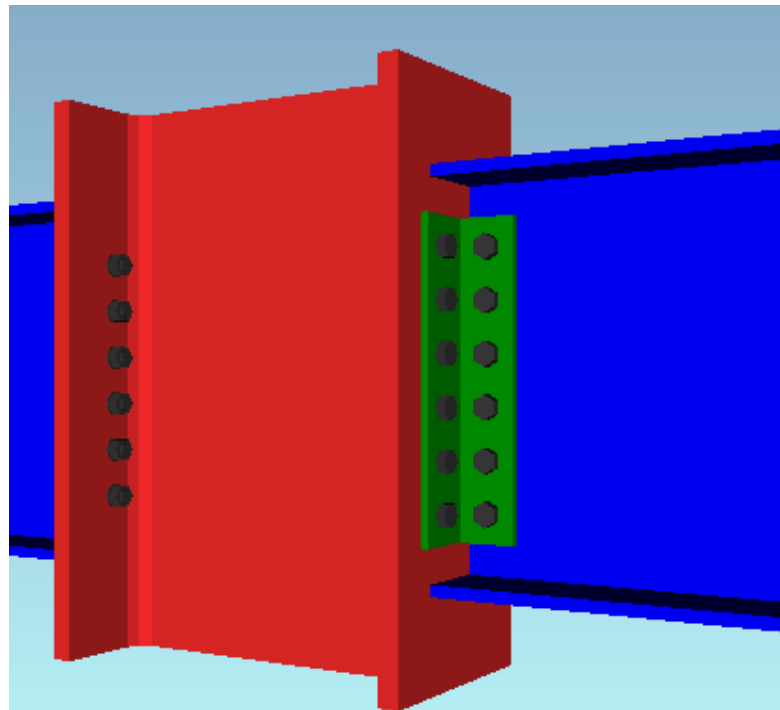
Sección bruta y neta de la viga

Arranque de bloque en chapa y viga

Soldadura



Unión de viga apoyada mediante doble casquillo de angular en L



Apoyo de viga sobre poste mediante doble casquillo de angular en L

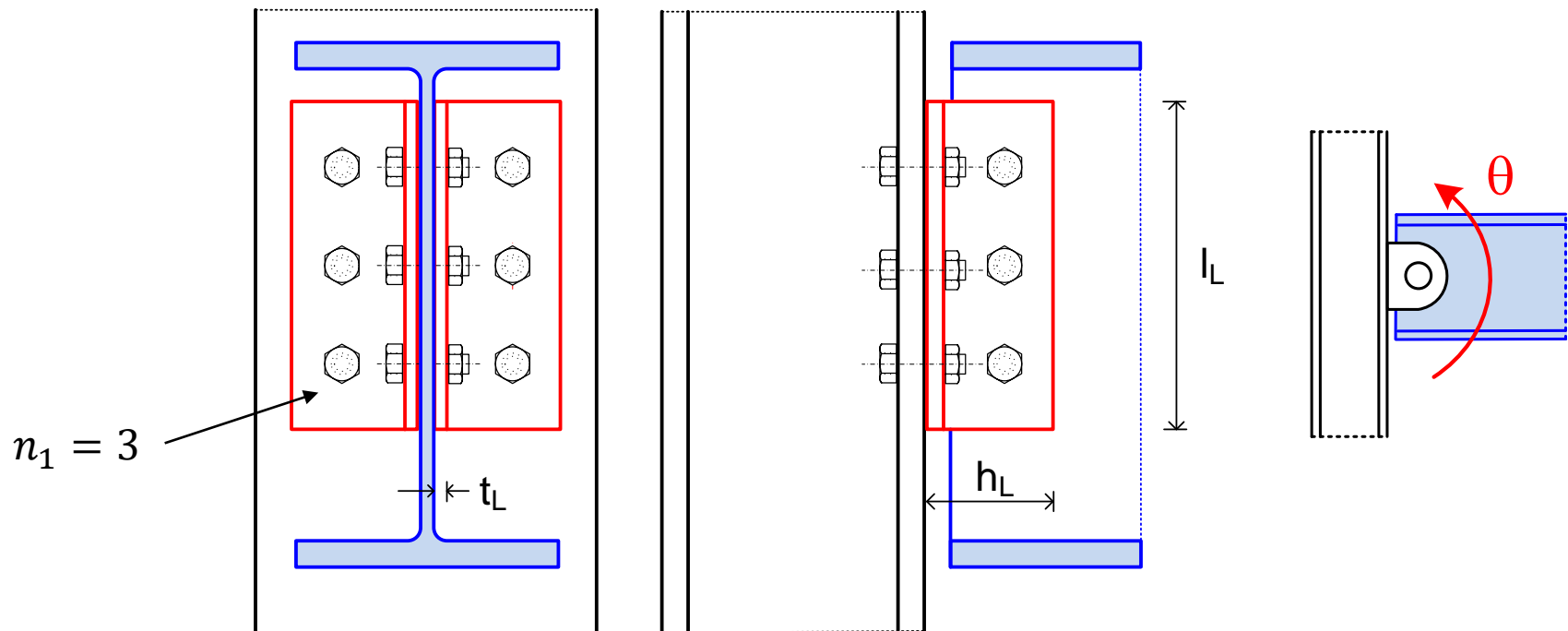
Representa una articulación. Sólo transmite esfuerzo cortante V_{Ed}

Se emplea como unión de vigas a postes o a otras vigas.

Las uniones atornilladas suelen ser de categoría A (tornillos ordinarios a cortante y aplastamiento)

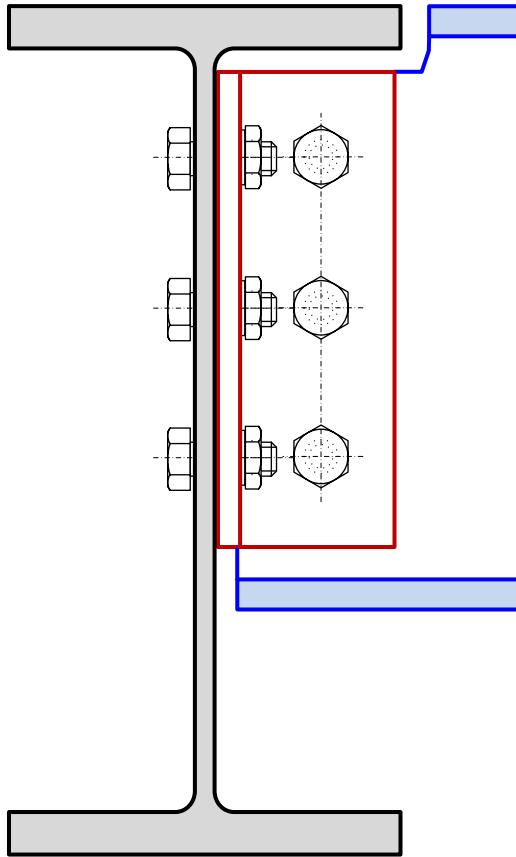
Dos angulares de lados iguales. Canto: h_L espesor: t_L longitud: l_L

n_1 : número de tornillos entre cada angular y el soporte. Total: $3 n_1$

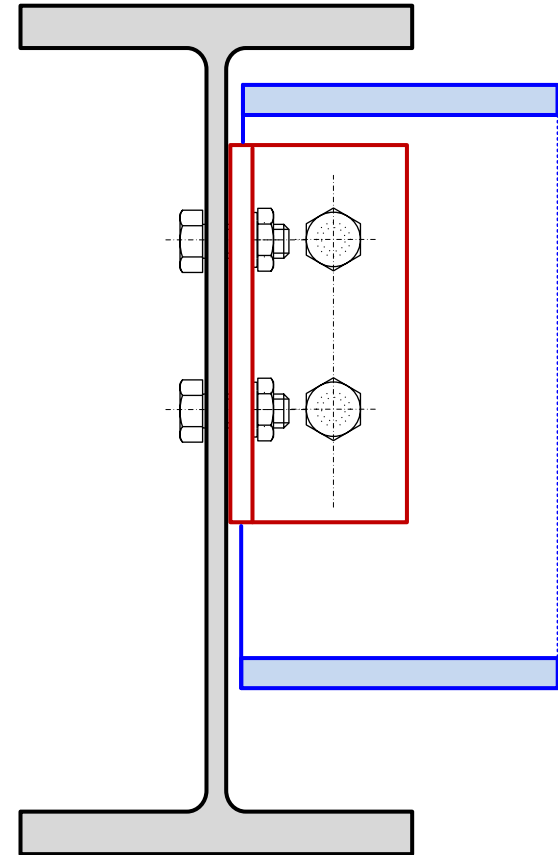


Apoyo de viga sobre viga mediante doble casquillo de angular en L

Caras enrasadas

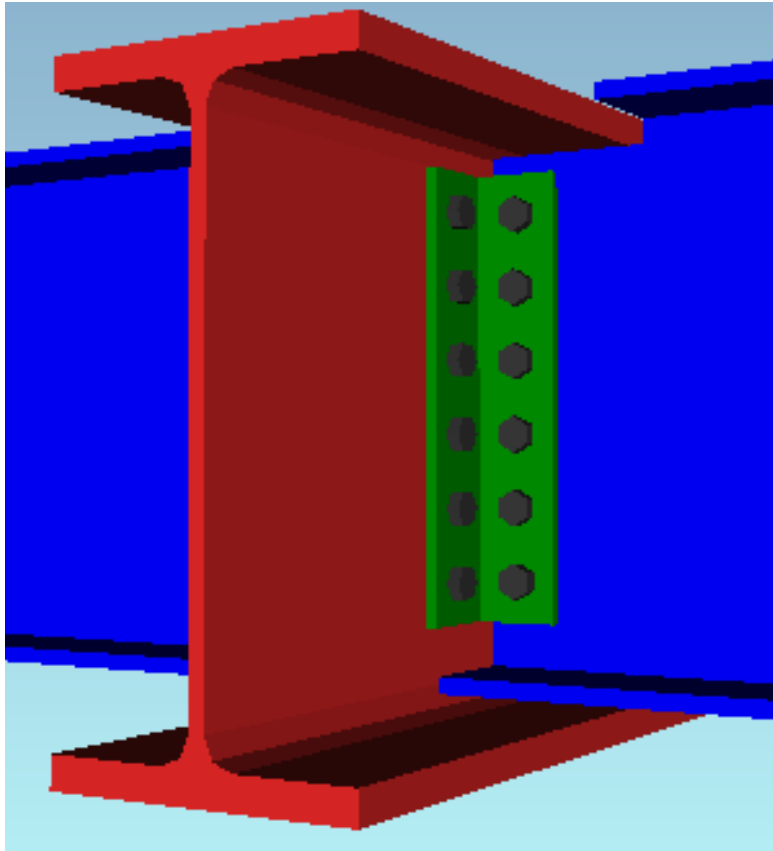


Caras no enrasadas

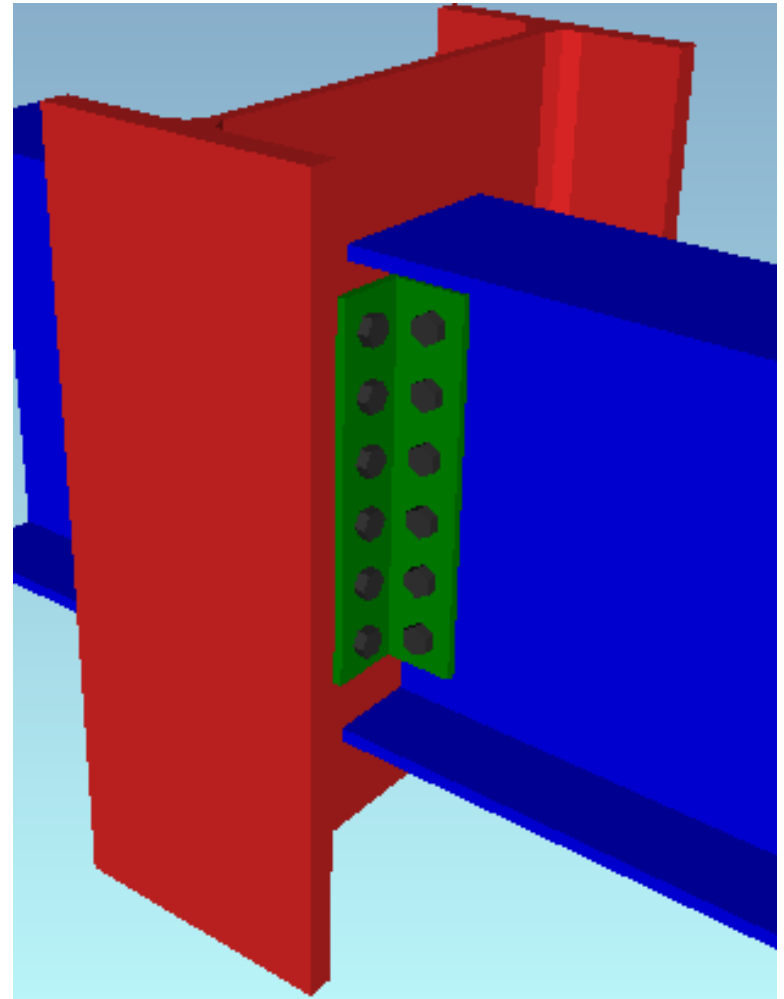


Apoyo de viga mediante doble casquillo de angular en L

Viga sobre viga



Viga sobre alma de poste



Apoyo de viga mediante doble casquillo de angular en L. Comprobaciones

R1 Resistencia a cortante de los tornillos: a) lado poste, b) lado viga

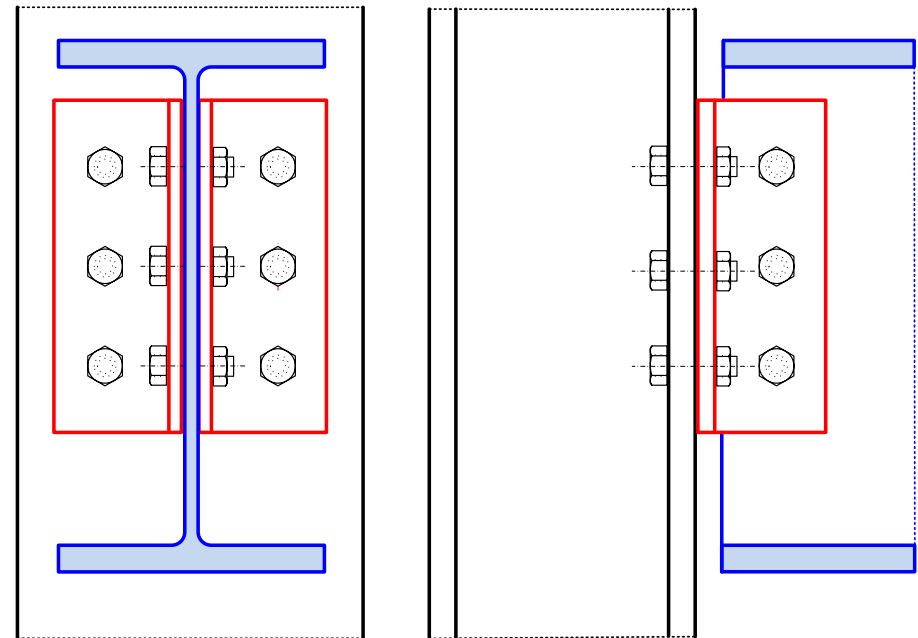
R2 Resistencia a aplastamiento contra un angular: a) lado poste, b) lado viga

R3 Resistencia del angular a cortante

R4 Resistencia del angular a flexión

R5 Resistencias del alma de la viga

R6 Resistencias del elemento soporte



R1a Resistencia a cortante de los tornillos entre angulares y poste

El cortante V_{Ed} se considera aplicado en el centro de la cara de contacto de los angulares con el ala del poste. Cada angular soporta la mitad.

z_p : distancia desde el esfuerzo cortante al eje de los tornillos de cada angular en el poste

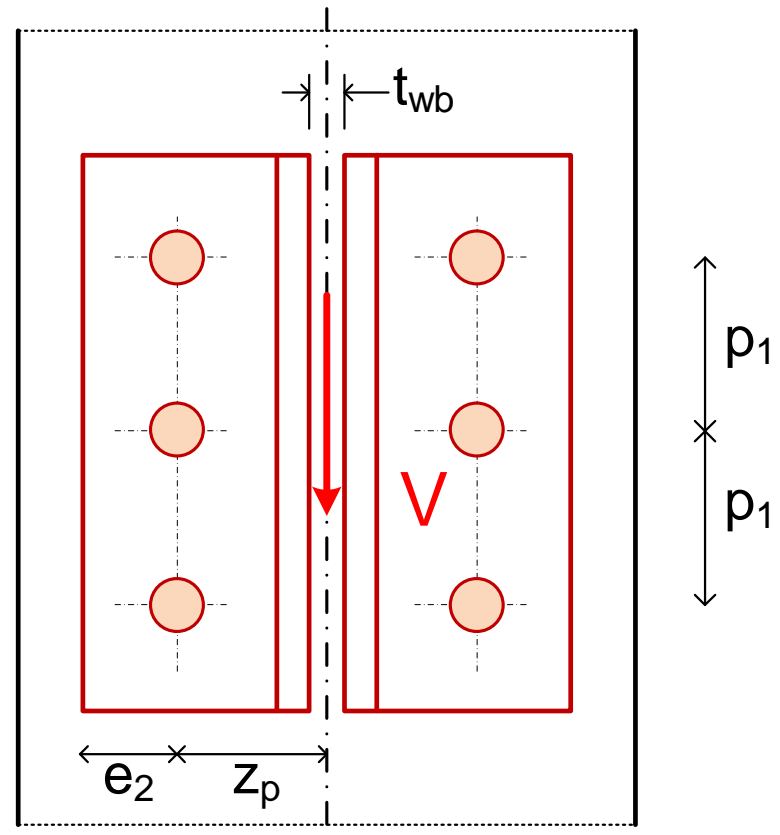
Dos uniones planas excéntricas, con $\frac{V_{Ed}}{2}$

Resistencia a cortante de una columna de n_1 tornillos separados p_1 , con fuerza $\frac{V_{Ed}}{2}$ separada z_p

$$\frac{V_{Ed}}{2} \leq \frac{n_1 F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + (\beta_p n_1)^2}}$$

$$\beta_p = \frac{6 z_p}{n_1 (n_1 + 1) p_1}$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante con un plano de corte



R1b Resistencia a cortante de los tornillos entre angulares y viga

El cortante V_{Ed} se considera aplicado en la cara de contacto de los angulares con el ala del poste.

z_b : distancia desde el esfuerzo cortante V al eje de los tornillos en la viga

Una unión plana excéntrica con dos angulares simétricos

Resistencia a cortante de una columna de n_1 tornillos separados p_1 , con dos planos de corte

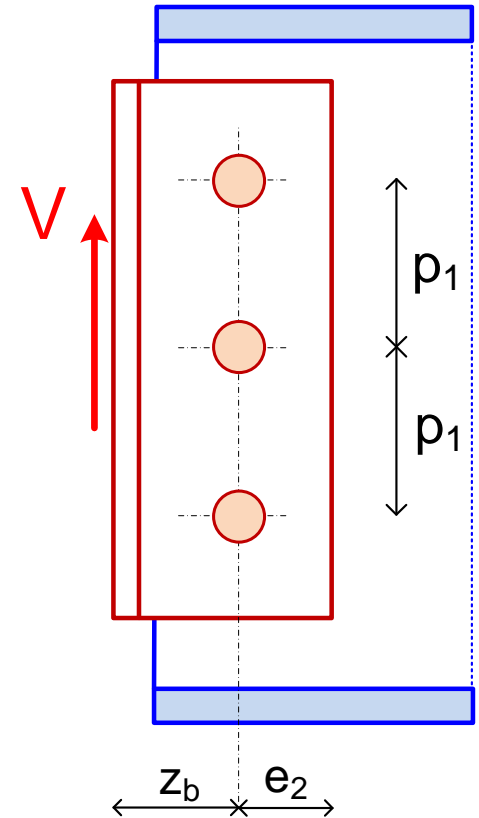
$$V_{Ed} \leq \frac{n_1 F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + (\beta_b n_1)^2}}$$

$$\beta_b = \frac{6 z_b}{n_1 (n_1 + 1) p_1}$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante con dos planos de corte ($n_{pc} = 2$)

Mayor resistencia que la unión al poste (R1a) si los tornillos están a la misma distancia del vértice de la L, pues $z_b < z_p$

$$z_b = z_p - \frac{t_{wb}}{2}$$



R2a Resistencia a aplastamiento contra un angular, lado poste

Resistencia a aplastamiento de una unión excéntrica, con un angular, transmitiendo $\frac{V_{Ed}}{2}$:

$$\frac{V_{Ed}}{2} \leq \frac{n_1}{\sqrt{\left(\frac{1}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta_p n_1}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$

$$\beta_p = \frac{6 z_p}{n_1 (n_1 + 1) p_1}$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo en cada dirección

$$F_{b,(X,Y),Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{uL} d t_L}{\gamma_{M2}}$$

Para la resistencia vertical $F_{b,Y,Rd}$

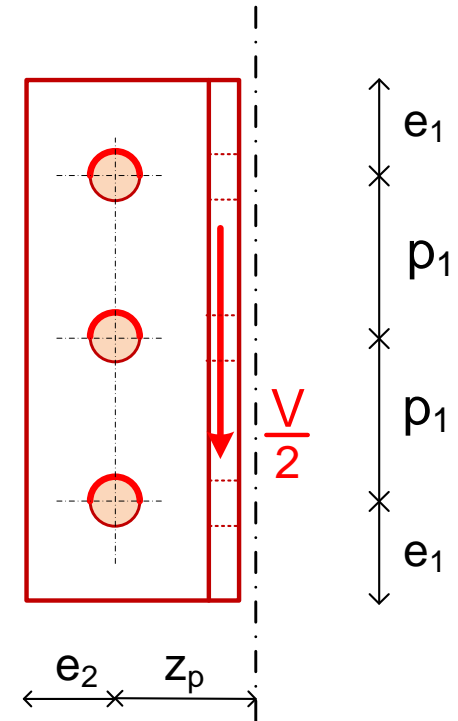
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{uL}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Para la resistencia horizontal $F_{b,X,Rd}$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_{uL}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_1}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$



R2b Resistencia a aplastamiento contra un angular, lado viga

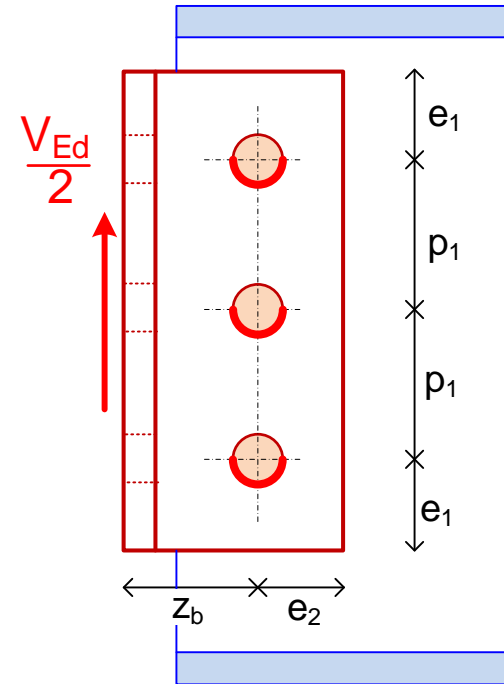
Resistencia a aplastamiento de una unión excéntrica, con un angular, transmitiendo $\frac{V_{Ed}}{2}$:

$$\frac{V_{Ed}}{2} \leq \frac{n_1}{\sqrt{\left(\frac{1}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta_b n_1}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$

$$\beta_b = \frac{6 z_b}{n_1 (n_1 + 1) p_1}$$

Mismos valores de $F_{b,(X,Y),Rd}$ que en el lado poste

Mayor resistencia que en el lado poste, pues $z_b < z_p \rightarrow \beta_b < \beta_p$



R3 Resistencia de un angular a cortante

$$\frac{V_{Ed}}{2} \leq \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

- Cortante de la sección bruta (régimen elástico)

$$V_{Rd,bru} = \frac{l_L t_L f_{yL}}{1.27 \sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Presencia de un pequeño momento flector

- Cortante de la sección neta (a rotura)

$$V_{Rd,net} = t_L (l_L - n_1 d_0) \frac{f_{uL}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

- Arranque del bloque

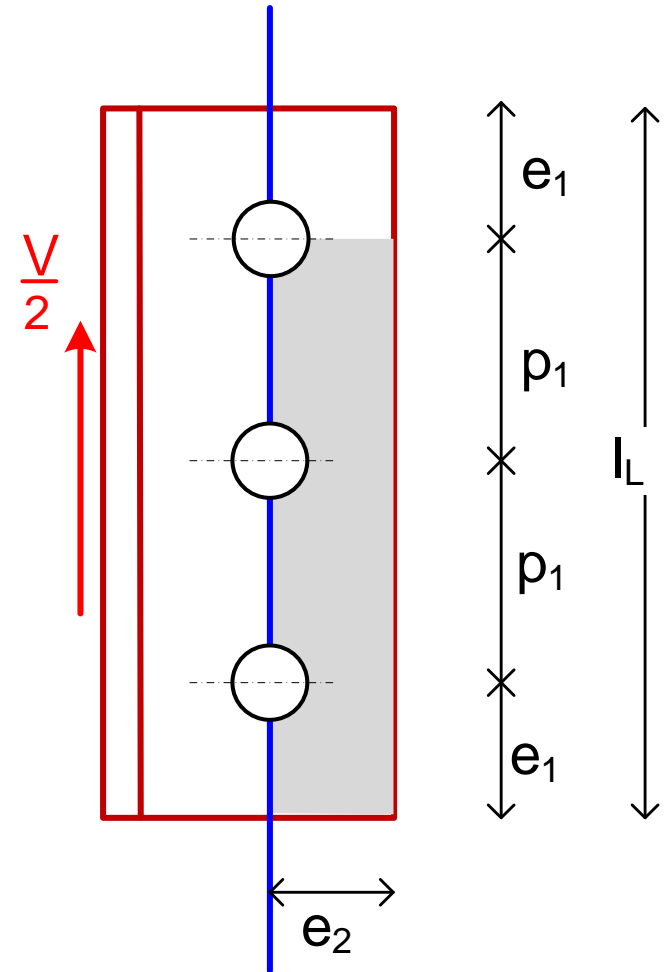
$$V_{Rd,blo} = \frac{A_{nt}}{2} \frac{f_{uL}}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_{yL}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Factor 1/2 por excentricidad

$$A_{nt} = t_L \left(e_2 - \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_{nv} = t_L (l_L - e_1 - (n_1 - 0.5)d_0)$$

Misma comprobación lado poste y lado viga si los angulares son de lados iguales



R4 Resistencia de un angular a flexión

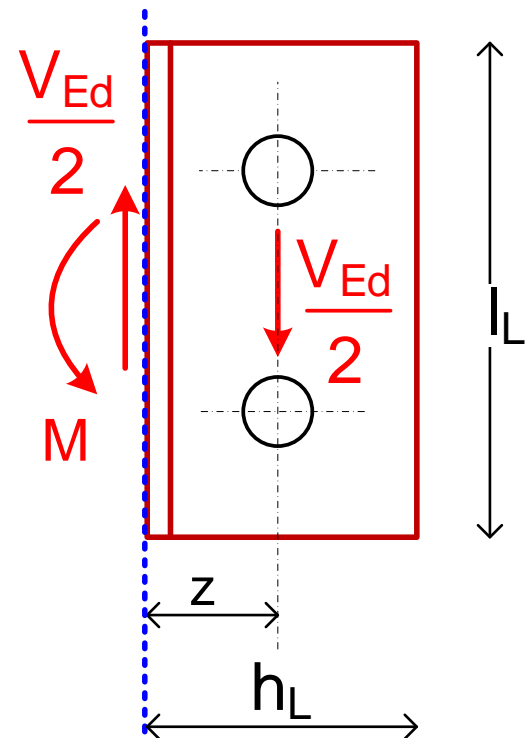
Sólo para angulares cortos: $z \leq \frac{t_L}{0.15}$ Si además son bajos $l_L \leq 2.3 z$

Momento flector producido por el cortante en un angular: $\frac{V_{Ed}}{2} z$

Resistencia del angular en régimen elástico:

$$\frac{V_{Ed}}{2} z \leq W_{el,L} \frac{f_{y,L}}{\gamma_{M0}}$$

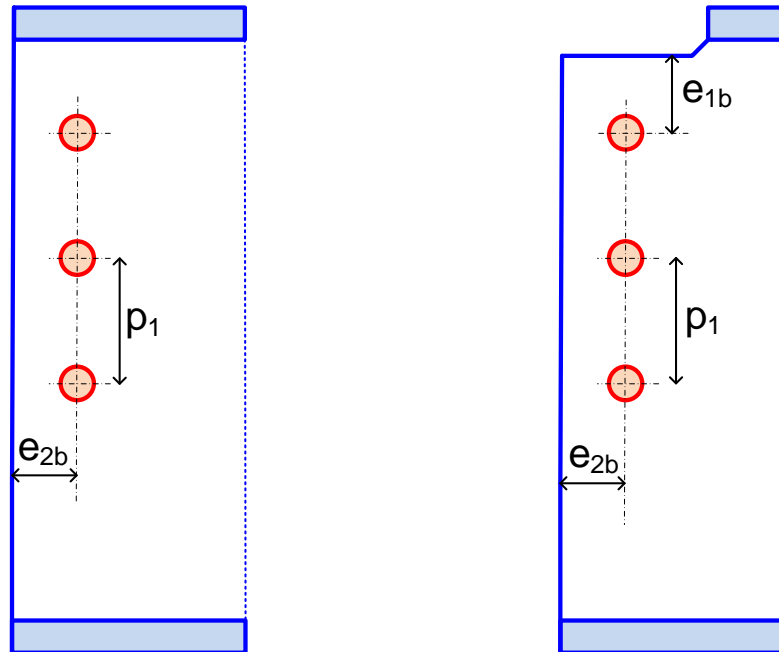
$$W_{el,L} = \frac{t_L l_L^2}{6}$$



R5 Resistencias del alma de la viga

Comprobar como en la *unión con chapa de aleta atornillada al alma*:

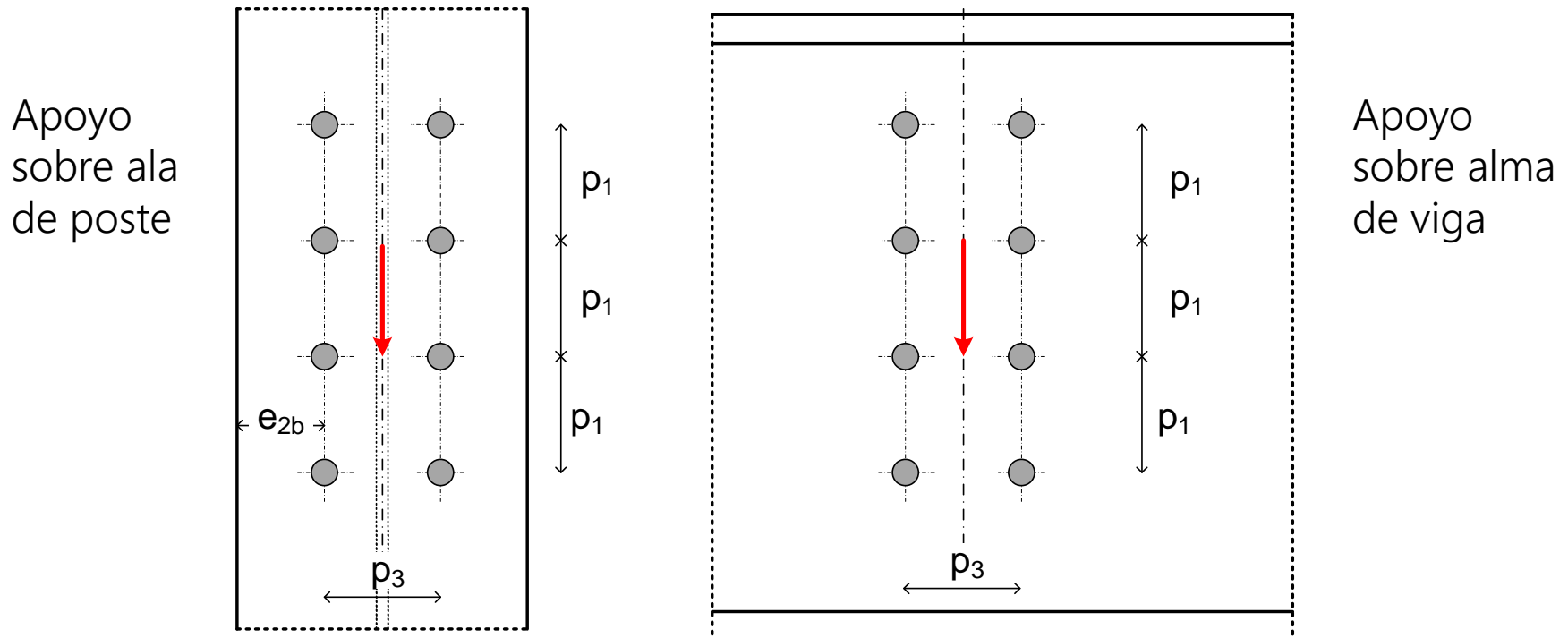
- Resistencia a aplastamiento contra el alma de la viga (R3)
- Resistencia del alma de la viga a cortante (R7)
- Resistencia de la sección de la entalla de rebaje, si existe (R9)



R6 Resistencias del elemento soporte

Comprobar como en la *unión con chapa frontal atornillada de extremo*:

- Resistencia a aplastamiento en la chapa de soporte (ala de poste o alma de viga) (R3)
- Resistencia a cortante del alma del soporte (alma de viga o alma de poste) (R9)

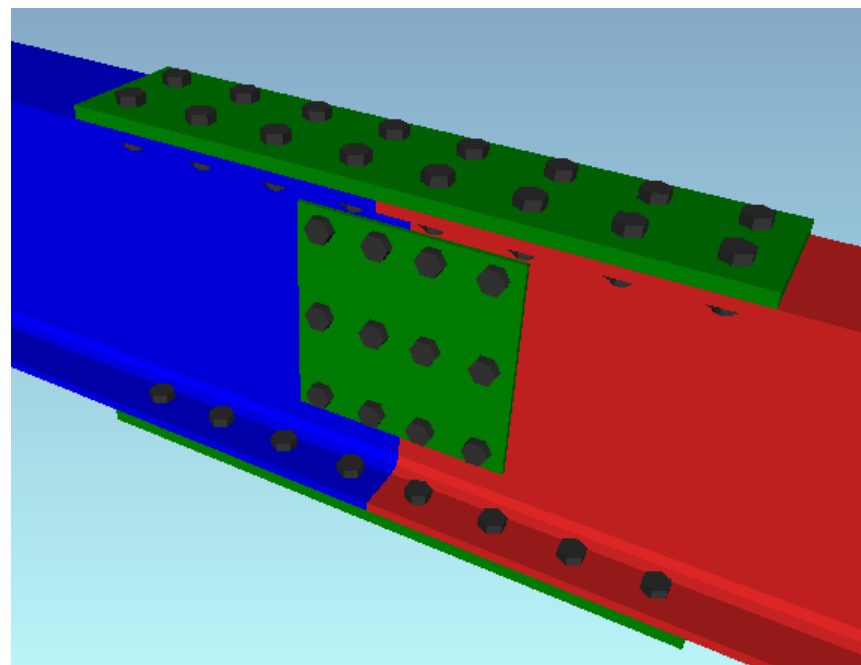


Uniones de vigas con cubrejuntas de ala y alma

Normativa:

EN 1993-1-8 § 6.2

Código Estructural Anejo 26



Uniones a flexión y cortante con cubrejuntas

Constan de 2 componentes de unión:

Cubrejuntas de alas: simples (una cara) o dobles.

Cubrejuntas de alma: siempre dobles

C.D.G. de la sección de los cubrejuntas debe coincidir con el de la sección que cubren.

Área y momento de inercia de la sección de los cubrejuntas deben ser ligeramente mayores que los de la sección que cubren.

Longitud del cubrejuntas a cada lado \geq ancho del ala (o 200 mm)

Si se desea una unión rígida las conexiones atornilladas serán tipo B (sin deslizamiento en ELS) o C (sin deslizamiento en ELU), aunque pueden ser también A.

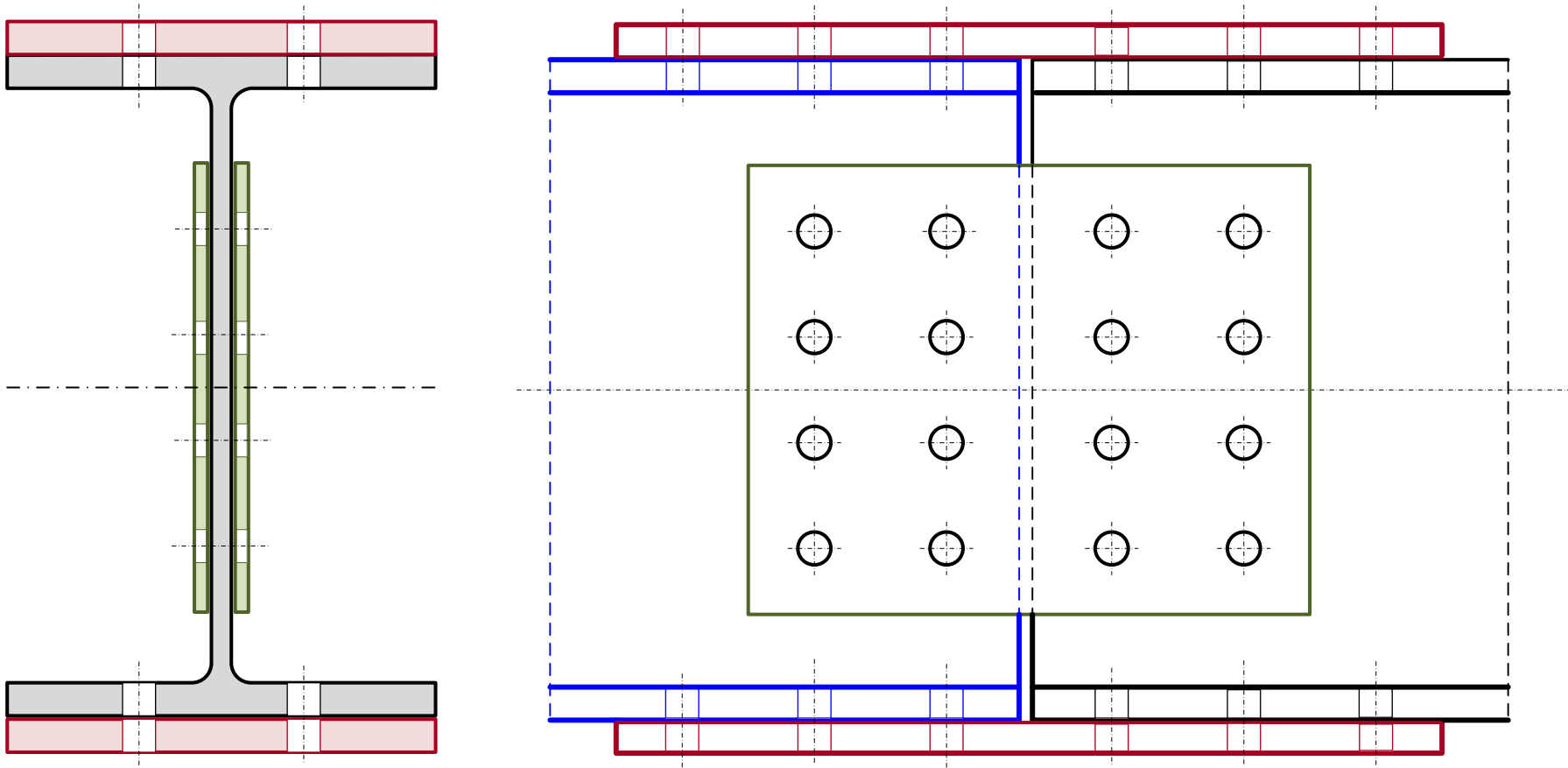
Normalmente no son de resistencia total, con modelos de análisis elásticos

Esfuerzos a transmitir por la unión: M_{Ed}, V_{Ed}

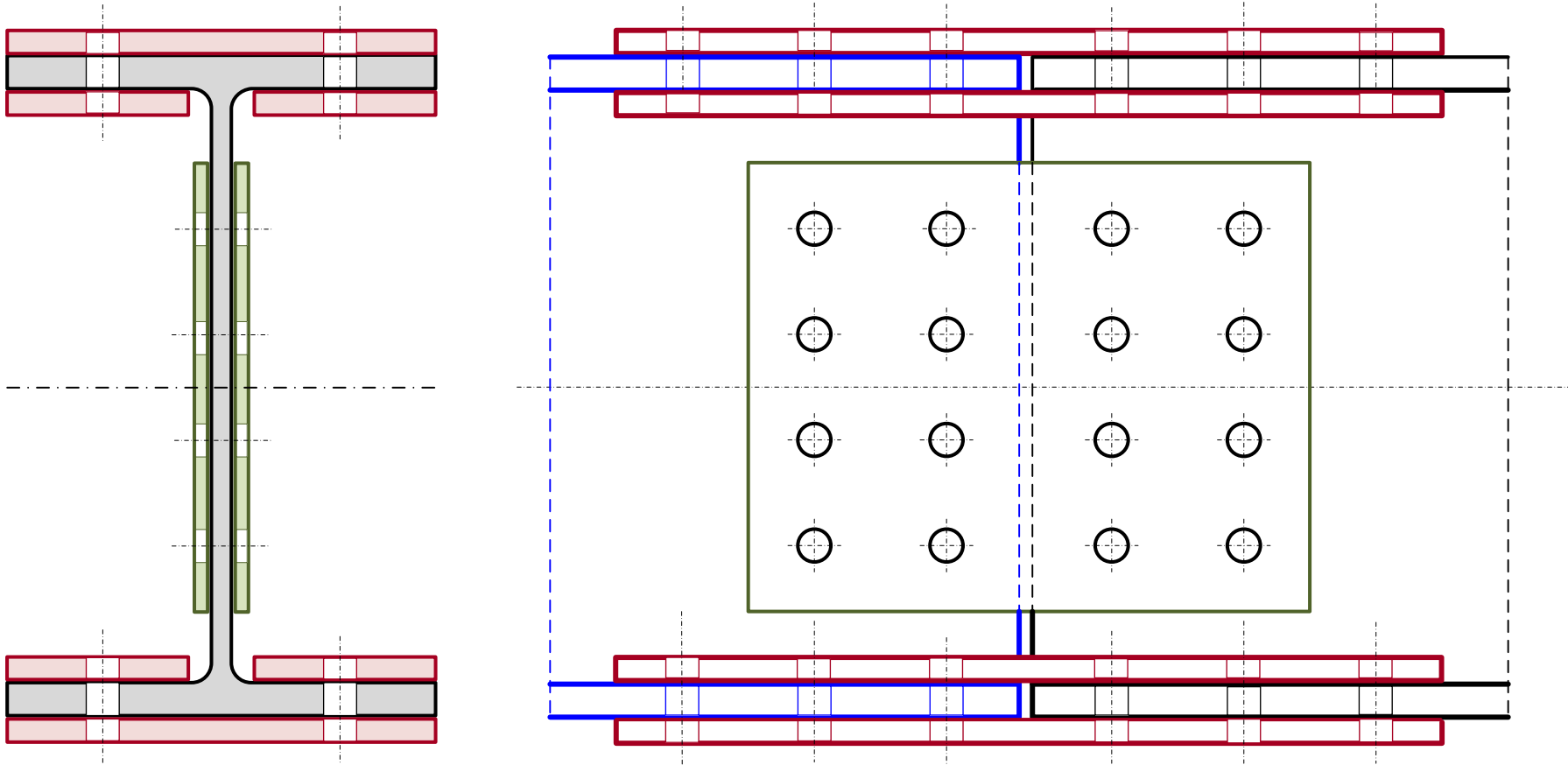
Esfuerzo axial N_{Ed} : normalmente el axial en vigas es despreciable

Se distribuyen entre los dos grupos de cubrejuntas

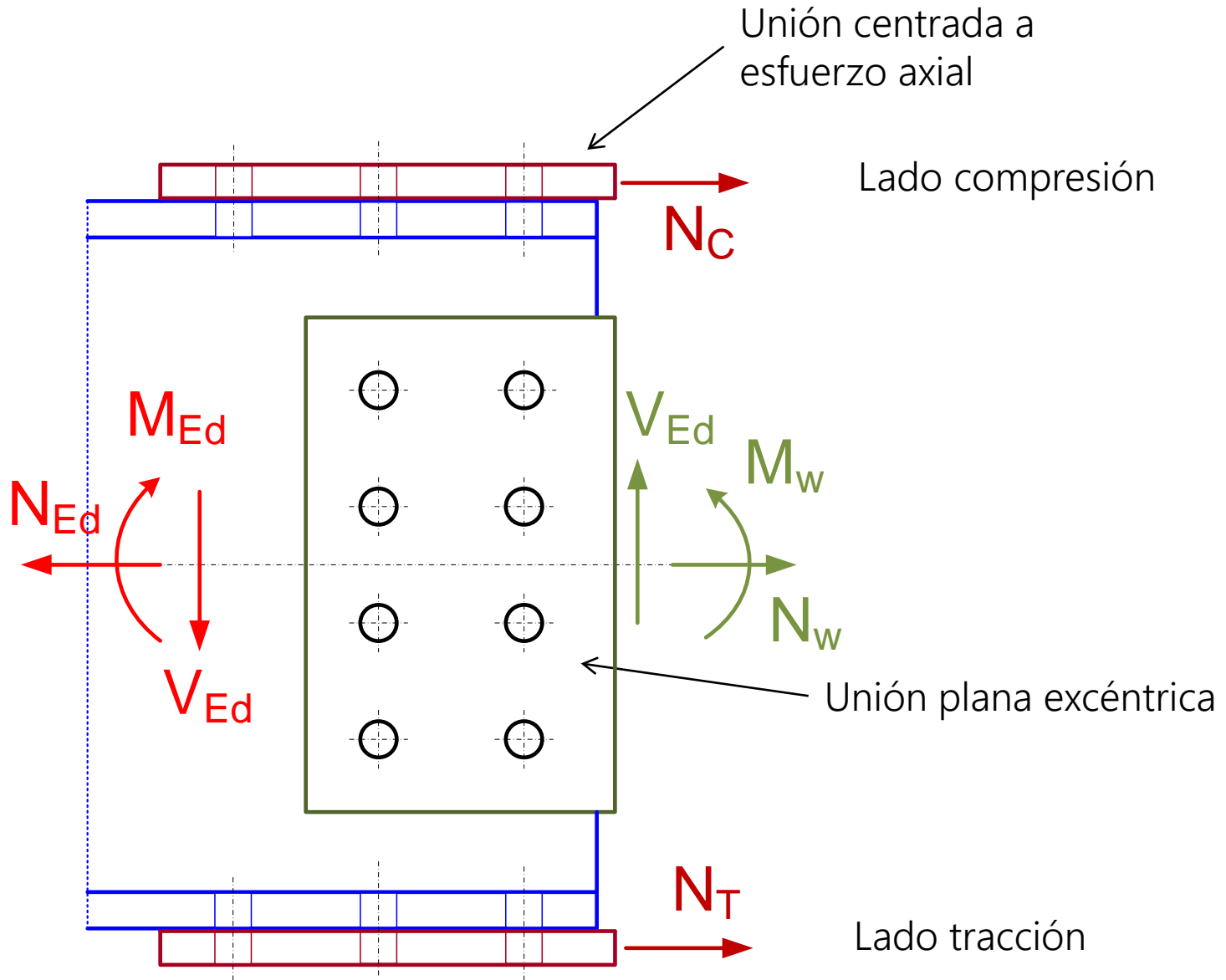
Unión de vigas con cubrejuntas de ala y alma



Cubrejuntas dobles entre vigas



Transmisión de esfuerzos



Distribución de los esfuerzos. Método 1

Momento flector: se distribuye entre alas y alma proporcionalmente a su inercia

Esfuerzo cortante: se absorbe por el alma

- Cubrejuntas de ala: sólo soportan esfuerzo axial

$$\begin{bmatrix} N_{T,Ed} \\ N_{C,Ed} \end{bmatrix} = \frac{N_{Ed}}{2} \frac{A_f}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{h} \frac{I_f}{I}$$

$$N_{f,Ed} = \max(|N_{C,Ed}|, |N_{T,Ed}|)$$

h : brazo de palanca del momento.

I_f : inercia de las dos alas

I_w : inercia del alma

A_f : área de las dos alas

A_w : área del alma

- Cubrejuntas de alma. Esfuerzos a transmitir: los no soportados por las alas

$$N_{w,Ed} = N_{Ed} \frac{A_w}{A} \quad M_{w,Ed} = M_{Ed} \frac{I_w}{I} \quad V_{w,Ed} = V_{Ed}$$

Distribución de los esfuerzos. Método 2 - alternativo

Momento flector: se absorbe todo él por las alas

Esfuerzo cortante: se absorbe por el alma

Se requiere que las alas del perfil sean capaces de absorber todo el flector

- Cubrejuntas de ala: sólo soportan esfuerzo axial

$$\begin{bmatrix} N_{T,Ed} \\ N_{C,Ed} \end{bmatrix} = \frac{N_{Ed}}{2} \frac{A_f}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{h}$$

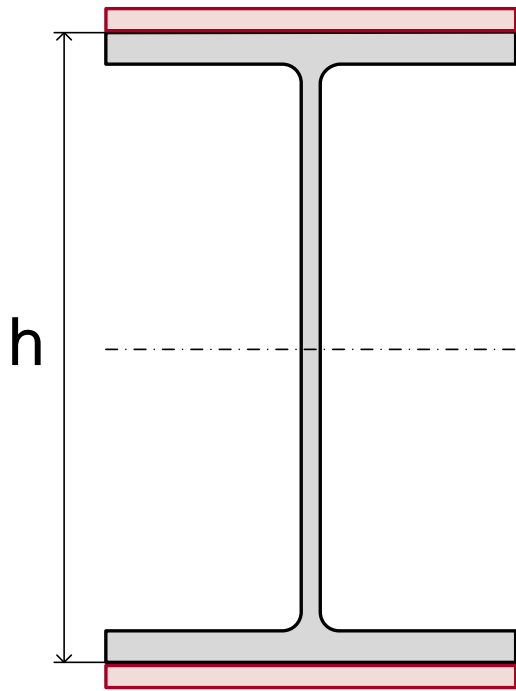
h : brazo de palanca del momento.

$$N_{f,Ed} = \max(|N_{C,Ed}|, |N_{T,Ed}|)$$

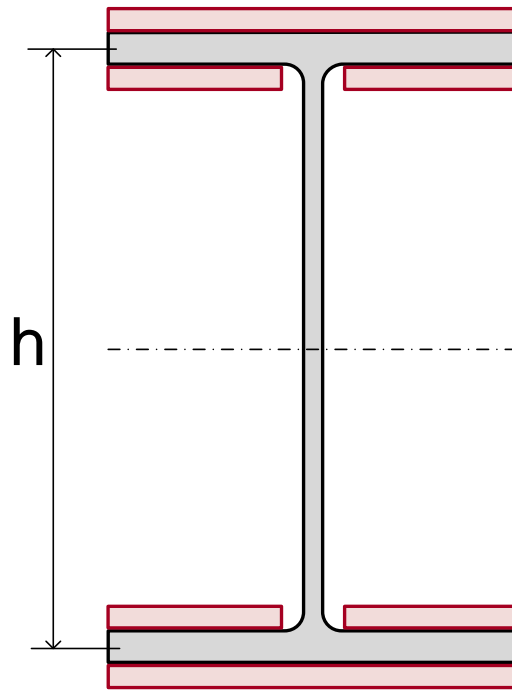
- Cubrejuntas de alma. Esfuerzos a transmitir: los no soportados por las alas

$$N_{w,Ed} = N_{Ed} \frac{A_w}{A} \quad M_{w,Ed} = 0 \quad V_{w,Ed} = V_{Ed}$$

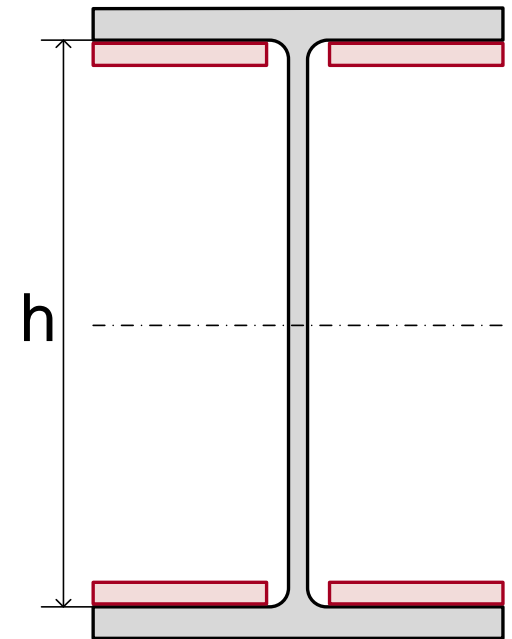
Brazo de palanca del momento h



$$h = h_b$$



$$h = h_b - t_{fb}$$



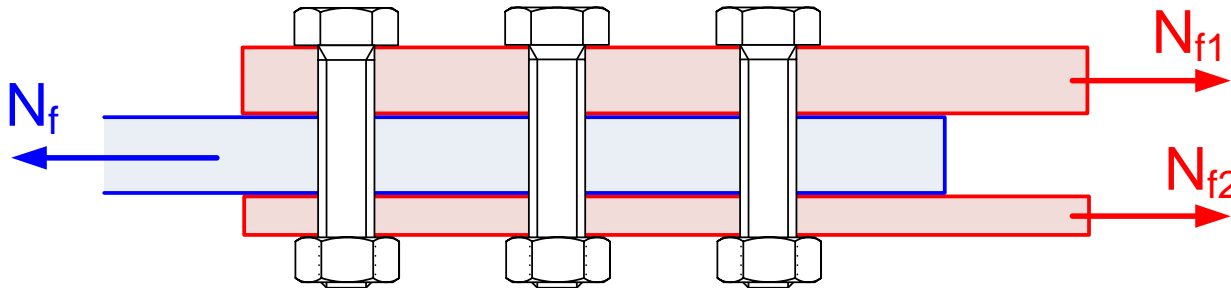
$$h = h_b - 2 t_{fb}$$

Distribución del esfuerzo entre los cubrejuntas dobles

Si los cubrejuntas dobles son de diferente espesor

El esfuerzo axial en el ala $N_{f,Ed}$ se distribuye de forma proporcional a los espesores

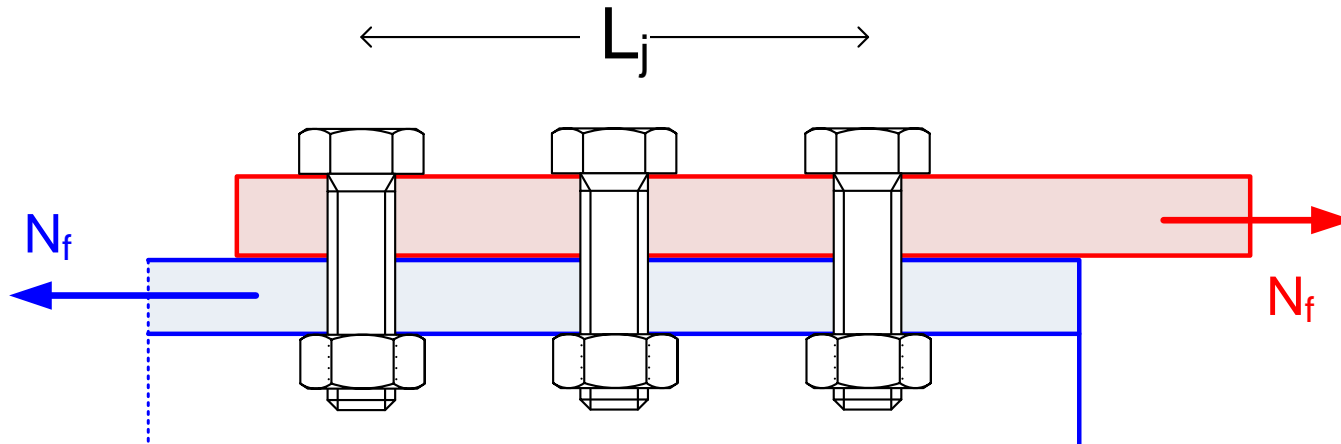
$$N_{f1,Ed} = \frac{A_1}{A_1 + A_2} N_{f,Ed} \qquad N_{f2,Ed} = \frac{A_2}{A_1 + A_2} N_{f,Ed}$$



Rf1 Resistencia a cortante de los tornillos de cubrejuntas de ala (1)

Cubrejuntas simple

$$N_{f,Ed} \leq n_{tor} \beta_{LF} F_{v,Rd} \qquad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



n_{tor} : número de tornillos en medio cubrejuntas

β_{LF} Coeficiente de uniones largas:

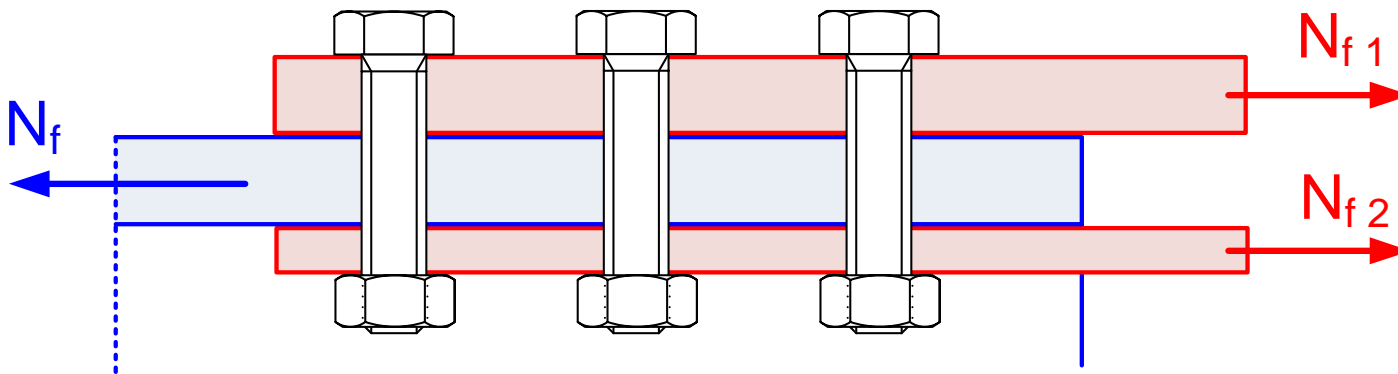
$$\begin{cases} L_j \leq 15 d & \beta_{LF} = 1 \\ L_j > 15 d & \beta_{LF} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200 d} \end{cases}$$

Rf1 Resistencia a cortante de los tornillos de cubrejuntas de ala (2)

Cubrejuntas doble

Comprobar la sección de corte crítica (máxima fuerza), con un plano de corte

$$\max(N_{f1,Ed}, N_{f2,Ed}) \leq n_{tor} \beta_{LF} F_{v,Rd} \quad F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



Rf2 Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el ala de la viga

$$N_{f,Ed} \leq n_{tor} \beta_{LF} F_{b,Rd,fb}$$

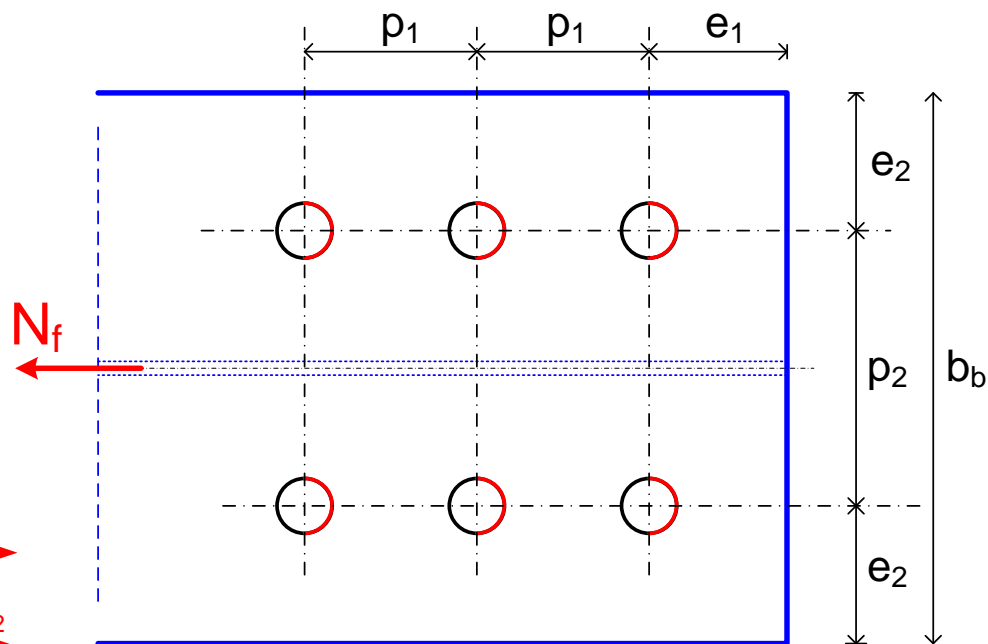
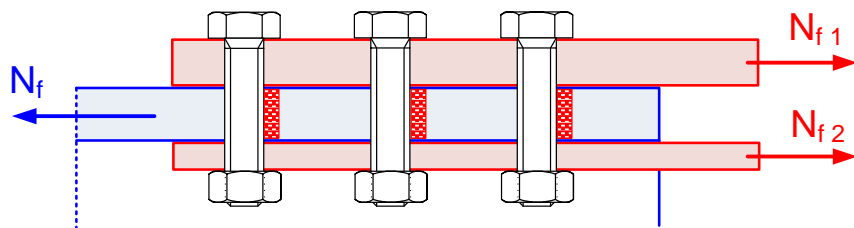
Resistencia de un tornillo a aplastamiento contra el ala:

$$F_{b,Rd,fb} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,fb} d t_{fb}}{\gamma_{M2}}$$

α_b, k_1 : según disposición geométrica

t_{fb} : espesor del ala

$f_{u,fb}$: límite de rotura material del ala



Es la misma para cubrejuntas simple o doble

Rf3 Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra los cubrejuntas de ala

Repetir para los dos cubrejuntas: exterior (x=1) e inferior (x=2)

$$N_{fx,Ed} \leq n_{tor} \beta_{LF} F_{b,Rd,fp x}$$

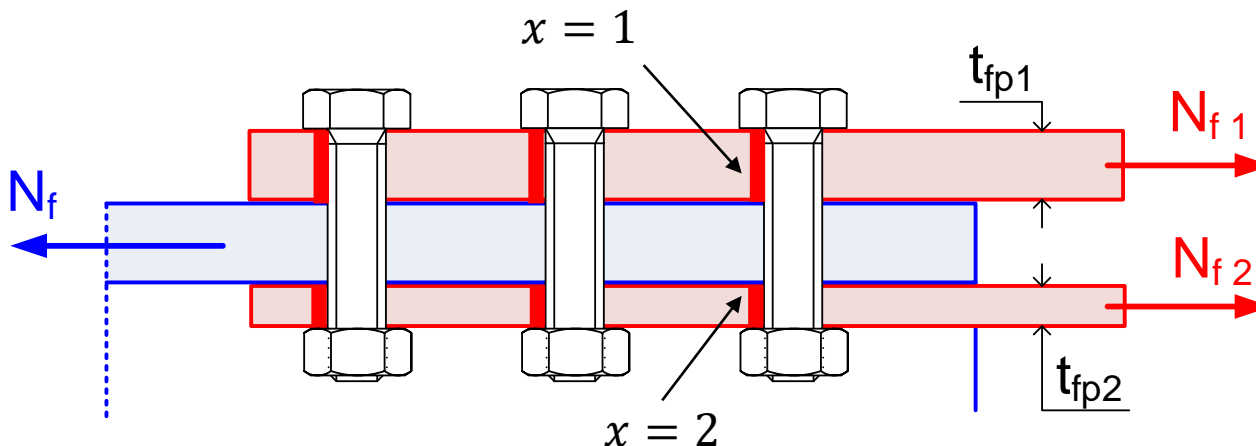
Resistencia de un tornillo a aplastamiento contra el cubrejuntas:

$$F_{b,Rd,fp x} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,fp x} d t_{fp x}}{\gamma_{M2}}$$

α_b, k_1 : según disposición geométrica

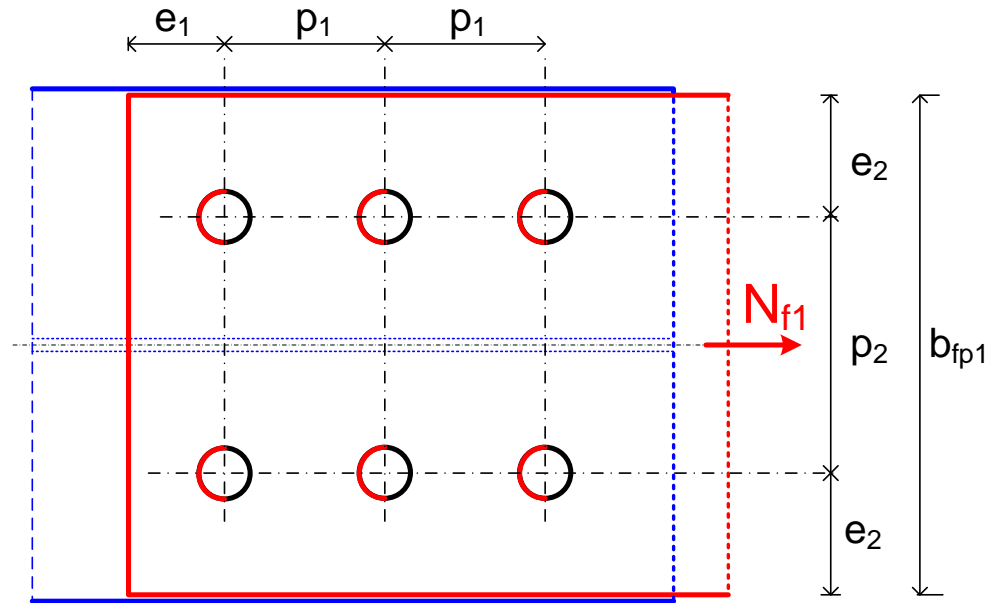
$t_{fp x}$: espesor del cubrejuntas x

$f_{u,fp x}$: límite de rotura del cubrejuntas x

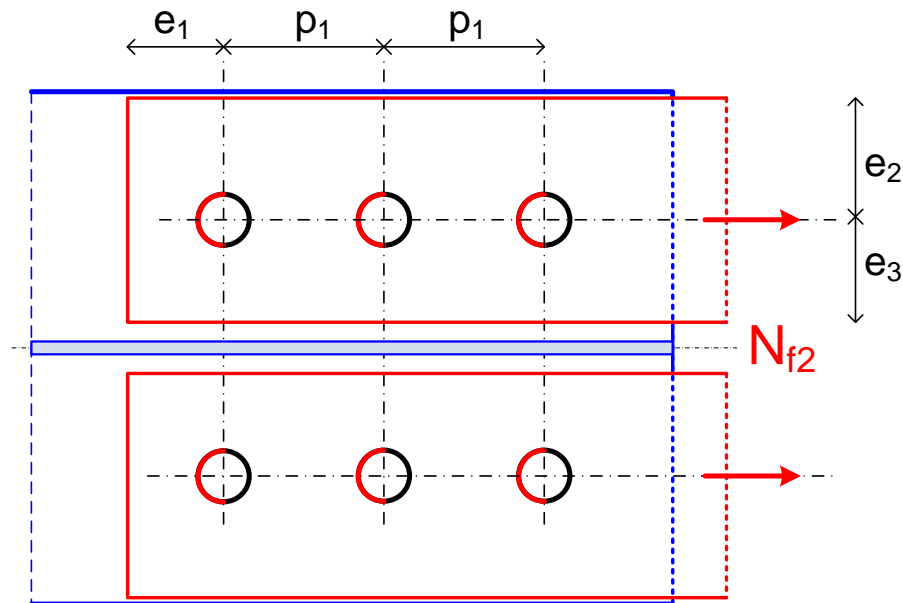


Rf3 Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra los cubrejuntas de ala

Cubrejuntas exterior



Cubrejuntas interior



Rf4 Resistencia a deslizamiento de los tornillos de cubrejuntas de ala

Uniones tipo C: comprobar en ELU. Uniones tipo B: comprobar en ELS

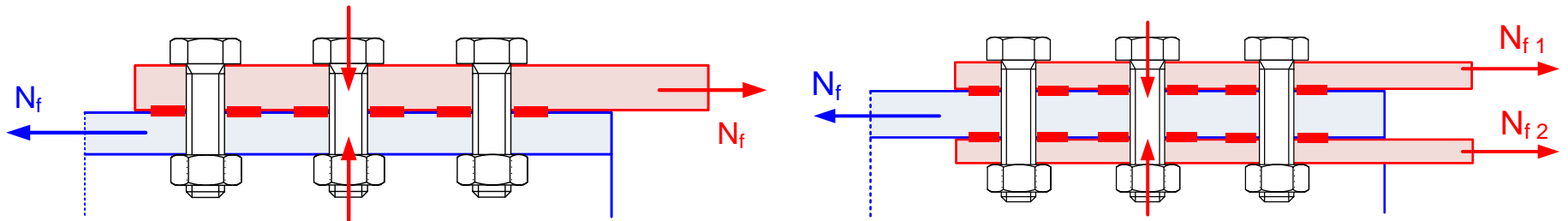
$$N_{f,Ed} \leq F_{s,Rd} = n_{tor} \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

n Número de planos de deslizamiento. Cubrejuntas simple:1, cubrejuntas doble: 2

k_s Factor de agujeros

μ Coeficiente de rozamiento entre las chapas:

$F_{p,C}$ Esfuerzo de pretensado en el tornillo



Rf5 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción (1)

Repetir para los dos cubrejuntas: exterior (x=1) e interior (x=2)

$$N_{fx,Ed} \leq \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{blo,Rd})$$

a. Tracción plástica de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = b_{fp} t_{fp} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M0}}$$

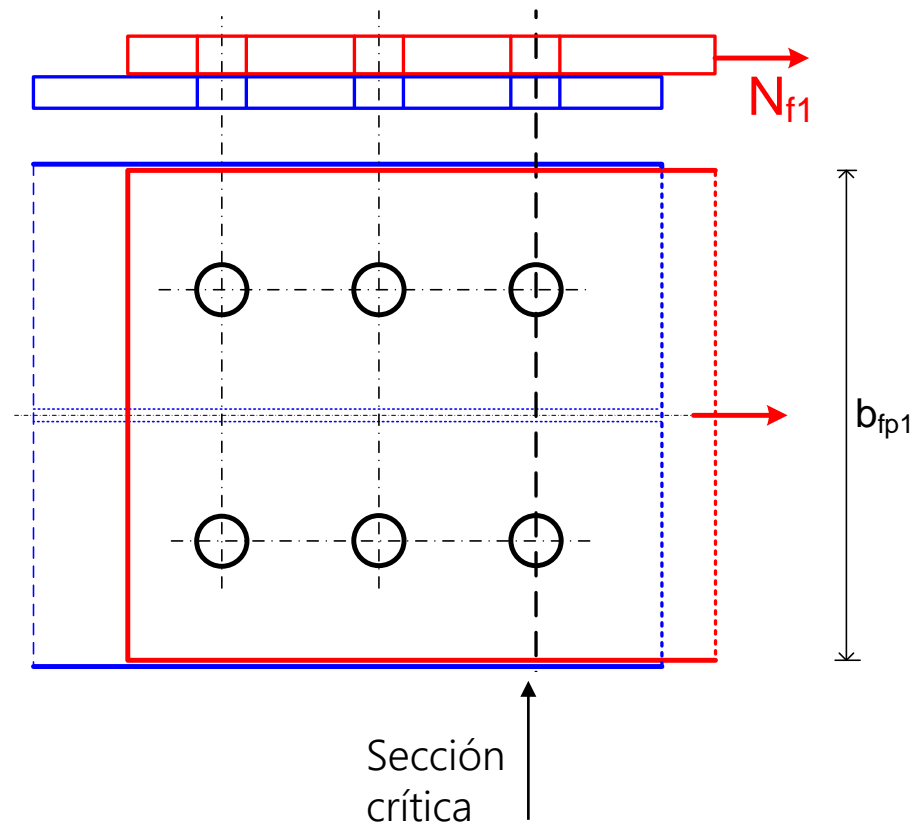
b. Tracción última de la sección neta

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{fp,net} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{fp,net} = (b_{fp} - 2 d_0) t_{fp}$$

$f_{y,fp}$: límite elástico cubrejuntas

$f_{u,fp}$: límite de rotura cubrejuntas



Rf5 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción (2)

c. Arranque de los bloques del cubrejuntas exterior

$$N_{blo,Rd} = A_{fp,nt} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}} + A_{fp,nv} \frac{f_{y,fp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{fp,nt}$: Área a tracción. Dos posibles modos de rotura

$$p_2 \leq 2 e_2 \quad \text{Bloque central} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(p_2 - d_0)$$

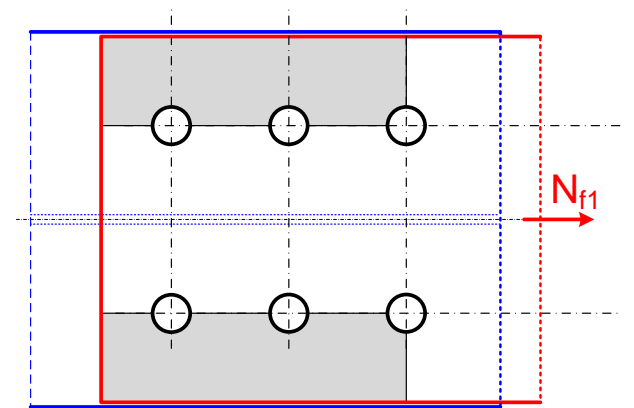
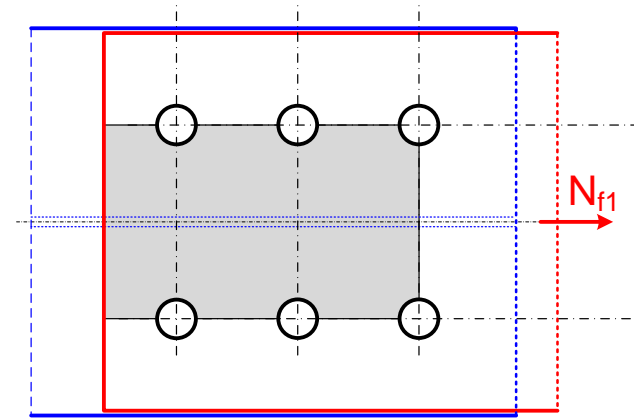
$$p_2 > 2 e_2 \quad \text{Bloques laterales} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(2 e_2 - d_0)$$

$A_{fp,nv}$: Área a cortante. La misma en ambos casos

$$A_{fp,nv} = 2 t_{fp} (e_1 + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0.5) d_0)$$

$f_{u,fp}$: límite de rotura material cubrejuntas

n_1 : Número de filas de tornillos en medio cubrejuntas



Rf6 Resistencia a compresión del cubrejuntas de ala

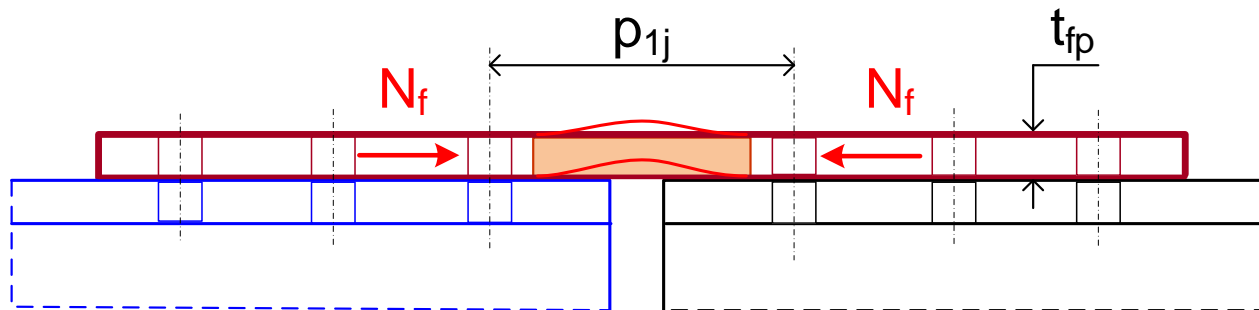
$$\text{Si } N_f < 0 \quad |N_f| \leq \chi \frac{b_{fp} t_{fp} f_{y,fp}}{\gamma_{M1}}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo Si $\frac{p_{1,j}}{t_{fp}} \leq 9\epsilon \rightarrow \chi = 1$

Curva de reducción por pandeo: c ($\alpha = 0.49$)

Sección de canto t_{fp} y ancho b_{fp} Longitud de pandeo: $L_P = 0.6 p_{1,j}$

$p_{1,j}$ distancia entre las primeras filas de tornillos, a ambos lados de la separación



Rf7 Resistencia a tracción del ala de la viga taladrada

$$N_{f,Ed} \leq \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{blo,Rd})$$

a. Tracción plástica de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = b_b t_{fb} \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$

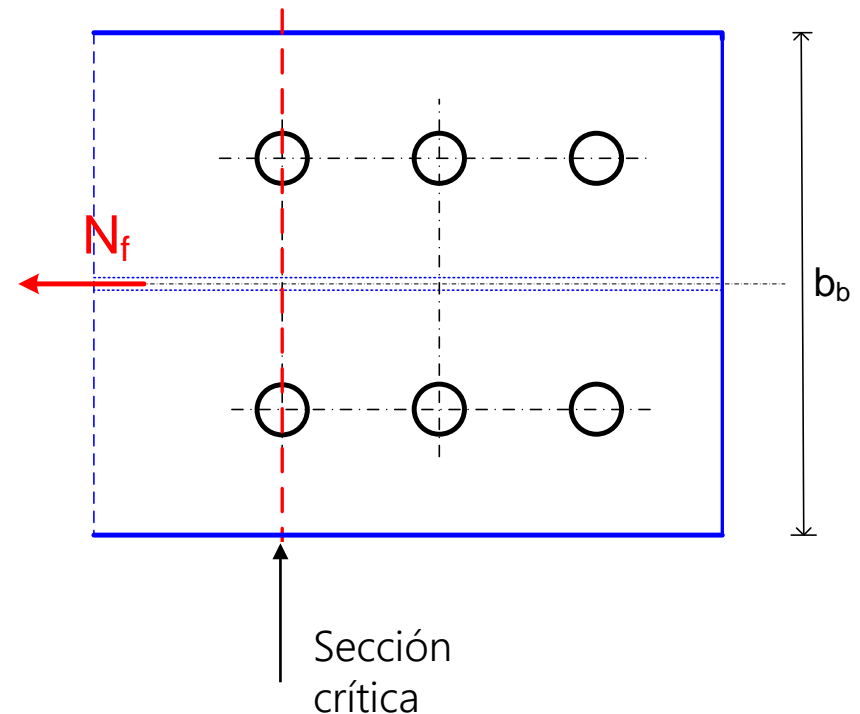
b. Tracción última de la sección neta

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{fb,neto} \frac{f_{u,fb}}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{fb,neto} = (b_b - 2 d_0) t_{fb}$$

$f_{y,fb}$: límite elástico material viga

$f_{u,fb}$: límite de rotura material viga



Rf7 Resistencia a tracción del ala de la viga taladrada

c. Arranque de los bloques del ala

$$N_{blo,Rd} = A_{fb,nt} \frac{f_{u,fb}}{\gamma_{M2}} + A_{fb,nv} \frac{f_{y,fb}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{fb,nt}$: Área a tracción. Dos posibles modos de rotura

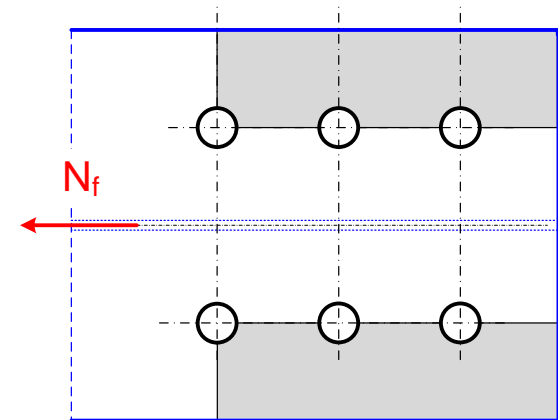
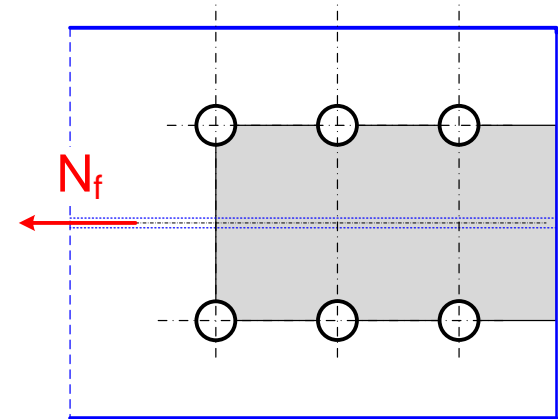
$$p_2 \leq 2 e_2 \quad \text{Bloque central} \quad A_{fb,nt} = t_{fb} (p_2 - d_0)$$

$$p_2 > 2 e_2 \quad \text{Bloques laterales} \quad A_{fb,nt} = t_{fb} (2 e_2 - d_0)$$

$A_{fb,nv}$: Área a cortante. La misma en ambos casos

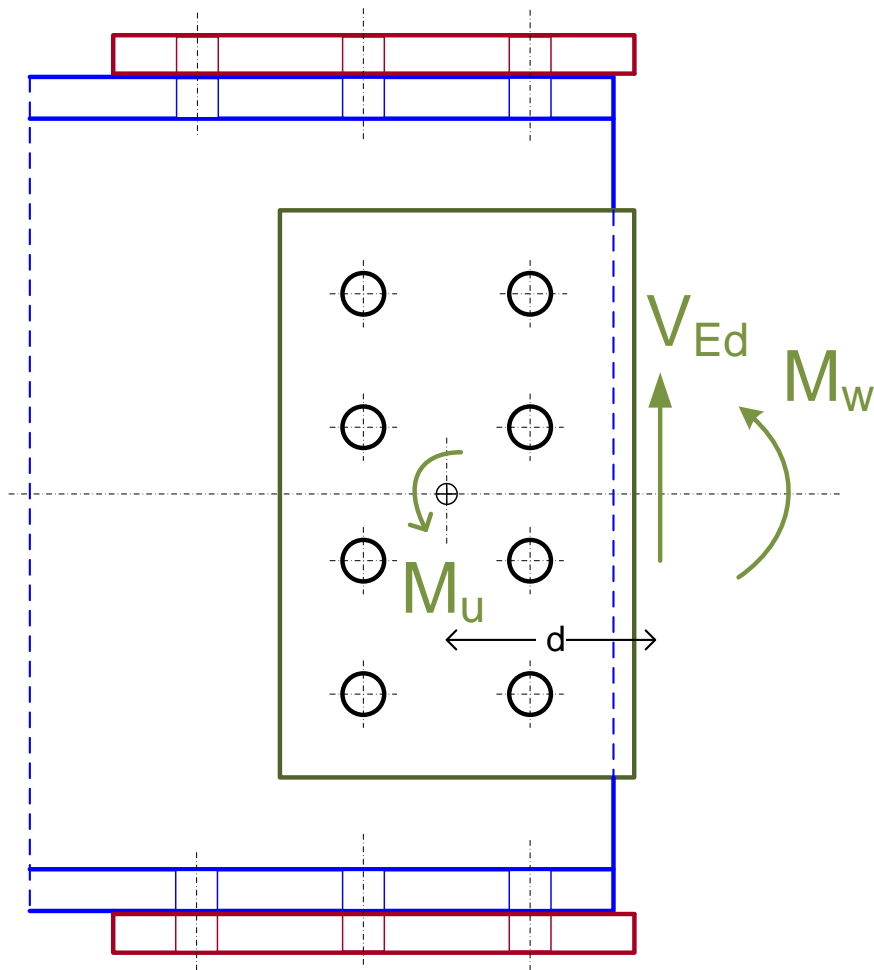
$$A_{fb,nv} = 2 t_{fb} (e_1 + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0.5) d_0)$$

n_1 : Número de filas de tornillos en el ala



Comprobación de los cubrejuntas de alma

Unión plana excéntrica



Cortante: V_{Ed}

Momento: $M_{w,Ed}$

Momento en la unión plana:

$$M_u = M_{w,Ed} + V_{Ed} d$$

Adoptamos: $z = \frac{M_u}{V_{Ed}}$

Espesor de cada cubrejuntas: t_{wp}

Altura del cubrejuntas: h_{wp}

Material del cubrejuntas: $f_{y,wp}$ $f_{u,wp}$

Rw1 Resistencia de los tornillos de alma a cortante

El cortante se considera aplicado en el centro entre las dos vigas

z : distancia de fuerza vertical al c.d.g. de los tornillos

Unión plana excéntrica.

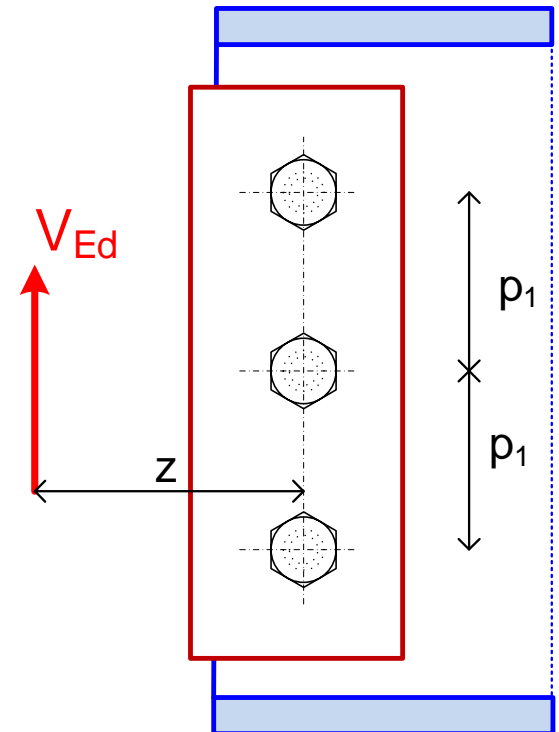
Resistencia de los tornillos a cortante con una columna de n tornillos separados p_1

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{1 + (\beta n)^2}}$$

$$\beta = \frac{6 z}{n (n + 1) p_1}$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante

Con cubrejuntas dobles, hay dos planos de corte



Rw1 Resistencia de los tornillos de alma a cortante. 2 columnas

Resistencia de los tornillos a cortante con dos columnas de n_1 tornillos

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{n F_{v,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

$$n = 2 n_1$$

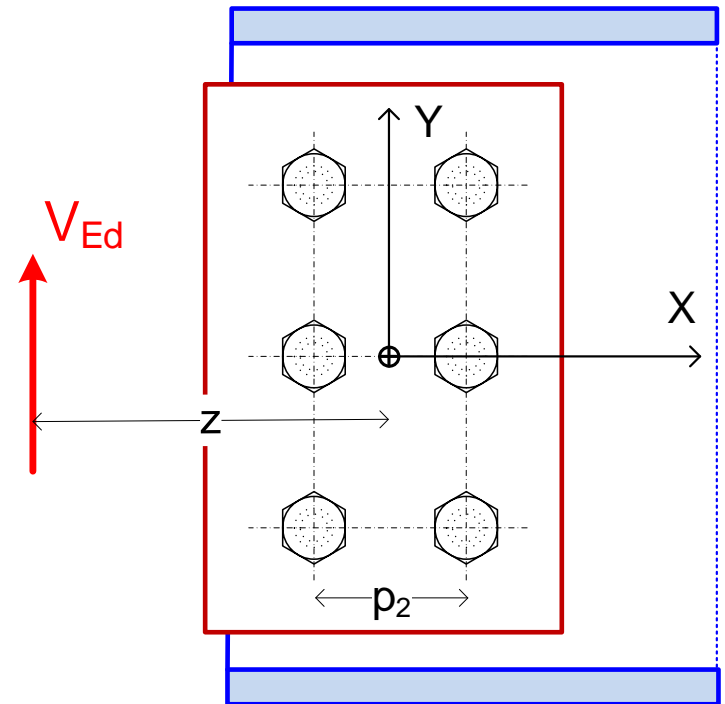
$$\alpha = \frac{z p_2}{2 I} \quad \beta = \frac{z p_1 (n_1 - 1)}{2 I}$$

$$I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{n_1}{6} (n_1^2 - 1) p_1^2$$

$F_{v,Rd}$: resistencia de un tornillo a cortante

Cubrejuntas simple: un plano de corte,

Cubrejuntas doble: dos planos de corte

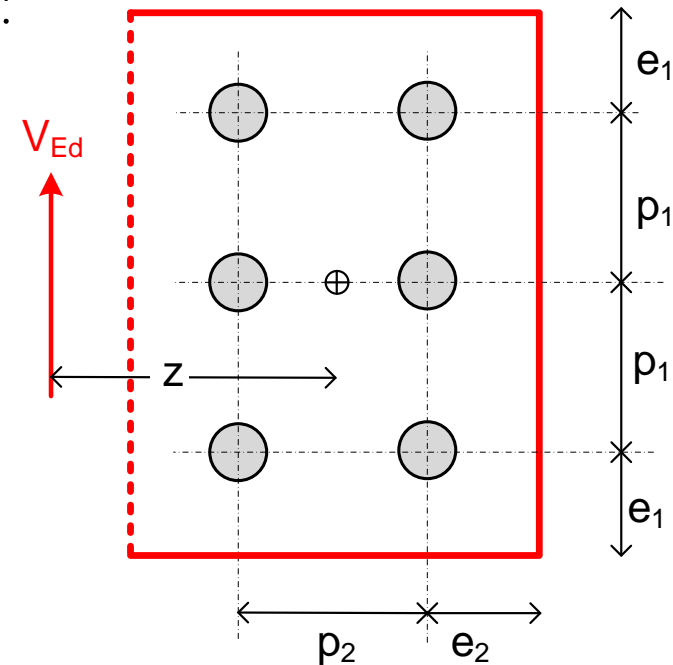


Rw2 Resistencia a aplastamiento en el cubrejuntas de alma

Resistencia a aplastamiento de la unión excéntrica:

Dos columnas:

$$V_{Ed} \leq \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$



Resistencia a aplastamiento de un tornillo en cada dirección

$$F_{b,(X,Y),Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,wp} d (2 t_{wp})}{\gamma_{M2}}$$

Para la resistencia vertical $F_{b,Y,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wp}}; 1.0\right)$$

Para la resistencia horizontal $F_{b,X,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_1}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wp}}; 1.0\right)$$

Válido para una columna con $\alpha = 0$, el valor de β adecuado e ignorando p_2

Rw3 Resistencia a aplastamiento en el alma de la viga

Resistencia de la unión excéntrica a aplastamiento:

$$V_{Ed} \leq \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1 + \alpha n}{F_{b,Y,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,X,Rd}}\right)^2}}$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo en cada dirección

$$F_{b,(X,Y),Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,wb} d t_{wb}}{\gamma_{M2}}$$

$f_{u,wb}$ Resistencia a la tracción del alma de la viga

Para la resistencia vertical $F_{b,Y,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_{2b}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

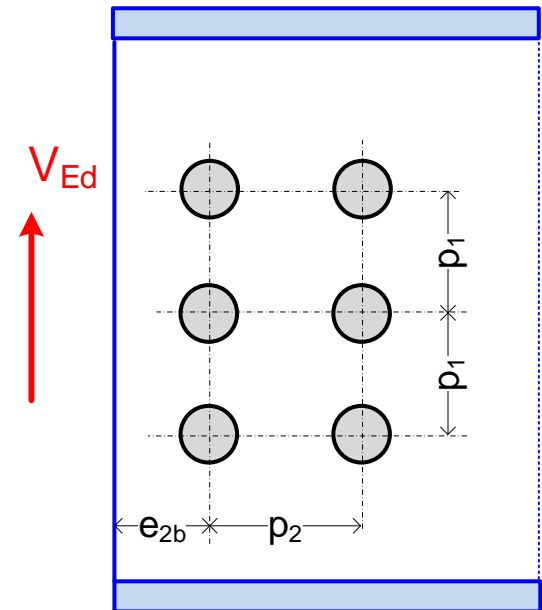
$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wb}}; 1.0\right)$$

Para la resistencia horizontal $F_{b,X,Rd}$

$$k_1 = \min\left(\frac{1.4 p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wb}}; 1.0\right)$$

Válido para una columna con $\alpha = 0$, el valor de β adecuado e ignorando p_2



Rw4 Resistencia de los tornillos de alma a deslizamiento

Uniones tipo C: comprobar en ELU. Uniones tipo B: comprobar en ELS

Misma comprobación que a cortante (Rw1), cambiando la resistencia a cortante por la resistencia a deslizamiento del tornillo, y con los valores de α, β correspondientes

- Una columna de n tornillos separados p_1

$$V_{Ed} \leq \frac{n F_{S,Rd}}{\sqrt{1 + (\beta n)^2}}$$

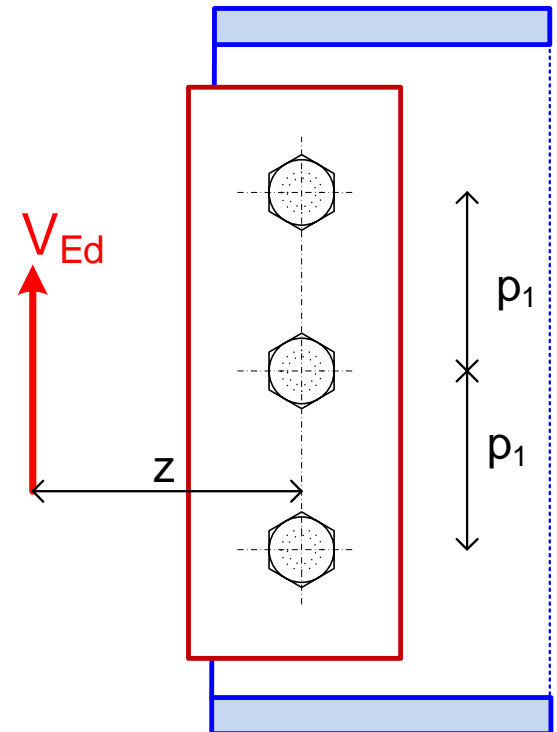
- Dos columnas de n tornillos separados $p_1 \times p_2$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{n F_{S,Rd}}{\sqrt{(1 + \alpha n)^2 + (\beta n)^2}}$$

$F_{S,Rd}$: resistencia de un tornillo a deslizamiento

$$F_{S,Rd} = \frac{k_s n_{roz} \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c}$$

n_{roz} Número de planos de rozamiento (cubrejuntas simple:1, cubrejuntas doble: 2)



Rw5 Resistencia del cubrejuntas a cortante - 1 columna

$$V_{Ed} \leq \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

Cortante sección bruta

$$V_{Rd,bru} = \frac{h_{wp} t_{wp} f_{y,wp}}{1.27 \sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

(1) →

Cortante sección neta

$$V_{Rd,net} = t_{wp} (h_{wp} - n_1 d_0) \frac{f_{u,wp}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

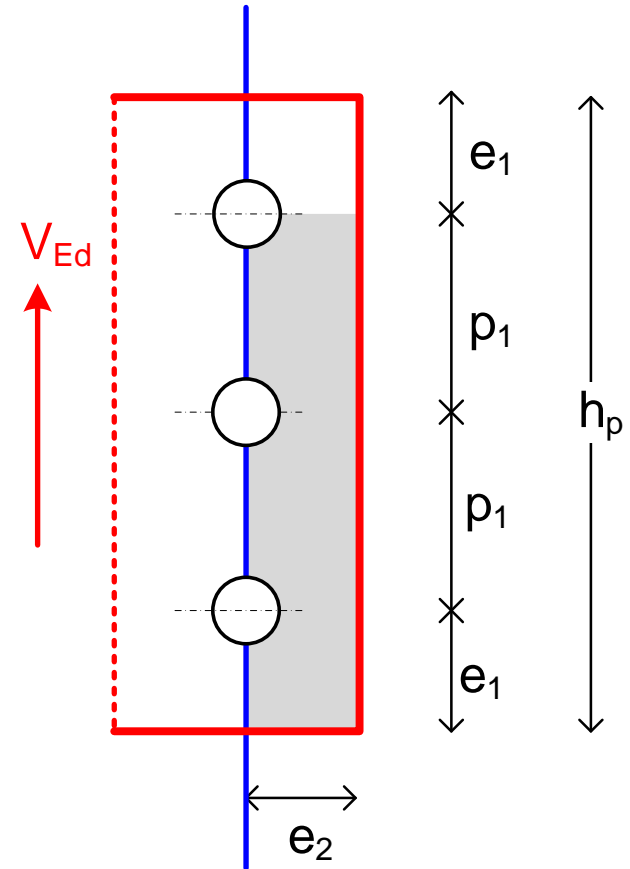
Arranque bloque

$$V_{Rd,blo} = \frac{A_{nt} f_{u,wp}}{2 \gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_{y,wp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Factor 1/2 por
excentricidad

$$A_{nt} = t_{wp} \left(e_2 - \frac{d_0}{2} \right)$$

$$A_{nv} = t_{wp} (h_{wp} - e_1 - (n_1 - 0.5)d_0)$$



(1) Por presencia de
momento flector

Rw5 Resistencia del cubrejuntas a cortante - 2 columnas

$$V_{Ed} \leq \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net}, V_{Rd,blo})$$

Cortante sección bruta: ídem a 1 columna

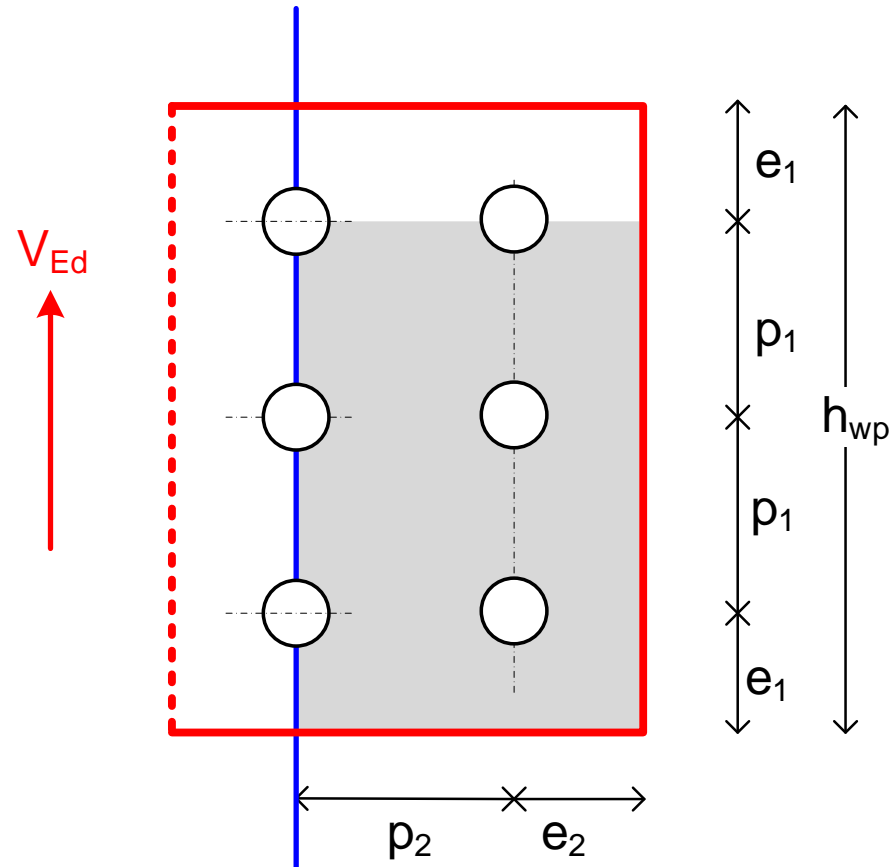
Cortante sección neta: ídem a 1 columna

Arranque de bloque:

$$V_{Rd,blo} = \frac{A_{nt} f_{u,wp}}{2 \gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_{y,wp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_{wp} (p_2 + e_2 - 1.5 d_0)$$

A_{nv} : ídem a 1 columna



Rw6 Resistencia del cubrejuntas a flexión + axial

Combinación axial - flector

$$\frac{N_{w,Ed}}{N_{w,Rd}} + \frac{M_{w,Ed}}{M_{c,w,Rd}} \leq 1$$

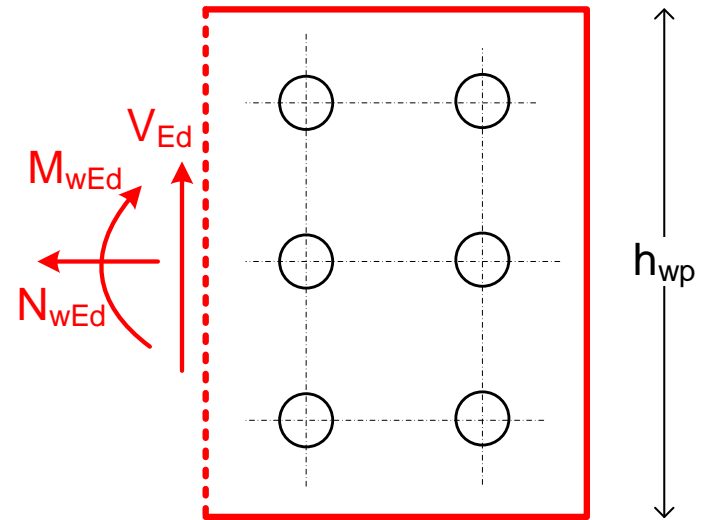
Resistencia a axial: $N_{w,Rd} = h_{wp} t_w \frac{f_{y,wp}}{\gamma_{M0}}$

Resistencia elástica a flexión + cortante, con interacción:

$$M_{c,w,Ed} = W_{el,wp} (1 - \rho) \frac{f_{y,wp}}{\gamma_{M0}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{Ed} \leq \frac{V_{pl,Rd}}{2} \quad \rho = 0 \\ V_{Ed} > \frac{V_{pl,Rd}}{2} \quad \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \end{array} \right.$$

$$V_{pl,Rd} = \min(V_{Rd,bru}, V_{Rd,net})$$



$$W_{el,wp} = \frac{t_{wp} h_{wp}^2}{6}$$

Rw7 Resistencia de la viga a cortante

$$V_{Ed} \leq \min(V_{Rd,b,bru}, V_{Rd,b,net})$$

1. Resistencia a cortante de la sección bruta

$$V_{Rd,b,bru} = A_{Vb} \frac{f_{y,wb}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

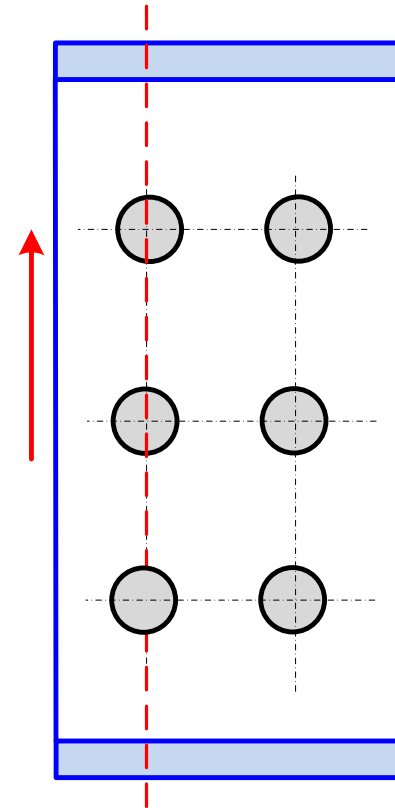
A_{Vb} : área de cortante de la viga

2. Resistencia a cortante de la sección neta

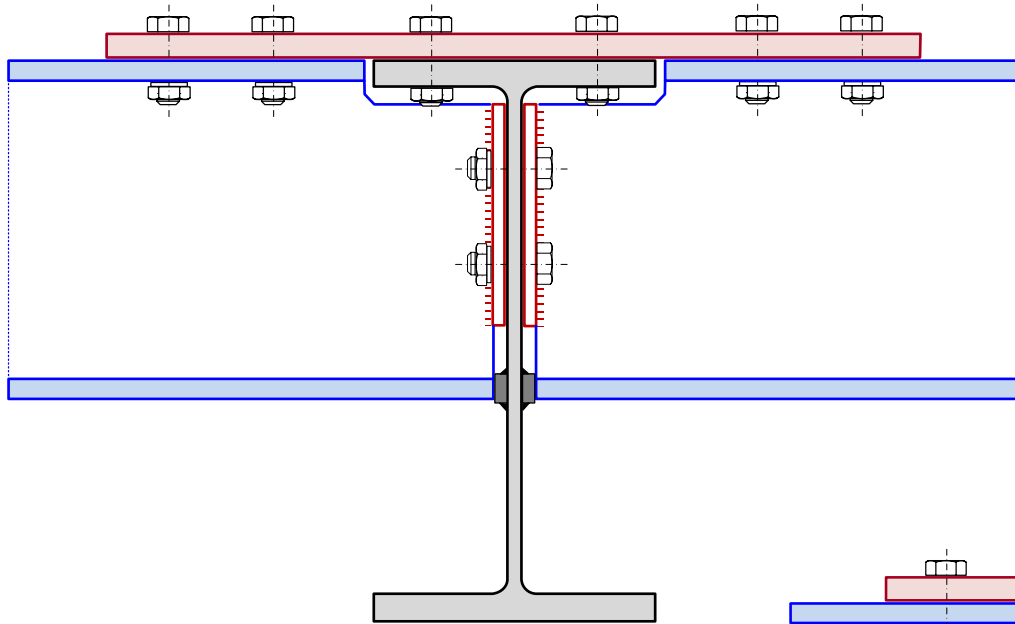
$$V_{Rd,b,net} = A_{Vb,net} \frac{f_{u,wb}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$$

$$A_{Vb,net} = A_{Vb} - n_1 d_0 t_{wb}$$

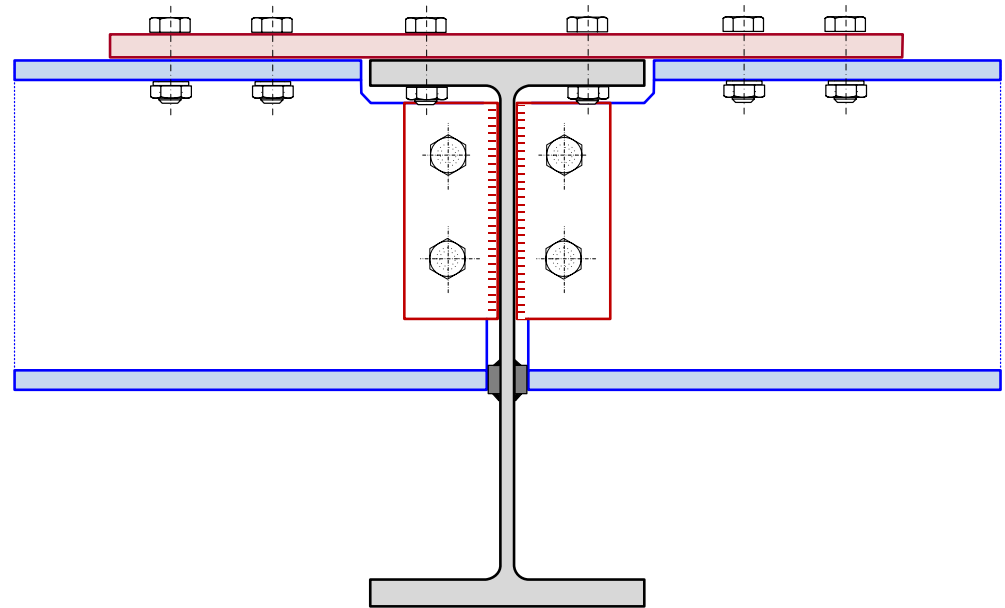
Material de la viga: $f_{y,wb}$ $f_{u,wb}$



Unión de viga secundaria continua



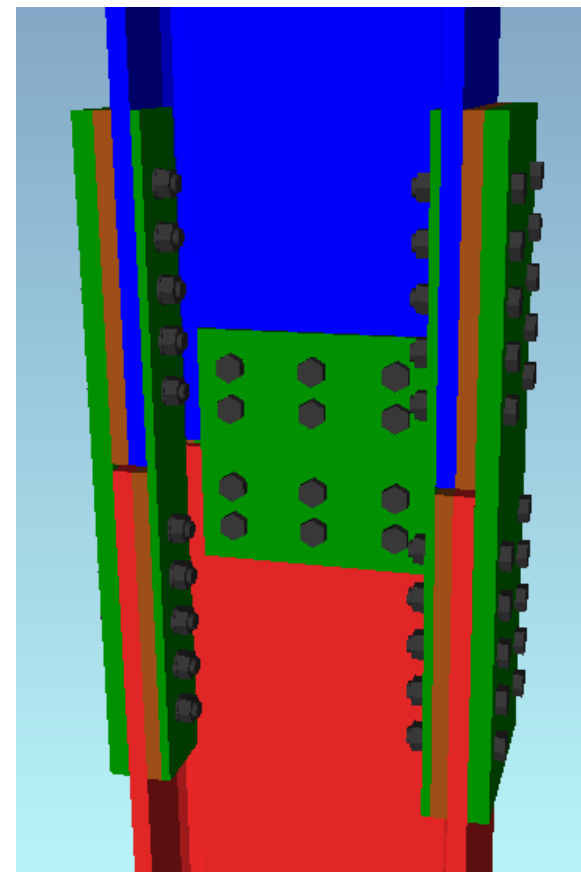
Chapa frontal
de alma



Chapa de aleta
en alma

Unión de columnas mediante cubrejuntas atornillados

Cubrejuntas con
contacto



Unión de columnas mediante cubrejuntas con contacto

Transmiten las fuerzas por contacto (apoyo) del pilar superior sobre el inferior.

A. Si el área del pilar superior está totalmente contenida en la del inferior: contacto directo ala superior/ala inferior y alma superior /alma inferior. Dos casos:

A.1 Si los dos pilares son iguales

A.2 Si los dos son del mismo tamaño y diferente sub-serie (p.e. HEB 200 y HEA 200). Esto ocurre con todos los HEM/HEB/HEA del mismo tamaño: para un mismo tamaño las caras interiores están alineadas.

B. Si el área del pilar superior no está totalmente contenida en la del inferior: chapa divisoria horizontal de apoyo, soldada al poste inferior.

Momento flector transmitido mediante fuerzas de tracción/compresión en los cubrejuntas de las alas.

Cortante horizontal transmitido:

por rozamiento en el contacto ($\mu = 0.2$) si es muy pequeño, o mediante cubrejuntas atornillados en las almas.

Eje centroidal de los cubrejuntas coincidente con los ejes de las columnas superior e inferior. Si los ejes de las columnas están decalados (p.e. para mantener la cara exterior), se debe incluir el momento debido a la excentricidad.

Unión de columnas mediante cubrejuntas con contacto

Forros de alas para salvar la diferencia entre el canto de los dos perfiles.

Forros de almas para salvar la diferencia entre el espesor del alma de los dos perfiles.

Máximo de 4 capas de forros.

Espesor de forros ≤ 30 mm \rightarrow pilares unidos con salto entre tamaños no mayores que uno.

Cubrejuntas interiores: ventajosos en caso A, ahorro de forros. Montaje más complejo, pero preferidos por razones arquitectónicas.

Uniones atornilladas suelen ser de categoría A (tornillos ordinarios trabajando a cortante y aplastamiento).

Se pueden emplear tornillos pretensados si no se puede permitir el deslizamiento en ELS, o si la fuerza de tracción en un ala es muy grande ($> 10\% N_{f,uc,Rd}$)

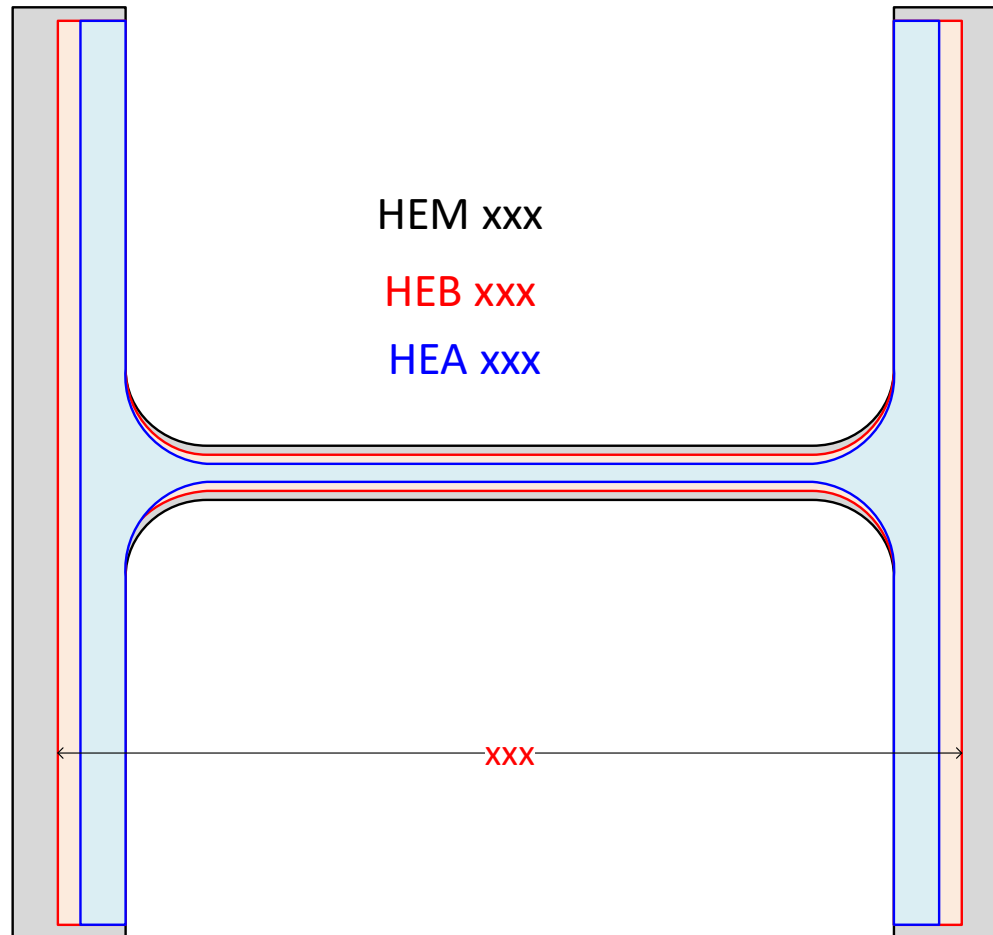
No garantizan una continuidad total a la rigidez a flexión del pilar. La pérdida de rigidez no influye en el comportamiento global de estructuras de tipo pórtico ortogonal de edificios si están arriostradas ante cargas horizontales.

No se requiere mecanizado de las caras en contacto.

Solución muy económica.

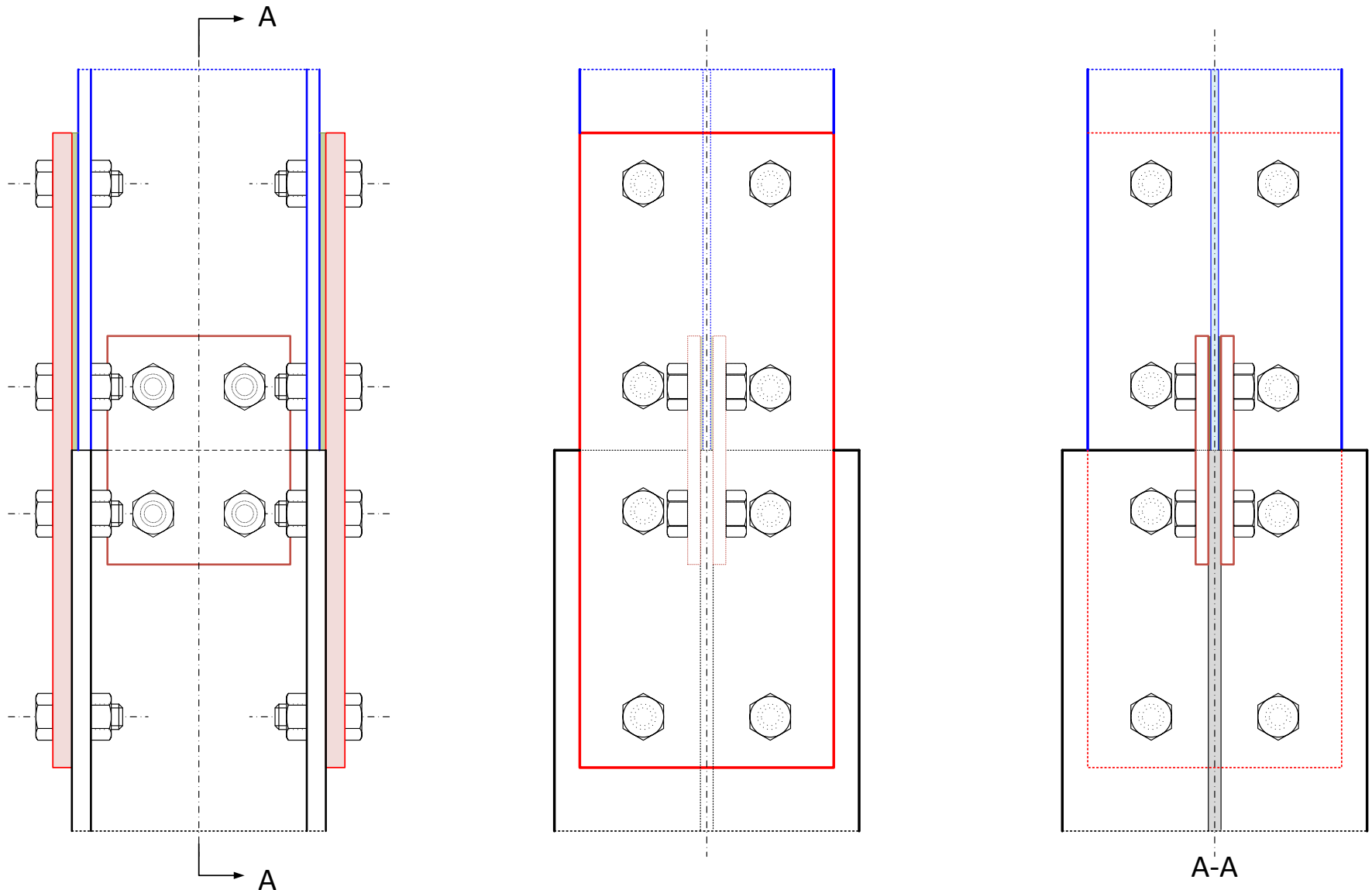
Perfiles H del mismo tamaño nominal

Caras interiores coincidentes: sin necesidad de forros interiores

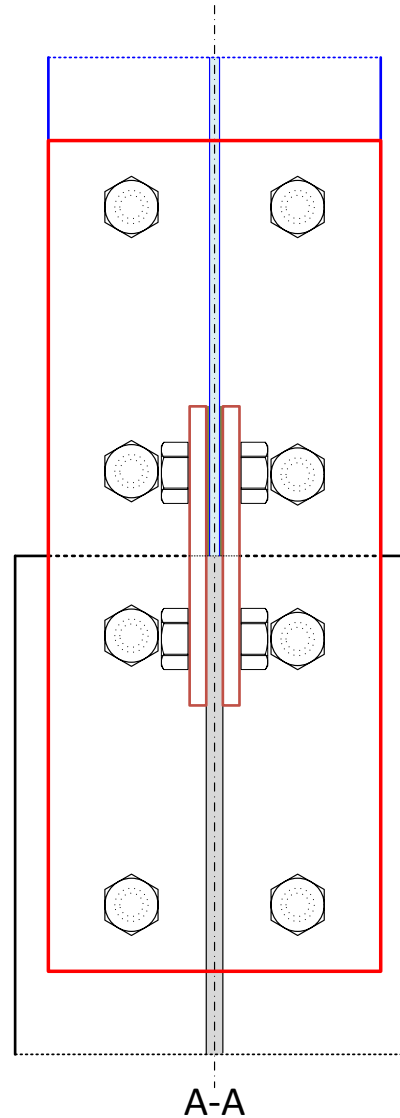
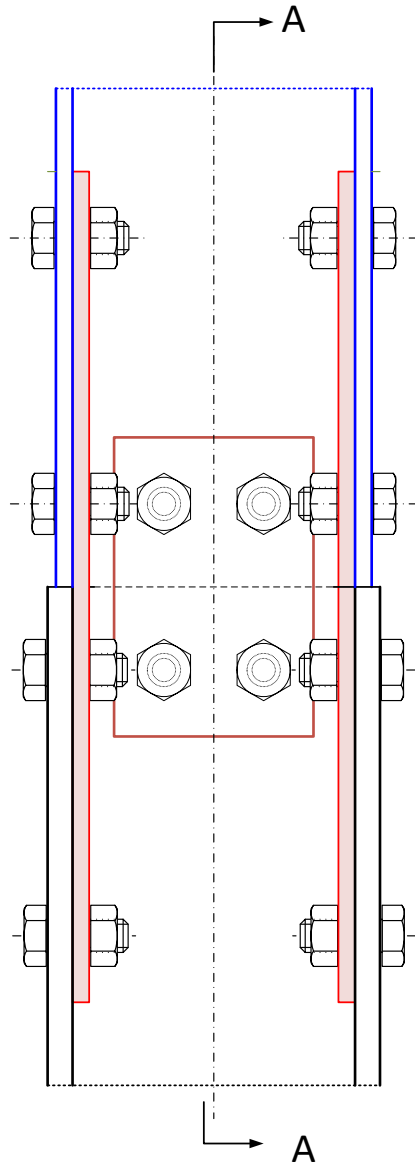


Unión de columnas mediante cubrejuntas exteriores con contacto

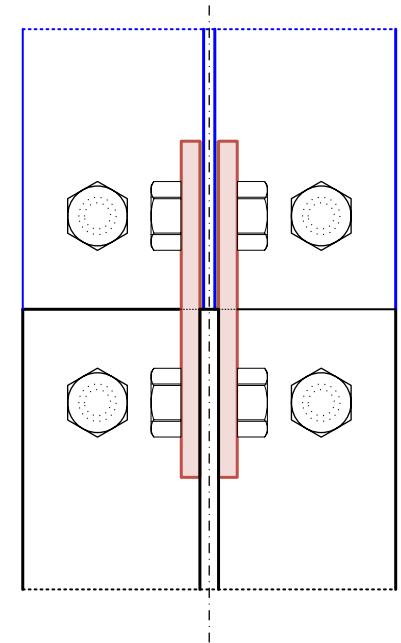
Forros exteriores en las alas por diferencia de cantos



Unión de columnas mediante cubrejuntas interiores con contacto

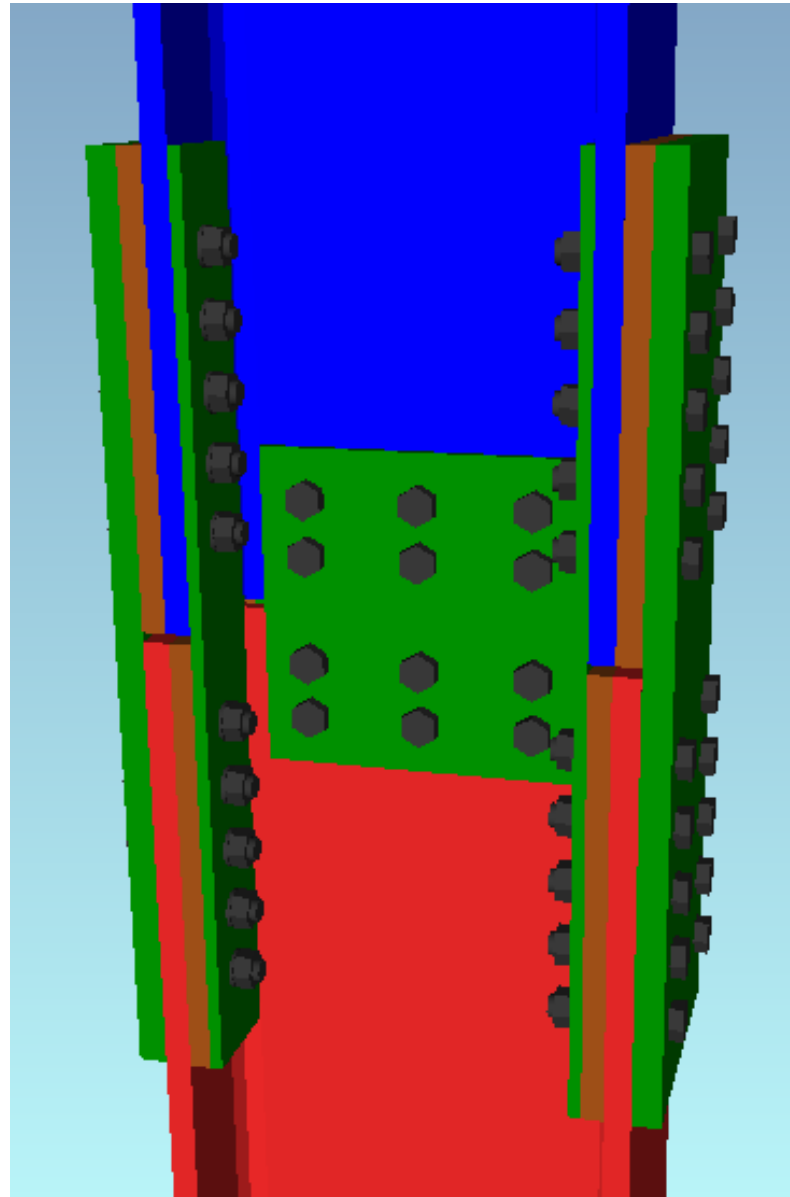


Caras interiores coincidentes:
sin necesidad de forros
interiores en las alas

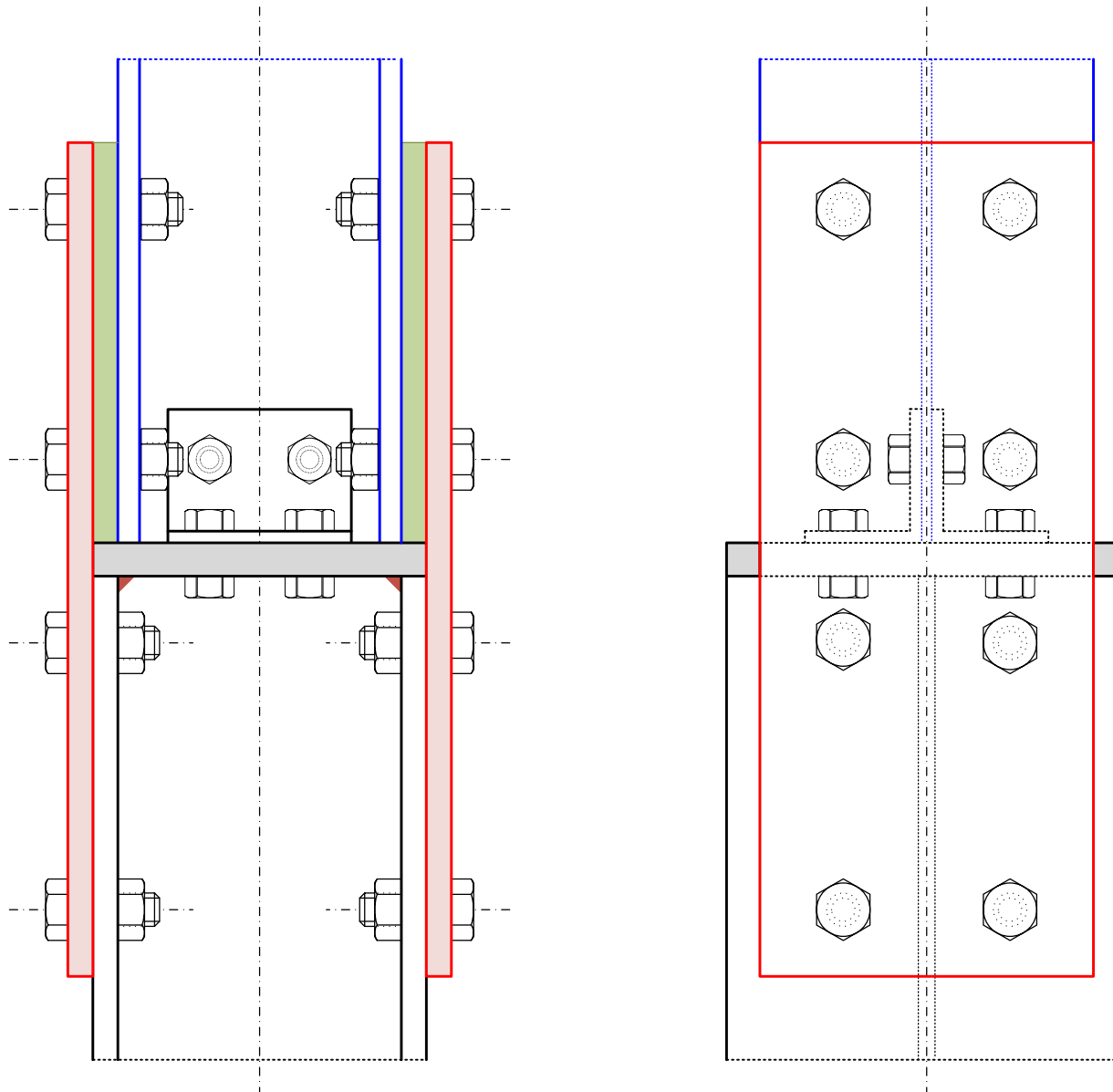


Forros necesarios entre las
almas de distinto espesor

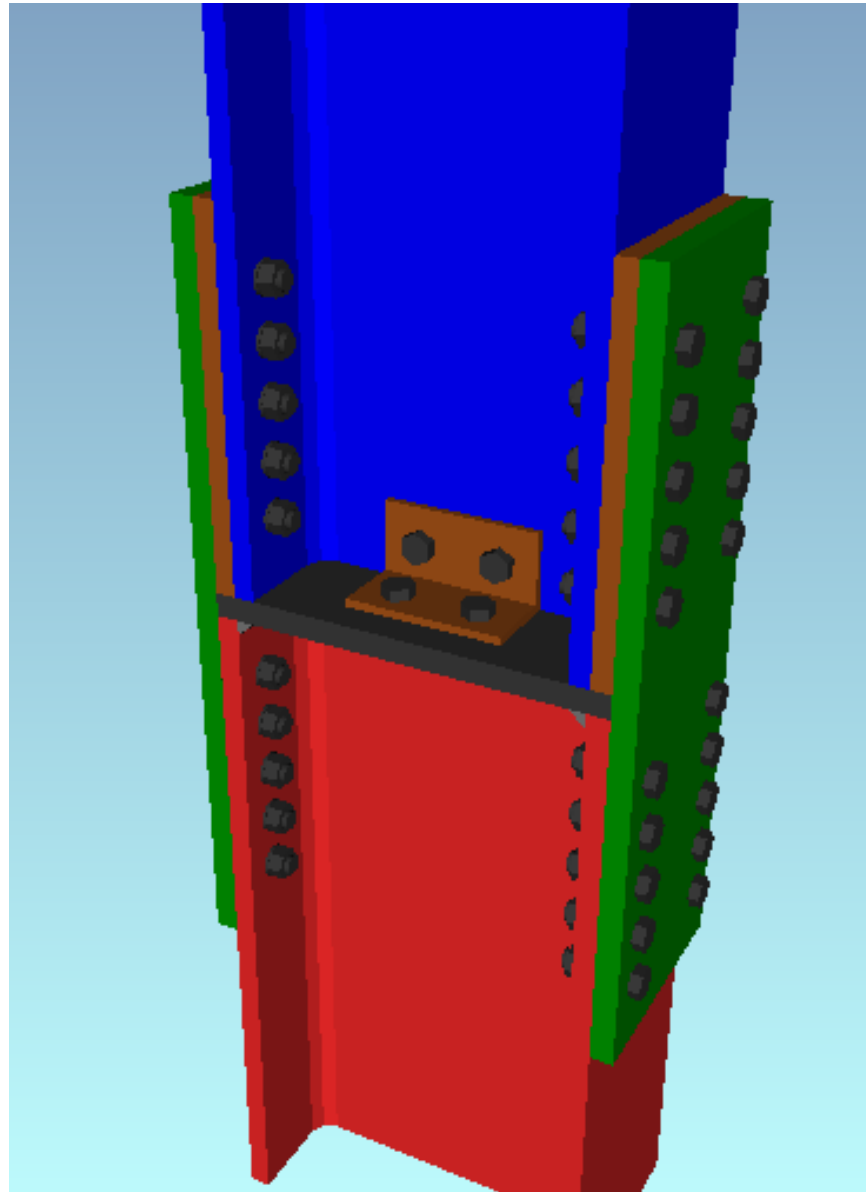
Unión de columnas mediante cubrejuntas exteriores e interiores con contacto



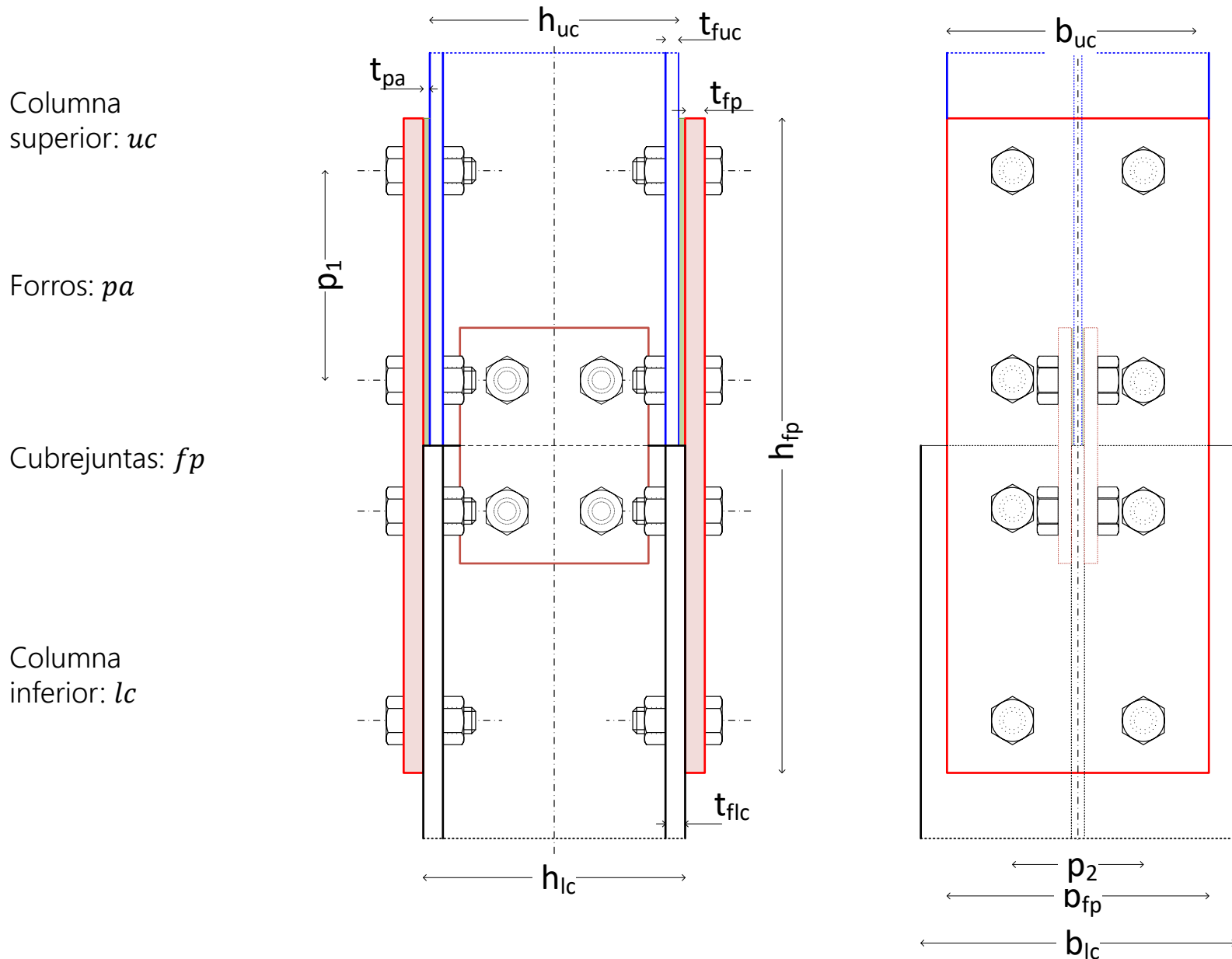
Unión de columnas mediante cubrejuntas con contacto y placa divisoria



Unión de columnas mediante cubrejuntas con contacto y placa divisoria



Dimensiones. Unión de columnas mediante cubrejuntas con contacto



Dimensiones recomendadas

Cubrejuntas ala: $t_{fp} \geq \frac{t_{f,uc}}{2}$ $t_{fp} \geq 10 \text{ mm}$ $h_{fp} \geq 2 b_{uc}$ $b_{fp} \geq b_{uc}$

Cubrejuntas alma: Dos lados: $t_{wp} \geq \frac{t_{w,uc}}{2}$ $t_{wp} \geq 6 \text{ mm}$
Un lado: $t_{wp} \geq t_{w,uc}$ $t_{wp} \geq 8 \text{ mm}$ $b_{wp} \geq 0.5 h_{uc}$

Tornillos M20 o M24 - 8.8 o 10.9 Agujeros: $d_0 = 22 \text{ o } 26 \text{ mm}$

Diámetro tornillos $\geq 75\%$ espesor forros t_{pa} $t_{pa} \leq \frac{4}{3} d$

Mínimo 4 tornillos entre cada cubrejuntas y el ala de un poste.

Mínimo 4 tornillos en cubrejuntas de alma

Espaciado vertical de tornillos máximo posible $p_1 \approx 80 \div 160 \text{ mm}$

Espaciado horizontal tornillos p_2 máximo posible, centrado en las alas.

Distancia al borde superior o inferior: $e_1 \approx 2 d$ (40 ÷ 50 mm)

Distancia al borde lateral: $e_2 \approx 2 d$ (40 ÷ 50 mm)

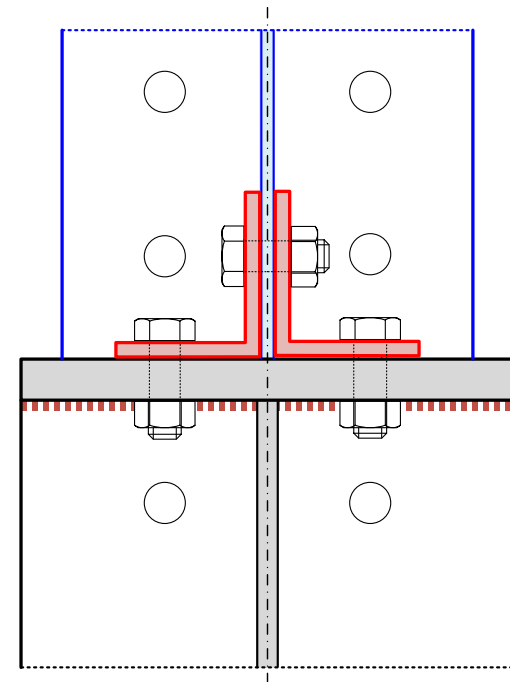
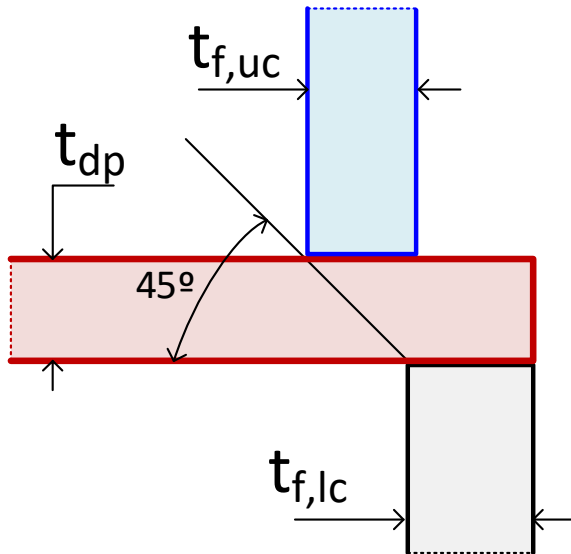
Dimensiones recomendadas. Chapa divisoria

Mismas dimensiones que poste inferior, -5 mm para montaje.

Espesor debe garantizar dispersión a 45° de las tensiones entre las alas

$$t_{dp} \geq \frac{(h_{lc} - 2 t_{f,lc}) - (h_{uc} - 2 t_{f,uc})}{2}$$

Cubrejuntas de alma sujeto mediante perfiles en L

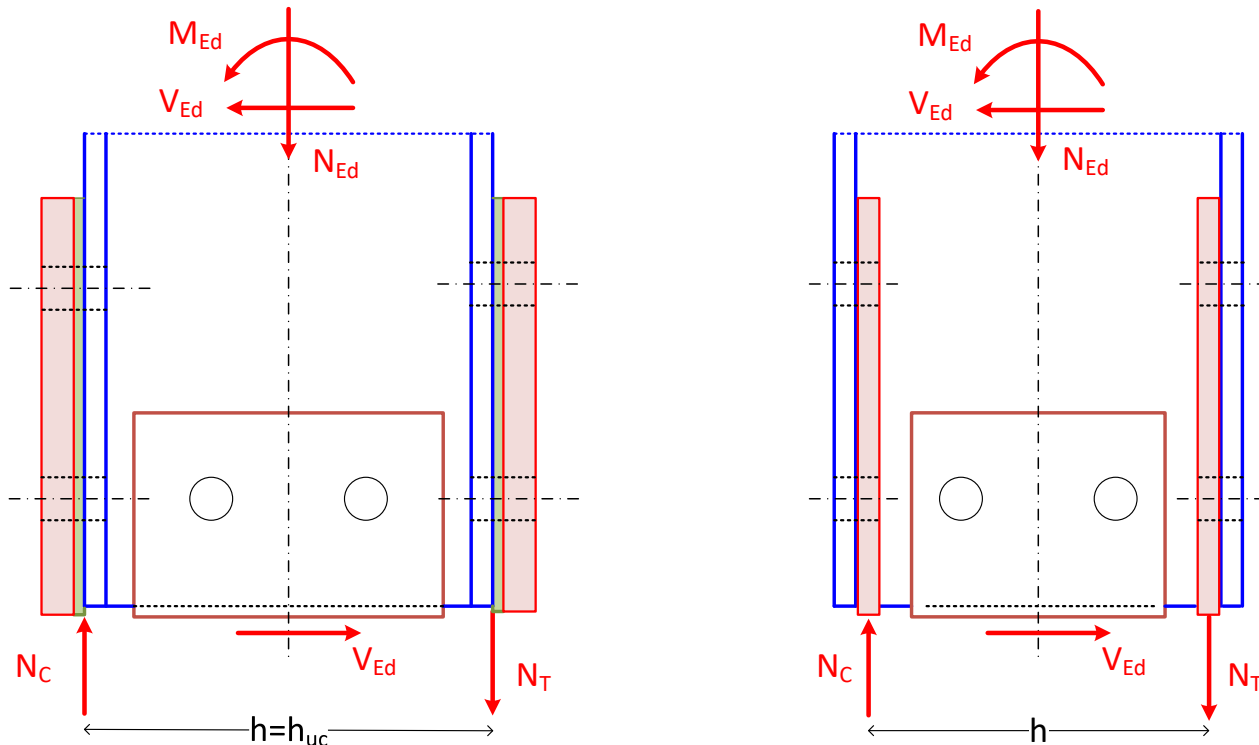


Transmisión de esfuerzos. Cubrejuntas con contacto

Momento M_{Ed} y axial N_{Ed} se distribuyen en dos fuerzas situadas en las alas/cubrejuntas

$$N_{C,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} + \frac{N_{Ed}}{2} \quad N_{T,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} - \frac{N_{Ed}}{2} \quad e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Brazo de palanca (conservador) $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cubrejuntas exteriores } h = h_{uc} \text{ Exterior poste superior} \\ \text{Cubrejuntas interiores } h = h_{uc} - 2 t_{f,uc} - t_{fp,i} \text{ Centro cubrejuntas interior} \end{array} \right.$



Cubrejuntas con contacto. Fuerzas de tracción

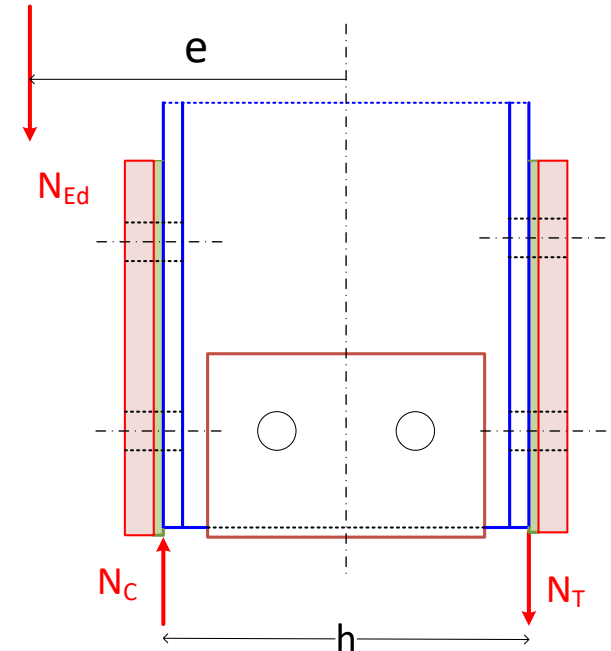
Si $N_{T,Ed} > 0$ existe fuerza de tracción en un cubrejuntas

$$N_{T,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} - \frac{N_{Ed}}{2} > 0 \quad e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} > \frac{h}{2}$$

Si $N_{T,Ed} > 0.1 N_{pl,f,uc}$: emplear tornillos pretensados

$N_{pl,f,uc}$: resistencia plástica ala columna superior

$$N_{pl,f,uc} = t_{f,uc} b_{uc} \frac{f_{y,uc}}{\gamma_{M0}}$$



Nota: es habitual calcular la fuerza de tracción empleando sólo la parte permanente de la fuerza axial $N_{G,Ed}$ (cargas gravitatorias), pero el momento real

$$N_{T,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} - \frac{N_{G,Ed}}{2} \quad M_{Ed} = M_{G,Ed} + M_{Q,Ed}$$

Es conservador, pues $N_{G,Ed} < N_{Ed} = N_{G,Ed} + N_{Q,Ed}$

Cubrejuntas con contacto. Comprobaciones

Cubrejuntas a tracción ($N_{T,Ed} > 0$):

- R1a Resistencia a tracción, sección bruta
- R1b Resistencia a tracción, sección neta
- R1c Resistencia a arrancamiento
- R2 Resistencia a cortante de tornillos
- R3 Resistencia a aplastamiento de tornillos

R4. Resistencia mínima de los cubrejuntas y tornillos de unión $0.25 N_{Ed}$

R1 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción ($N_T > 0$)

$$N_{T,Ed} \leq \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{blo,Rd})$$

R1a. Tracción plástica de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = b_{fp} t_{fp} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M0}}$$

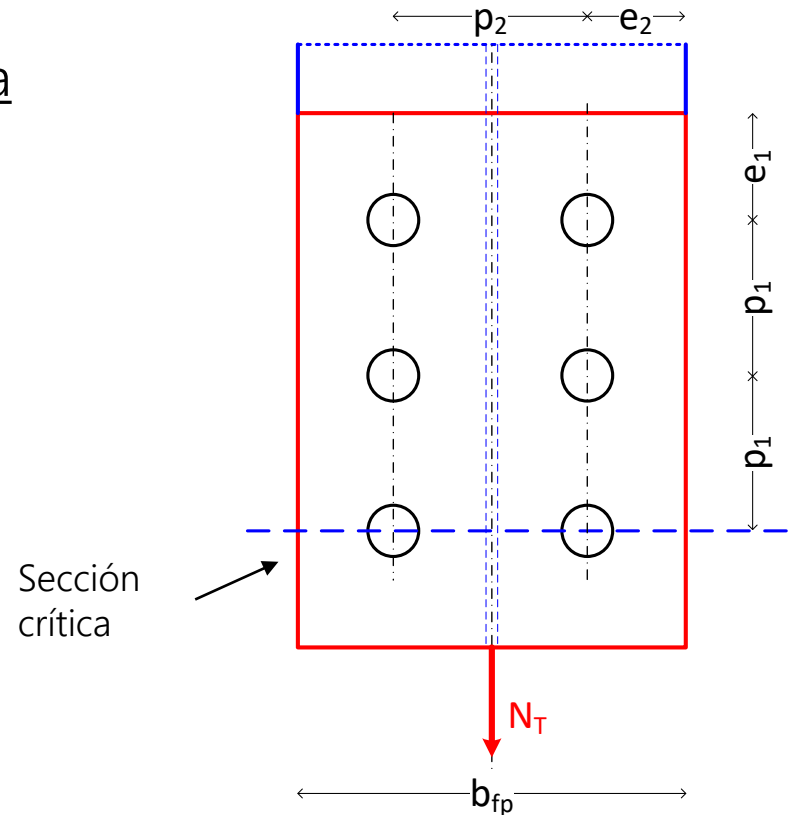
Sección: canto t_{fp} y ancho b_{fp}

R1b. Tracción última de la sección neta

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{fp,net} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{fp,net} = b_{fp} t_{fp} - 2 d_0 t_{fp}$$

$f_{y,fp}$: límite elástico material cubrejuntas



R1 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción ($N_T > 0$)

R1c Arranque de los bloques

$$N_{blo,Rd} = A_{fp,nt} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}} + A_{fp,nv} \frac{f_{y,fp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{fp,nt}$: Área a tracción. Dos posibles modos de rotura

$$p_2 \leq 2 e_2 \quad \text{Bloque central} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(p_2 - d_0)$$

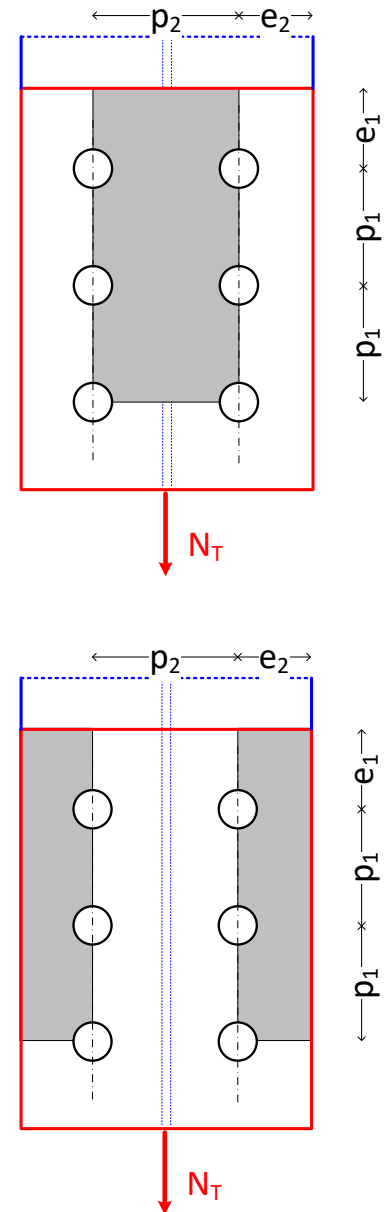
$$p_2 > 2 e_2 \quad \text{Bloques laterales} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(2 e_2 - d_0)$$

$A_{fp,nv}$: Área a cortante. La misma en ambos casos

$$A_{fp,nv} = 2 t_{fp} (e_1 + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0.5) d_0)$$

$f_{u,fp}$: límite de rotura material cubrejuntas

n_1 : Número de filas de tornillos en medio cubrejuntas



R2 Resistencia a cortante de los tornillos del cubrejuntas de ala

$$N_{T,Ed} \leq n_{b,fp} \beta_p \beta_{LF} F_{v,Rd}$$

$n_{b,fp}$: número de tornillos en medio cubrejuntas

Resistencia de un tornillo a cortante:

Suponiendo rosca en plano de corte

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Tornillos 8.8 $\alpha_v = 0.6$

Tornillos 10.9 $\alpha_v = 0.5$

Coeficiente de forros β_p :

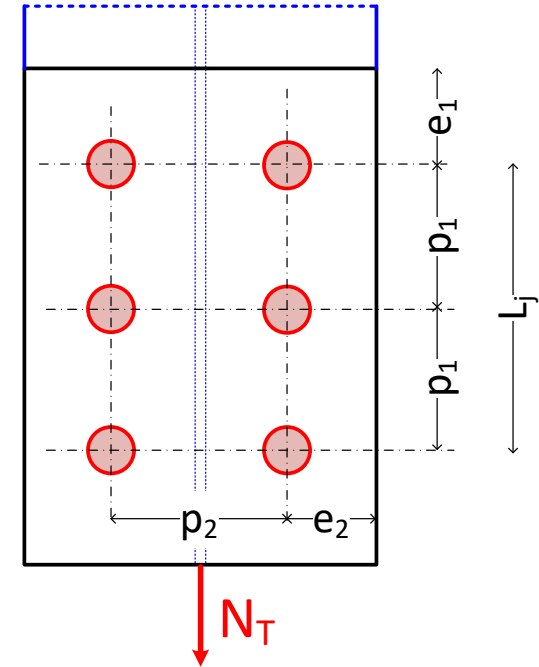
t_{pa} : espesor del forro

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{pa} < \frac{d}{3} \rightarrow \beta_p = 1.0 \\ t_{pa} \geq \frac{d}{3} \rightarrow \beta_p = \frac{9d}{8d - 3t_{pa}} \end{array} \right.$$

Coef. de uniones largas β_{LF} :

$$L_j = (n_1 - 1)p_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_j \leq 15d \quad \beta_{LF} = 1 \\ L_j > 15d \quad \beta_{LF} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \end{array} \right.$$



R3a Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el cubrejuntas de ala

$$N_{T,Ed} \leq n_{b,fp} \beta_{LF} F_{b,Rd,fp}$$

Resistencia de un tornillo a aplastamiento contra el cubrejuntas:

$$F_{b,Rd,fp} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,fp} d t_{fp}}{\gamma_{M2}}$$

t_{fp} : espesor del cubrejuntas

$f_{u,fp}$: límite de rotura material del cubrejuntas

Tornillo extremo

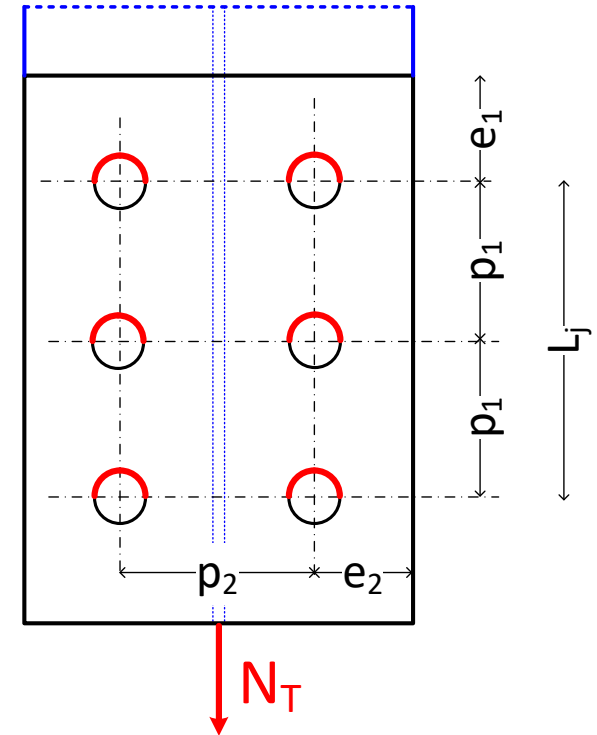
$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_{u,fp}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Tornillo interior

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,fp}}; 1.0\right)$$

$$k_1 = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$



R3b Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el ala superior

$$N_{T,Ed} \leq n_{b,fp} \beta_{LF} F_{b,Rd,uc}$$

Resistencia de un tornillo a aplastamiento contra el ala superior:

$$F_{b,Rd,uc} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,uc} d t_{f,uc}}{\gamma_{M2}}$$

$t_{f,uc}$: espesor ala columna superior

$f_{u,uc}$: límite de rotura material columna superior

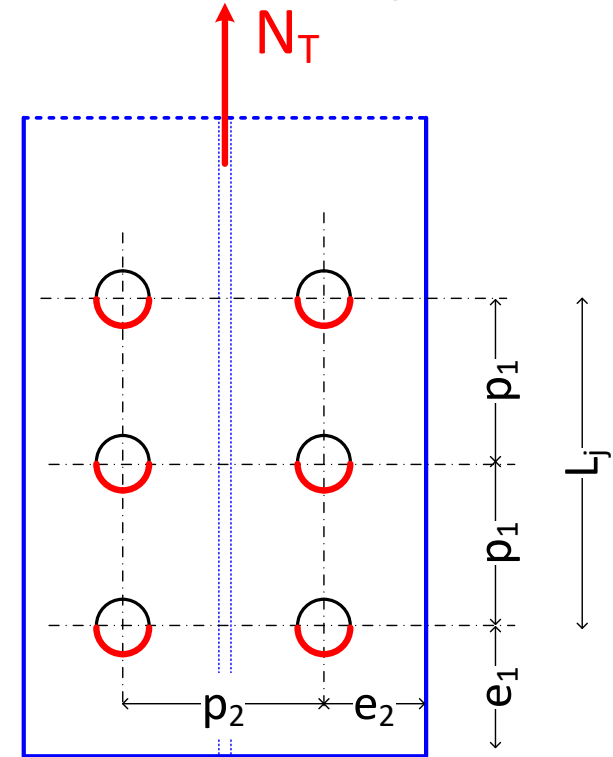
Tornillo extremo

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_{u,uc}}; 1.0\right) \quad k_1 = \min\left(\frac{2.8 e_2}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Tornillo interior

$$\alpha_b = \min\left(\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,uc}}; 1.0\right) \quad k_1 = \min\left(\frac{1.4 p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$$

Si el ala inferior es más débil que la superior, se debe comprobar contra ella.



R3c Resistencia de los tornillos pretensados del cubrejuntas de ala

Uniones sin deslizamiento en ELS (tipo B)

$$N_{T,ELS} \leq n_{b,fp} F_{s,Rd,ELS}$$

$N_{T,ELS}$: fuerza de tracción en el cubrejuntas, calculada en ELS

$$N_{T,ELS} = \frac{M_{Ed,ELS}}{h} - \frac{N_{Ed,ELS}}{2} > 0$$

Resistencia de un tornillo a deslizamiento:

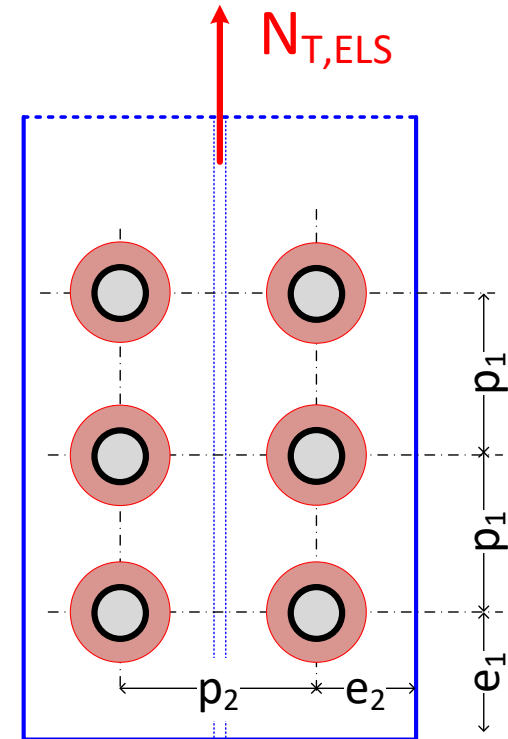
$$F_{s,Rd,ELS} = \frac{k_s n_s \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_S$ Fuerza de pretensión

n_s Número de planos de deslizamiento. 1: cubrejuntas simples, 2: dobles

μ Coeficiente de rozamiento entre las chapas k_s Factor de agujeros.

$\gamma_{M3} = 1.1$ Coeficiente de minoración de resistencia en ELS, uniones tipo B



R4 Resistencia mínima de los elementos de unión

EN 1993-1-8, 6.2.7.1(14): si el esfuerzo se transmite por contacto, los elementos de unión deben transmitir el 25% de la máxima fuerza de compresión en el pilar

$$N_{min} = 0.25 N_{Ed}$$

Resistencia de los cubrejuntas

$$2 A_{fp} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M0}} \geq N_{min}$$

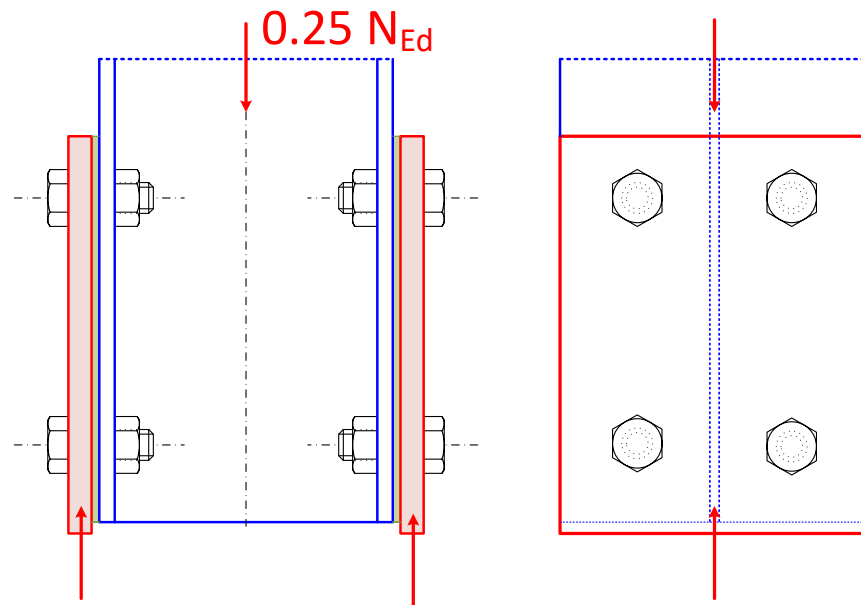
$$A_{fp} = b_{fp} t_{fp}$$

Resistencia de los tornillos a cortante

$$2 n_{b,fp} \beta_p \beta_{LF} F_{v,Rd} \geq N_{min}$$

Resistencia de los tornillos a aplastamiento

$$2 n_{b,fp} \beta_{LF} F_{b,Rd} \geq N_{min}$$



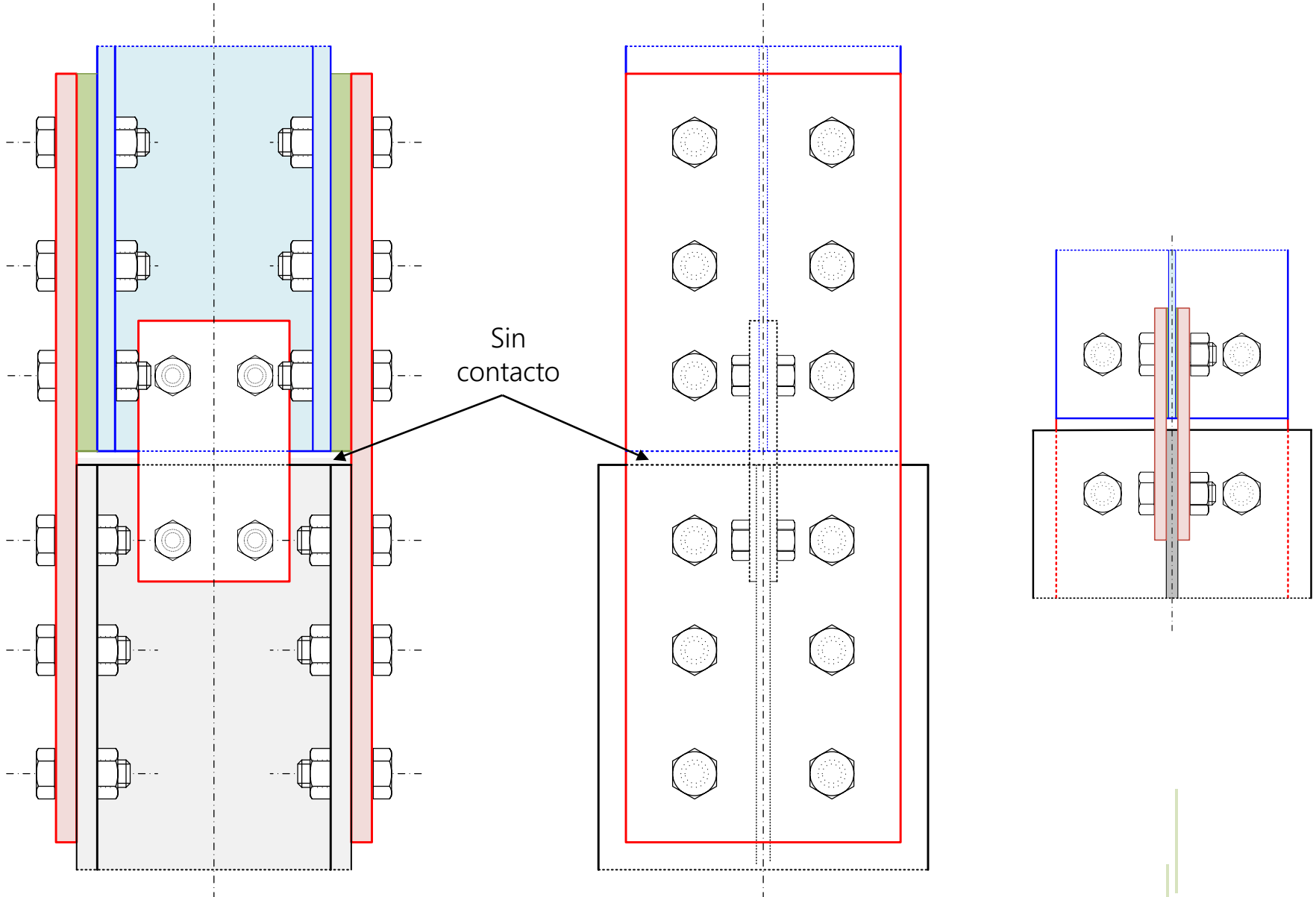
$n_{b,fp}$: número de tornillos en medio cubrejuntas



Unión de columnas mediante cubrejuntas atornillados

Cubrejuntas sin contacto

Unión de columnas mediante cubrejuntas sin contacto



Unión de columnas mediante cubrejuntas sin contacto

Transmiten las fuerzas a través de platabandas y tornillos, sin contacto del pilar superior sobre el inferior.

Se desprecia la transmisión de fuerzas entre los extremos de los postes, y normalmente se diseñan con una pequeña holgura vertical entre ellos.

Momento flector y esfuerzo axial transmitidos mediante fuerzas de tracción y/o compresión en los cubrejuntas de las alas.

Cortante horizontal transmitido mediante cubrejuntas atornillados en las almas.

Eje centroidal de los cubrejuntas coincidente con los ejes de las columnas superior e inferior. Si los ejes de las columnas están decalados (p.e. para mantener la cara exterior), se debe incluir el momento debido a la excentricidad.

Aunque las dimensiones mínimas recomendadas para los cubrejuntas son similares a las de la unión con contacto, las de esta unión son en general mucho más largas, debido a los requerimientos de resistencia mínima a flexión.

Unión de columnas mediante cubrejuntas sin contacto

Forros de alas para salvar la diferencia entre el canto de los dos perfiles.

Forros de almas para salvar la diferencia entre el espesor del alma de los dos perfiles.

Máximo de 4 capas de forros.

Espesor de forros ≤ 30 mm \rightarrow pilares unidos con salto entre tamaños no mayores que uno.

Cubrejuntas interiores: montaje más complejo pero preferidos por razones arquitectónicas.

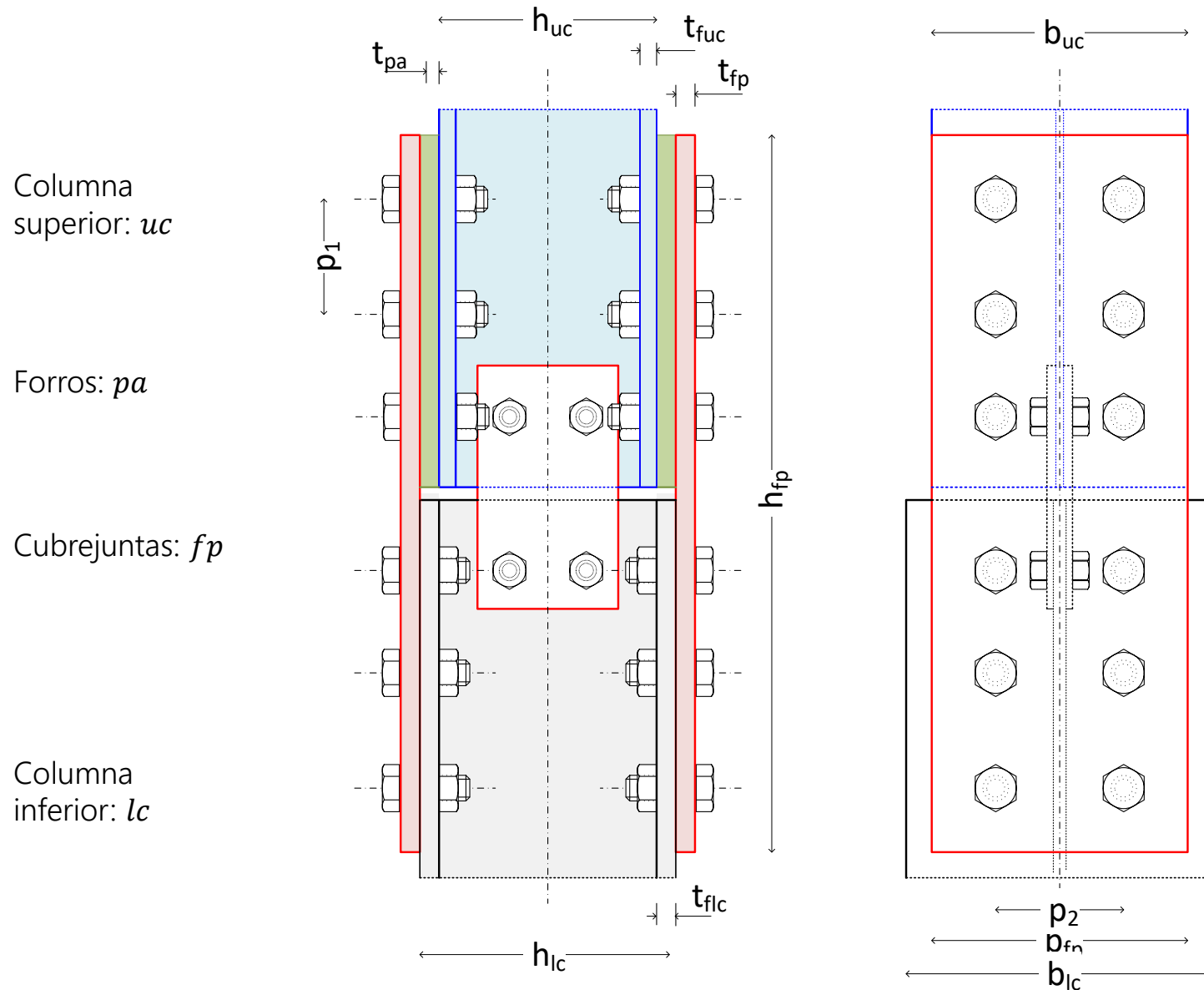
Uniones atornilladas suelen ser de categoría A (tornillos ordinarios trabajando a cortante y aplastamiento).

Se pueden emplear tornillos pretensados si no se puede permitir el deslizamiento en ELS, o si la fuerza de tracción en un ala es muy grande ($> 10\% N_{f,uc,Rd}$)

No garantizan una continuidad de la rigidez a flexión del pilar. La pérdida de rigidez no influye en el comportamiento global de estructuras de tipo pórtico ortogonal de edificios si están arriostradas ante cargas horizontales.

Solución más compleja y cara que la unión con contacto.

Dimensiones. Unión de columnas mediante cubrejuntas sin contacto



Dimensiones recomendadas

Cubrejuntas ala: $t_{fp} \geq \frac{t_{f,uc}}{2}$ $t_{fp} \geq 10 \text{ mm}$ $h_{fp} \geq 2 b_{uc} \leq 225$ $b_{fp} \geq b_{uc}$

Cubrejuntas alma: Dos lados: $t_{wp} \geq \frac{t_{w,uc}}{2}$ $t_{wp} \geq 6 \text{ mm}$
Un lado: $t_{wp} \geq t_{w,uc}$ $t_{wp} \geq 8 \text{ mm}$ $b_{wp} \geq 0.5 h_{uc}$

Tornillos M20 o M24 - 8.8 o 10.9 Agujeros: $d_0 = 22$ o 26 mm

Diámetro tornillos $\geq 75\%$ espesor forros t_{pa} $t_{pa} \leq \frac{4}{3} d$

Mínimo 4 tornillos entre cada cubrejuntas y el ala de un poste.

Mínimo 4 tornillos en cubrejuntas de alma

Espaciado vertical de tornillos $p_1 \approx 80 \text{ mm}$

Espaciado horizontal tornillos p_2 máximo posible, centrado en las alas.

Distancia al borde superior o inferior: $e_1 \approx 2 d$ ($40 \div 50 \text{ mm}$)

Distancia al borde lateral: $e_2 \approx 2 d$ ($40 \div 50 \text{ mm}$)

Dimensiones recomendadas

Espesor de los cubrejuntas de ala t_{fp} , para evitar el pandeo local de la zona sin apoyo lateral en las alas:

$$t_{fp} \geq \frac{p_{1j}}{9 \epsilon} \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,fp}}}$$

p_{1j} distancia entre las primeras filas de tornillos, a ambos lados de la separación

Número de tornillos recomendado:

	M20	M24
Número de tornillos que unen cada ala con el cubrejuntas de ala.	$\frac{N_{Ed}}{200}$	$\frac{N_{Ed}}{300}$
Número de tornillos que unen cada columna al cubrejuntas de alma. (Cubrejuntas a ambos lados del alma de la columna)	$\frac{N_{Ed}}{1000}$	$\frac{N_{Ed}}{1500}$

Redondear al múltiplo de 2 más cercano

Transmisión de esfuerzos. Cubrejuntas sin contacto

Momento M_{Ed} se distribuye en dos fuerzas +/- situadas en los cubrejuntas

Axial N_{Ed} se distribuye entre alas y alma proporcionalmente a su área

Fuerzas de tracción / compresión en los cubrejuntas:

$$N_C = \frac{M_{Ed}}{h} + N_{Ed} \frac{A_{f,uc}}{A_{uc}}$$

$$N_T = \frac{M_{Ed}}{h} - N_{Ed} \frac{A_{f,uc}}{A_{uc}}$$

Fuerza axial en el alma:

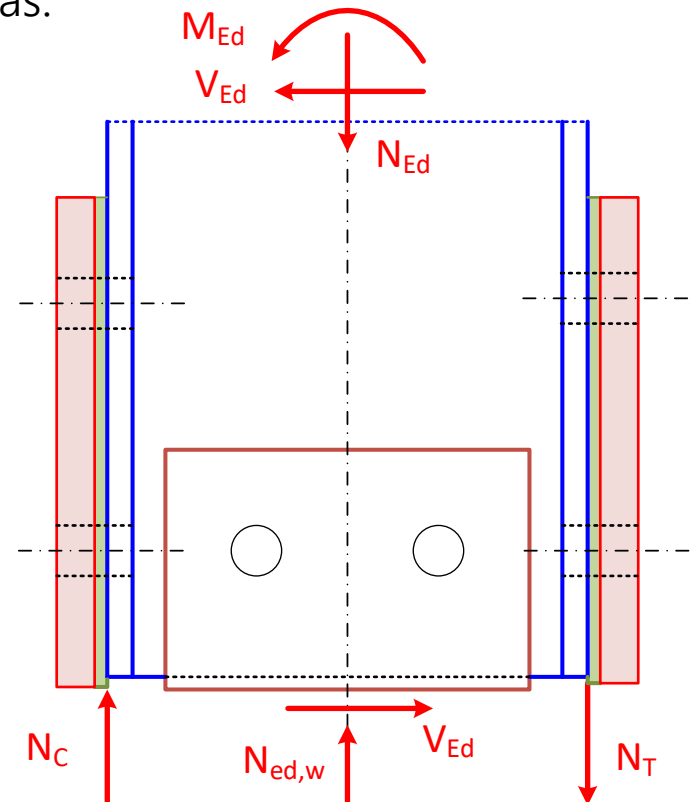
$$N_w = N_{Ed} \frac{A_{w,uc}}{A_{uc}}$$

A_{uc} área de la columna superior

$A_{f,uc}$ área del ala de la columna superior

$A_{w,uc}$ área del alma de la columna superior

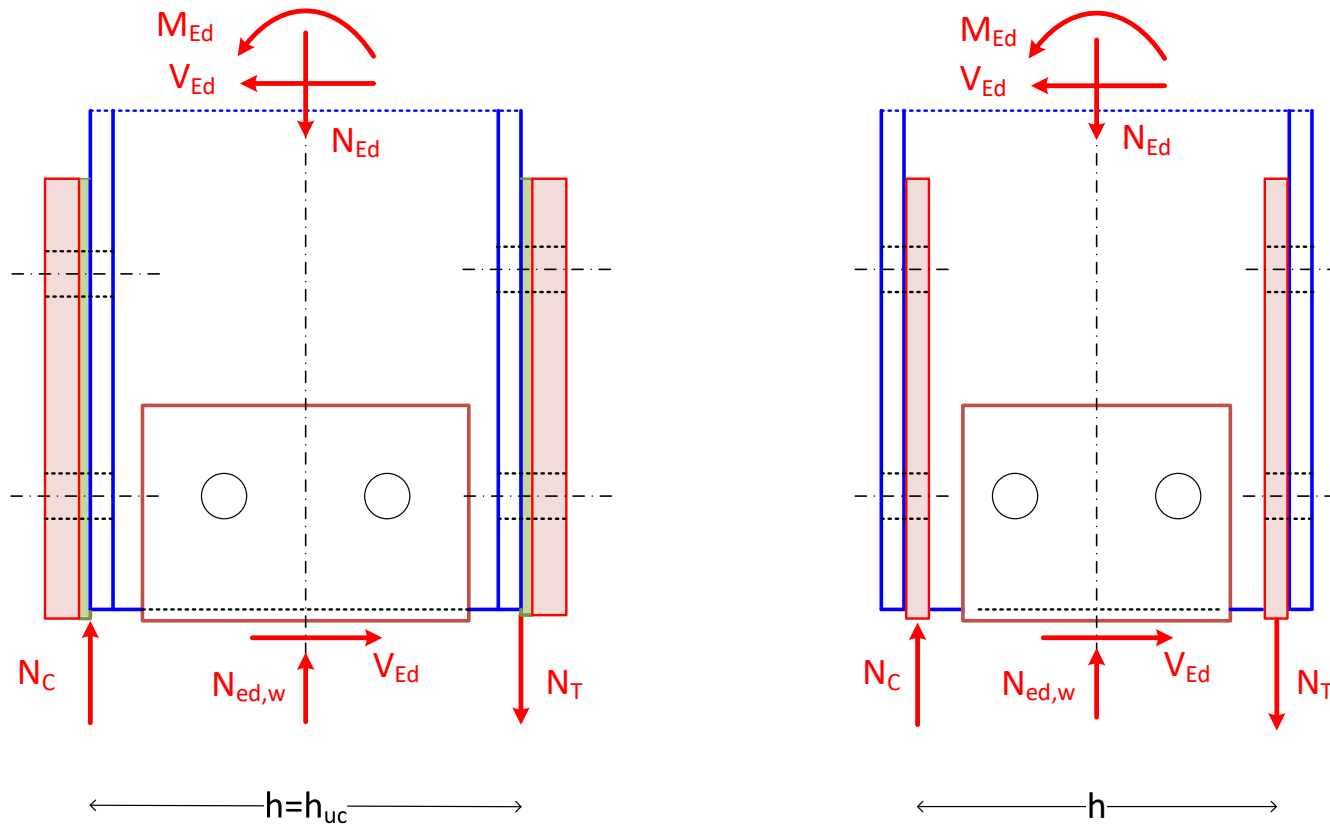
Se emplean las áreas de la columna superior (menor tamaño)



Cubrejuntas sin contacto. Brazo de palanca

Cubrejuntas exteriores: en el exterior del poste superior $h = h_{uc}$

Cubrejuntas interiores: en el centro del cubrejuntas interior $h = h_{uc} - 2 t_{f,uc} - t_{fp,i}$
(conservador)



Cubrejuntas sin contacto. Fuerzas de tracción

Si $N_T > 0$ existe fuerza de tracción en un cubrejuntas

$$N_T = \frac{M_{Ed}}{h} - N_{Ed} \frac{A_{f,uc}}{A_{uc}} > 0$$

Si $N_T > 0.1 N_{pl,f,uc}$: emplear tornillos pretensados

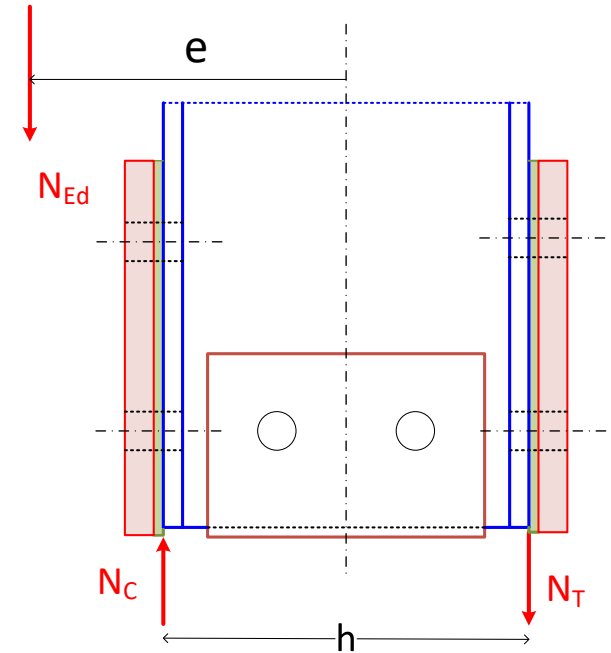
$N_{pl,f,uc}$: resistencia plástica ala columna superior

$$N_{pl,f,uc} = t_{f,uc} b_{uc} \frac{f_{y,uc}}{\gamma_{M0}}$$

Nota: es habitual calcular la fuerza de tracción empleando sólo la parte permanente de la fuerza axial $N_{G,Ed}$ (cargas gravitatorias), pero el momento real

$$N_T = \frac{M_{Ed}}{h} - N_{G,Ed} \frac{A_{f,uc}}{A_{uc}} > 0 \quad M_{Ed} = M_{G,Ed} + M_{Q,Ed}$$

Es conservador, pues $N_{G,Ed} < N_{Ed} = N_{G,Ed} + N_{Q,Ed}$



Cubrejuntas sin contacto. Comprobaciones

R1 Resistencia cubrejuntas de alas a tracción

R2 Resistencia cubrejuntas de alas a compresión

R3 Resistencia tornillos cubrejuntas de alas: cortante y aplastamiento

R4 Resistencia cubrejuntas de alma

R5 Resistencia tornillos cubrejuntas alma: cortante y aplastamiento

R6. Resistencia mínima de los cubrejuntas y tornillos de unión $0.25 M_{Ed}$

R1 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción ($N_T > 0$)

$$N_T \leq \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{blo,Rd})$$

R1a. Tracción plástica de la sección bruta

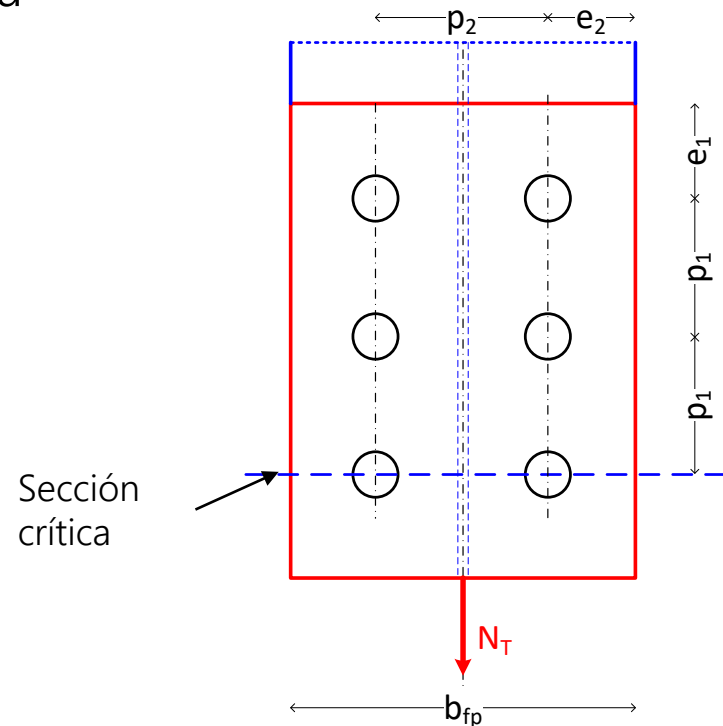
$$N_{pl,Rd} = b_{fp} t_{fp} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M0}}$$

R1b. Tracción última de la sección neta

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{fp,net} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{fp,net} = b_{fp} t_{fp} - 2 d_0 t_{fp}$$

$f_{y,fp}$: límite elástico material cubrejuntas



R1 Resistencia del cubrejuntas de ala a tracción ($N_T > 0$)

R1c Arranque de los bloques

$$N_{blo,Rd} = A_{fp,nt} \frac{f_{u,fp}}{\gamma_{M2}} + A_{fp,nv} \frac{f_{y,fp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$A_{fp,nt}$: Área a tracción. Dos posibles modos de rotura

$$p_2 \leq 2 e_2 \quad \text{Bloque central} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(p_2 - d_0)$$

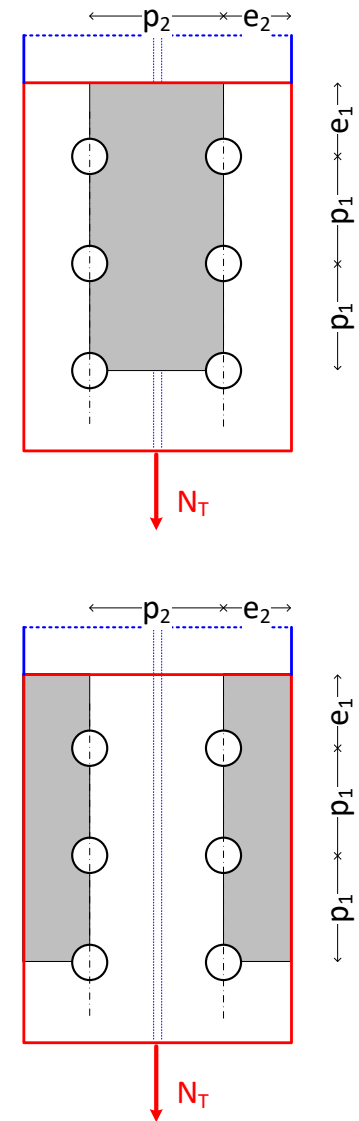
$$p_2 > 2 e_2 \quad \text{Bloques laterales} \quad A_{fp,nt} = t_{fp}(2 e_2 - d_0)$$

$A_{fp,nv}$: Área a cortante. La misma en ambos casos

$$A_{fp,nv} = 2 t_{fp} (e_1 + (n_1 - 1) p_1 - (n_1 - 0.5) d_0)$$

$f_{u,fp}$: límite de rotura material cubrejuntas

n_1 : Número de filas de tornillos en medio cubrejuntas



R2 Resistencia a pandeo del cubrejuntas del ala a compresión

$$N_C \leq \chi b_{fp} t_{fp} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M1}}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo

$$\frac{p_{1,j}}{t_{fp}} \leq 9 \epsilon \quad \rightarrow \quad \chi = 1$$

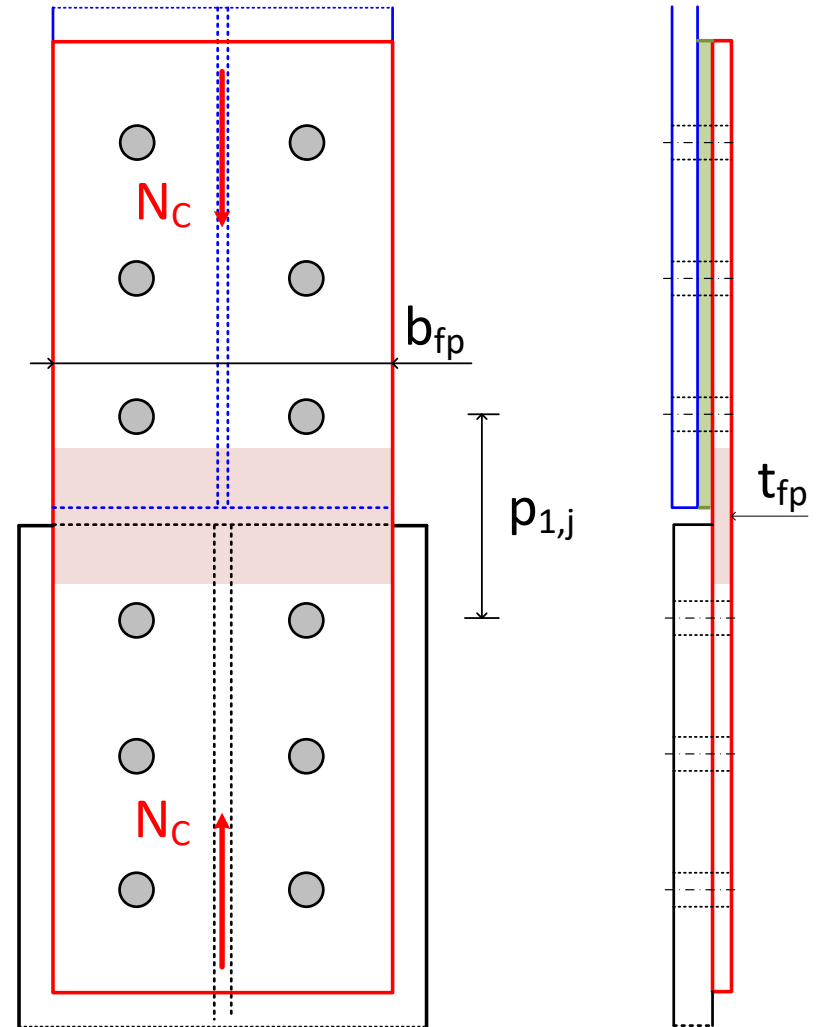
Curva de reducción por pandeo: c

Sección de canto t_{fp} y ancho b_{fp}

Longitud de pandeo: $L_P = 0.6 p_{1,j}$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,fp}}}$$

$p_{1,j}$ distancia entre las primeras filas de tornillos, a ambos lados de la separación



R3a Resistencia a cortante de los tornillos del cubrejuntas de ala

$$\max(N_C, N_T) \leq n_{b,fp} \beta_p \beta_{LF} F_{v,Rd}$$

$n_{b,fp}$: número de tornillos en medio cubrejuntas

Resistencia de un tornillo a cortante:

Suponiendo rosca en plano de corte

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

Tornillo 8.8 $\alpha_v = 0.6$

Tornillo 10.9 $\alpha_v = 0.5$

Coeficiente de forros:

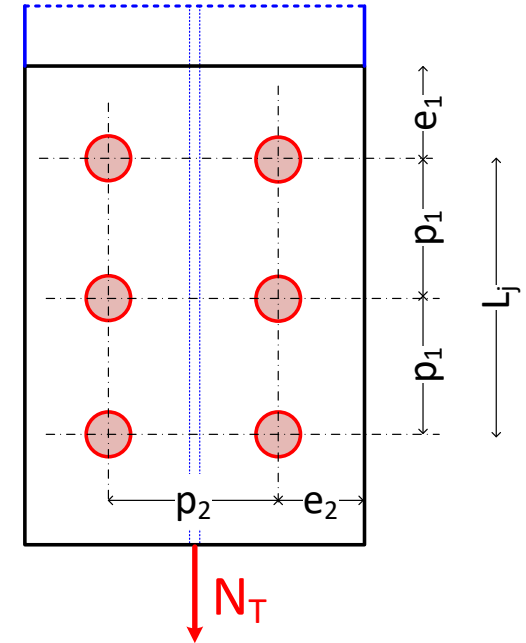
t_{pa} : espesor del forro

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{pa} < \frac{d}{3} \rightarrow \beta_p = 1.0 \\ t_{pa} \geq \frac{d}{3} \rightarrow \beta_p = \frac{9d}{8d - 3t_{pa}} \end{array} \right.$$

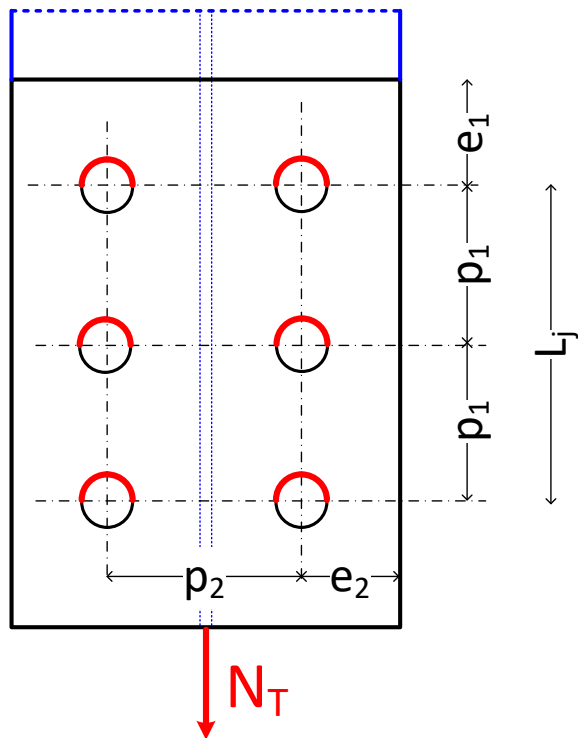
Coef. de uniones largas:

$$L_j = (n_1 - 1)p_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_j \leq 15d \quad \beta_{LF} = 1 \\ L_j > 15d \quad \beta_{LF} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \end{array} \right.$$



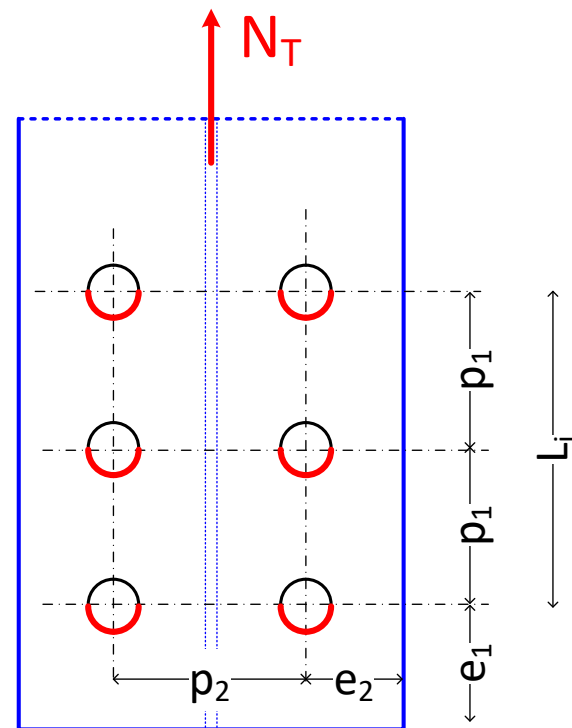
R3b Resistencia a aplastamiento contra el cubrejuntas de ala



$$\max(N_C, N_T) \leq n_{b,fp} \beta_{LF} F_{b,Rd,fp}$$

$F_{b,Rd,fp}$, $F_{b,Rd,uc}$ Resistencias a aplastamiento calculadas como en la unión con contacto

R3c Resistencia a aplastamiento contra el ala superior



$$\max(N_C, N_T) \leq n_{b,fp} \beta_{LF} F_{b,Rd,uc}$$

Si el ala inferior es más débil que la superior, se debe comprobar contra ella.

R3d Resistencia de los tornillos pretensados del cubrejuntas de ala

Uniones sin deslizamiento en ELS

$$\max(N_{T,ser}, N_{C,ser}) \leq n_{b,fp} F_{s,Rd,ser}$$

$N_{T,ser}, N_{C,ser}$: fuerzas de tracción y compresión en el cubrejuntas, calculadas en ELS

Resistencia de un tornillo a deslizamiento:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n_s \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C}$$

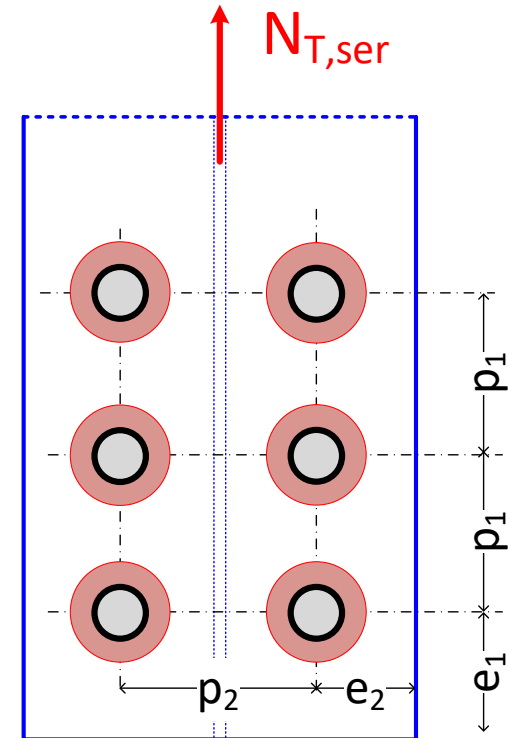
$F_{p,C}$ Fuerza de pretensión

k_s Factor de agujeros.

n_s Número de planos de deslizamiento. 1: cubrejuntas simples, 2: dobles

μ Coeficiente de rozamiento entre las chapas

$\gamma_{M3} = 1.1$ Coeficiente de minoración de resistencia en ELS, uniones tipo B



R4 Resistencia del cubrejuntas de alma

Tensión uniforme debida al esfuerzo axial:

$$\sigma_{wN} = \frac{N_w}{n_{wp} t_{wp} b_{wp}}$$

Tensión máxima debida al esfuerzo cortante:

$$\tau_w = \frac{3}{2} \frac{V_{Ed}}{n_{wp} t_{wp} b_{wp}}$$

Comprobación elástica, en el centro del cubrejuntas:

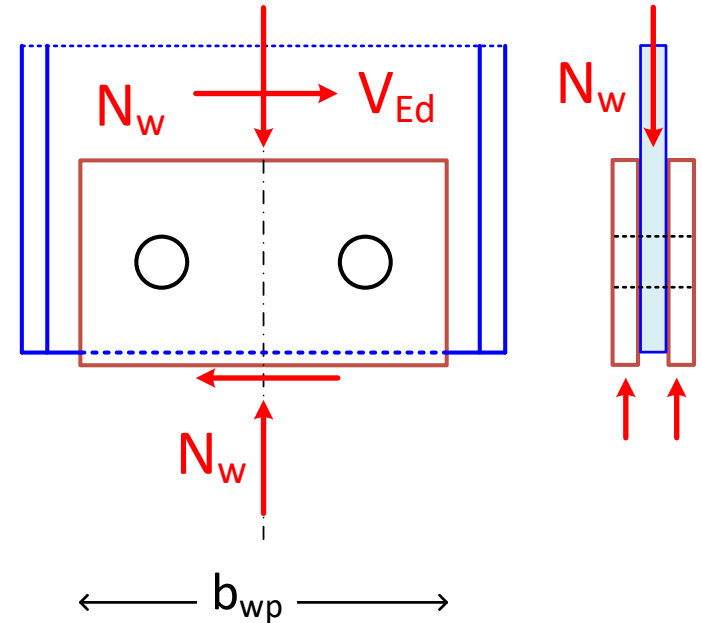
$$\sqrt{\sigma_{wN}^2 + 3 \tau_w^2} \leq \frac{f_{y,wp}}{\gamma_{M0}}$$

n_{wp} número de cubrejuntas de alma (1 o 2)

$f_{y,wp}$ Límite elástico del material del cubrejuntas de alma

t_{wp} : espesor del cubrejuntas de alma

b_{wp} : anchura del cubrejuntas de alma



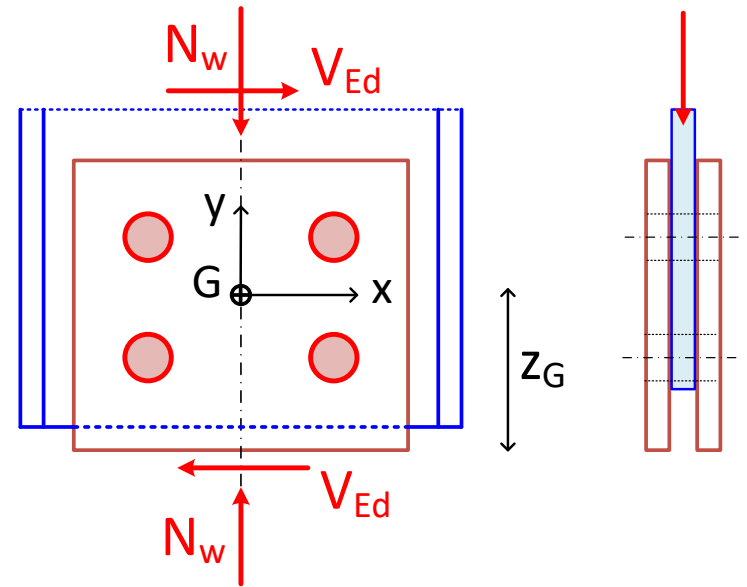
R5a Resistencia a cortante de los tornillos del cubrejuntas de alma

Fuerza cortante máxima en un tornillo:

$$F_{X,max} = \frac{V_{Ed}}{n_{b,wp}} + \frac{V_{Ed} z_G y_{max}}{J_G}$$

$$F_{Y,max} = \frac{N_w}{n_{b,wp}} + \frac{V_{Ed} z_G x_{max}}{J_G}$$

$$F_{bw,max} = \sqrt{F_{X,max}^2 + F_{Y,max}^2}$$



$n_{b,wp}$: número de tornillos entre el cubrejuntas y cada poste

z_G : distancia de V_{Ed} al c.d.g. de los tornillos G

$$J_G = \sum (x_i^2 + y_i^2)$$

Resistencia de un tornillo a cortante:

$$F_{bw,max} \leq \beta_p F_{v,Rd}$$

Dos planos de corte. Con rosca

β_p : factor de forros

$$F_{v,Rd} = \frac{2 \alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

R5b Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el cubrejuntas de alma

Es suficiente con comprobar en ambas direcciones por separado (Tabla 3.4 (3))

$$F_{X,max} \leq F_{bX,Rd,wp}$$

$$F_{Y,max} \leq F_{bY,Rd,wp}$$

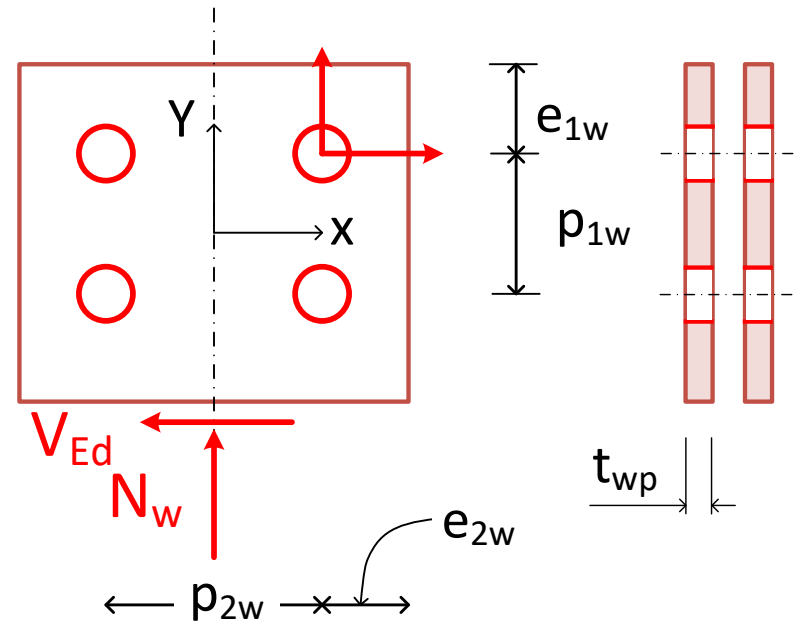
Se suele emplear una combinación cuadrática conservadora:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Y,max}}{F_{bY,Rd,wp}}\right)^2 + \left(\frac{F_{X,max}}{F_{bX,Rd,wp}}\right)^2} \leq 1$$

$$F_{bX,Rd,wp} = \frac{\alpha_{bX} k_{1X} f_{u,wp} d (2 t_{wp})}{\gamma_{M2}}$$

t_{wp} : espesor del cubrejuntas de alma

$f_{u,wp}$: límite de rotura del cubrejuntas de alma



$$F_{bY,Rd,wp} = \frac{\alpha_{bY} k_{1Y} f_{u,wp} d (2 t_{wp})}{\gamma_{M2}}$$

Coeficientes $\alpha_{b(XY)}$, $k_{1(XY)}$ según geometría en cada dirección

R5b Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el cubrejuntas de alma

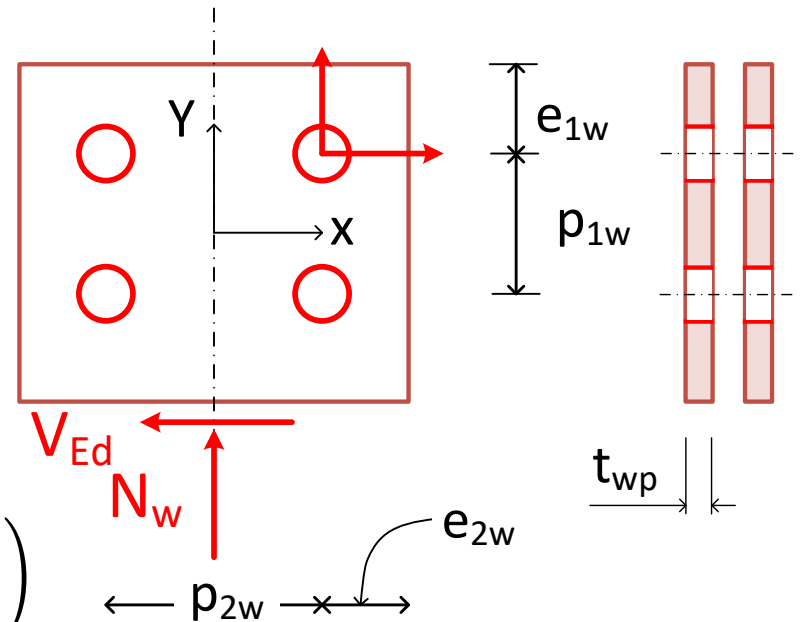
Coeficientes $\alpha_{b(XY)}$, $k_{1(XY)}$ según geometría en cada dirección

$$\alpha_{bX} = \min \left(\frac{e_{2w}}{3d_0}; \frac{p_{2w}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wp}}; 1.0 \right)$$

$$k_{1X} = \min \left(\frac{2.8 e_{1w}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_{1w}}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$$

$$\alpha_{bY} = \min \left(\frac{e_{1w}}{3d_0}; \frac{p_{1w}}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,wp}}; 1.0 \right)$$

$$k_{1Y} = \min \left(\frac{2.8 e_{2w}}{d_0} - 1.7; \frac{1.4 p_{2w}}{d_0} - 1.7; 2.5 \right)$$



R5c Resistencia a aplastamiento de los tornillos contra el alma del poste

Es suficiente con comprobar en ambas direcciones por separado (Tabla 3.4 (3))

$$F_{X,max} \leq F_{bX,Rd,uc}$$

$$F_{Y,max} \leq F_{bY,Rd,uc}$$

Se suele emplear una combinación cuadrática conservadora:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Y,max}}{F_{bY,Rd,wuc}}\right)^2 + \left(\frac{F_{X,max}}{F_{bX,Rd,uc}}\right)^2} \leq 1$$

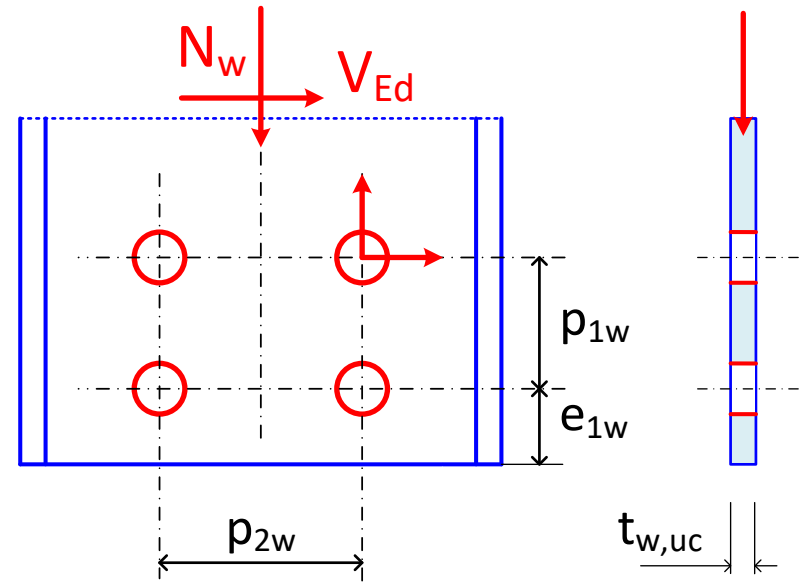
$$F_{bX,Rd,uc} = \frac{\alpha_{bX} k_{1X} f_{u,w,uc} d t_{w,uc}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{bY,Rd,wp} = \frac{\alpha_{bY} k_{1Y} f_{u,w,uc} d t_{w,uc}}{\gamma_{M2}}$$

$t_{w,uc}$: espesor del alma del poste superior

$f_{u,w,uc}$: límite de rotura del alma del poste superior

Coeficientes $\alpha_{b(XY)}$, $k_{1(XY)}$ según geometría en cada dirección



R6 Resistencia mínima de la unión

EN 1993-1-8, 6.2.7.1(13): si el esfuerzo no se transmite por contacto, los elementos de unión deben transmitir:

1. Un momento no inferior al 25% de la resistencia a flexión de la sección más débil, en los dos ejes

$$M_{y,min} = 0.25 M_{y,uc,Rd} = 0.25 W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{z,min} = 0.25 M_{z,uc,Rd} = 0.25 W_{pl,z} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

2. Un cortante no inferior al 2.5% de la resistencia a axial de la sección más débil, en los dos ejes

$$0.025 N_{uc,Rd} = 0.025 \frac{A_{uc} f_y}{\gamma_{M0}}$$

Suponiendo sección más débil la superior

Eje fuerte (Y) Nuevos esfuerzos en la unión:

$$N_{C,min} = N_{T,min} = \frac{0.25 M_{y,uc,Rd}}{h} \quad V_{z,min} = 0.025 N_{uc,Rd}$$

Volver a comprobar resistencias R1 a R5 con estos valores

R6 Resistencia mínima de la unión. Eje débil Z. Perfil

Resistencia a flexión: $M_{z,min} = 0.25 M_{z,uc,Rd} \leq M_{z,Rd,fp}$

Cubrejuntas exteriores: $M_{z,Rd,fp} = \frac{2 t_{fp} b_{fp}^2 f_{y,fp}}{6 \gamma_{M0}}$

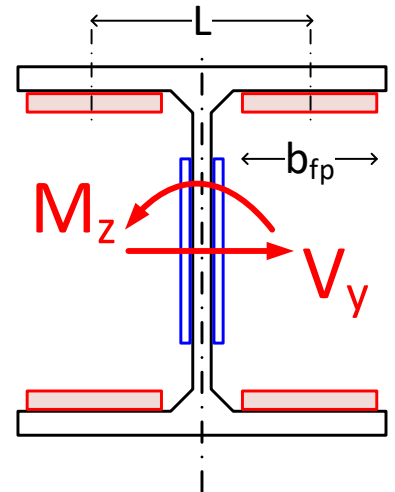
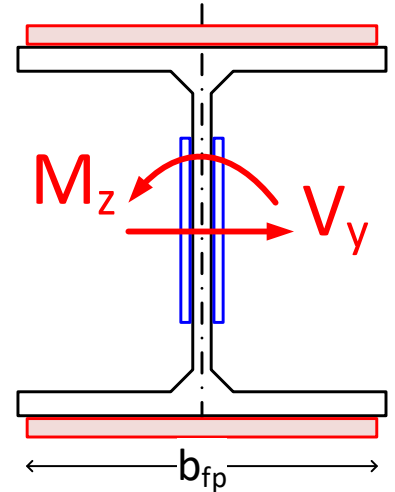
Cubrejuntas interiores:

$$M_{z,Rd,fp} = \frac{I_{fp,int}}{\frac{(L + b_{fp})}{2}} \frac{f_{y,fp}}{\gamma_{M0}} \quad I_{fp,int} = 4 \left(\frac{t_{fp} b_{fp}^3}{12} + t_{fp} b_{fp} \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right)$$

Resistencia a cortante: $V_{y,min} = 0.025 N_{uc,Rd} \leq V_{y,pl,Rd,fp}$

Cubrejuntas exteriores: $V_{y,pl,Rd,fp} = \frac{2}{3} \frac{2 t_{fp} b_{fp} f_{y,fp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$

Cubrejuntas interiores: $V_{y,pl,Rd,fp} = \frac{2}{3} \frac{4 t_{fp} b_{fp} f_{y,fp}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$



R6 Resistencia mínima de la unión. Eje débil Z. Tornillos

Esfuerzos a soportar en cada ala: $0.5 M_{z,min}$, $0.5 V_{y,min}$

Unión plana excéntrica:

Fuerza en el tornillo más cargado:

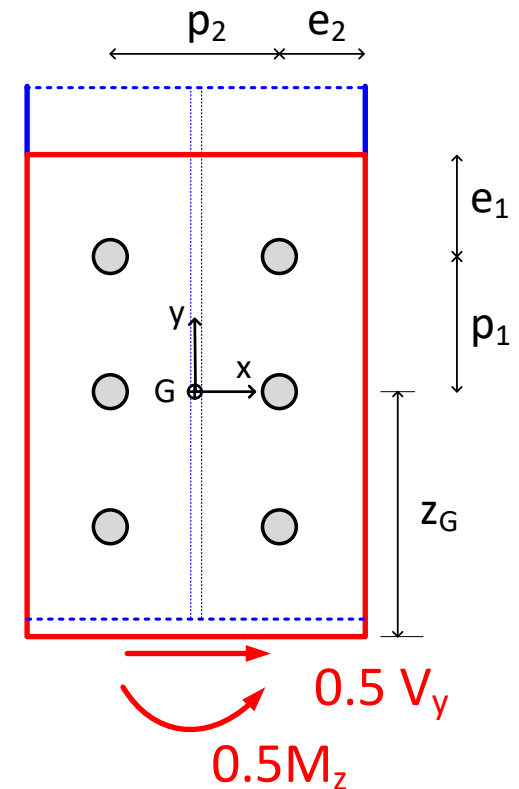
$$F_{Xmax} = \frac{0.5 V_{y,min}}{n_{b,fp}} + \frac{0.5 (M_{z,min} + V_{y,min} z_G) y_{max}}{J_G}$$

$$F_{Ymax} = \frac{0.5 (M_{z,min} + V_{y,min} z_G) x_{max}}{J_G}$$

$$F_{b,fp,max} = \sqrt{F_{Xmax}^2 + F_{Ymax}^2}$$

z_G : distancia de V_{Ed} al c.d.g. de los tornillos G

Comprobar resistencia a cortante y a aplastamiento con el cubrejuntas y con el ala del poste más débil

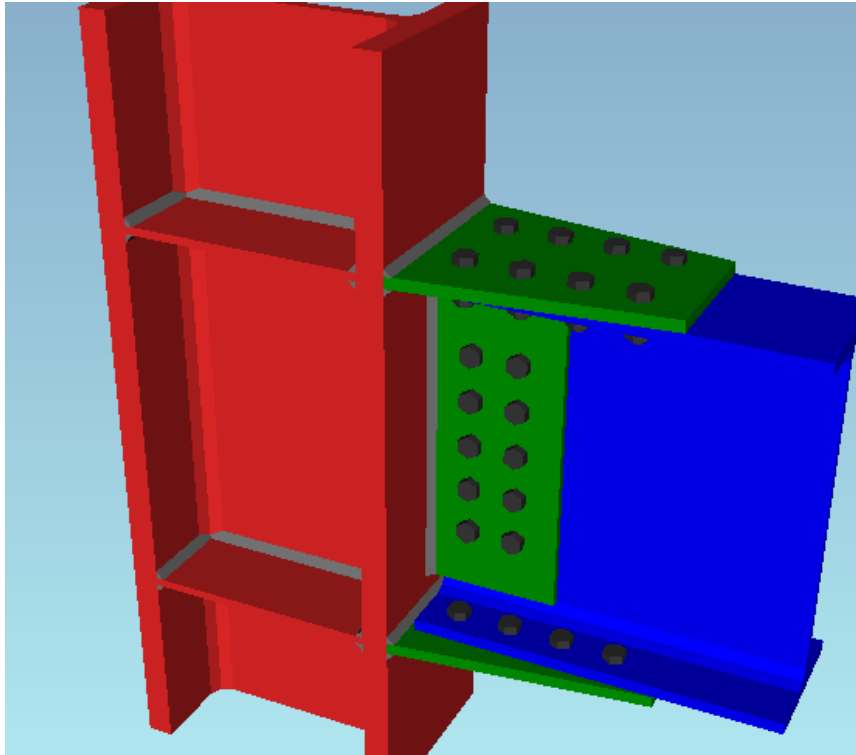


$$J_G = \sum (x_i^2 + y_i^2)$$

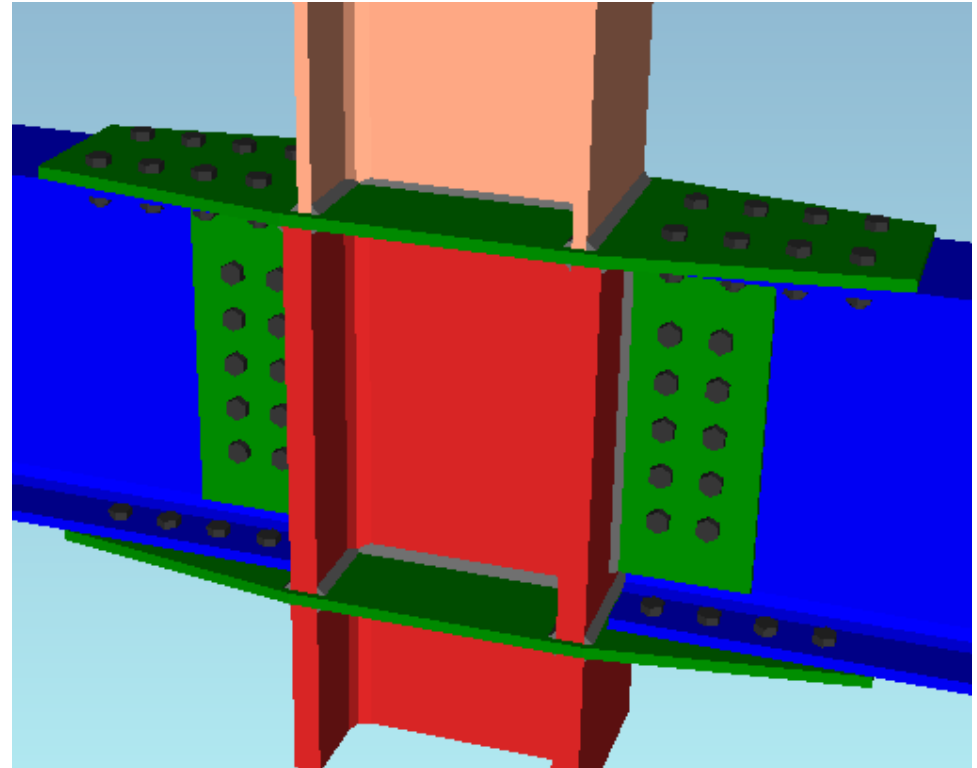


Unión viga – poste con cubrejuntas de ala y cartela de alma

Unión viga – poste con cubrejuntas de ala y cartela de alma



Poste continuo
Unión por un lado



Postes de diferente sección
Unión por dos lados

Unión viga – poste con cubrejuntas de ala y cartela de alma

Cubrejuntas de ala soldados al poste y atornillados a las alas de la viga

Cartela de alma: soldada al poste y atornillada al alma de la viga.

Rigidizadores en el poste, si son necesarios.

Resiste N , M , V , pero es más flexible que otras soluciones

No mantiene la rigidez de la viga

Transmisión de esfuerzos:

Cortante: mediante la unión atornillada de la cartela de alma

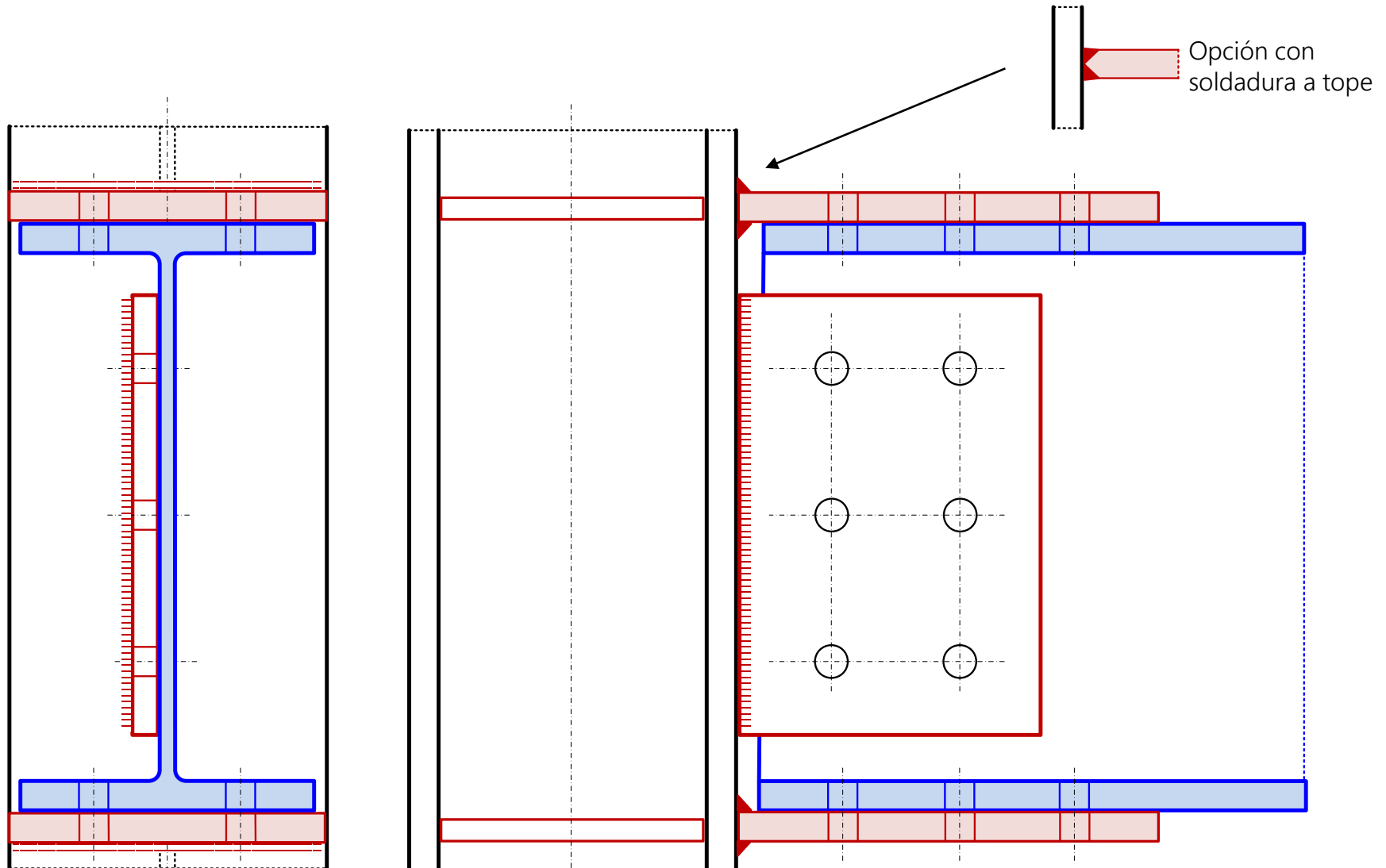
Momento flector: mediante dos fuerzas en las alas, soportadas por la unión atornillada entre alas y cubrejuntas.

Inconveniente: montaje difícil

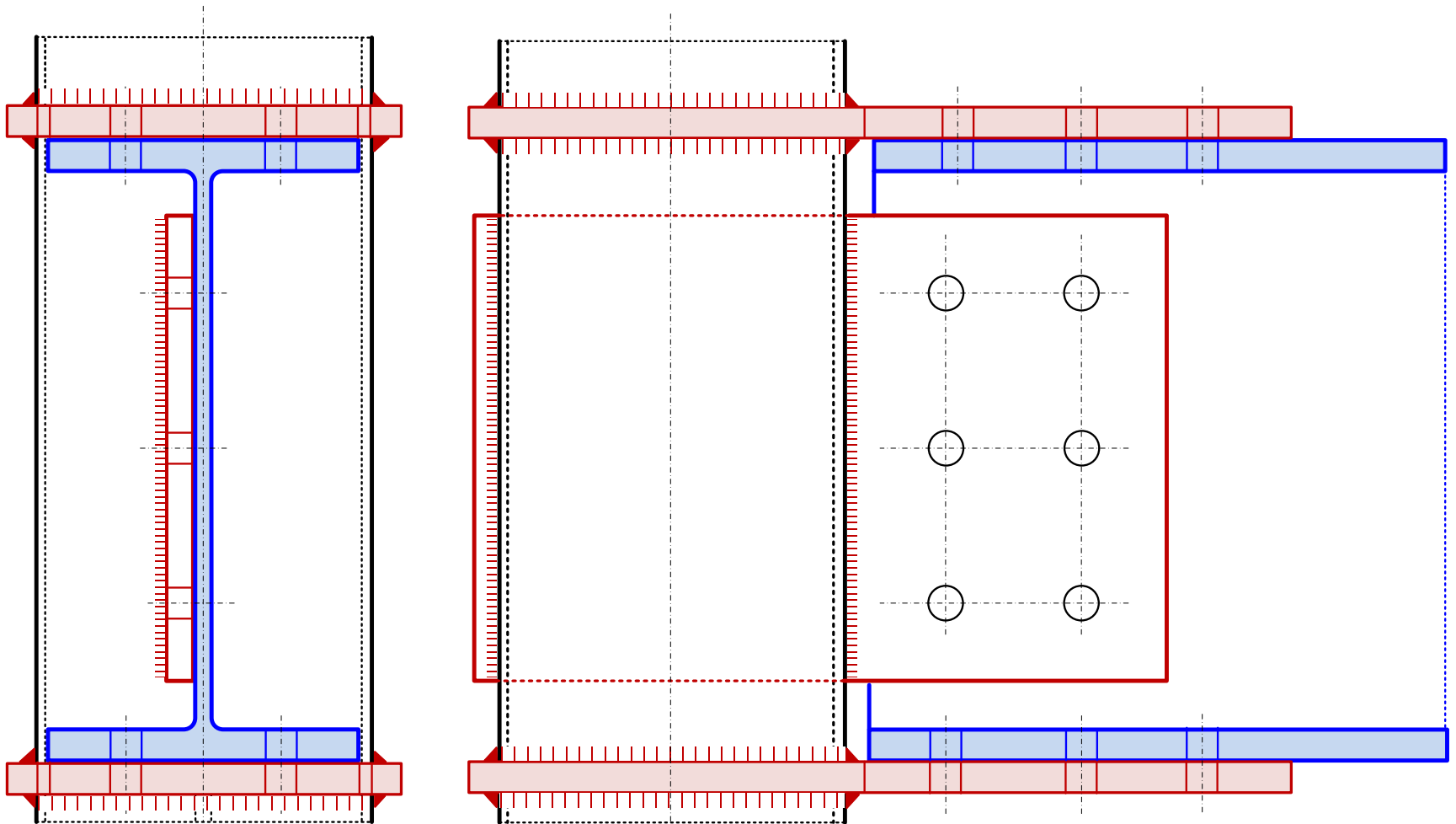
Uniones atornilladas categoría A: tornillos a fuerza cortante

Tornillos M20 8.8 (M16 en vigas pequeñas)

Unión viga – poste con cubrejuntas de alas y cartela de alma

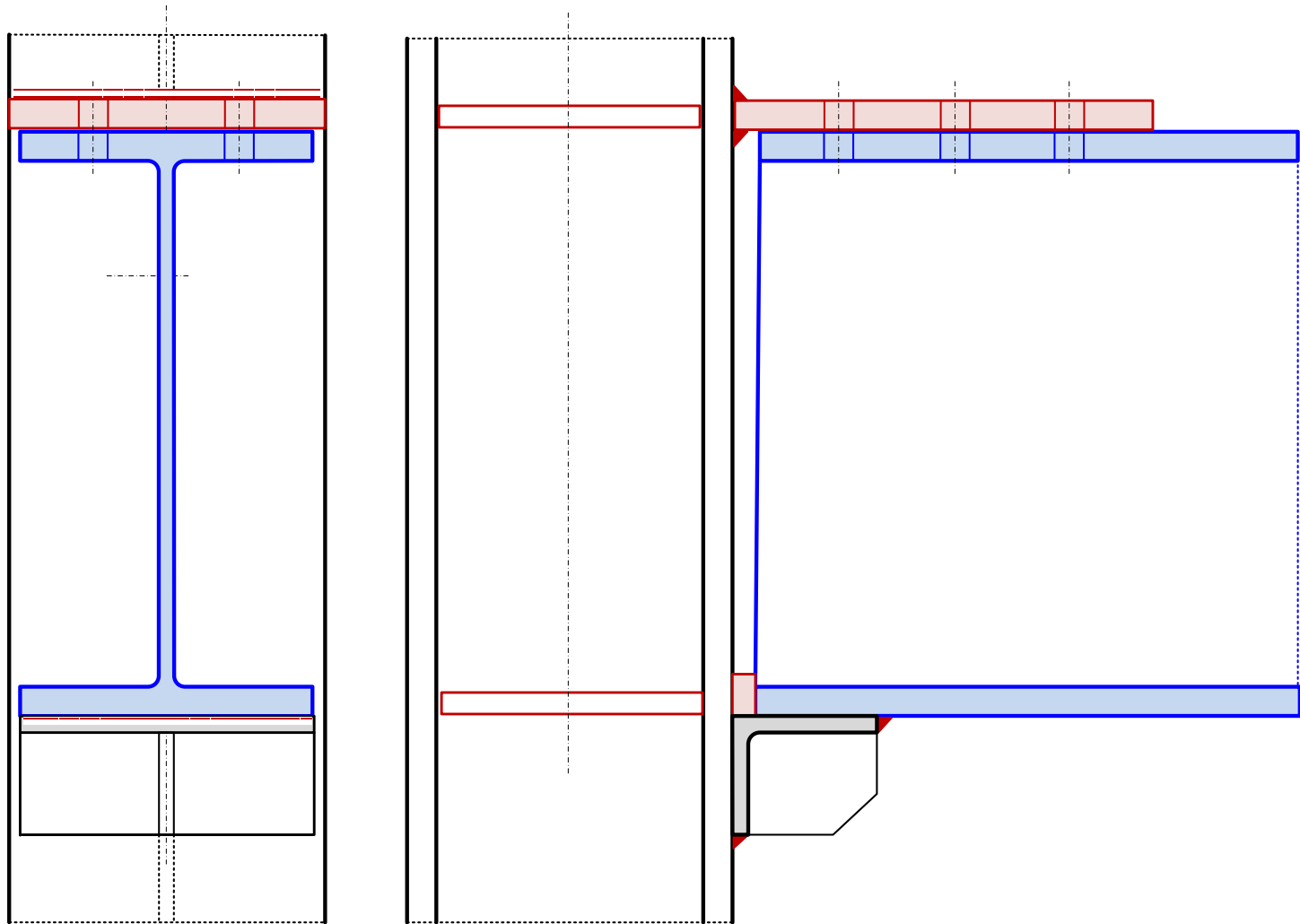


Poste tubular



Cartela de alma pasante diametralmente al tubo

Unión viga – poste con cubrejuntas de ala superior y apoyo inferior



Esfuerzo cortante se absorbe por el apoyo inferior

Fuerza de compresión se absorbe por el taco inferior

Distribución de los esfuerzos

Momento flector: se absorbe todo él por las alas y los cubrejuntas

Se requiere que las alas del perfil sean capaces de absorber todo el flector

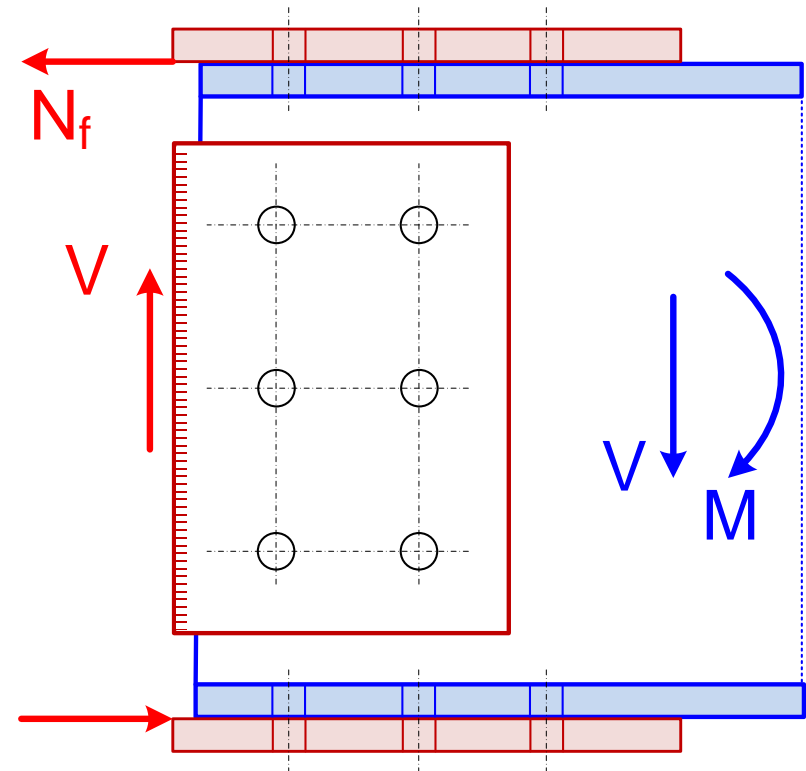
Esfuerzo cortante: se absorbe por la cartela de alma

- Fuerza en el cubrejuntas de ala:

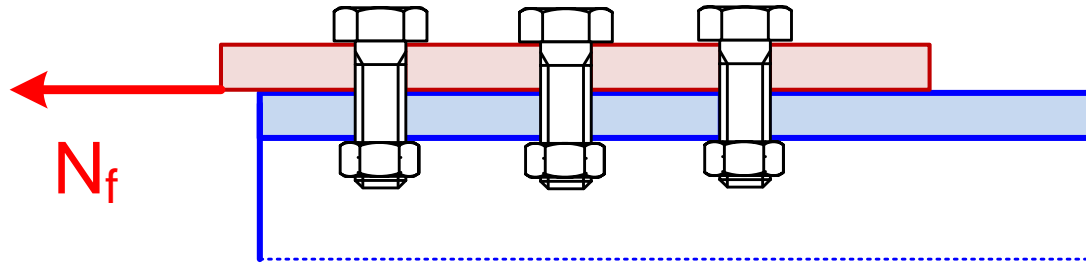
$$N_{f,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}}$$

$h_b - t_{fb}$: brazo de palanca del momento

- Fuerza a transmitir por la cartela de alma:
 V_{Ed}



Comprobación del cubrejuntas del ala



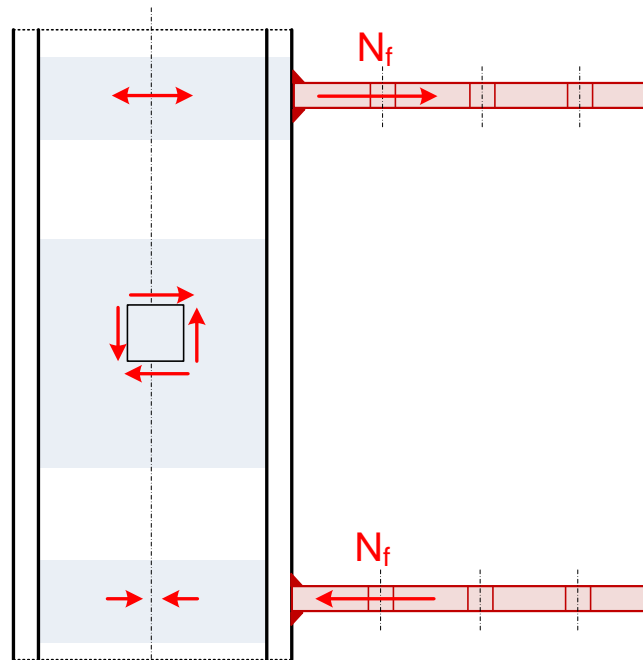
Comprobar como en la *unión viga – viga con cubrejuntas* de ala (simple)

- Resistencia de los tornillos a cortante
- Resistencia a aplastamiento contra el ala de la viga
- Resistencia a aplastamiento contra el cubrejuntas de ala
- Resistencia a tracción y/o compresión del cubrejuntas de ala
- Resistencia a tracción del ala de la viga taladrada

Comprobación de la unión del cubrejuntas al poste

Comprobar como en la *unión viga – poste soldada*, con una fuerza en el ala igual a la fuerza en el cubrejuntas

- Resistencia a tracción del ala del poste
- Resistencia a tracción del alma del poste
- Resistencia a compresión del alma del poste
- Resistencia a cortante del panel del alma del poste
- Resistencia de la soldaduras del ala de la viga al ala del poste

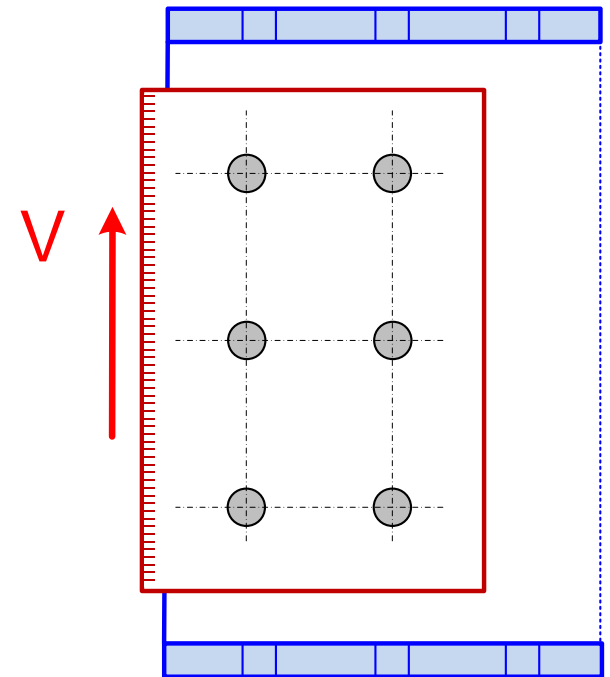


Unión viga-poste con cubrejuntas de ala y cartela de alma

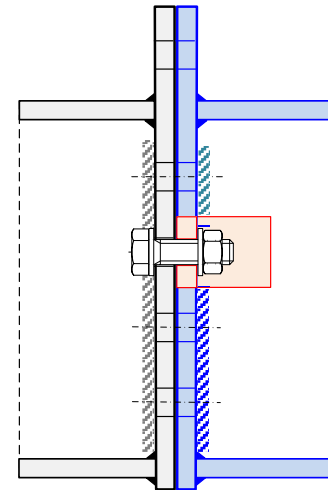
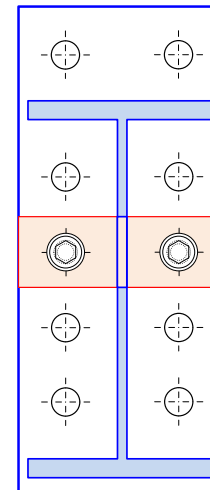
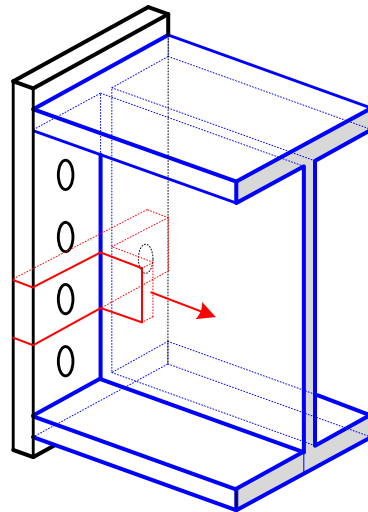
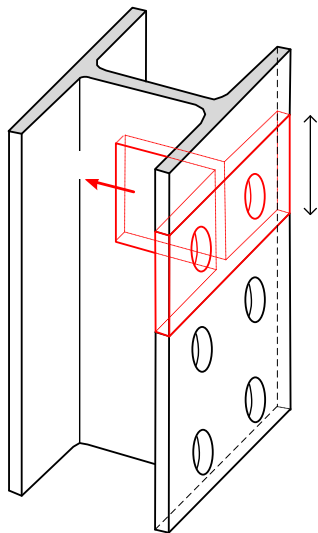
Comprobación de la cartela de alma

Diseño como en la unión de *viga apoyada mediante chapa de aleta* (cartela) *atornillada al alma*, sometida al esfuerzo cortante V_{Ed}

- Resistencia de los tornillos a cortante
- Resistencia a aplastamiento en la cartela y en el alma de la viga
- Resistencia a cortante de la cartela de alma
- Resistencia a cortante del alma de la viga
- Resistencia de la soldadura



Resistencia a tracción de un casquillo en T atornillado



Resistencia de un casquillo en T atornillado

Componente resistente muy común en uniones atornilladas

Normativa:

EN 1993-1-8 § 6.2.4

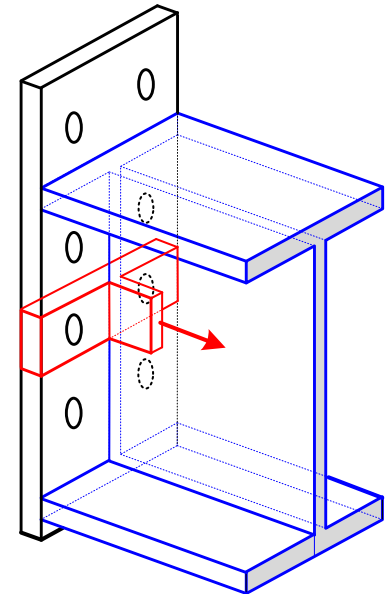
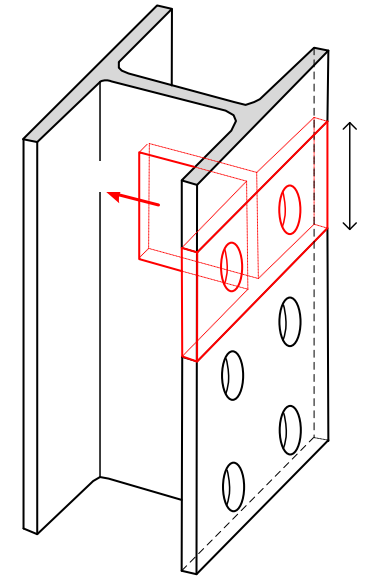
Código Estructural: Anejo 26 § 6.2.4

CTE: DB SE-A 8.8.3

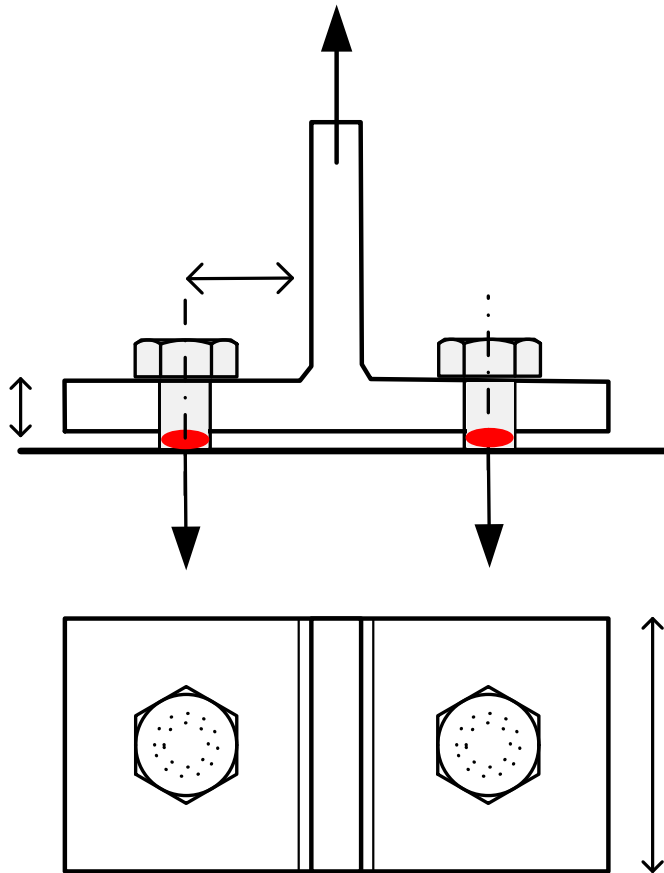
Tres mecanismos de fallo diferentes, en función de la resistencia de los tornillos y de las chapas que forman la T

Se estudia el casquillo en T atornillado:

- Con fuerzas de palanca, aplicable a uniones viga – viga y viga – pilar.
- Sin chapas de refuerzo posteriores en la pieza unida.



Modo 3 - Rígido



Fallo por agotamiento (plastificación) de los tornillos a tracción.

La T no se agota, sigue en régimen elástico.

El conjunto resiste tanta fuerza como todos los tornillos:

$$F_{T3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$F_{t,Rd}$: Resistencia de un tornillo a tracción

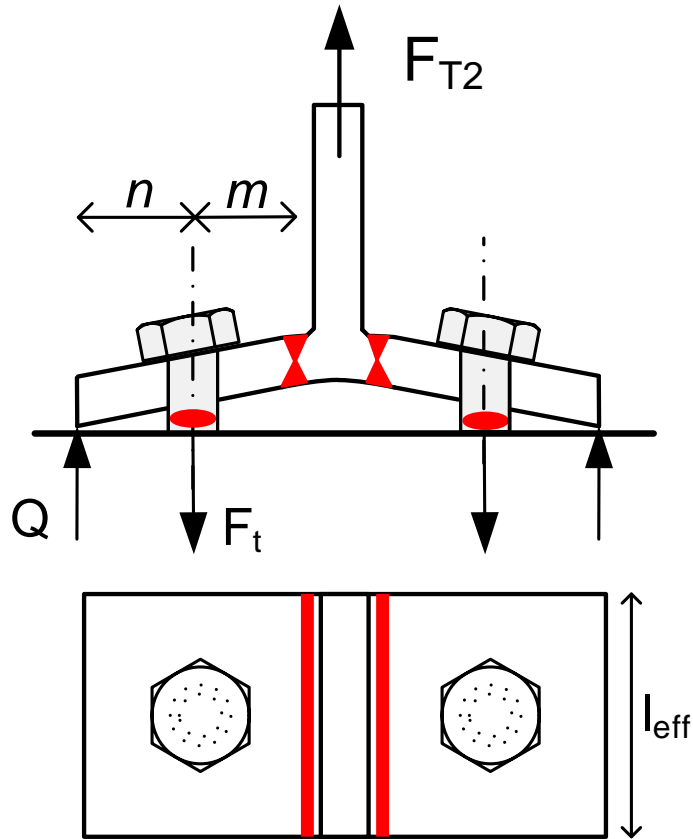
Espesor mínimo de la T para que se produzca este modo de fallo:

$$t > t_{min3} = \sqrt{\frac{2 \sum F_{t,Rd} m}{f_{yd} l_{eff}}}$$

l_{eff} : longitud eficaz de la T

Si $t \leq t_{min3}$ se forma una rótula plástica en la base del ala \rightarrow Modo 2

Modo 2 - Semirrígido



Fallo por formación de una **rótula plástica en la base del ala** y posterior agotamiento de los **tornillos por plastificación a tracción**.

Fuerzas de reacción Q (palanca) en los extremos de la T.

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

Momento plástico en la rótula

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2} t^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

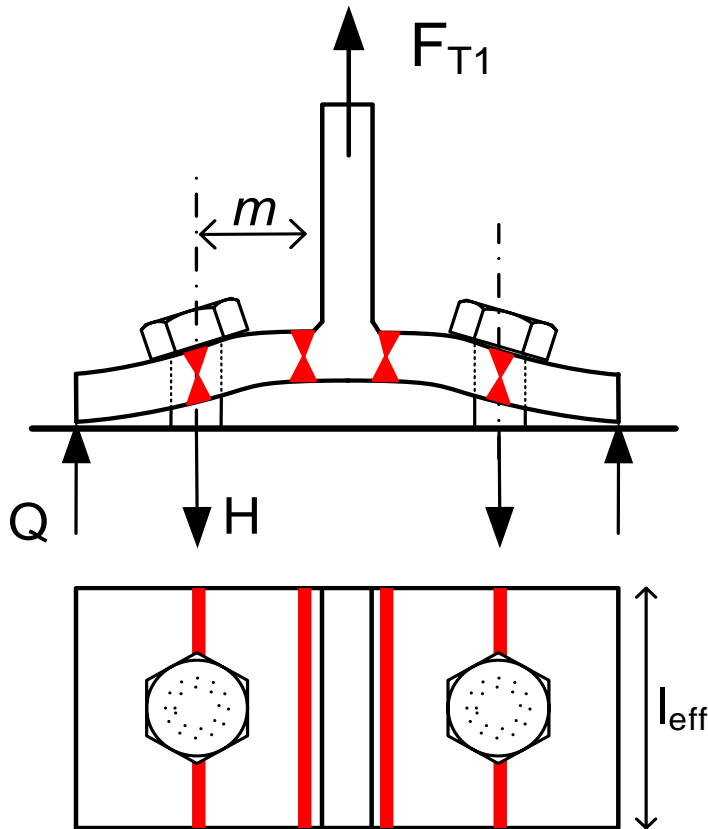
l_{eff2} Longitud efectiva de la T en este modo 2

Espesor mínimo de la T para que se produzca este modo de fallo:

$$t > t_{min2} = \sqrt{\frac{2 \sum F_{t,Rd} m n}{(m + 2n) f_{yd} l_{eff}}}$$

Si $t \leq t_{min2}$ se forman dos rótulas plásticas en el ala → Modo 1

Modo 1 - Flexible



Deformaciones de la placa grandes comparadas con las de los tornillos.

Fallo por **formación de dos rótulas plásticas** en el ala de la T.

No hay agotamiento de los tornillos a tracción (Fuerza H en régimen elástico).

Fuerzas de reacción Q (palanca) en los extremos de la T.

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

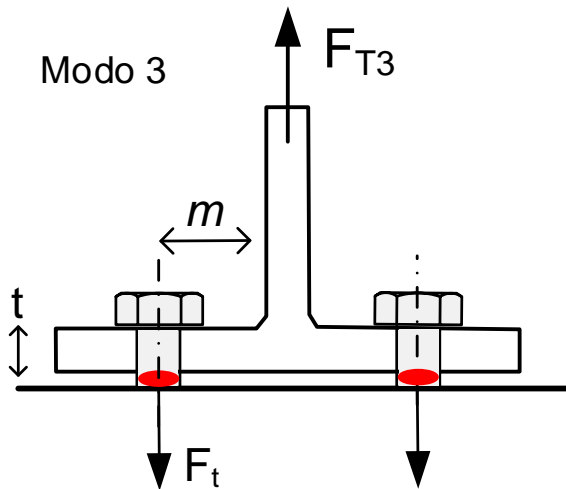
Momento plástico en la rótula

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1}}{4} \frac{t^2}{\gamma_{M0}} f_y$$

l_{eff1} Longitud efectiva de la T en este modo 1

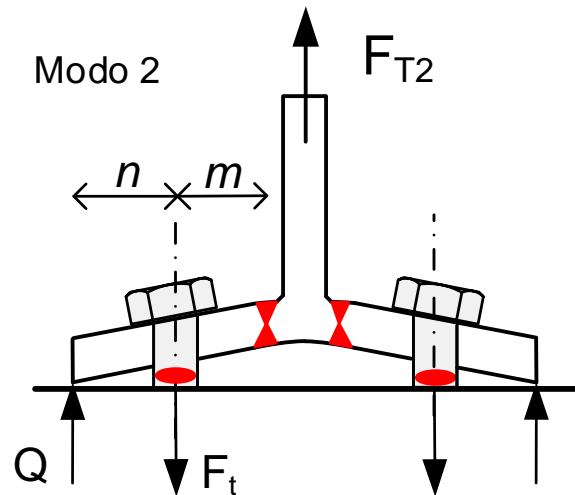
Este modo de fallo se produce si la T es muy delgada $t < t_{min2}$

Resistencia de un casquillo de T a tracción - Resumen



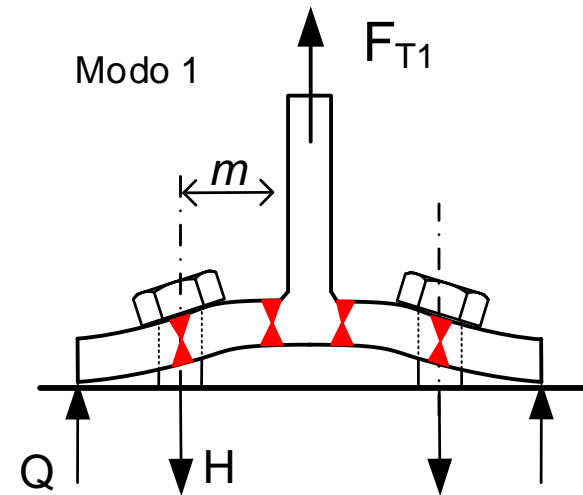
$$F_{T3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$F_{t,Rd}$ Resistencia de un tornillo a tracción



$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2}}{4} \frac{t^2}{\gamma_{M0}} f_y$$



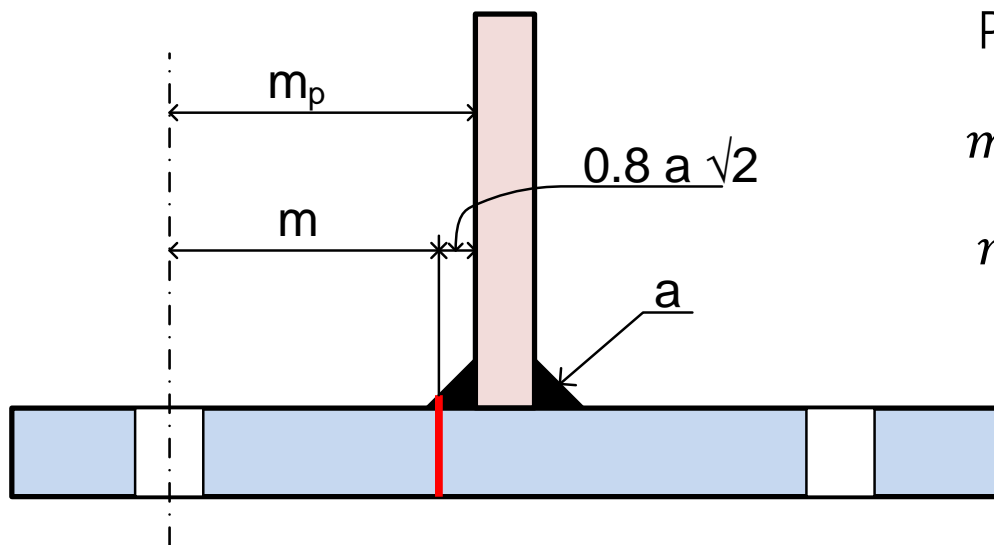
$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1}}{4} \frac{t^2}{\gamma_{M0}} f_y$$

Momento plástico en la rótula en cada modo de fallo

Resistencia de la T: $F_{T,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$

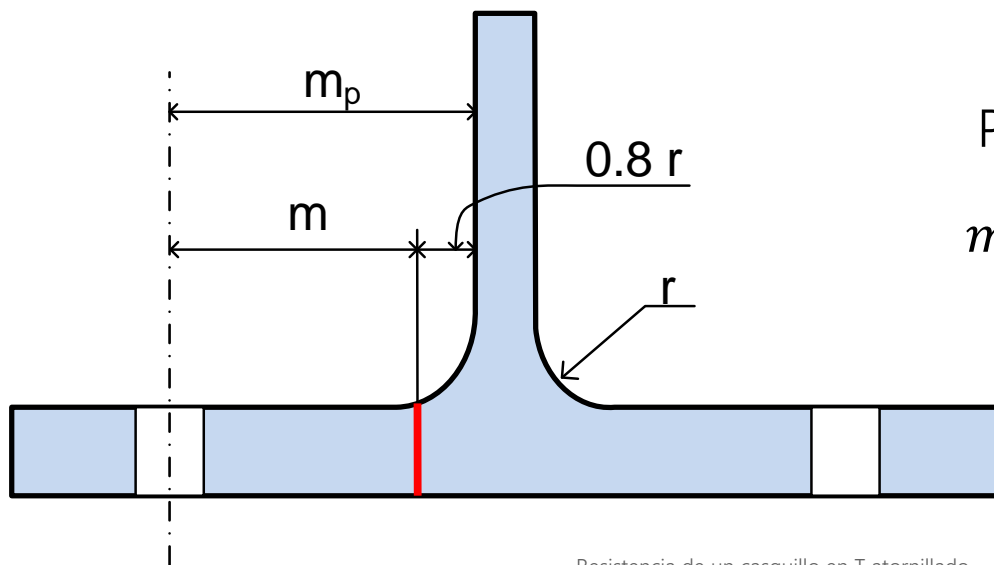
Casquillo de T a tracción – Distancia a la rótula plástica m



Perfil soldado

$$m = m_p - 0.8 a \sqrt{2}$$

m_p Distancia a la pared



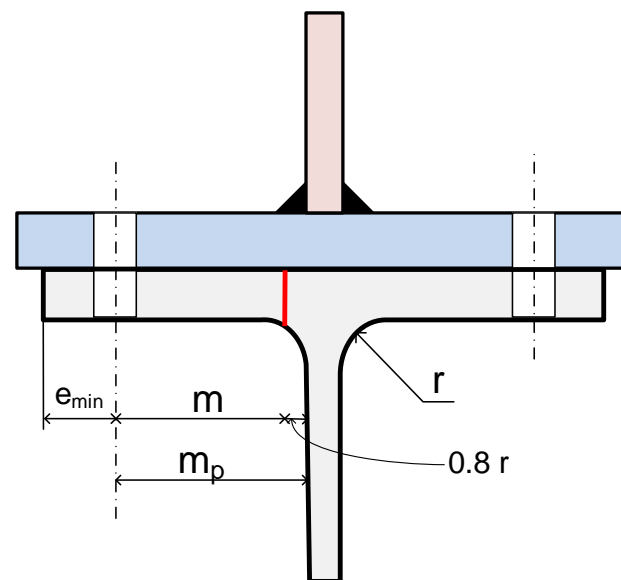
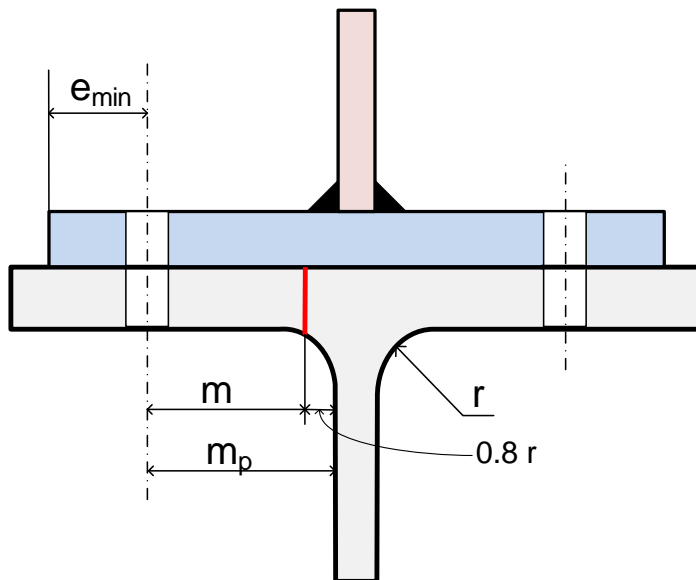
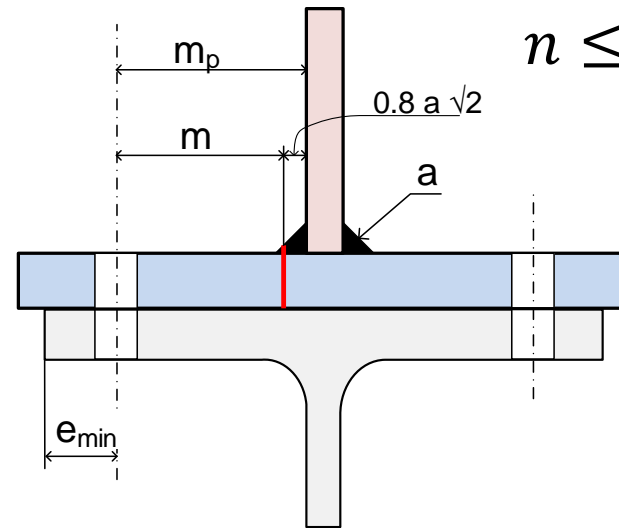
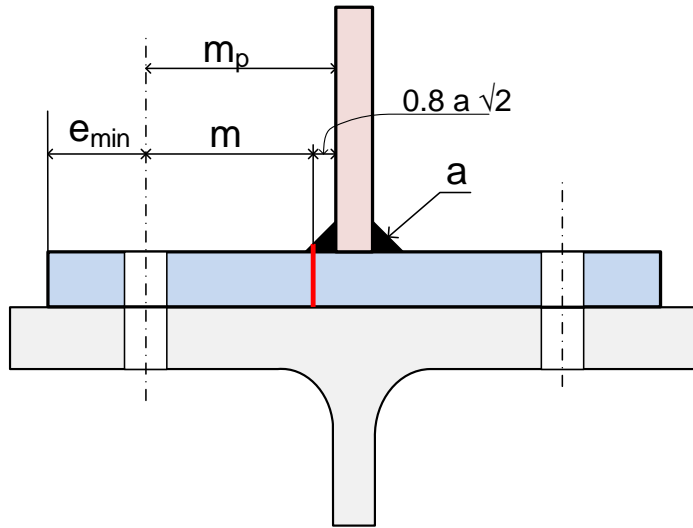
Perfil laminado

$$m = m_p - 0.8 r$$

T de tracción – Valor de la distancia n

$$n = e_{min}$$

$$n \leq 1.25 m$$

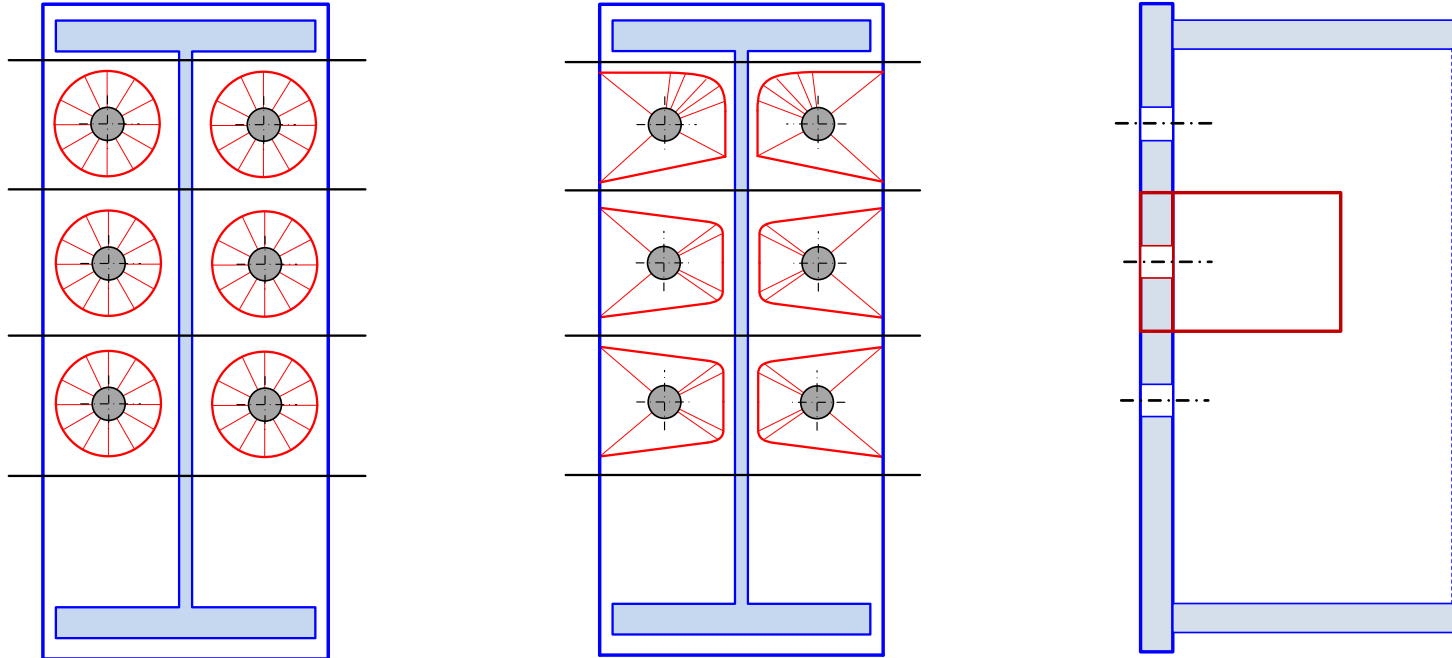


Líneas de rotura en uniones reales

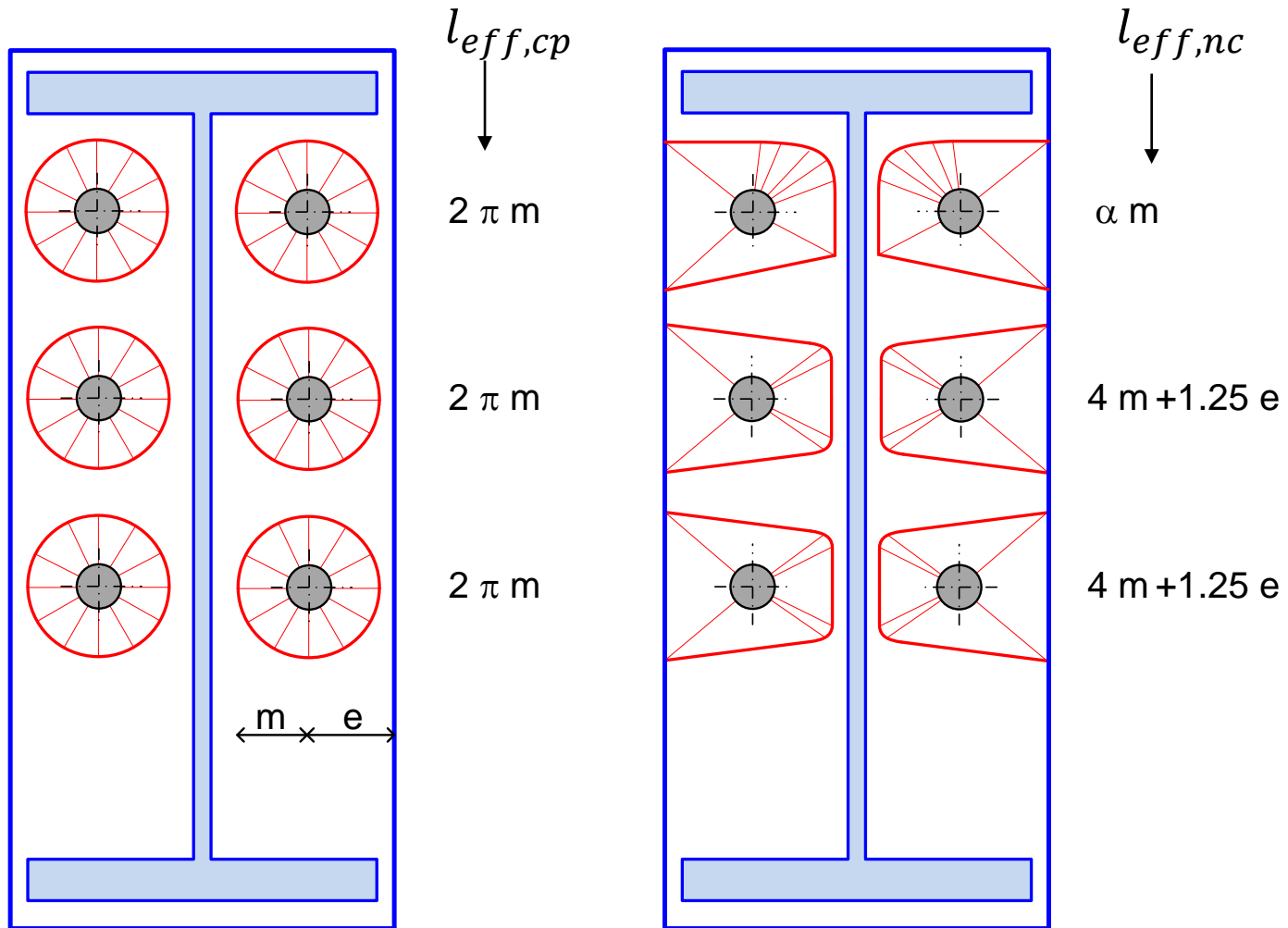
Existen varias filas de tornillos sobre la misma pieza, separadas entre sí. Aparecen diferentes líneas de rotura (modos de fallo) de geometría más compleja que las de una T simple.

La longitud eficaz para los modos de fallo 1 y 2, l_{eff1} y l_{eff2} depende de la geometría y del componente unido (viga, poste, ...)

Obtenidas experimentalmente. La normativa indica los valores a emplear



Modos de fallo. Chapa frontal. Filas individuales interiores



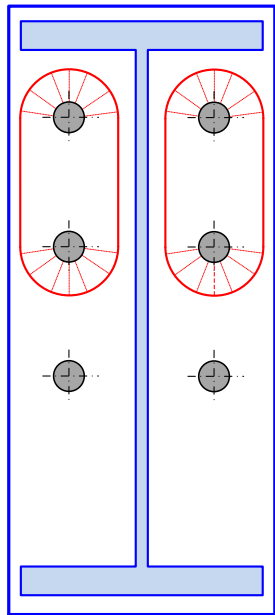
Patrones circulares (cp)

Patrones no circulares (nc)

Modos de fallo. Chapa frontal. Grupos de 2 filas

En las uniones reales, las líneas de rotura de las filas se conectan entre sí, dando lugar a modos de fallos de grupos de filas.

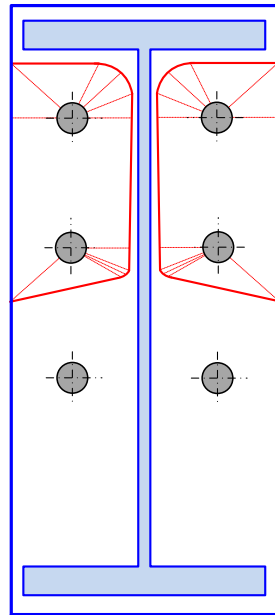
Grupo 2 + 1



$$\pi m + p$$

$$\pi m + p$$

Patrones
circulares

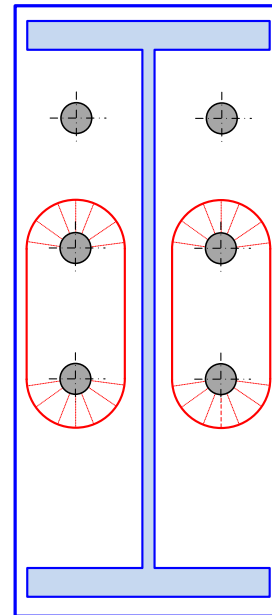


$$0.5 p + \alpha m \\ -(2m+0.625e)$$

$$2 m + 0.625e \\ + 0.5 p$$

Patrones no
circulares

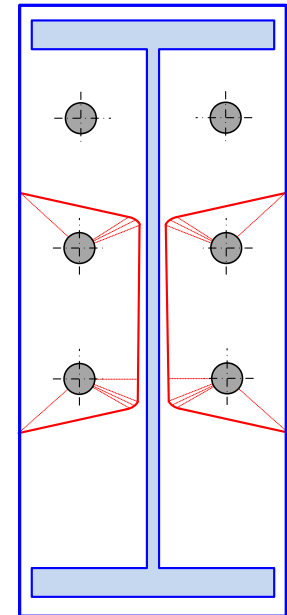
Grupo 3 + 2



$$\pi m + p$$

$$\pi m + p$$

Patrones
circulares

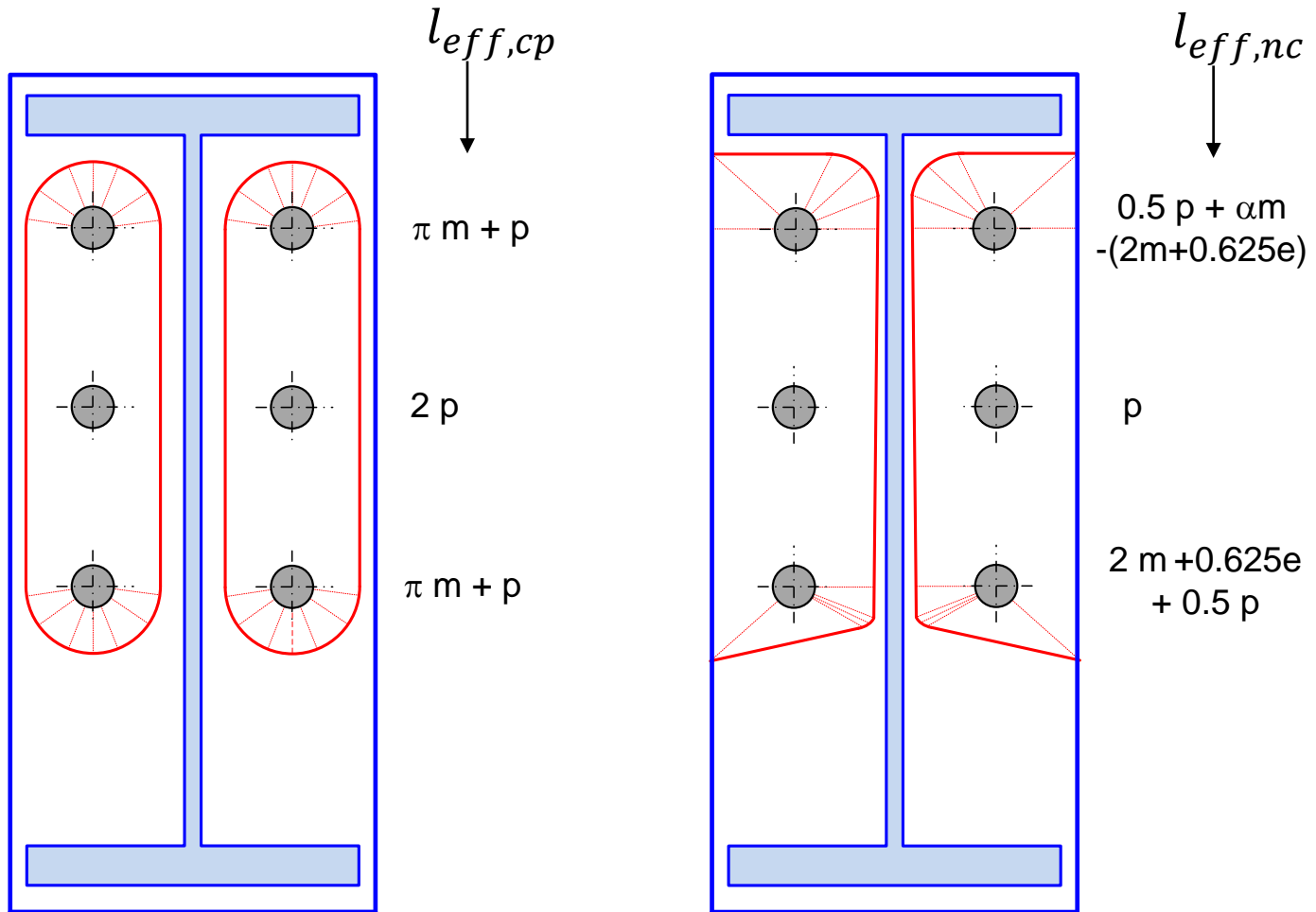


$$2 m + 0.625e \\ + 0.5 p$$

$$2 m + 0.625e \\ + 0.5 p$$

Patrones no
circulares

Modos de fallo. Chapa frontal. Grupo de 3 filas (3+2+1)

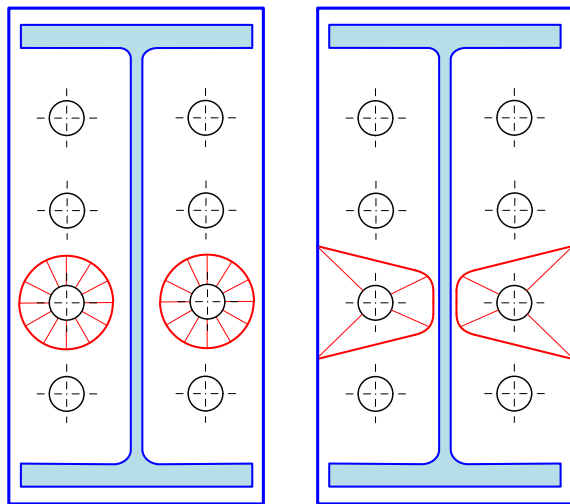


Patrones
circulares

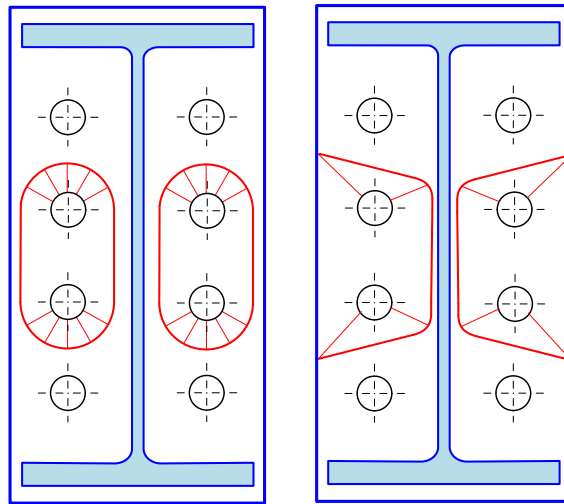
Patrones no circulares

Chapa frontal. Grupos de filas para la fila 3

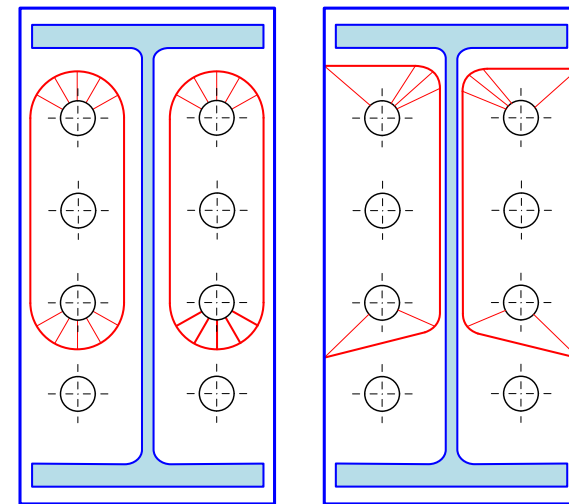
Fila 3 individual



Filas 3 + 2



Filas 3 + 2 + 1



$$l_{cp3} = 2 \pi m$$

$$l_{nc3} = 4m + 1.25 e$$

$$l_{cp2} = \pi m + p$$

$$l_{cp3} = l_{cp2}$$

$$l_{nc2} = 2m + 0.625 e + 0.5p$$

$$l_{nc3} = l_{nc2}$$

$$l_{cp1} = \pi m + p$$

$$l_{cp2} = 2p$$

$$l_{cp3} = \pi m + p$$

$$l_{nc1} = 0.5p + \alpha m - 2m - 0.625 e$$

$$l_{nc2} = p$$

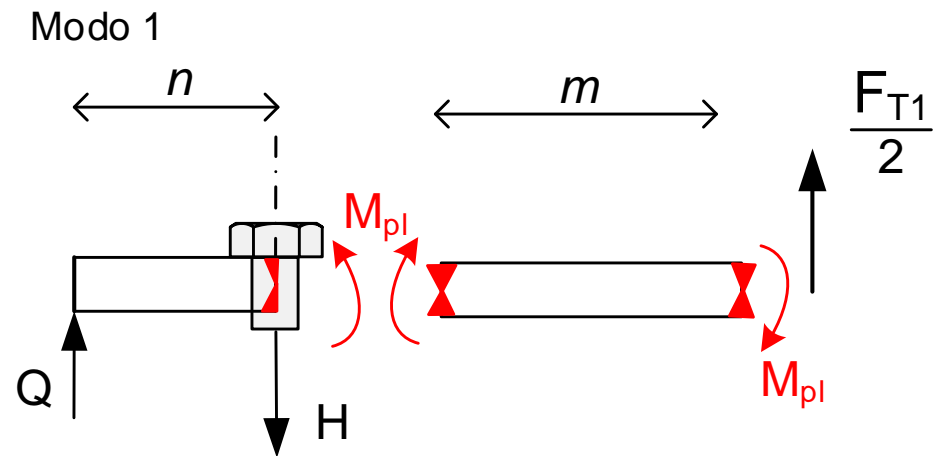
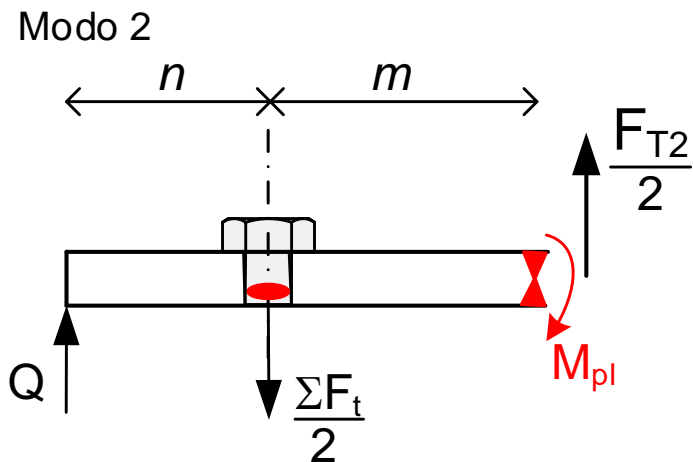
Deducción del valor de F_T en los modos 1 y 2

Modo 2: Aislando media T. Tomando momentos en el extremo de la T

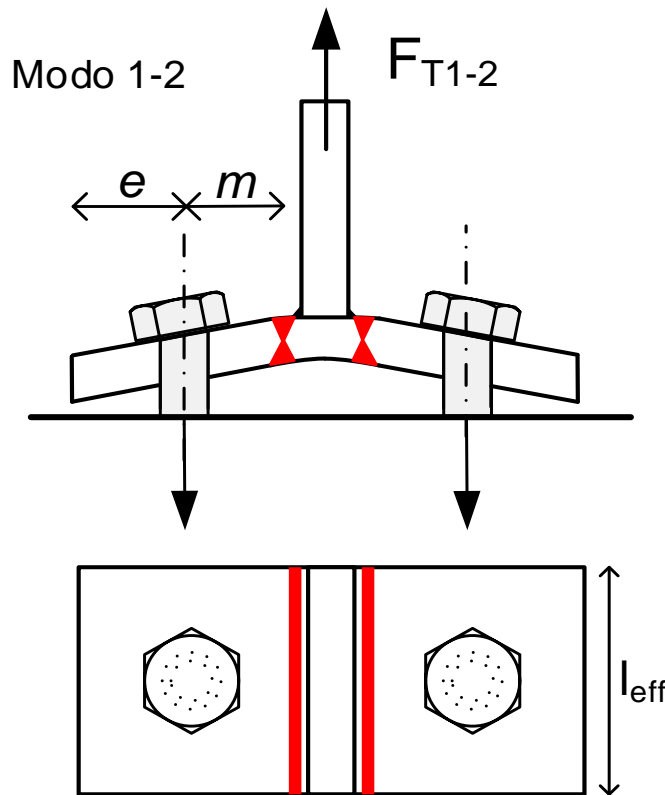
$$\Sigma M_Q = 0 \quad \frac{\Sigma F_t}{2} n + M_{pl} = \frac{F_{T2}}{2} (n + m) \quad \rightarrow \quad F_{T2} = \frac{2 M_{pl} + n \Sigma F_t}{n + m}$$

Modo 1: aislando la zona entre el tornillo de la izquierda y el centro de la T.
Tomando momentos respecto del eje del tornillo

$$\Sigma M_H = 0 \quad \frac{F_{T1}}{2} m = M_{pl} + M_{pl} \quad \rightarrow \quad F_{T1} = \frac{4 M_{pl}}{m}$$



Modo 1-2 – Sin fuerzas de palanca



Deformaciones de los tornillos muy grandes.
No hay fuerzas de reacción Q (palanca) en los extremos de la T.

Fallo por formación de una rótula plástica en la base del ala de la T.

No hay agotamiento de los tornillos.

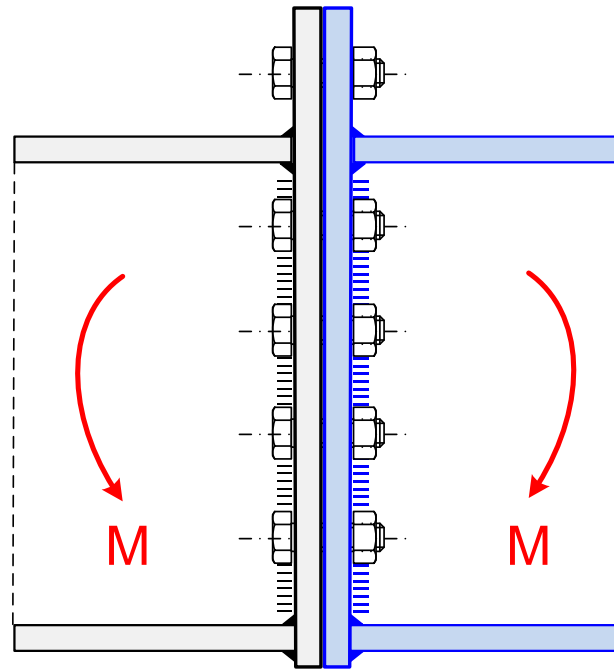
$$F_{T1-2,Rd} = \frac{2 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$M_{pl,1,Rd}$: Momento plástico de la placa en la rótula

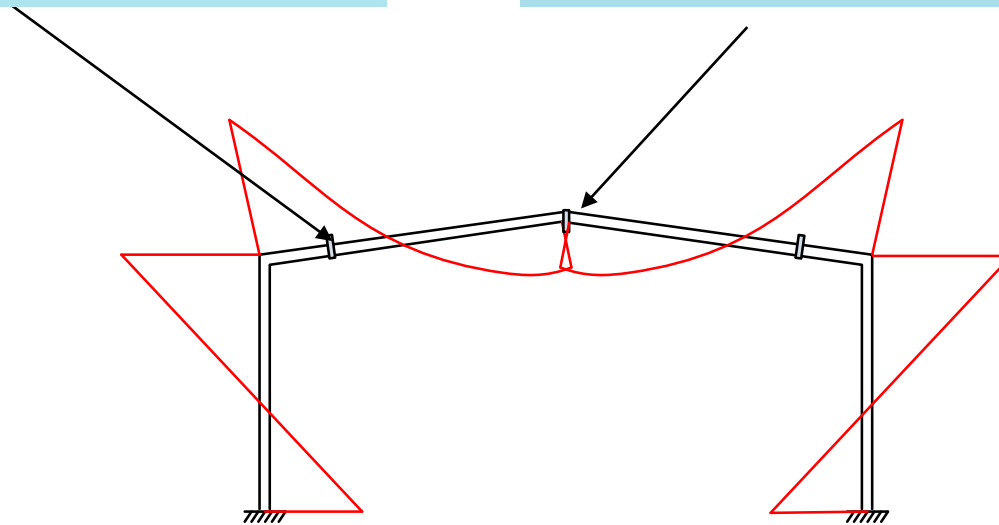
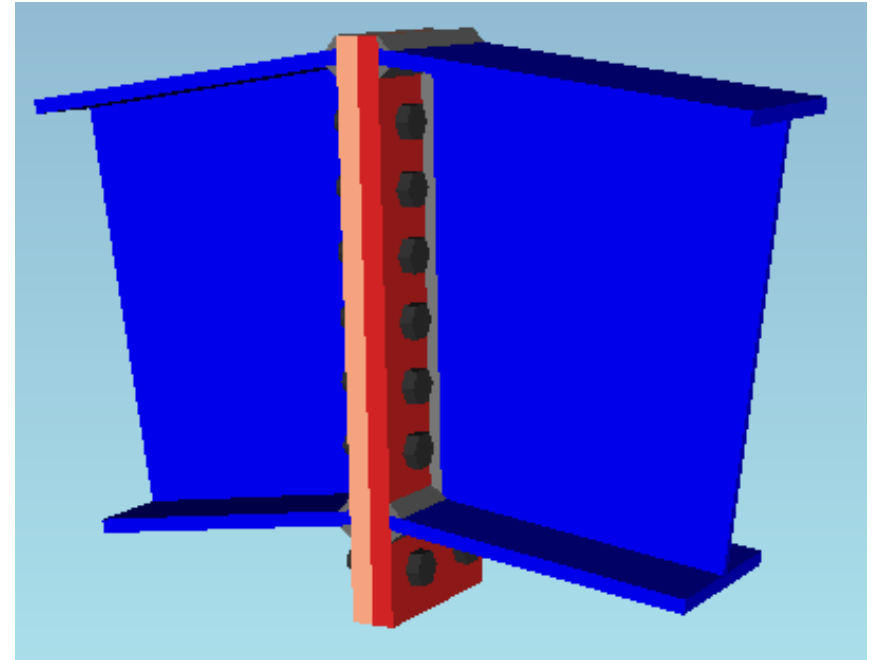
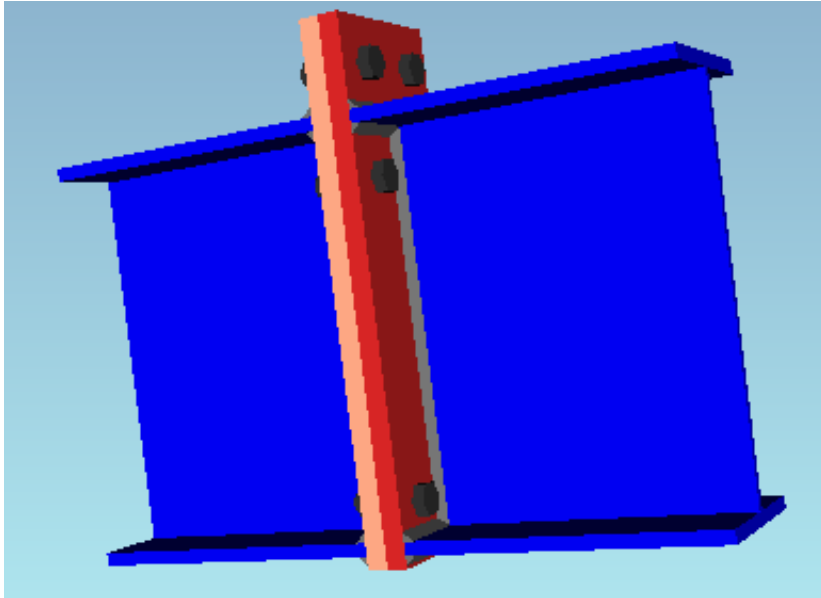
Se produce si los tornillos son muy flexibles (largos): no hay contacto del extremo de la T con el soporte.

Caso típico: unión de una placa con la cimentación, con pernos de unión muy flexibles.
No se produce en general en las uniones habituales entre vigas y columnas

Unión viga – viga con chapa frontal extendida



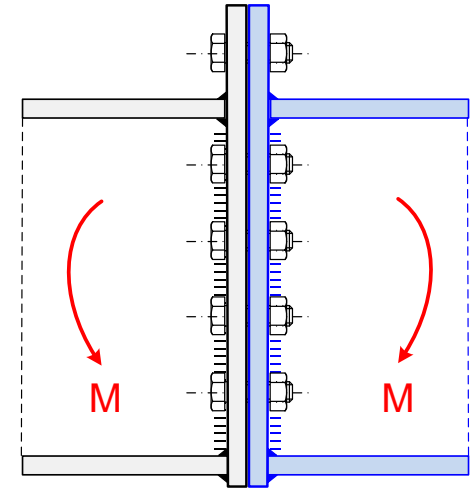
Ejemplos



Unión viga –viga con chapa frontal atornillada extendida

Normativa

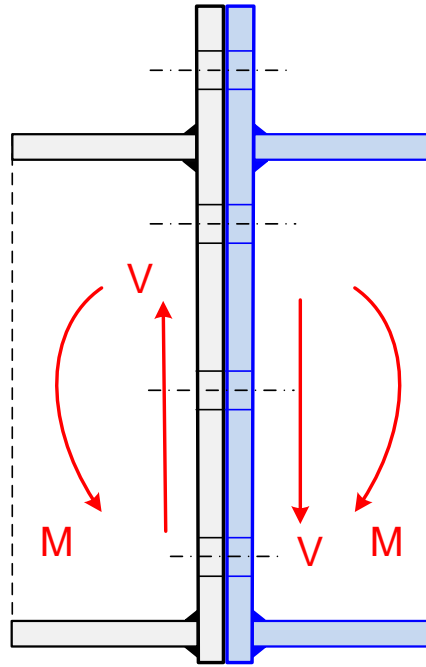
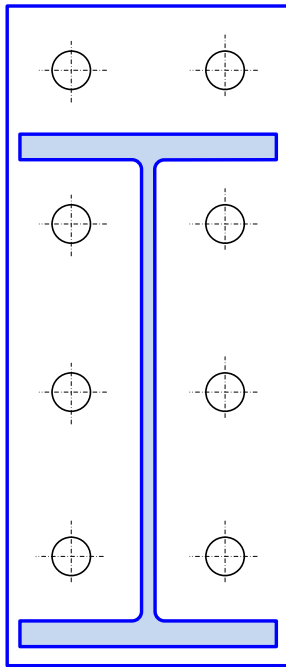
- EN 1993-1-8 § 6.2
- Código Estructural Anejo 26 § 6.2
- CTE: DB SE-A § 8.8.6



Información

- *Design of Joints in Steel and Composite Structures*, J. P. Jaspart, K. Weynand, Wiley, 2016
- *STEEL BUILDINGS IN EUROPE Single-Storey Steel Buildings, Part 11: Moment Connections*, Arcelor Mittal, <https://sections.arcelormittal.com>
- *Joints in Steel Construction. Moment-Resisting Joints to Eurocode*, Steel Construction Institute, Publication P398, <https://steel-sci.com>
- *Software Platine X - Assemblages par platine d'about*, CTICM, www.cticm.com

Unión viga – viga con chapa frontal atornillada extendida



Suponemos que las dos vigas y las chapas son iguales.

Transmite M, V, N . Representa un **empotramiento** entre las dos vigas, aunque no es perfecto: tiene cierta flexibilidad

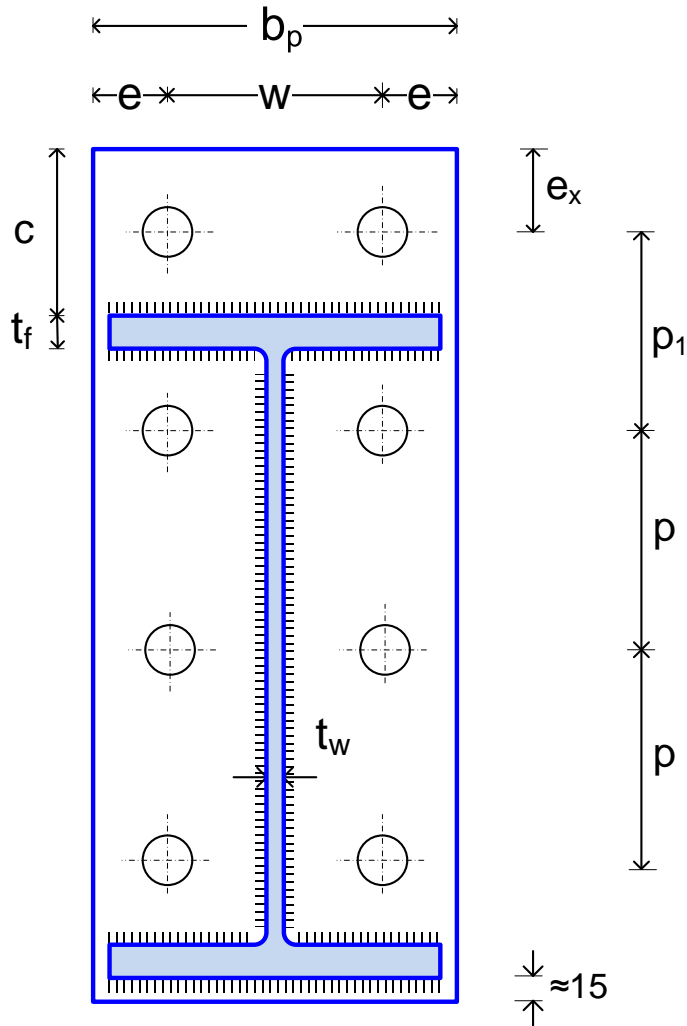
Para resistir **momento y axial**: sólo son eficaces **dos columnas de tornillos**, salvo chapas muy gruesas o estudios especiales.

Las normas no incluyen uniones con más de dos columnas de tornillos.

Resto de columnas de tornillos para absorber cortante.

No recomendada para esfuerzos de fatiga

Unión con chapa frontal atornillada extendida. Valores típicos



Recomendado:

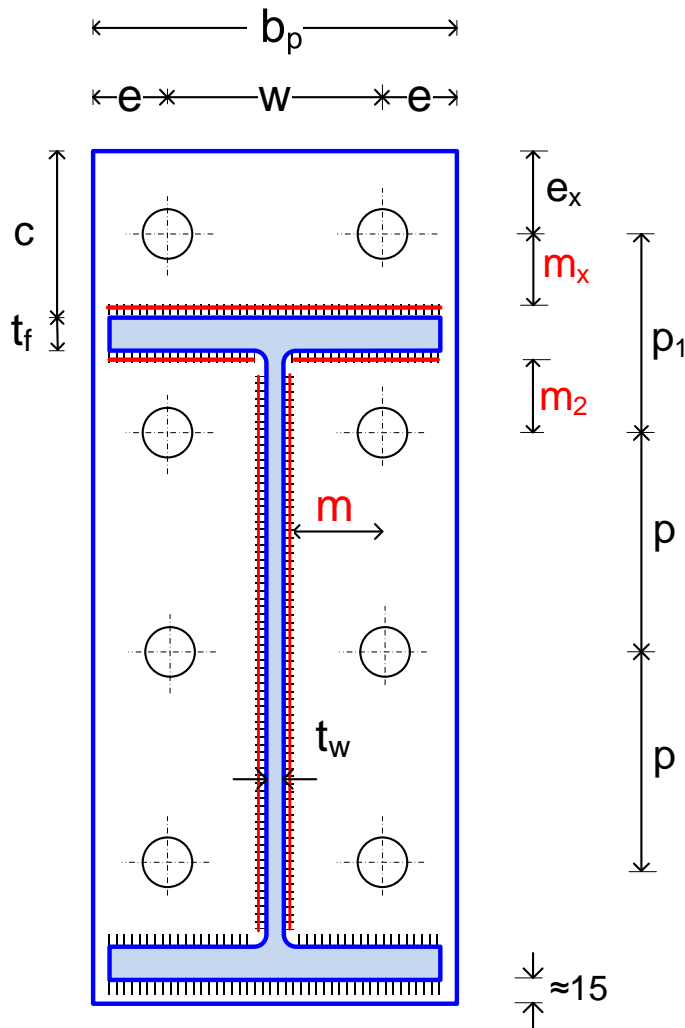
Espesor chapa frontal \geq diámetro tornillos $t_p \geq d$

Distancias al borde: $e \approx 2d$ $e_x \approx 2d$

Distancia eje de tornillos a la pared del perfil: la menor posible.

	IPE 300	IPE 400	IPE 500
b	150	180	200
t_f	10.7	14.6	16
t_p	15 - 20	20 - 25	25
d	M16	M20	M24
c	70	90	90 - 110
p_1	80 - 90	90 - 100	100 - 130
w	75	90	100
e_x	35	45	55
e	40	45	50

Unión con chapa frontal extendida



Distancia eje de tornillos a las rótulas plásticas

m : distancia eje de tornillos - rótula del alma

m_x : distancia eje de tornillos - rótula exterior del ala

m_2 : distancia eje de tornillos - rótula interior del ala

$m, m_x m_2 \approx 2d \dots 2.5d$ ($\geq 2d$ para atornillar)

$$m = \frac{w - t_w}{2} - 0.8 a_w \sqrt{2}$$

$$m_x = c - e_x - 0.8 a_f \sqrt{2}$$

$$m_2 = p_1 + e_x - c - t_f - 0.8 a_f \sqrt{2}$$

a_f : garganta de la soldadura ala viga - chapa (horiz.)

a_w : garganta de la soldadura alma viga - chapa (vert.)

Unión con chapa frontal extendida sencilla habitual

2 filas de tornillos de tracción (exterior e interior)

Equidistantes del ala de la viga

m : distancia eje de tornillos - rótula del alma

m_x : distancia eje de tornillos - rótula exterior del ala

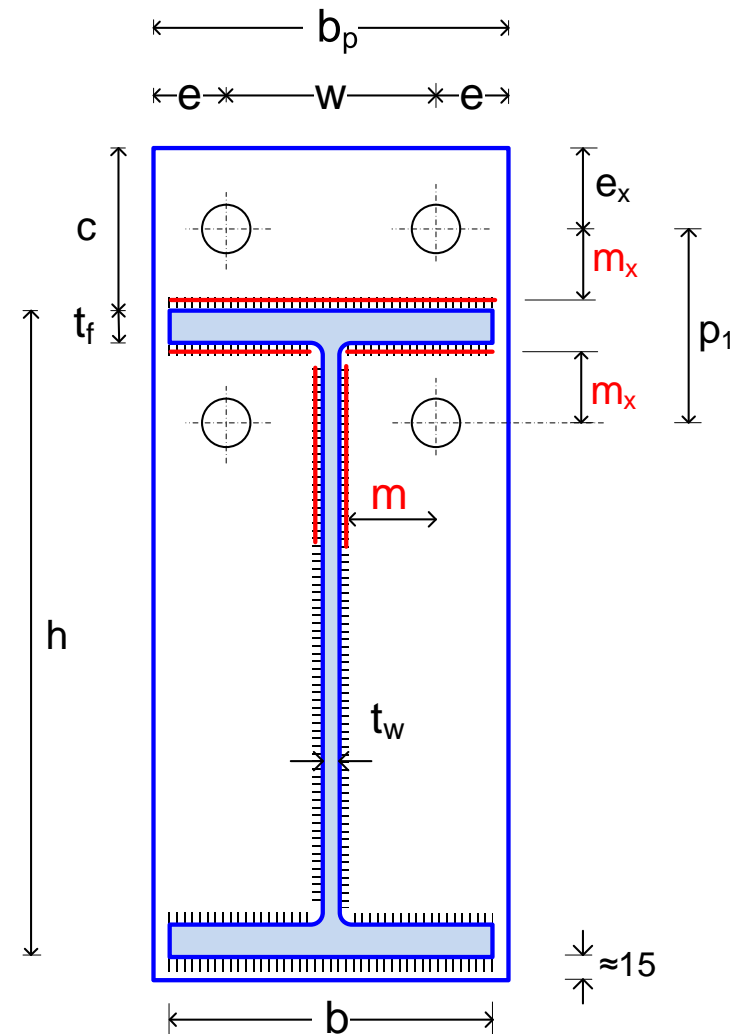
$m, m_x \approx 2d \dots 2.5d$ ($\geq 2d$ para atornillar)

$$m = \frac{w - t_w}{2} - 0.8 a_w \sqrt{2}$$

$$m_x = c - e_x - 0.8 a_f \sqrt{2}$$

a_f : garganta de la soldadura ala viga - chapa (horiz.)

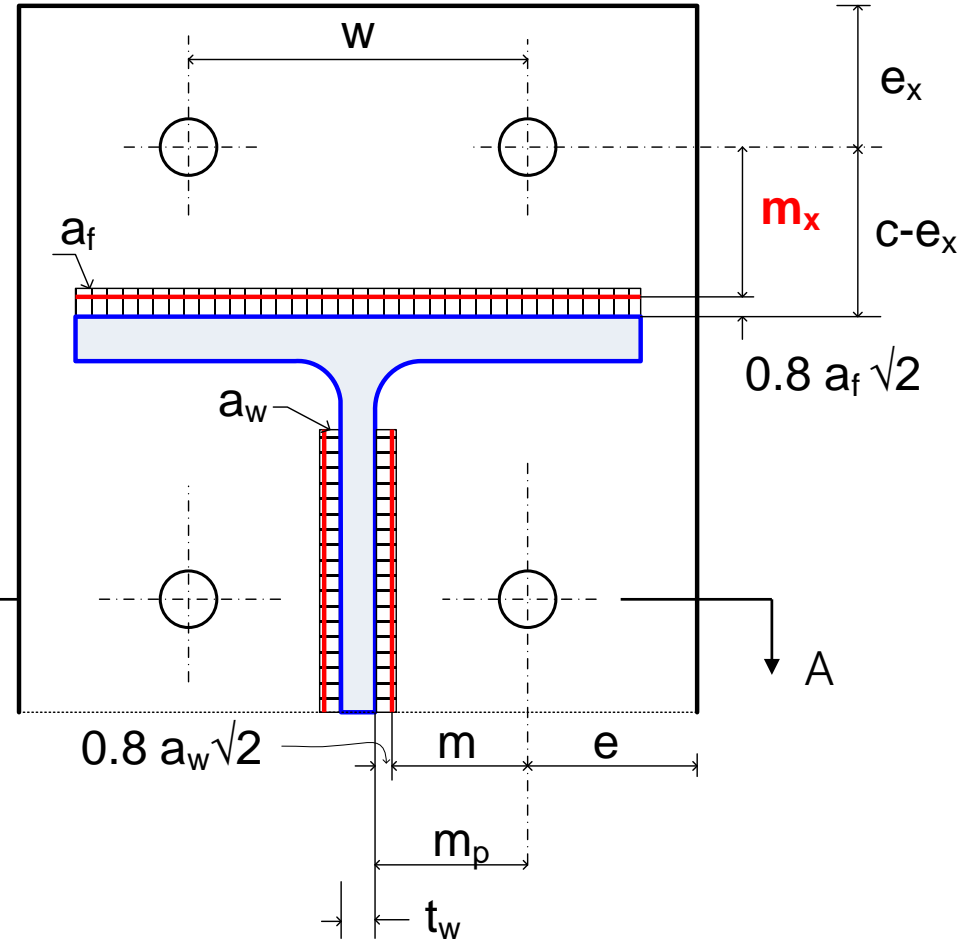
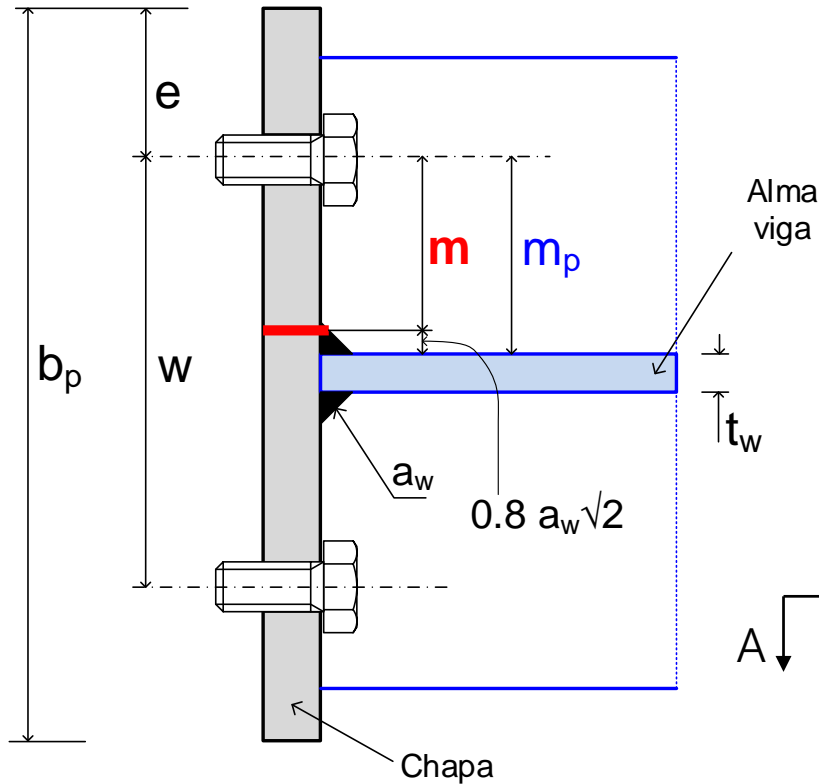
a_w : garganta de la soldadura alma viga - chapa (vert.)



Posición de la rótula plástica en la chapa frontal

Sección en planta A-A

Vista de frente



$$m_p = \frac{w - t_w}{2}$$

$$m = m_p - 0.8 a_w \sqrt{2}$$

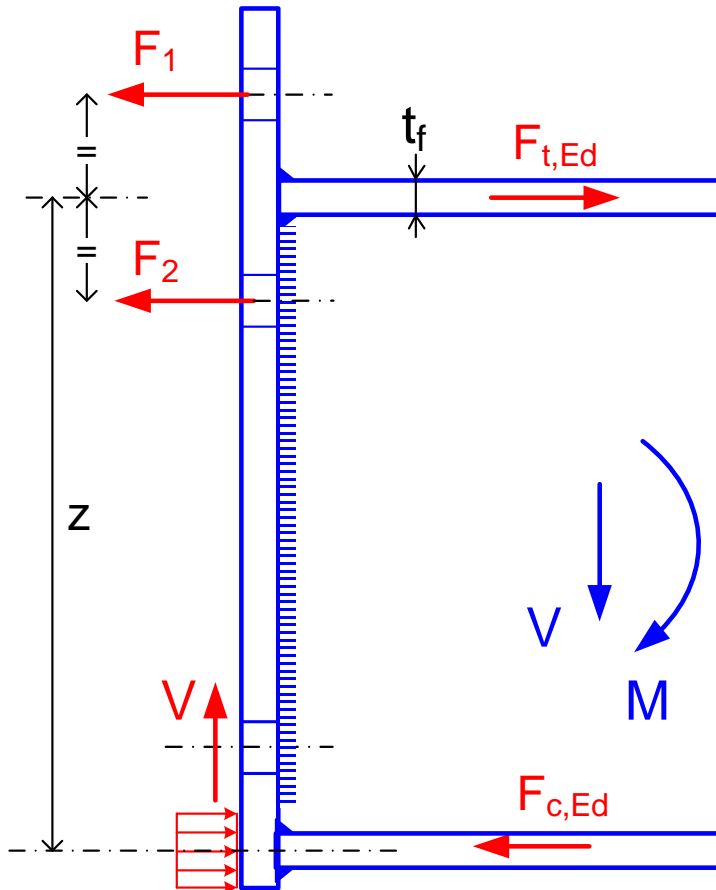
$$m_x = c - e_x - 0.8 a_f \sqrt{2}$$

Unión con chapa frontal sencilla. Transmisión de esfuerzos

Momento flector equivale a dos fuerzas en las alas:

Si no hay fuerza axial, son iguales

$$F_{t,Ed} = F_{c,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h - t_f}$$



- Fuerza de tracción $F_{t,Ed}$ soportada por las 2 filas de tornillos superiores
- Fuerza de compresión $F_{c,Ed}$ absorbida por contacto en la zona inferior
- Cortante absorbido por los 2 tornillos inferiores

Centro de compresiones: en el eje del ala comprimida

Brazo de palanca z : distancia del centro de compresiones al punto intermedio entre las dos filas de tornillos

Resistencia de componentes básicos

Para cada fila de tornillos:

R1.1 Resistencia a flexión de la chapa frontal + tornillos a tracción (ep). Fila 1

R1.2 Resistencia a flexión de la chapa frontal + tornillos a tracción (ep). Fila 2

R2. Resistencia del alma de la viga a tracción (wb). Fila 2

Otras resistencias limitantes:

R3. Compresión del ala inferior de la viga (fb)

R4. Soldadura del ala superior de la viga

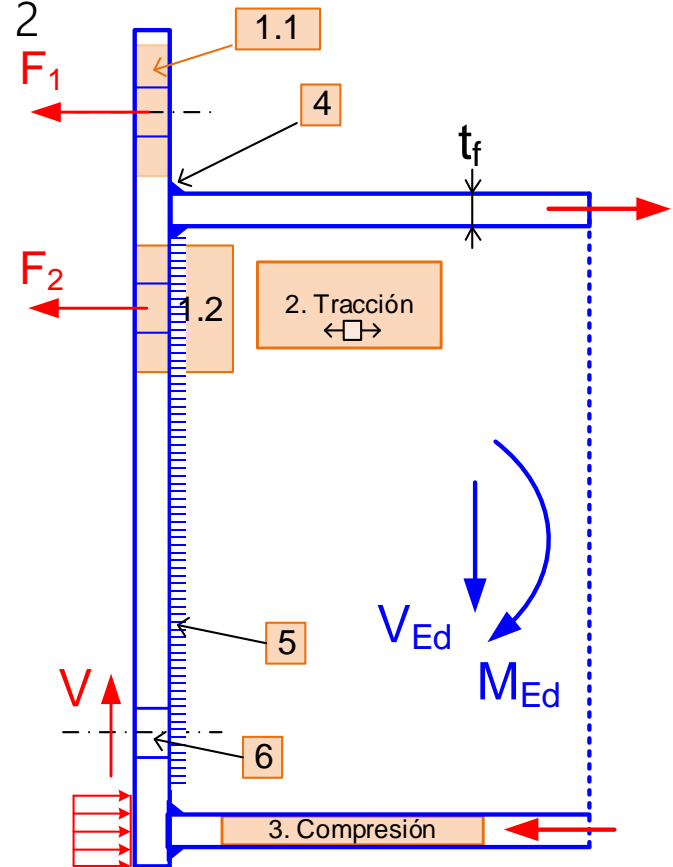
R5. Soldadura del alma de la viga

R6. Tornillos a cortante

ep : chapa frontal (*end plate*)

Subíndices: wb : alma de la viga (*web beam*)

fb : ala de la viga (*flange beam*)

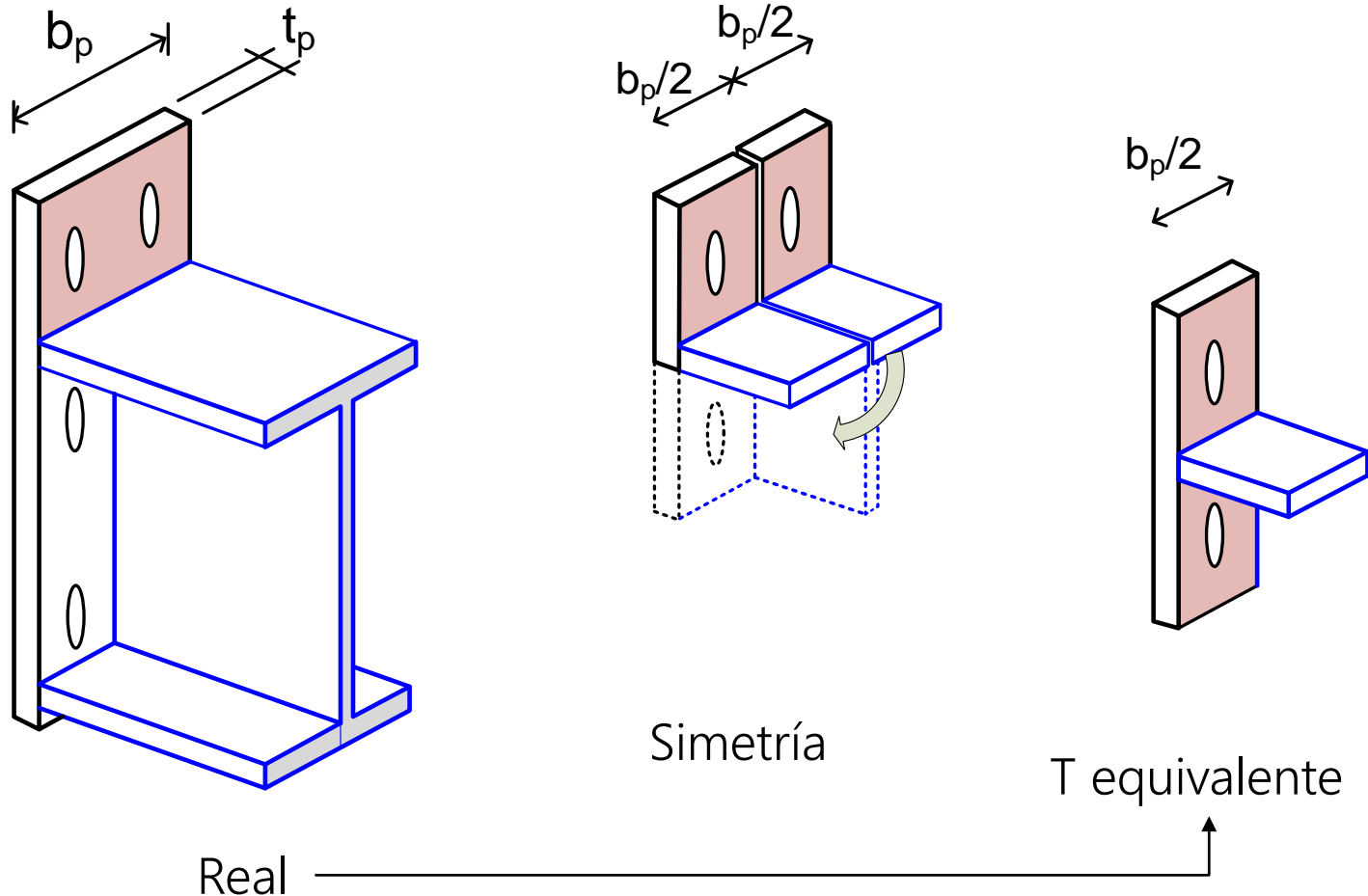


Cálculo de la resistencia de cada fila. Conceptos EN 1993-1-8 §6.2.7.2

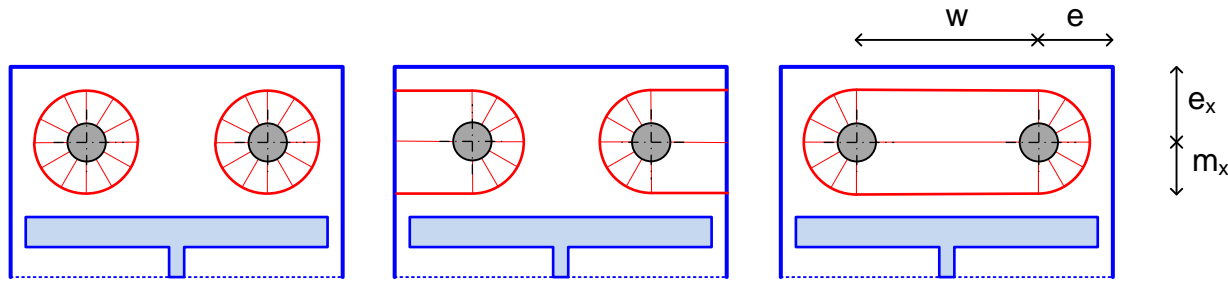
- La resistencia de las filas debe calcularse de forma secuencial empezando por la fila más alejada del centro de compresiones (fila $r = 1$)
 - Centro de compresiones: en el centro del ala comprimida de la viga
- Al calcular la resistencia de una fila (r) se debe ignorar la resistencia de las filas más cercanas al centro de compresión ($> r$).
- La resistencia de la fila r como fila individual, será la menor de los 2 efectos: $R1$ (ep), $R2$ (wb).
- La resistencia de la fila r se tomará como su resistencia como fila individual, reducida como se indica a continuación:
 - La resistencia de la fila r debería, si es necesario, reducirse para que la suma de las resistencias de las filas precedentes más la propia fila r , no supere la resistencia de dicho grupo en conjunto. Para los 2 efectos.
 - La resistencia de la fila r debería, si es necesario, reducirse para asegurar que cuando se tienen en cuenta todas las filas precedente más la propia fila r , no se supere la resistencia a compresión del ala inferior de la viga ($R3$).
- La resistencia de las filas debería reducirse de forma lineal en ciertos casos.

R1.1. Resistencia de la chapa frontal (ep). Fila 1, exterior $F_{1,ep,Rd}$

La simetría de los dos tornillos de la fila 1 permite crear una T equivalente a la chapa extendida, con anchura la mitad de la anchura de la chapa $b_p/2$



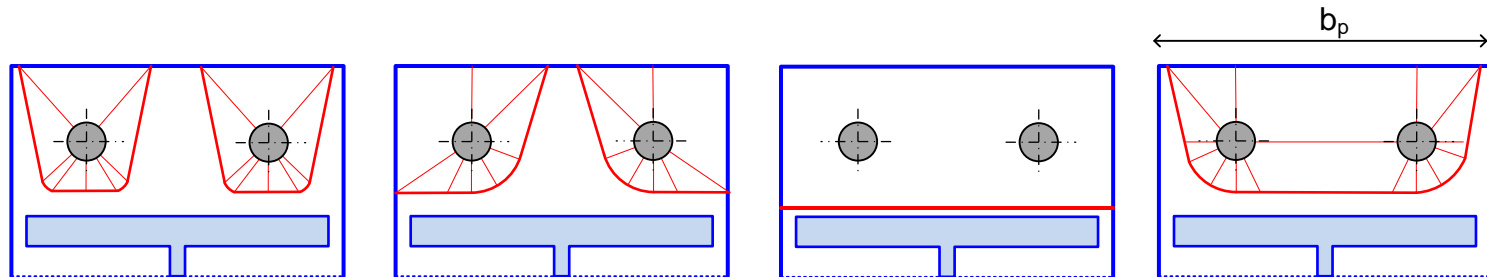
R1.1 Resistencia de la chapa frontal. Fila 1, exterior. Longitudes eficaces l_{eff}



Patrones circulares

$$l_{eff,cp,1} = \min \left(\begin{array}{l} 2 \pi m_x \\ \pi m_x + 2e \\ \pi m_x + w \end{array} \right)$$

Son las longitudes de las líneas de rotura para un tornillo

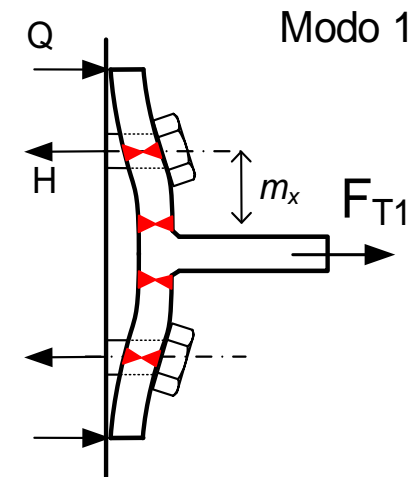
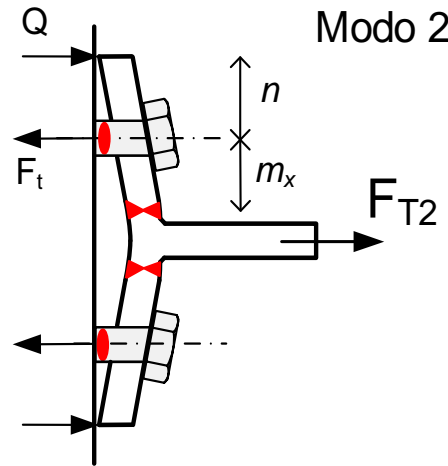
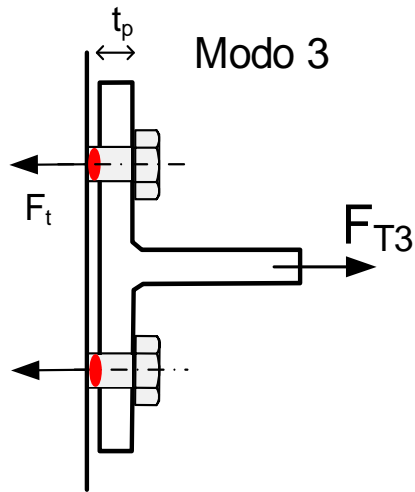


Patrones no circulares

$$l_{eff,nc,1} = \min \left(\begin{array}{l} 4 m_x + 1.25 e_x \\ 2 m_x + 0.625 e_x + e \\ b_p/2 \\ 2 m_x + 0.625 e_x + 0.5 w \end{array} \right)$$

Valor mínimo, con las dimensiones habituales

R1.1 Resistencia de la chapa frontal (ep). Fila 1, exterior $F_{1,t,ep,Rd}$



$$l_{eff2,1} = l_{eff,nc,1}$$

$$l_{eff1,1} = \min(l_{eff,nc,1}, l_{eff,cp,1})$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2,1} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1,1} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$n = e_x \quad n \leq 1.25 m_x$$

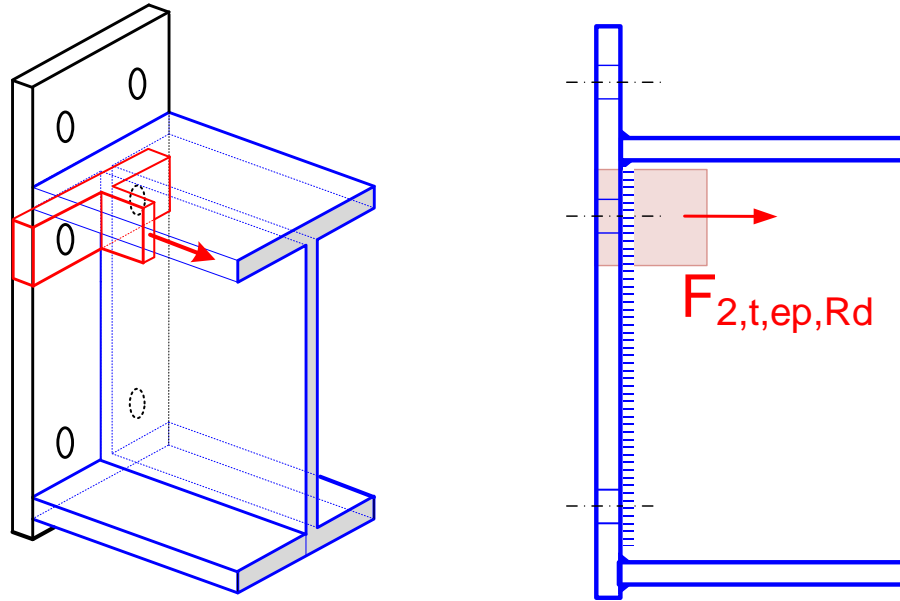
$$F_{T3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m_x + n}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m_x}$$

$$F_{1,t,ep,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$$

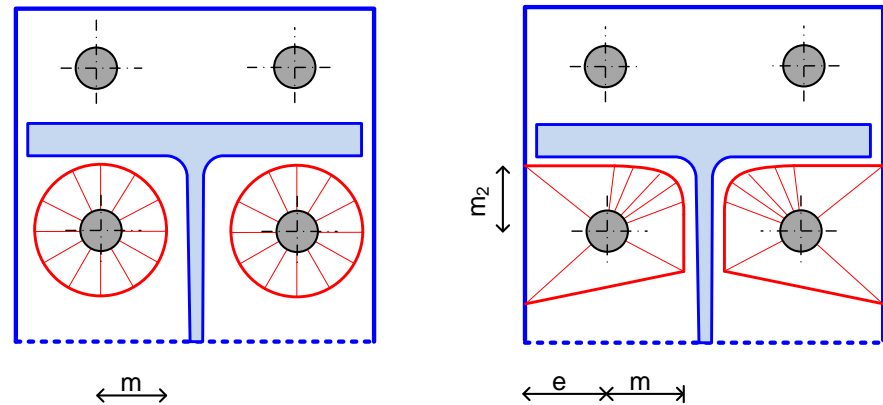
R1.2 Resistencia de la chapa frontal (ep). Fila 2, bajo el ala $F_{2,t,ep,Rd}$



Longitud eficaz de la fila 2:

$$l_{eff,cp,2} = 2 \pi m$$

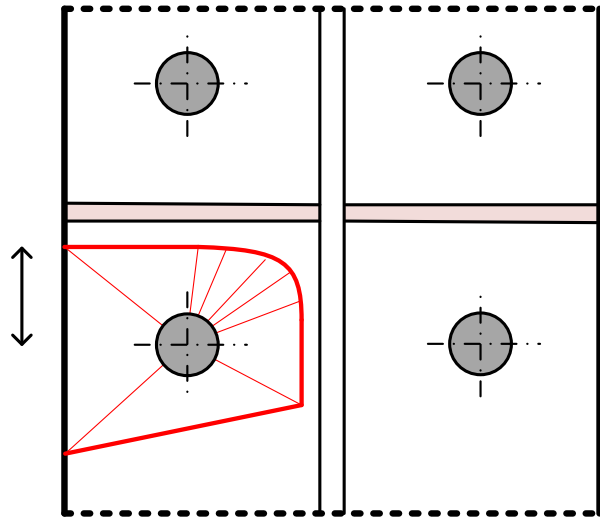
$$l_{eff,nc,2} = \alpha m$$



Tornillos en rincón: coeficiente α función de la posición del agujero respecto de las paredes (m, e, m_2)

Coeficiente α de longitud eficaz para tornillos en rincón

Gráfica en EN 1993-1-8 (Fig. 6.11) y Anejo 26 (Fig. A26.6.11)

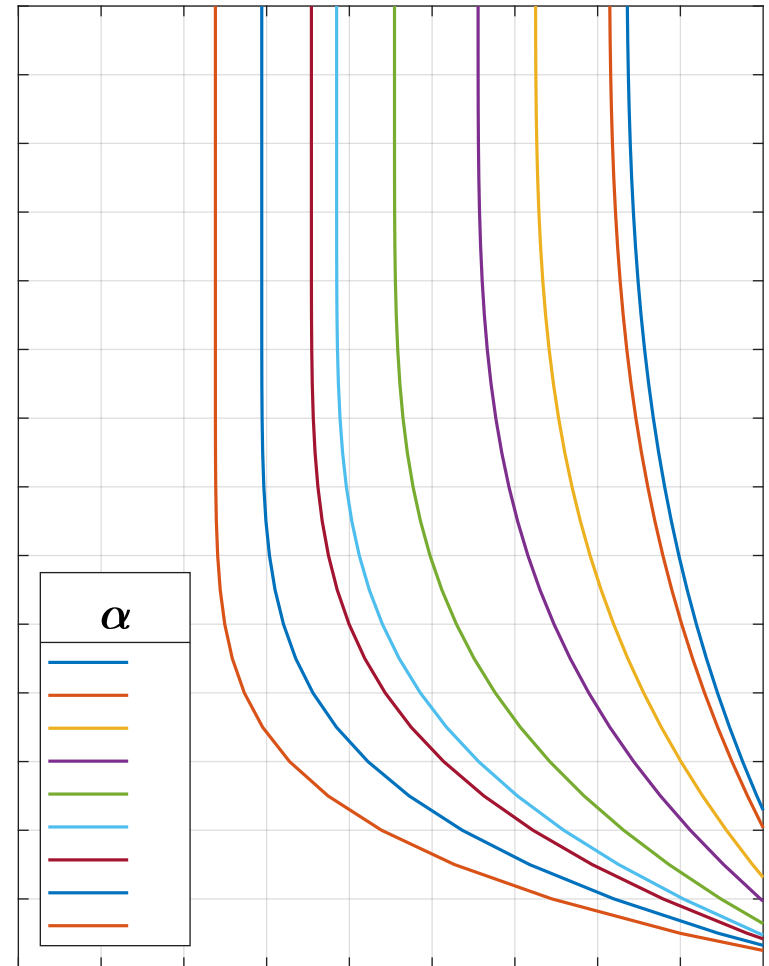


\longleftrightarrow

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

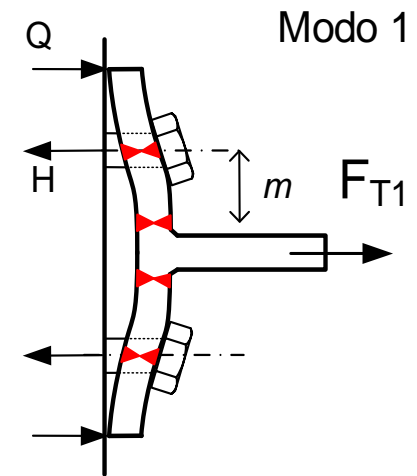
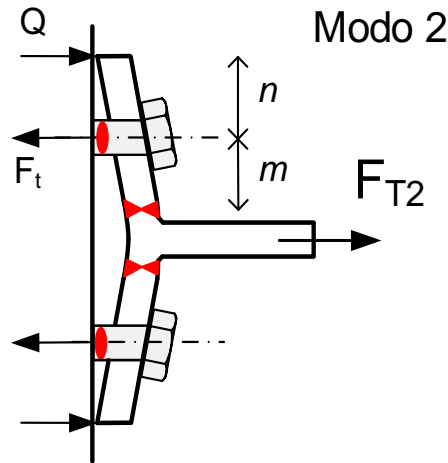
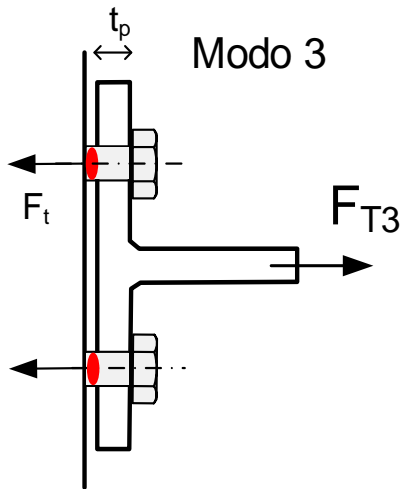
Existen expresiones analíticas implícitas de $\lambda_1(\alpha)$, $\lambda_2(\alpha)$
No existe una expresión analítica explícita de $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$

λ



λ

R1.2 Resistencia de la chapa frontal (ep). Fila 2, $F_{2,t,ep,Rd}$



$$l_{eff2,2} = l_{eff,nc,2} = \alpha m$$

$$l_{eff1,2} = \min(\alpha m, 2 \pi m)$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2,2} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1,2} t_p^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$n = e \quad n \leq 1.25m$$

$$F_{T3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$$

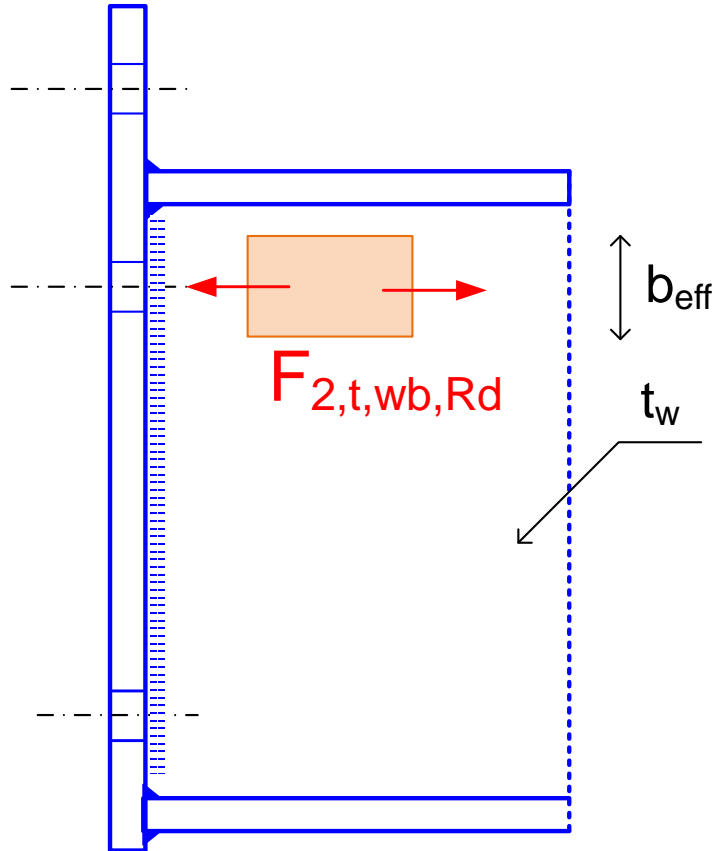
$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{2,t,ep,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$$

R2. Resistencia del alma (w) de la viga (b) a tracción (t, wb)

La resistencia de cada fila no puede ser superior a la resistencia del alma de la viga a tracción



En la fila 1 no aplica

En la fila 2 hay una nueva resistencia límite: la resistencia de alma de la viga a tracción en esta fila:

EN 1993-1-8 §6.2.6.8

$$F_{2,t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_w \frac{f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}$$

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff1} = \min(2\pi m, \alpha m)$$

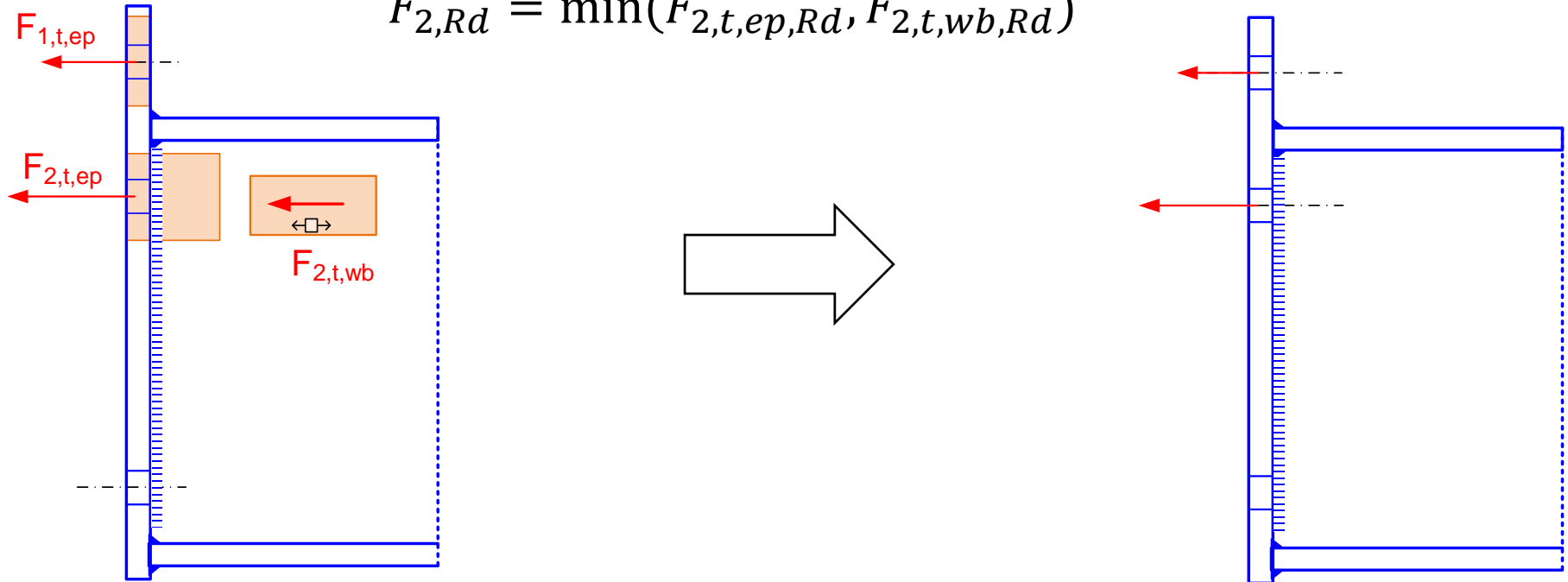
Se toma como altura eficaz b_{eff} a tracción, la misma longitud eficaz usada para la T en la chapa

Resistencia efectiva de cada fila $F_{1,Rd}$ $F_{2,Rd}$

Se ha determinado la resistencia de cada componente en cada fila.
La resistencia efectiva de cada fila $F_{r,Rd}$ es la menor de ellas.

$$F_{1,Rd} \equiv F_{1,t,ep,Rd}$$

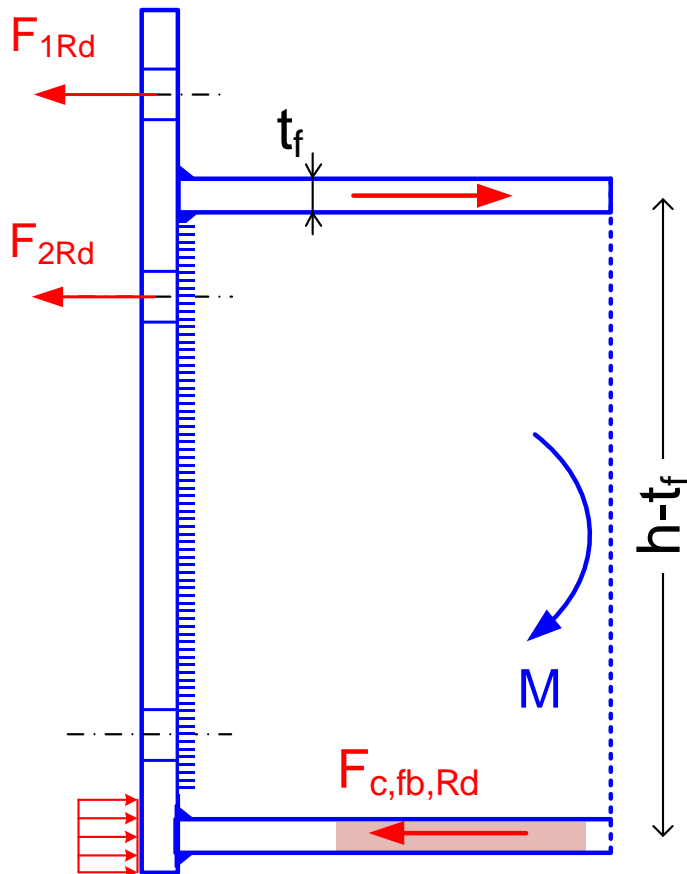
$$F_{2,Rd} = \min(F_{2,t,ep,Rd}, F_{2,t,wb,Rd})$$



La suma de las resistencias de todas las filas $\sum F_{r,Rd}$ está limitada por la resistencia de otras zonas de la unión (R3, R4)

R3. Resistencia a compresión del ala de la viga

La suma de las fuerzas $F_{1,Rd} + F_{2,Rd}$ no puede ser superior a la resistencia a compresión del ala de la viga $F_{c,fb,Rd}$



$$F_{1,Rd} + F_{2,Rd} \leq F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f}$$

Se está suponiendo que la resultante de las compresiones actúa a nivel del eje del ala

$M_{c,Rd}$ Momento resistente a flexión de la viga:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clases 1 y 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clase 3}$$

Si es necesario, se deben disminuir, primero $F_{2,Rd}$ (incluso hacerla cero) y después $F_{1,Rd}$ para no superar la resistencia a compresión del ala

Resistencia de la unión a flexión sin esfuerzo axial $M_{j,Rd}$

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

$$N_{Ed} \leq 0.05 A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

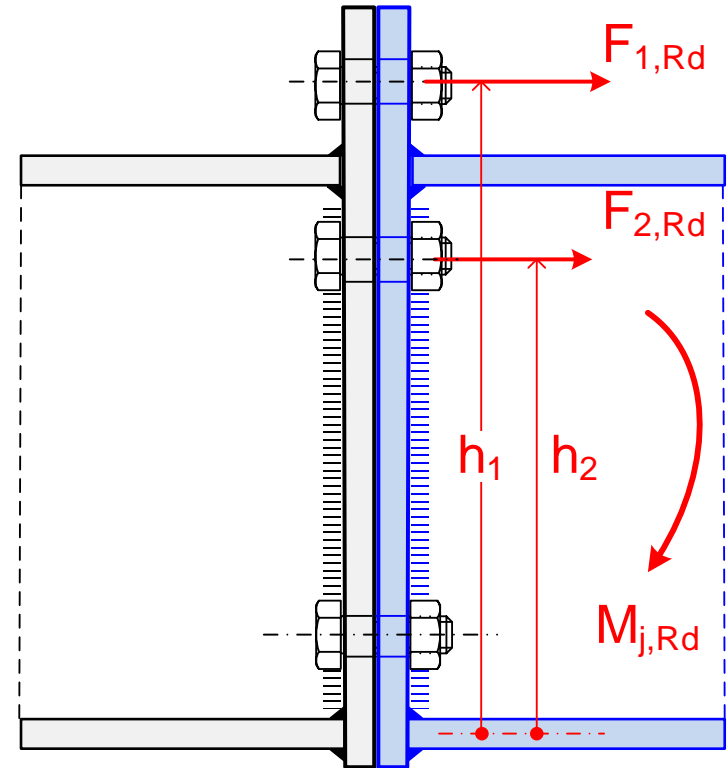
Momento de resistencia de la unión
(EN 1993-1-8 6.2.7.2):

$$M_{j,Rd} = F_{1,Rd} h_1 + F_{2,Rd} h_2$$

$F_{r,Rd}$ resistencia efectiva de la fila $r = 1,2$

h_r distancia al centro de compresiones de la fila $r = 1,2$

Centro de compresiones: en línea con el centro del ala comprimida de la viga.



Si la T de la fila 1 falla en modo 3, es decir $F_{1,Rd} = 2F_{t,Rd}$, (poco probable), es necesario efectuar la reducción lineal de resistencia de la fila 2 indicada para las uniones con varias filas bajo el ala

Resistencia de la unión a tracción $N_{j,Rd}$, sin momento

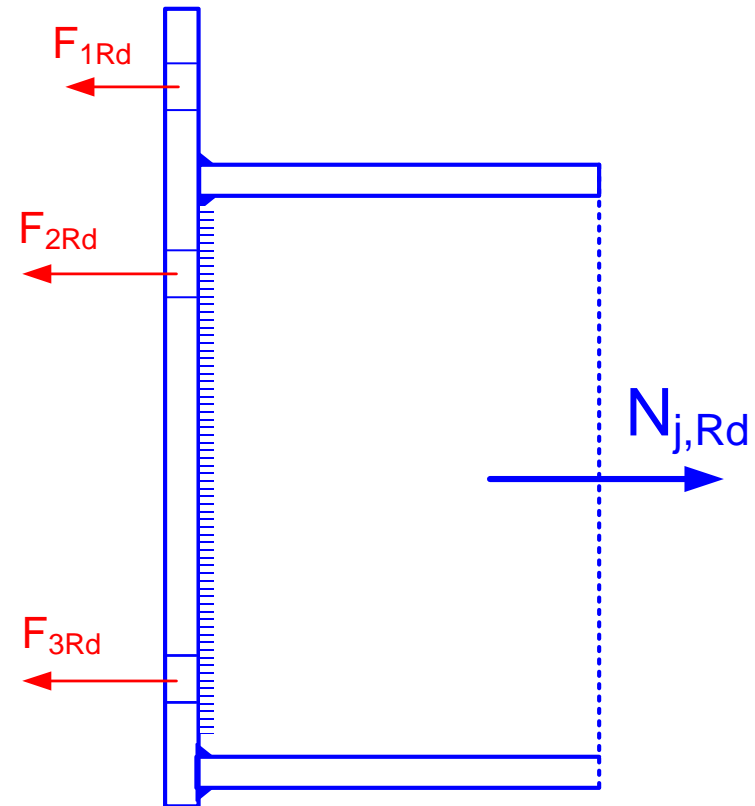
El EC3 no indica cómo calcular esta resistencia de cálculo de la unión a tracción. Razonable:

$$N_{j,Rd} \approx F_{1,Rd} + F_{2,Rd} + F_{3,Rd}$$

Se debe considerar la resistencia de cada fila en los efectos R1 y R2, **sin hacer la reducción R3 por compresión en el ala**, que sólo se aplica cuando se transmite momento

$F_{3,Rd}$ no se ha determinado

Se puede:
calcular $F_{3,Rd}$ como una fila más, en los 2 efectos R1 y R2,
o hacer $F_{3,Rd} = F_{2,Rd}$, si la geometría es similar



Resistencia de la unión a flexión + esfuerzo de tracción

EN 1993-1-8 6.2.7.1 (3)

Si el axial no es despreciable

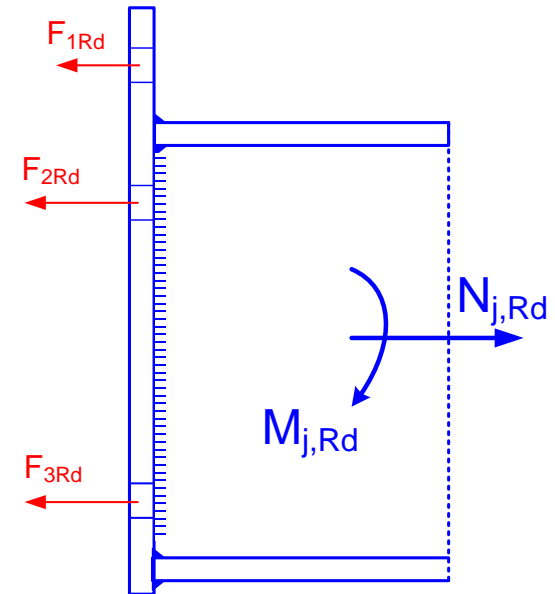
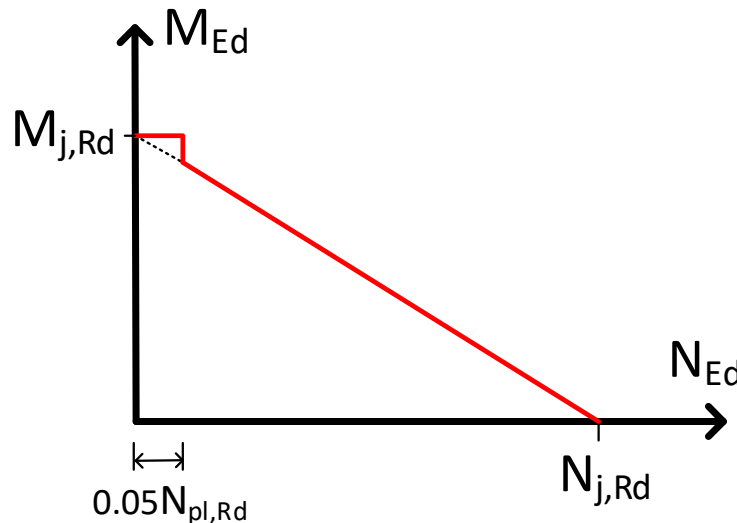
$$N_{Ed} > 0.05 A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1$$

$M_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a flexión, suponiendo que no hay esfuerzo axial

$N_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a tracción, suponiendo que no hay momento aplicado

$$N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$



R4 Resistencia de la soldadura de las alas de la viga (1)

Fuerza a transmitir como mínimo: la fuerza en el ala asociada a la resistencia a flexión $M_{j,Rd}$

$$F_{fb,Rd} = \frac{M_{j,Rd}}{h - t_f}$$

Recomendado: resistencia total

Fuerza a transmitir = resistencia del ala

$$F_{fb,Rd} = (b - t_f) \frac{f_{y,fb}}{\gamma_{M0}}$$

A. Soldadura en ángulo: diseño como unión plana centrada

Fuerza a transmitir \leq Resistencia de la soldadura

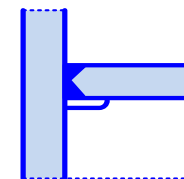
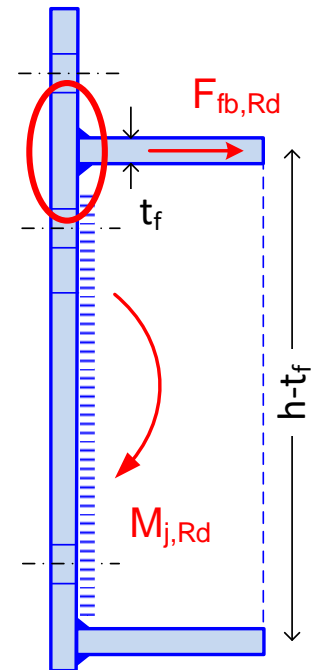
$$F_{fb,Rd} \leq F_{w,fb,Rd} = \sum a_f L_f \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

a_f : garganta de la soldadura ala - chapa

Al ser cordones frontales, se puede usar $\sqrt{2}$

Si no se cumple, disminuir $M_{j,Rd}$. La resistencia de la soldadura no puede ser la limitante de la unión.

B. Soldadura a tope de penetración total: no es necesario calcular



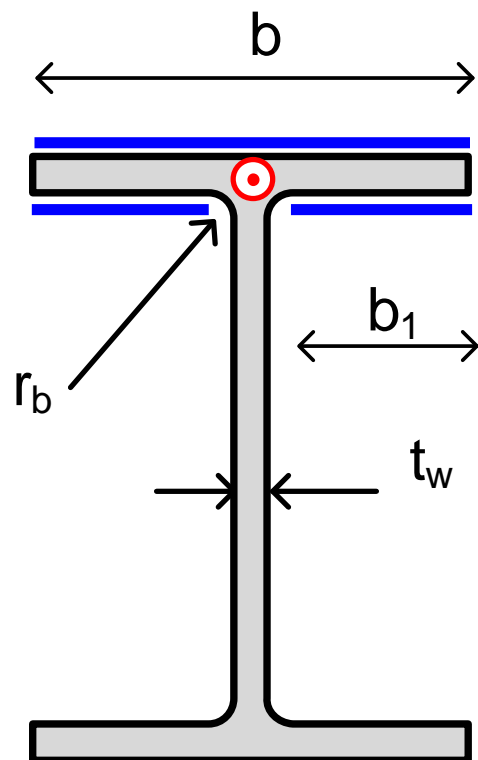
R4 Resistencia de la soldadura de las alas de la viga (2)

L_f : longitud de los cordones de unión ala viga – chapa:

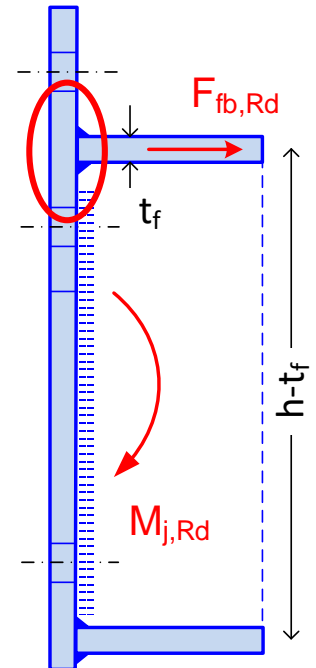
Cordón exterior: anchura de la viga b

Cordones interiores: anchura interior libre

$$b_1 = \frac{b - t_w - 2 r_b}{2}$$



$$\Sigma a_f L_f = a_f b + 2 a_f b_1$$



R5 Resistencia de la soldadura del alma de la viga a la chapa

Todo el cortante V_{Ed} se resiste por la soldadura del alma.
No influye en la resistencia a momento

Cordones iguales (a_w) a ambos lados del alma.

Resistencia a cortante de la soldadura del alma:

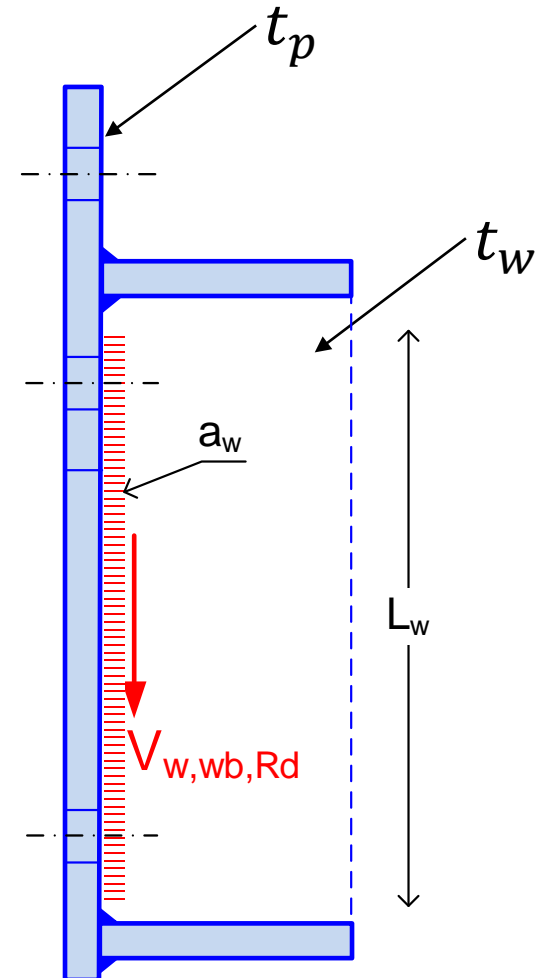
$$V_{Ed} \leq V_{w,wb,Rd} = 2 a_w L_w \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

Puede resultar limitante si V_{Ed} es muy grande, pues no se puede aumentar la longitud de los cordones L_w más allá de la zona recta del alma.

Emplear el máximo espesor de garganta permitido a_w para que la longitud sea la mínima:

$$a_w = 0.7 \min(t_w, t_p)$$

Normalmente t_w es el mínimo



R6. Resistencia a cortante de los tornillos $V_{b,Rd}$

Todo el cortante se resiste por los 2 tornillos inferiores

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} = \min(2 F_{v,Rd}, 2 F_{b,Rd})$$

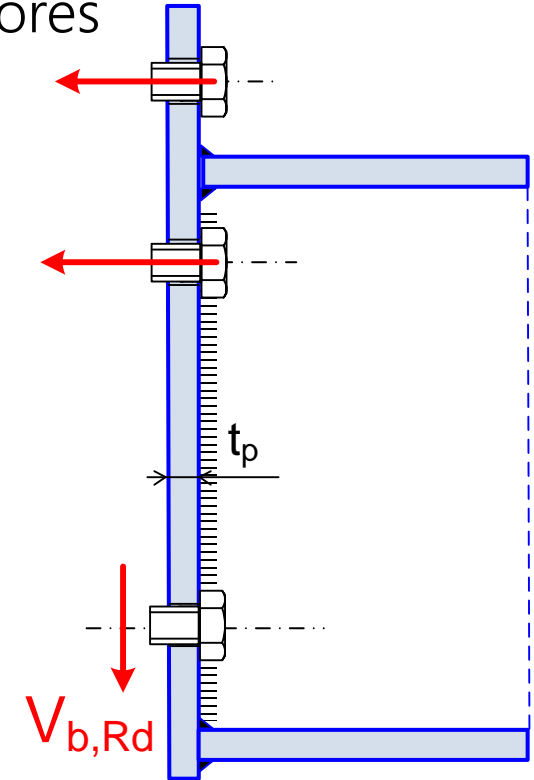
- Resistencia a **cortante** de un tornillo

$$F_{v,Rd} = \begin{cases} \frac{0.6 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} & \text{Calidad 8.8} \\ \frac{0.5 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} & \text{Calidad 10.9} \end{cases}$$

- Resistencia a **aplastamiento** de un tornillo contra la chapa frontal

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

α_b, k_1 según diseño



Nota: se puede soportar cortante también por los tornillos superiores (tornillos sometidos a esfuerzos combinados de tracción y cortante)

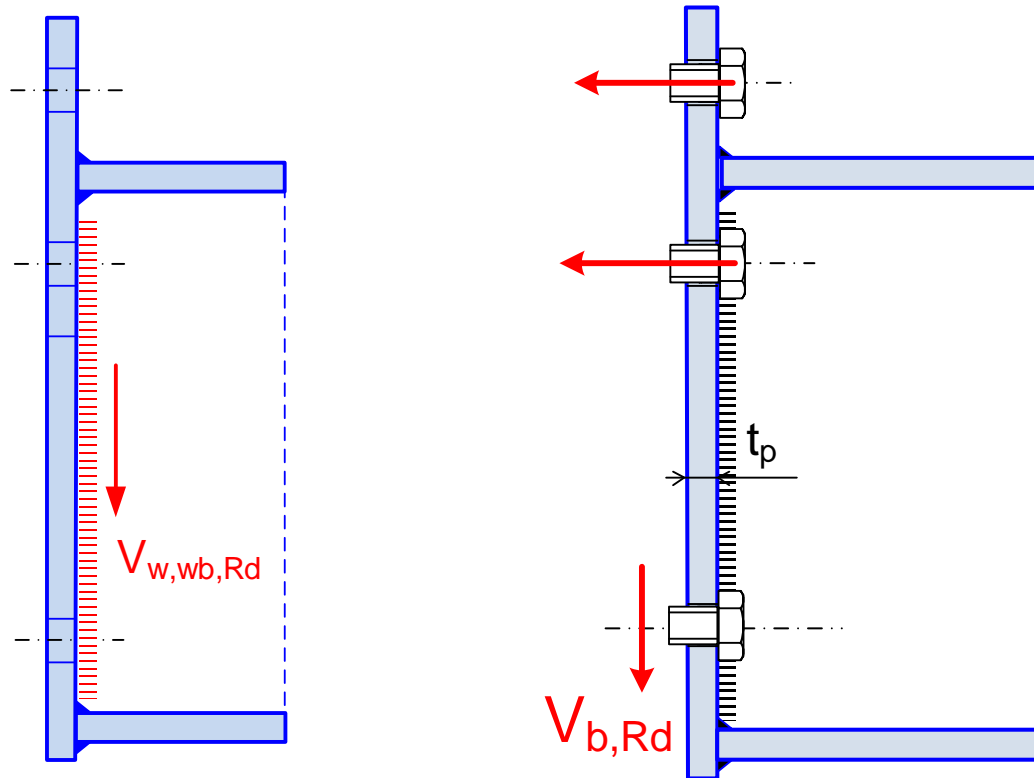
Hasta $0.286 F_{v,Rd}$

Resistencia a cortante de la unión $V_{j,Rd}$

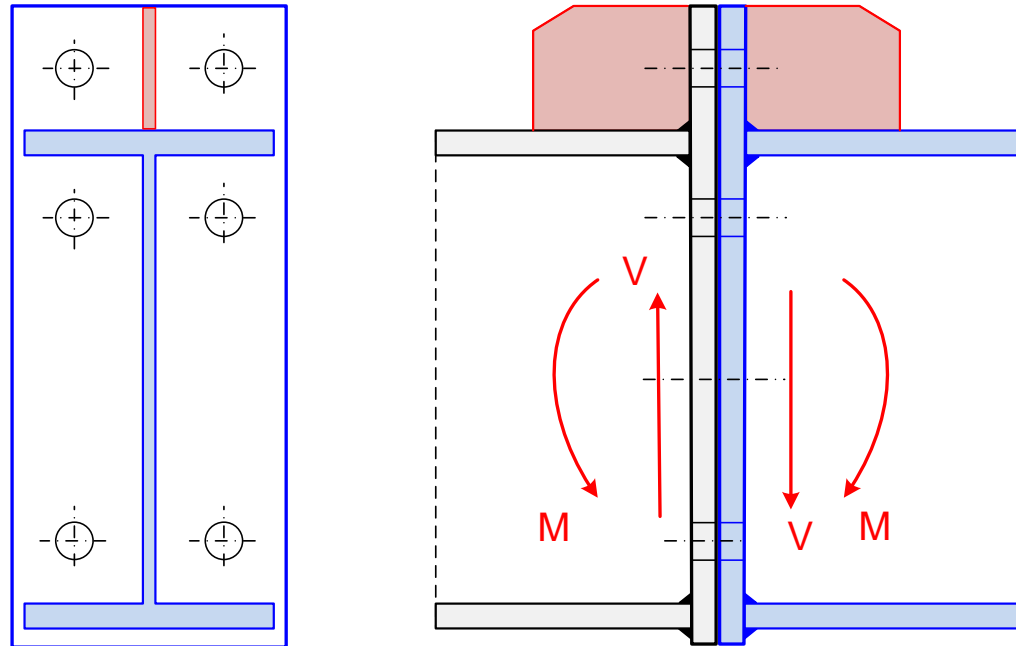
Limitada por:

la resistencia de la soldadura del alma de la viga a la chapa frontal $V_{w,wb,Rd}$,
y la resistencia de los tornillos $V_{b,Rd}$

$$V_{j,Rd} = \min(V_{w,wb,Rd}, V_{b,Rd})$$



Chapa frontal extendida rigidizada



Habitual: espesor rigidizador \approx espesor alma

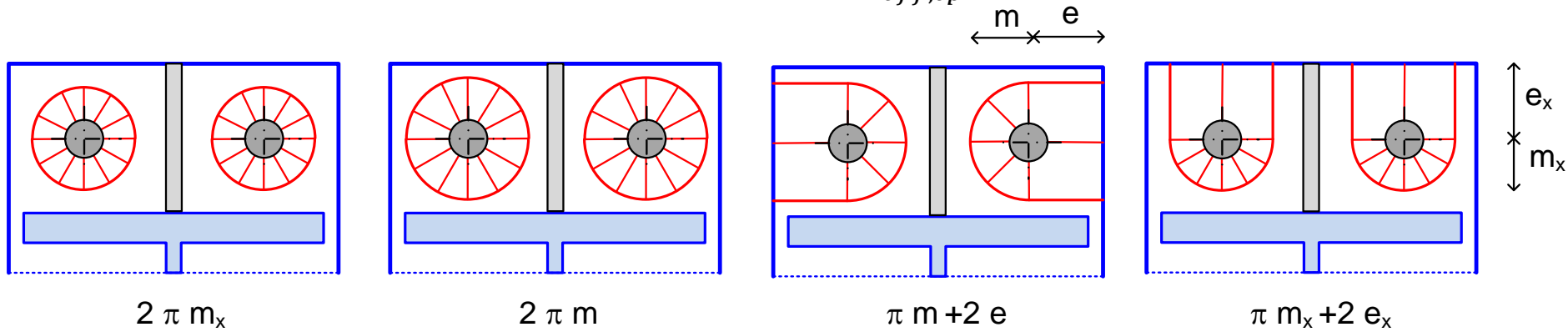
Mayor resistencia de la fila exterior

Tornillos de la fila exterior pasan a ser en rincón: mayor longitud eficaz

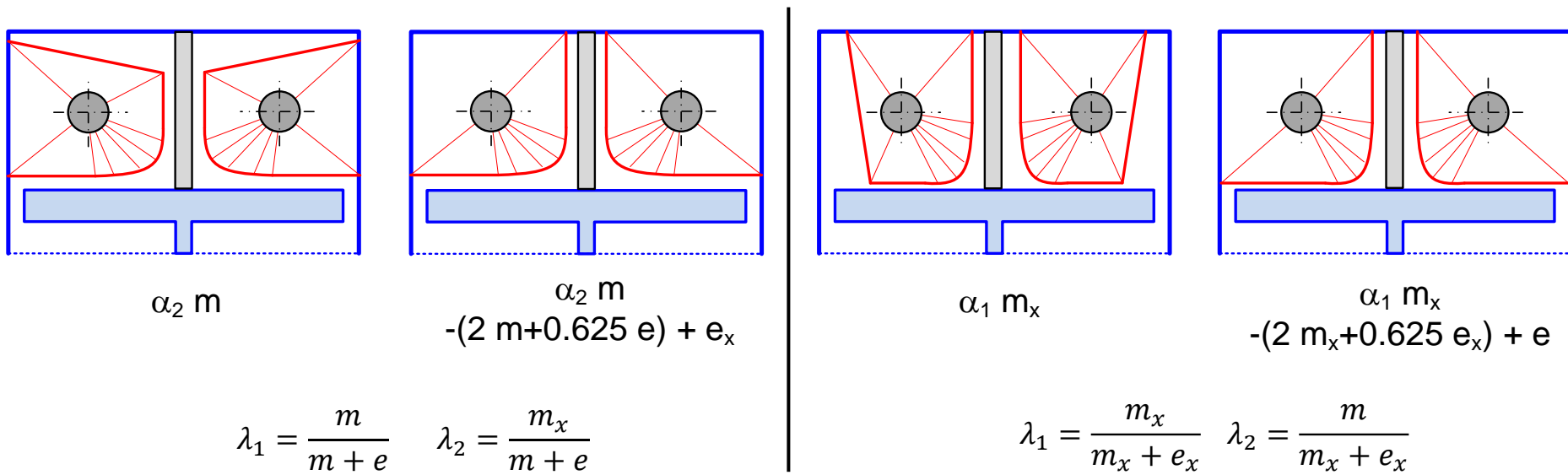
No existe la línea de rotura mínima habitual $b_p/2$

Chapa frontal extendida rigidizada. Líneas de rotura y l_{eff}

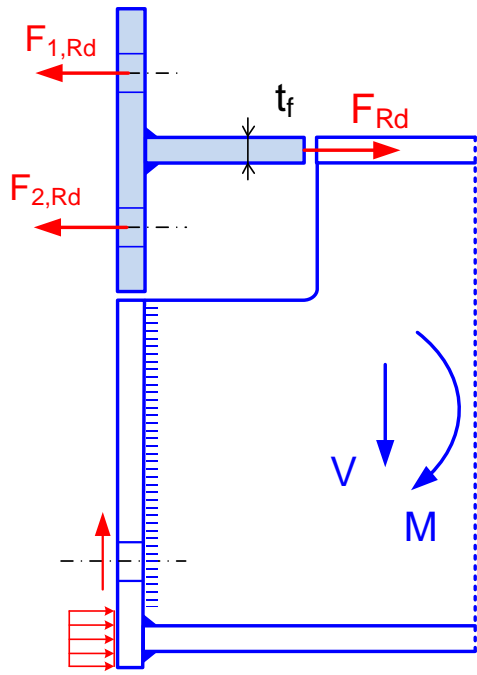
Patrones circulares $l_{eff,cp}$



Patrones no circulares $l_{eff,nc}$



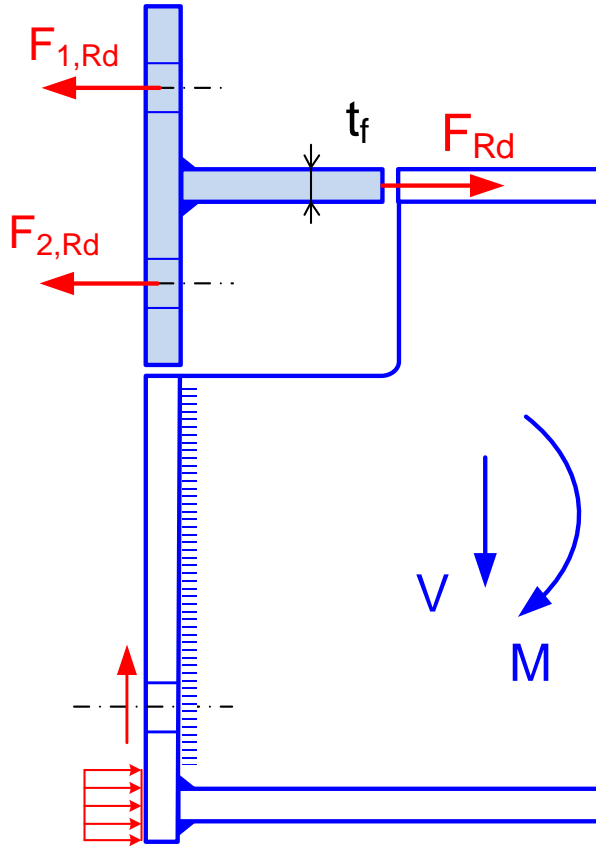
Método simplificado para uniones con chapa extendida y dos filas de tornillos a tracción



EN 1993-1-8. § 6.2.7.1 (8)
Ídem en Código Estructural
Incluido en CTE de forma similar

Método simplificado

Se efectúa un cálculo simplificado de la resistencia de la fila 2, situada bajo el ala $F_{2,Rd}$



Validez:

Dos filas de tornillos \approx equidistantes del ala

Calcular la resistencia de la fila 1 con el procedimiento estándar:

$$F_{1,Rd} \equiv F_{1,t,ep,Rd}$$

$$F_{1,t,ep,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$$

Método simplificado. Resistencia de la fila bajo el ala $F_{2,Rd}$

Se desprecia la resistencia aportada por el alma de la viga a la fila 2.

La fila 2 deja de estar en rincón

Resistencia fila 2 = Resistencia fila 1

$$F_{2,Rd} = F_{1,Rd}$$

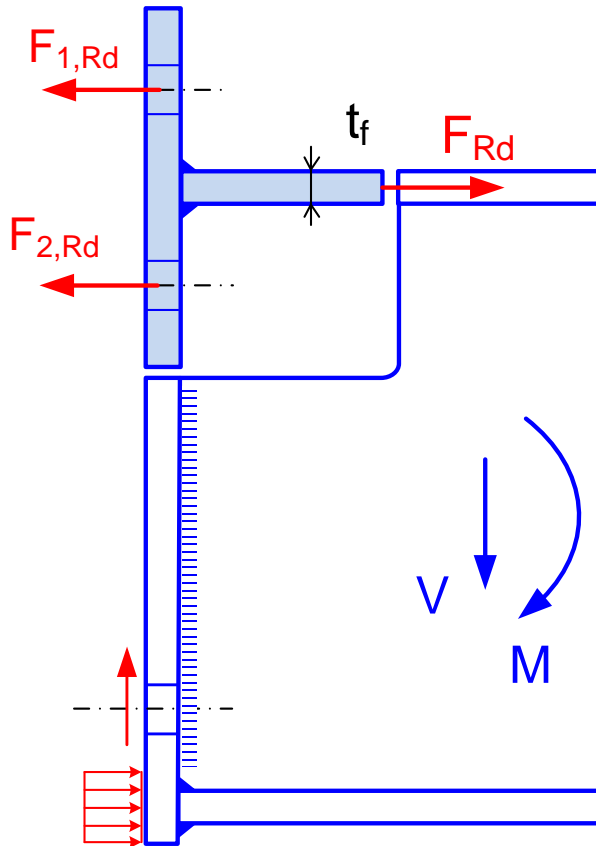
Resistencia de toda la parte superior

$$F_{Rd} = 2 F_{1,Rd}$$

Condición:

Resistencia total debe ser $F_{Rd} \leq 3.8 F_{t,Rd}$

$F_{t,Rd}$: resistencia de un tornillo



Equivale a usar un casquillo T para toda la parte superior, con 4 tornillos.

Método simplificado Resistencia de la unión a flexión sin axial

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

$$N_{Ed} \leq 0.05 N_{pl,Rd}$$

Se ha supuesto la misma resistencia para las dos filas: $F_{2,Rd} = F_{1,Rd}$

Momento de resistencia de la unión:

$$M_{j,Rd} = z \ 2 \ F_{1,Rd}$$

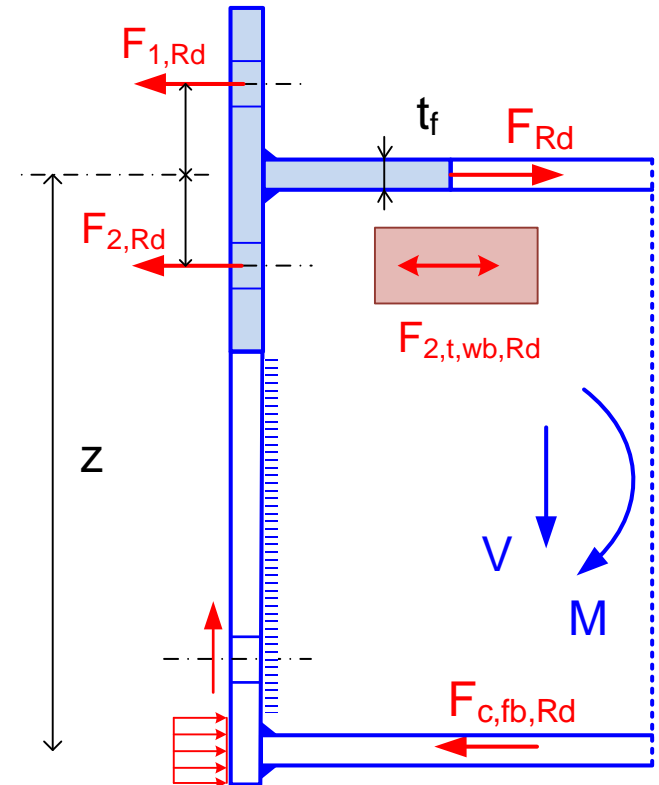
Brazo de palanca z en el centro entre las dos filas

$$z = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

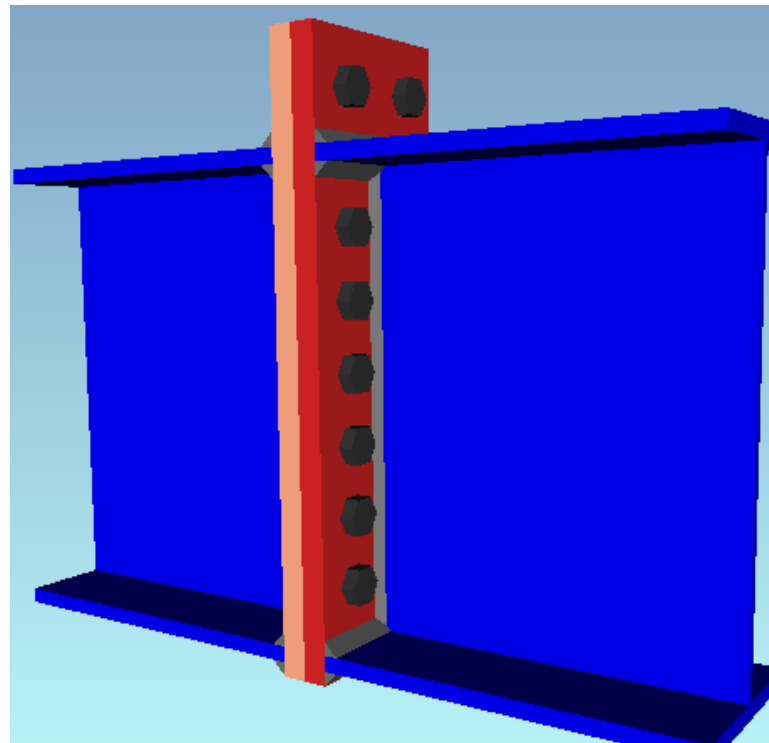
Comprobar tracción del alma en la fila bajo ala (R2)

$$F_{2,Rd} \leq F_{2,t,wb,Rd}$$

Comprobar compresión ala (R3) $F_{1,Rd} + F_{2,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$



Unión con varias filas de tornillos entre alas



Unión con varias filas de tornillos entre alas

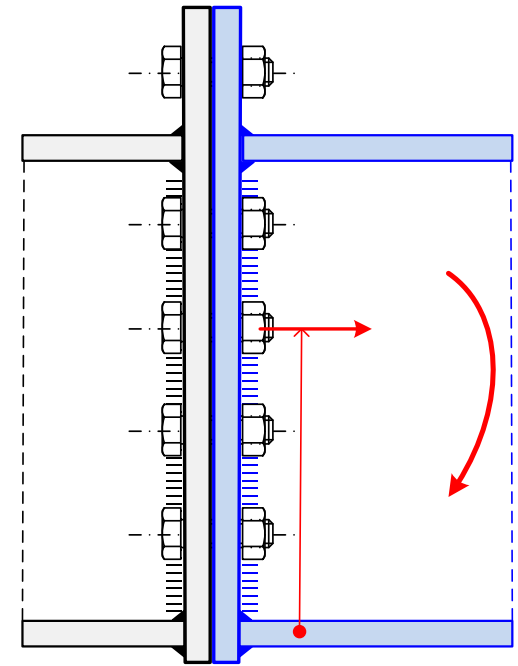
La resistencia de cada fila $F_{r,Rd}$ se debe determinar siguiendo los conceptos indicados en EN 1993-1-8, 6.2.7.2.

Ver: Cálculo de la resistencia de cada fila.
Conceptos EN 1993-1-8, 6.2.7.2

Las líneas de rotura de las filas próximas se **conectan entre si** para dar lugar a formas de rotura que agrupan varias filas (grupos).

La resistencia de una fila $F_{r,Rd}$ es la menor de dos valores:

- Resistencia como fila individual $F_{r,Rd}^{indiv}$ (como en la unión sencilla)
- Resistencia como fila participante $F_{r,Rd}^{partgrupo}$ en un grupo



Unión con varias filas de tornillos entre alas. Resistencia individual

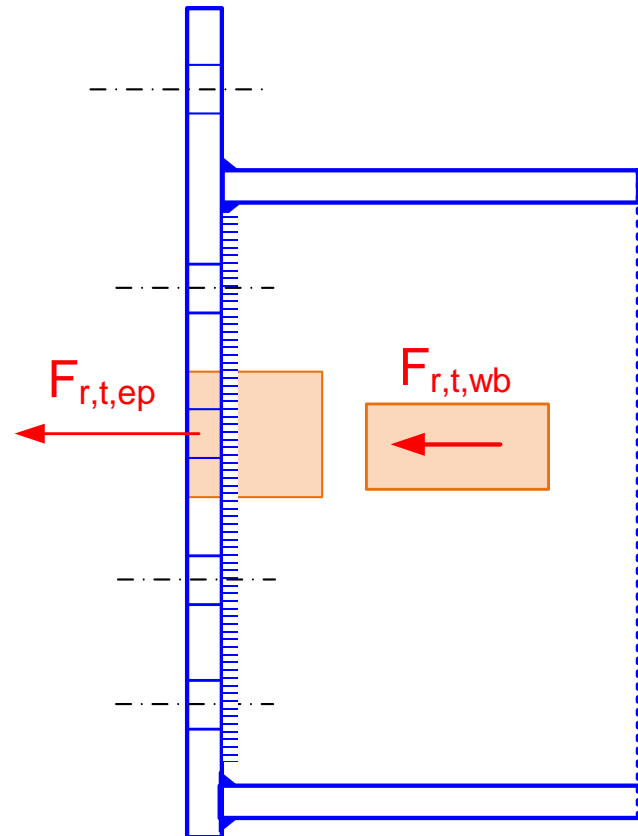
A. Resistencia individual de las filas

Determinar la resistencia de cada fila como fila individual, para los 2 efectos ep y wb

$$R1 \rightarrow F_{r,t,ep,Rd}^{indiv}$$

$$R2 \rightarrow F_{r,t,wb,Rd}^{indiv}$$

Como se hace para la unión sencilla de 2 filas



Unión con varias filas de tornillos entre alas. Grupos

Las líneas de rotura de las filas próximas se conectan entre si para dar lugar a formas de rotura que agrupan varias filas (grupos).

Las filas no se agrupan a través de las alas o rigidizadores.

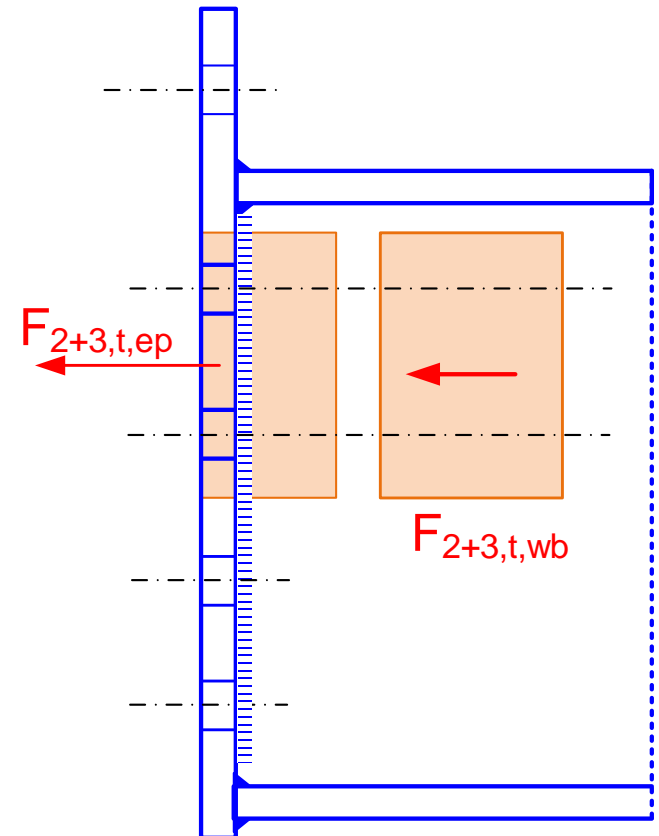
B. Resistencia de los grupos

Determinar la resistencia de todos los grupos en los que participa la fila r , para los 2 efectos: ep , wb

$$R1 \rightarrow F_{grupo,t,ep,Rd}$$

$\forall grupo$

$$R2 \rightarrow F_{grupo,t,wb,Rd}$$



Unión con varias filas de tornillos entre alas. Grupos

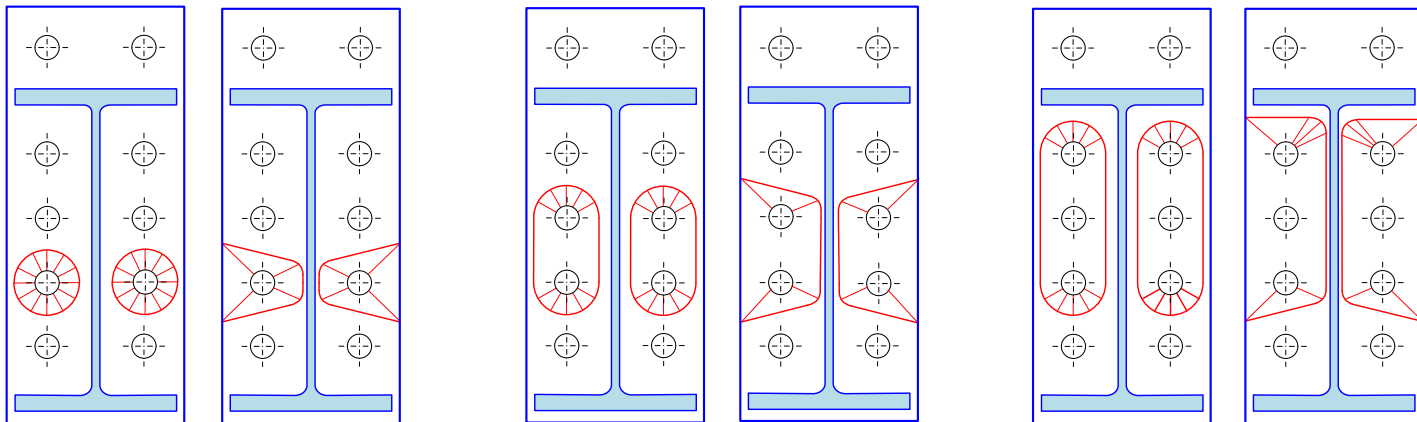
B Resistencia de los grupos

Una fila se debe agrupar de forma secuencial con todas las precedentes (situadas por encima), hasta llegar a la fila bajo ala $r = 2$.

Grupos de la fila r :

$$r, r - 1$$
$$r, r - 1, r - 2$$
$$\dots$$
$$r, r - 1, r - 2, r - 3, \dots r_{ini} = 2$$

La longitud eficaz de un grupo es la suma de longitudes eficaces de las filas, pero con unos valores específicos para el trabajo en grupo



Resistencia de la fila como participante en un grupo

C. La resistencia de la fila r como participante en un grupo es igual a:

la resistencia del grupo F_{grupo}

menos la suma de las resistencias de las filas precedentes del grupo

$$F_{r,t,ep,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,ep,Rd} - \sum_{k=r-1}^{k=r_{ini}} F_{k,Rd} \quad \forall grupo$$

$$F_{r,t,wb,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,wb,Rd} - \sum_{k=r-1}^{k=r_{ini}} F_{k,Rd} \quad \forall grupo$$

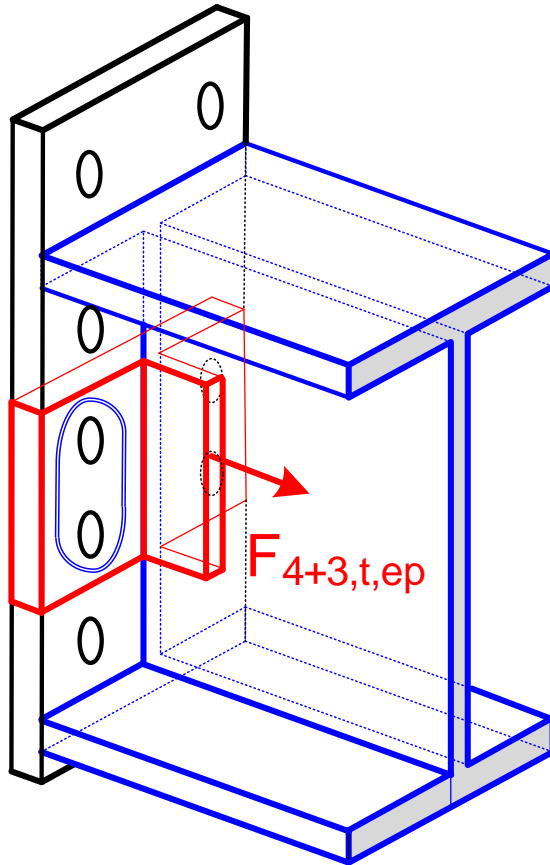
↑
Resistencia como
participante en el grupo

↑
Resistencia del
grupo

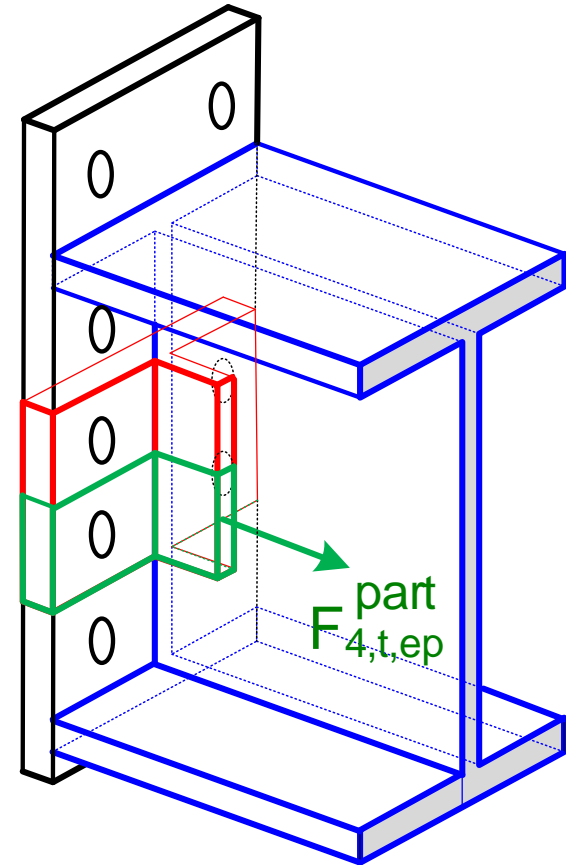
↑
Resistencia de las filas
anteriores del grupo

Para los dos efectos de resistencia: ep y wb

Resistencia del grupo
4+3



Resistencia de la fila 4 como
participante en el grupo 4+3



$$F_{4,t,ep,Rd}^{part\ grupo} = F_{grupo,t,ep,Rd} - \sum_{k=r-1}^{k=r_{ini}} F_{k,Rd}$$

Uniones con varias filas de tornillos entre alas. Resistencia de las filas

La resistencia de una fila es la menor de:

- su resistencia como fila individual y
 - su resistencia como participante en los grupos
- } Para los dos efectos (ep) y (wb)

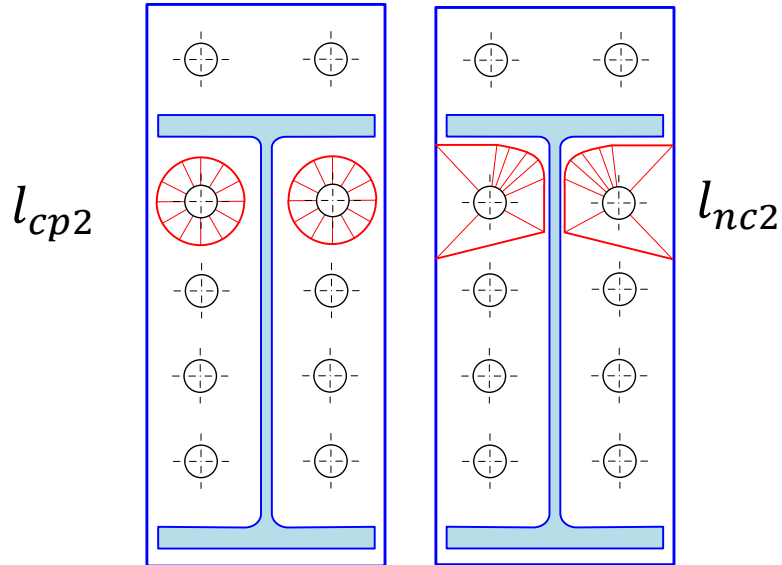
$$F_{r,Rd} = \min \begin{pmatrix} F_{r,t,ep,Rd}^{indiv} \\ F_{r,t,ep,Rd}^{partgrupo} \\ F_{r,t,wb,Rd}^{indiv} \\ F_{r,t,wb,Rd}^{partgrupo} \end{pmatrix}$$

Resistencia chapa frontal. Efecto ep

Resistencia alma. Efecto wb

Resistencia de la fila $r = 2$

Fila 2 individual



$$l_{cp2} = 2 \pi m$$

$$l_{nc2} = \alpha m$$

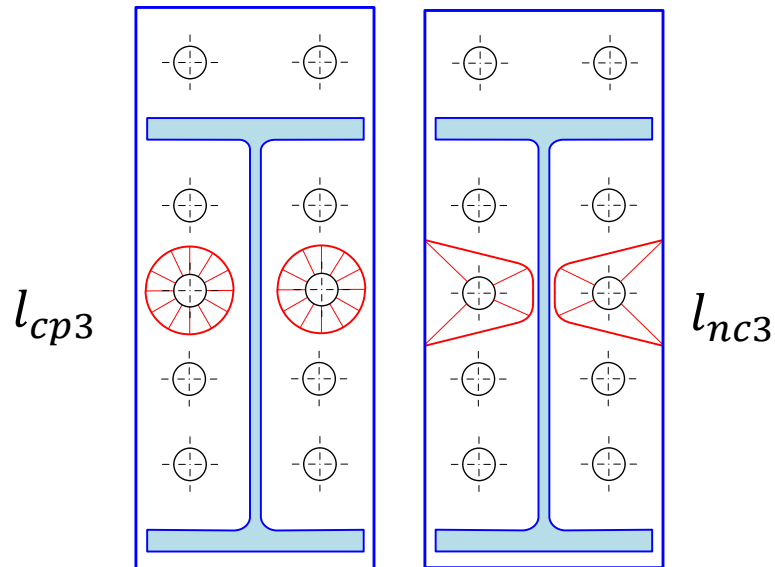
Calcular resistencia individual

$$F_{2,t,ep,Rd} \quad F_{2,t,wb,Rd}$$

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

Grupos de filas para la fila $r = 3$

Fila 3 individual

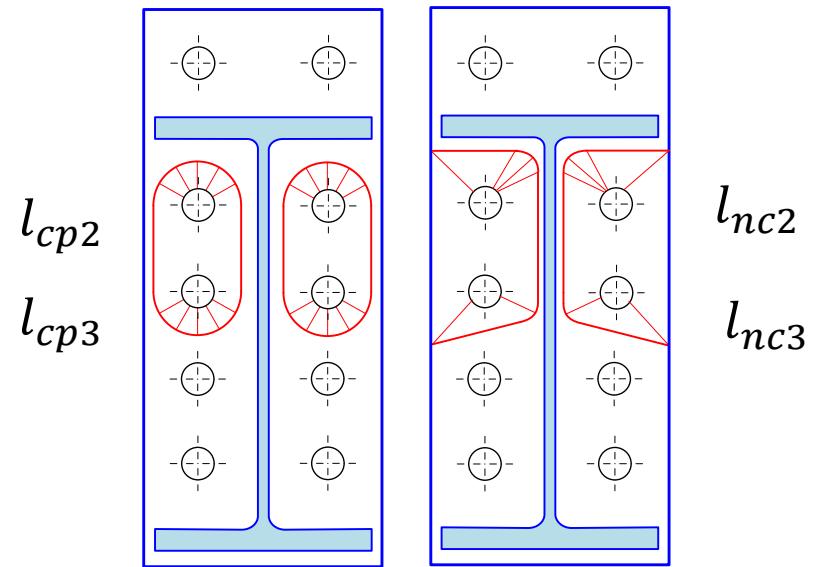


$$l_{cp3} = 2 \pi m$$

$$l_{nc3} = 4m + 1.25 e$$

Calcular resistencia individual

Grupo 3 + 2



$$l_{cp2}$$

$$l_{cp3}$$

$$l_{nc2}$$

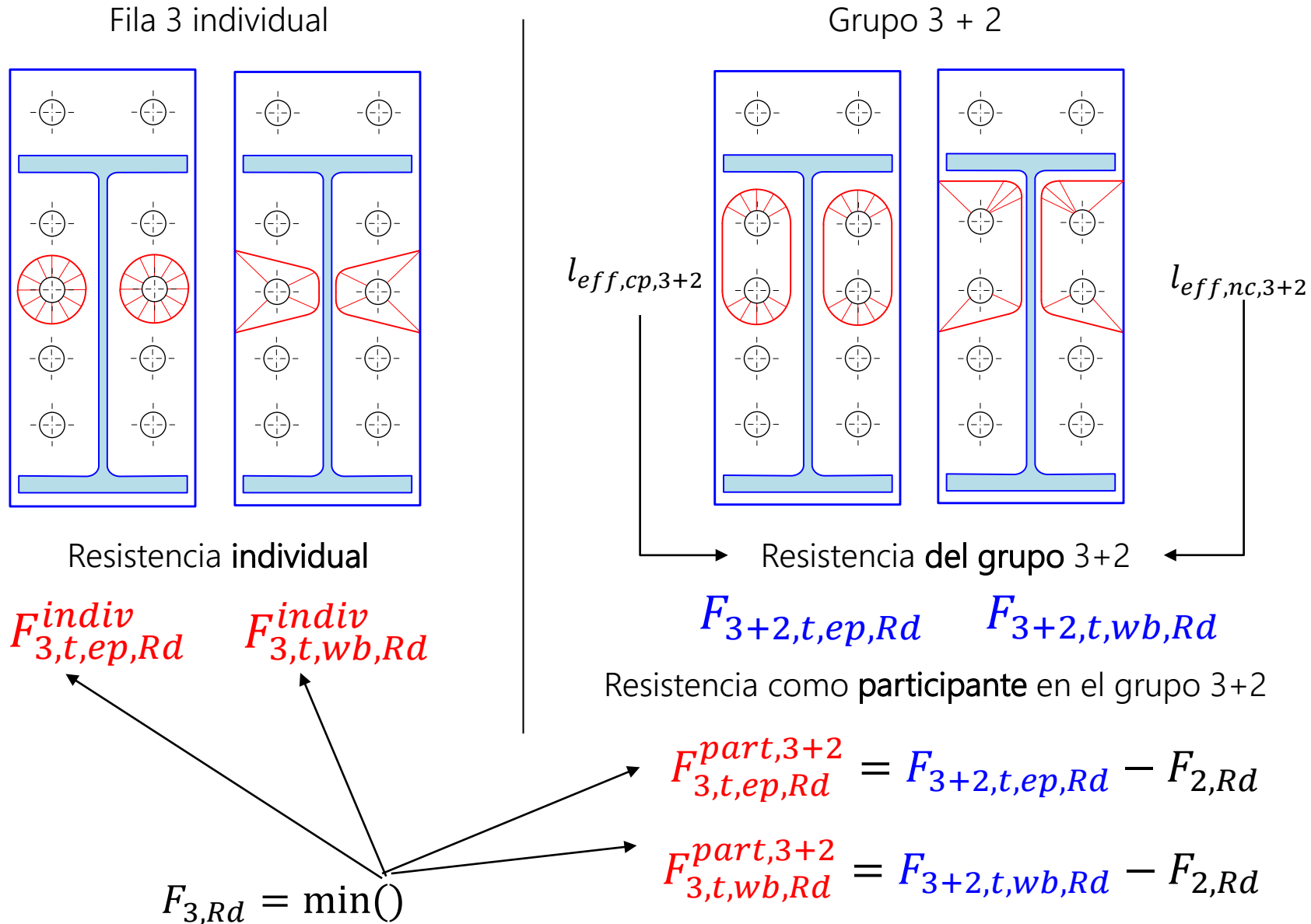
$$l_{nc3}$$

$$\left. \begin{array}{l} l_{cp2} = \pi m + p \\ l_{cp3} = \pi m + p \end{array} \right\} = l_{eff,cp,3+2}$$

$$\left. \begin{array}{l} l_{nc2} = 0.5p + \alpha m - 2m - 0.625 e \\ l_{nc3} = 2m + 0.625 e + 0.5p \end{array} \right\} = l_{eff,nc,3+2}$$

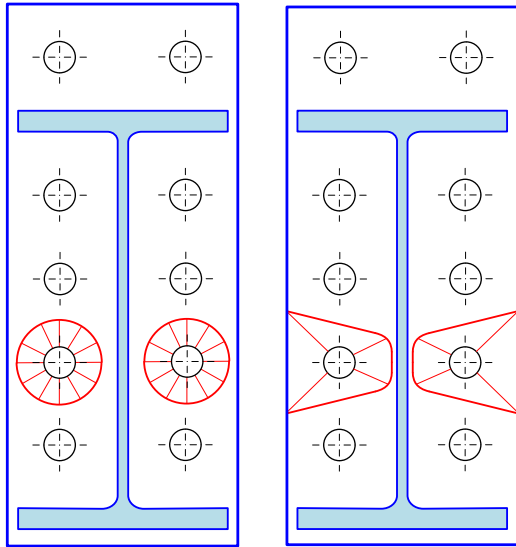
Calcular resistencia del grupo 3+2 con la suma de las longitudes eficaces

Resistencia de la fila $r = 3$



Grupos de filas para la fila $r = 4$

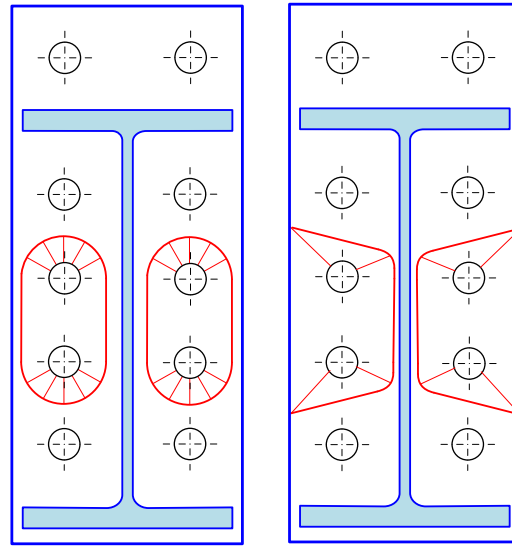
Fila 4 individual



$$l_{cp4} = 2 \pi m$$

$$l_{nc4} = 4m + 1.25 e$$

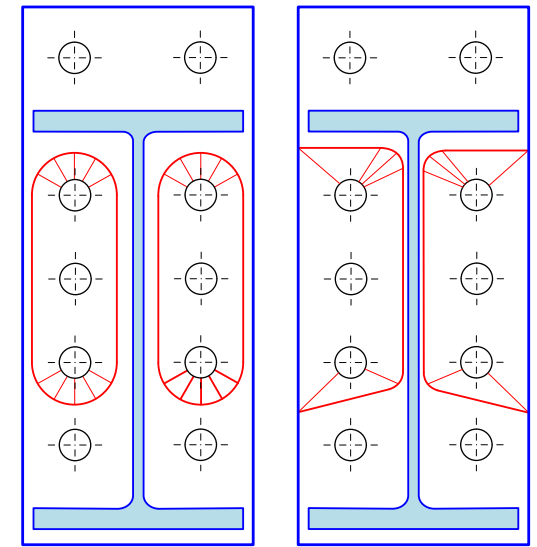
Grupo 4 + 3



$$\left. \begin{aligned} l_{cp3} &= \pi m + p \\ l_{cp4} &= \pi m + p \end{aligned} \right\} l_{eff,cp,4+3}$$

$$\left. \begin{aligned} l_{nc3} &= 2m + 0.625 e + 0.5p \\ l_{nc4} &= 2m + 0.625 e + 0.5p \end{aligned} \right\} l_{eff,nc,4+3}$$

Grupo 4 + 3 + 2

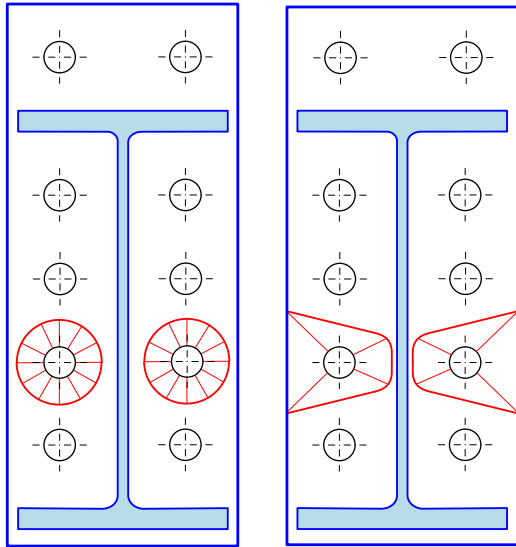


$$\left. \begin{aligned} l_{cp2} &= \pi m + p \\ l_{cp3} &= 2p \\ l_{cp4} &= \pi m + p \end{aligned} \right\} l_{eff,cp,4+3+2}$$

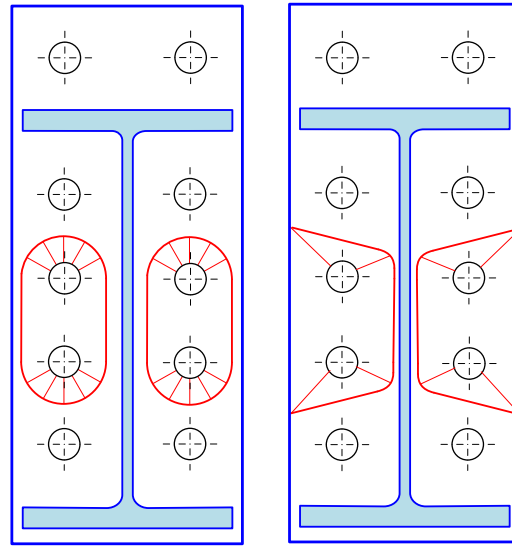
$$\left. \begin{aligned} l_{nc2} &= 0.5p + \alpha m - 2m - 0.625 e \\ l_{nc3} &= p \\ l_{nc4} &= 2m + 0.625 e + 0.5p \end{aligned} \right\} l_{eff,nc,4+3+2}$$

Resistencia de la fila $r = 4$

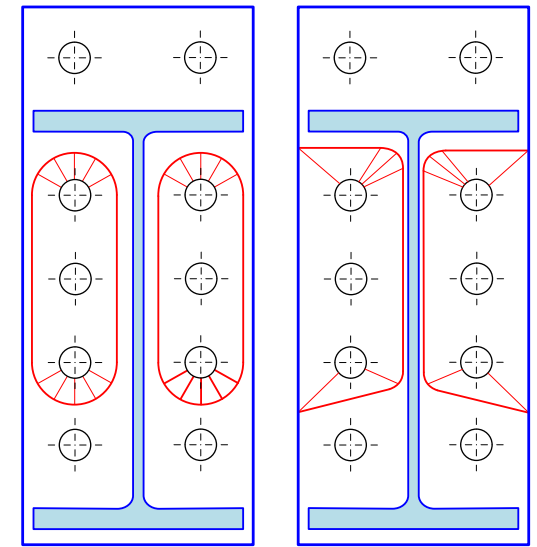
Fila 4 individual



Grupo 4 + 3



Grupo 4 + 3 + 2



Grupo 4+3

$$F_{4+3,t,ep,Rd}$$

Participante en el grupo 4+3

$$F_{4,t,ep,Rd}^{part,4+3} = F_{4+3,t,ep,Rd} - F_{3,Rd}$$

Grupo 4+3+2

$$F_{4+3+2,ep,Rd}$$

Participante en el grupo 4+3+2

$$F_{4,t,ep,Rd}^{part,4+3+2} = F_{4+3+2,t,ep,Rd} - F_{2,Rd} - F_{3,Rd}$$

Individual:

$$F_{4,t,ep,Rd}^{indiv}$$

$$F_{4,Rd} = \min()$$

Resistencia de la fila $r=4$

Individual:

$$F_{4,t,ep,Rd}^{indiv}$$

$$F_{4,t,wb,Rd}^{indiv}$$

Grupo 4 + 3

$$F_{4,t,ep,Rd}^{part,4+3} = F_{4+3,t,ep,Rd} - F_{3,Rd}$$

$$F_{4,t,wb,Rd}^{part,4+3} = F_{4+3,t,wb,Rd} - F_{3,Rd}$$

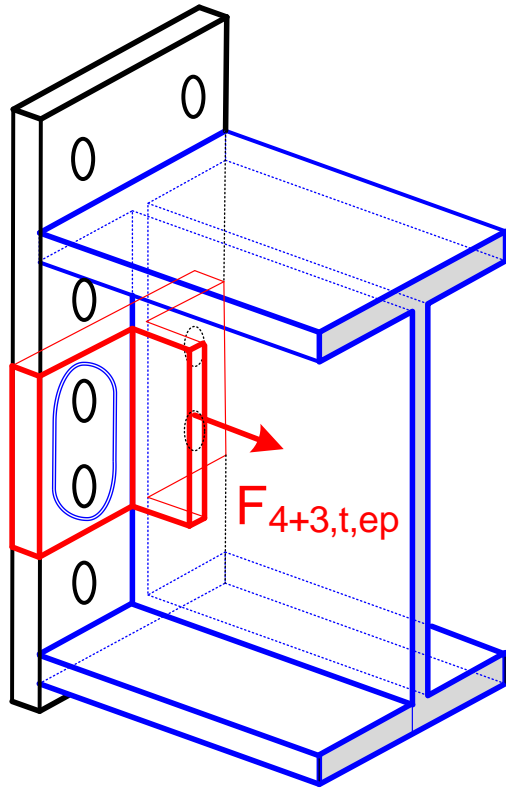
Grupo 4 + 3 + 2

$$F_{4,t,ep,Rd}^{part,4+3+2} = F_{4+3+2,t,ep,Rd} - F_{2,Rd} - F_{3,Rd}$$

$$F_{4,t,wb,Rd}^{part,4+3+2} = F_{4+3+2,t,wb,Rd} - F_{2,Rd} - F_{3,Rd}$$

$$F_{4,Rd} = \min()$$

Resistencia del grupo 4+3 como casquillo T



Modo 3

$$F_{T3,Rd} = \sum_1^4 F_{t,Rd}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff,nc,4+3} t^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = l_{nc4} + l_{nc3}$$

Modo 2

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1,4+3} t^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = \min(l_{nc,4+3}, l_{cp,4+3})$$

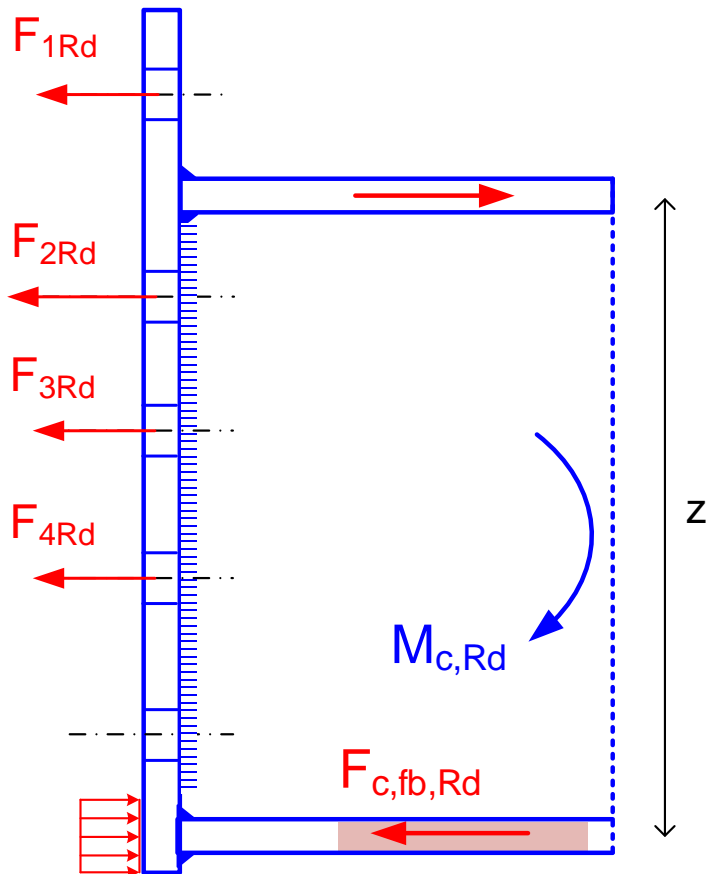
Modo 1

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

Resistencia del grupo 4+3: $F_{4+3,t,ep,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$

R3 Reducción por máxima compresión en el ala de la viga

La suma de las resistencias de todas las filas debe ser menor que la resistencia máxima a compresión del ala de la viga.



$$\sum_r F_{r,Rd} \leq F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{z}$$

$M_{c,Rd}$ Momento resistente a flexión de la viga:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clases 1 y 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clase 3}$$

Para cumplir con esta limitación, se debe reducir la resistencia de las filas, empezando por la última (más inferior) y siguiendo hacia las superiores, para no superar la resistencia a compresión del ala

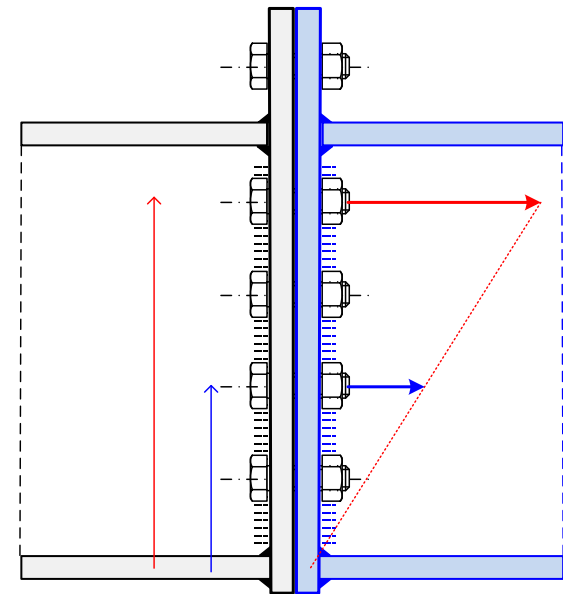
Reducción final lineal de la resistencia de las filas (1)

Para que se pueda alcanzar la resistencia total en más de una fila de tornillos se requiere que **exista ductilidad suficiente en las filas más alejadas del centro de compresiones**, a fin de permitir los reajustes plásticos.

Si la resistencia depende de la deformación de la T a flexión (modos 1 y 2), o del alma, normalmente existe ductilidad suficiente, y se alcanza la resistencia total de las filas, ya calculada. Si la T **falla en modo 3** (por los tornillos a tracción) la **limitada capacidad de deformación de los tornillos** no permite la redistribución plástica de las fuerzas en las filas inferiores.

Para cumplir esto, EN 1993-1-8 §6.2.7.2 (9) **exige limitar la resistencia** calculada para las filas, de tal forma que la fuerza en cualquier fila inferior no puede exceder un valor proporcional a su distancia al centro de compresiones.

Refiere al AN para más información. El AN no añade nada.



Reducción final lineal de la resistencia de las filas (2)

Si una fila cualquiera x falla en modo 3, no tiene ductilidad suficiente, y no se puede asumir una distribución plástica de las fuerzas en las filas inferiores: es necesario limitar su fuerza.

Se considera que esto ocurre cuando la fila x tiene una resistencia $F_{x,Rd}$ mayor que $1.9 F_{t,Rd}$: en ese caso se debe disminuir de forma lineal la resistencia de todas las filas que están debajo de ella.

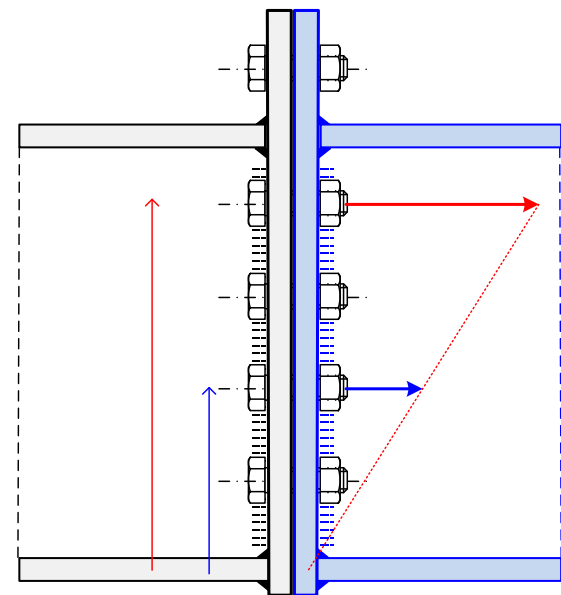
$$F_{x,Rd} > 1.9 F_{t,Rd}$$

↓

$$F_{r,Rd} = F_{x,Rd} \frac{h_r}{h_x} \quad r > x$$

$F_{t,Rd}$: resistencia de un tornillo a tracción

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



Resistencia de la unión a flexión sin esfuerzo axial $M_{j,Rd}$

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

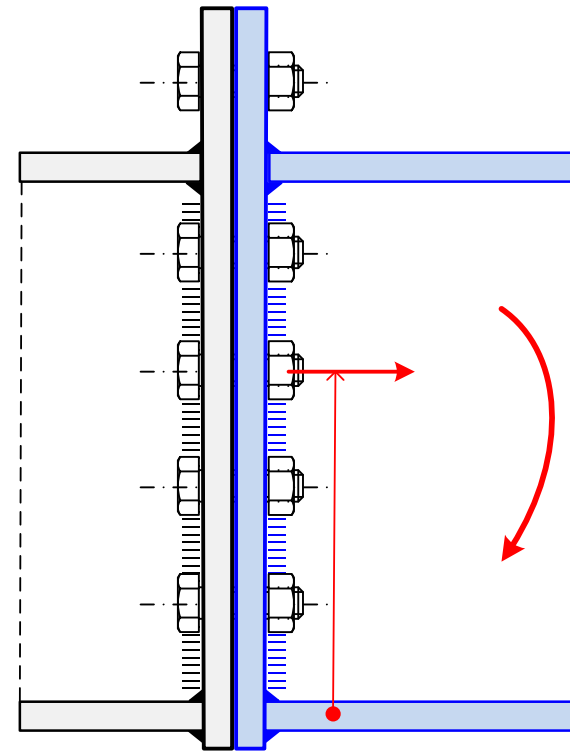
$$N_{Ed} \leq 0.05 A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Momento de resistencia de la unión
(EN 1993-1-8 6.2.7.2):

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

$F_{r,Rd}$ resistencia eficaz de la fila de tornillos r

h_r distancia al centro de compresiones

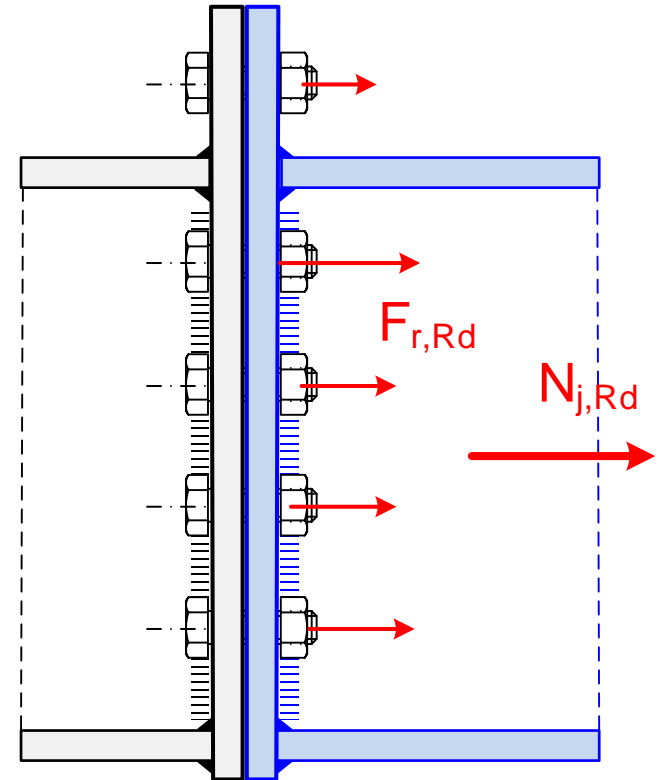


Resistencia de la unión a tracción sin momento $N_{j,Rd}$

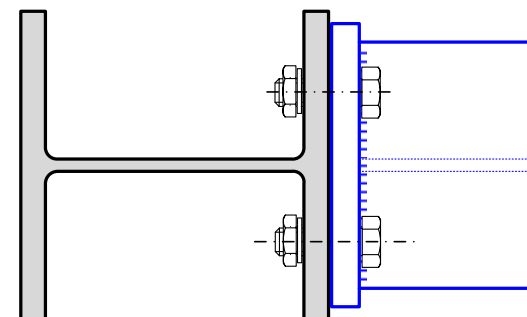
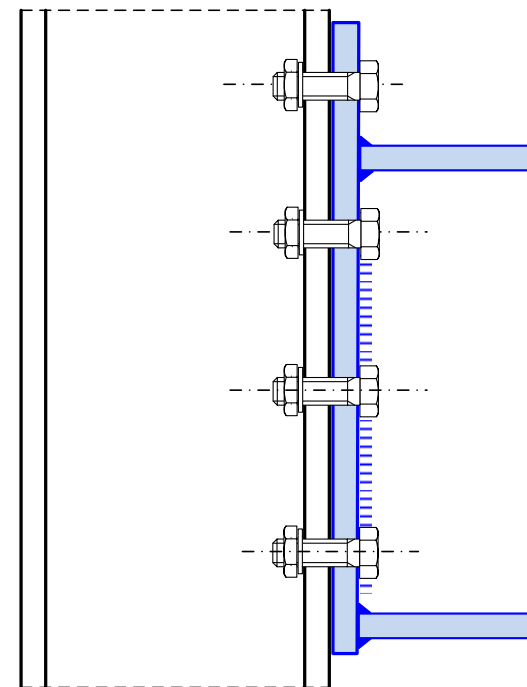
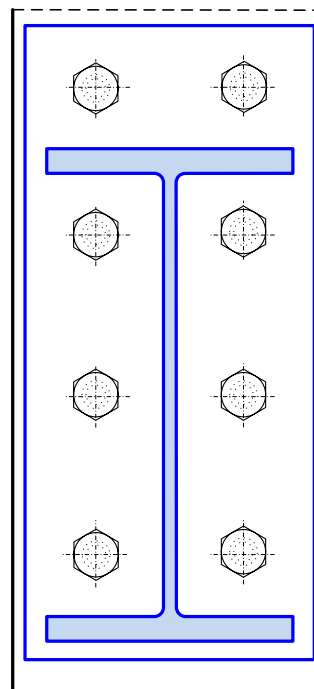
El EC3 no define cómo se calcula esta resistencia de la unión a tracción

Razonable:
$$N_{j,Rd} \approx \sum F_{r,Rd}$$

Se debe considerar la resistencia de cada fila en los efectos R1 y R2, **sin hacer la reducción por compresión en el ala R3, ni la reducción lineal final**, que sólo se aplican cuando se transmite momento



Unión rígida viga – poste con chapa frontal atornillada



Unión rígida viga – poste con chapa frontal atornillada

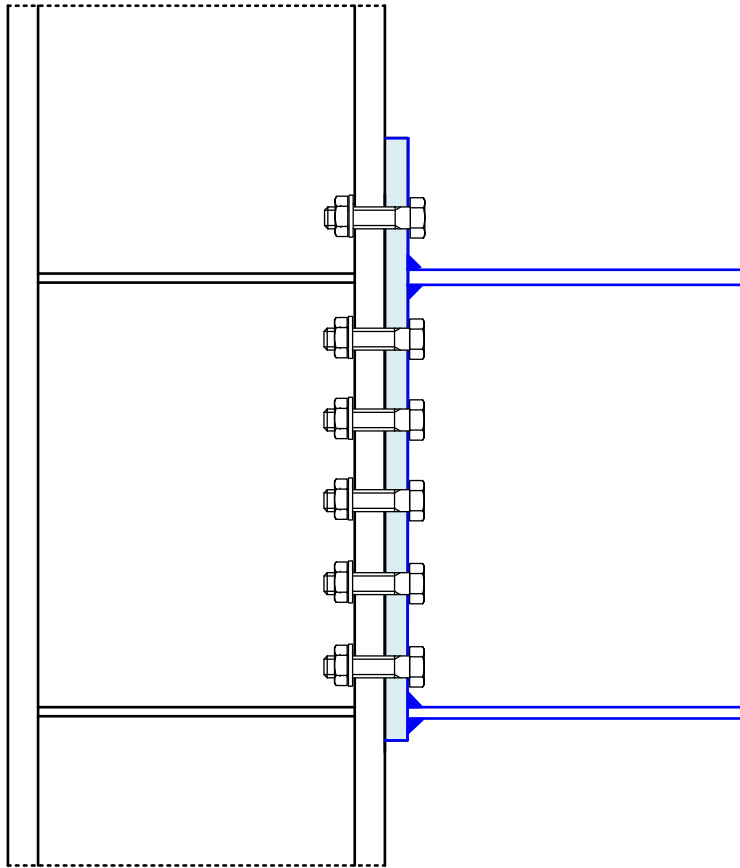
Normativa

- EN 1993-1-8 § 6.2
- Código Estructural: Anejo 26 § 6.2
- CTE: DB SE-A § 8.8.6

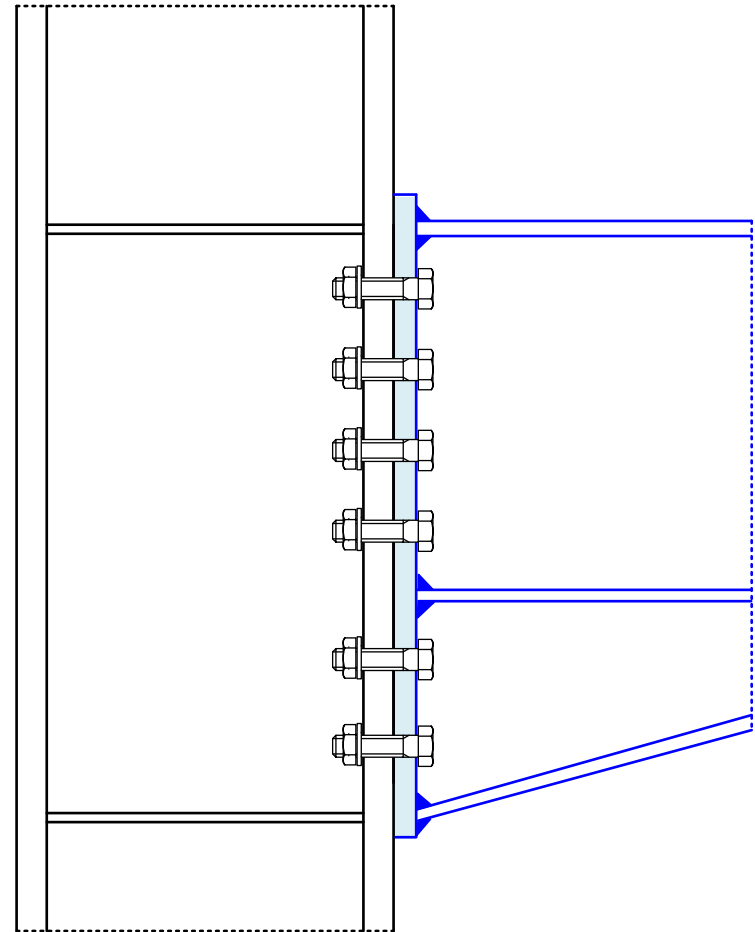
Información

- *Design of Joints in Steel and Composite Structures*, J. P. Jaspart, K. Weynand, Wiley, 2016
- *STEEL BUILDINGS IN EUROPE Single-Storey Steel Buildings, Part 11: Moment Connections*, Arcelor Mittal, <https://sections.arcelormittal.com>
- *Joints in Steel Construction. Moment-Resisting Joints to Eurocode*, Steel Construction Institute, Publication P398, <https://steel-sci.com>
- *Software Platine X - Assemblages par platine d'about*, CTICM, www.cticm.com

Nudos de planta para pórticos ortogonales

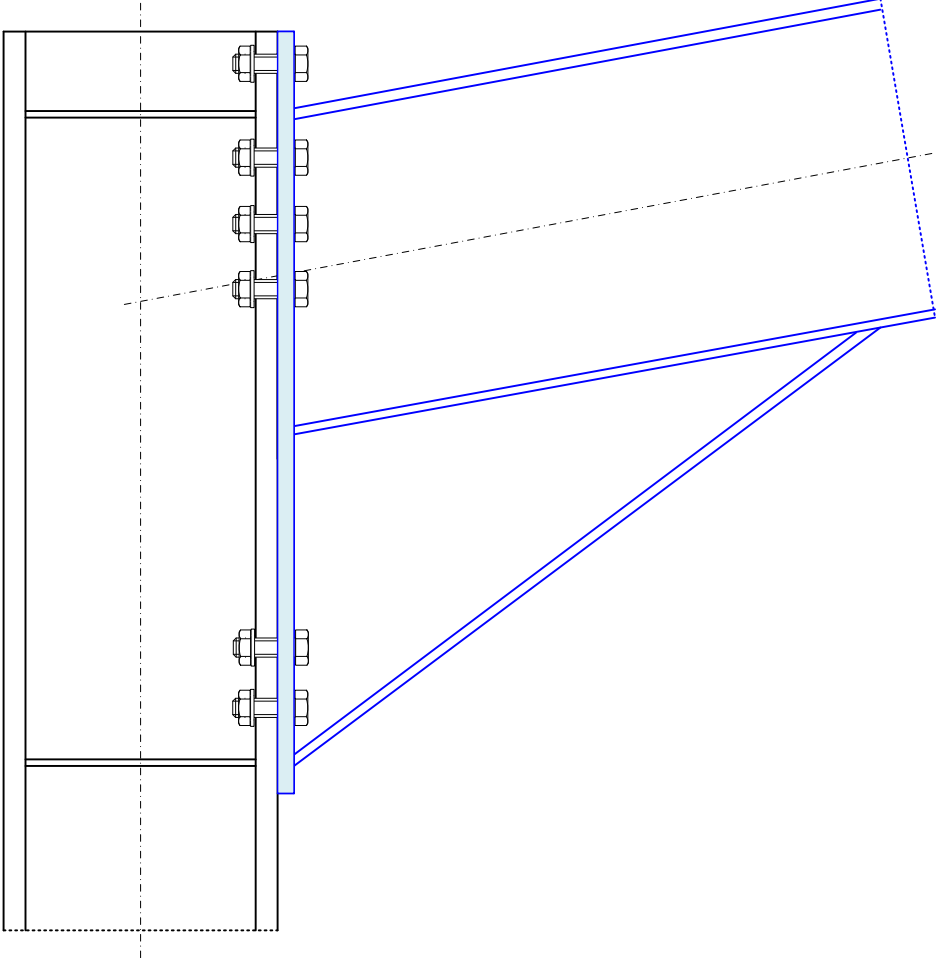
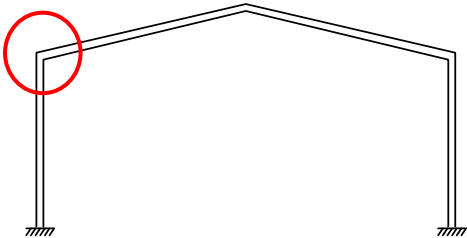
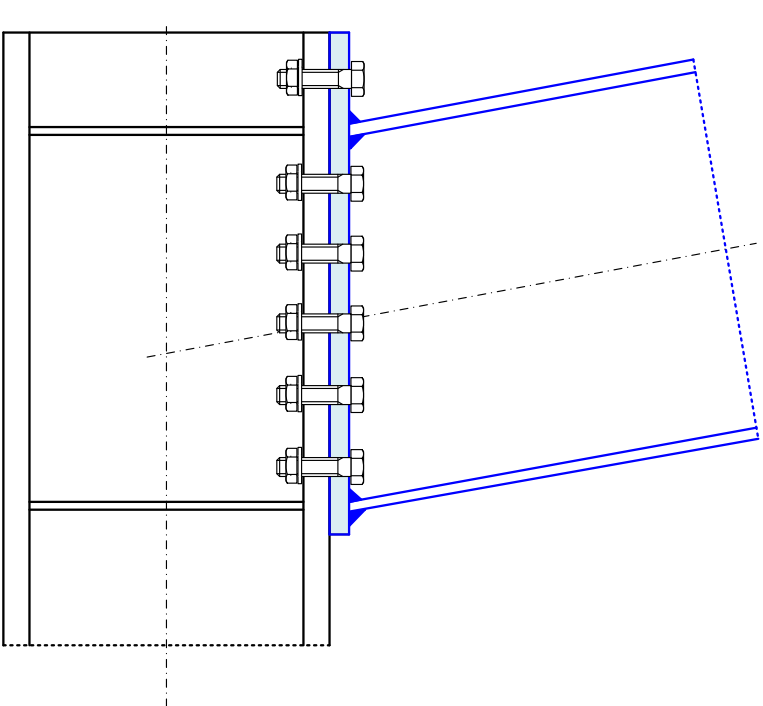


Nudo con chapa extendida
y poste rigidizado



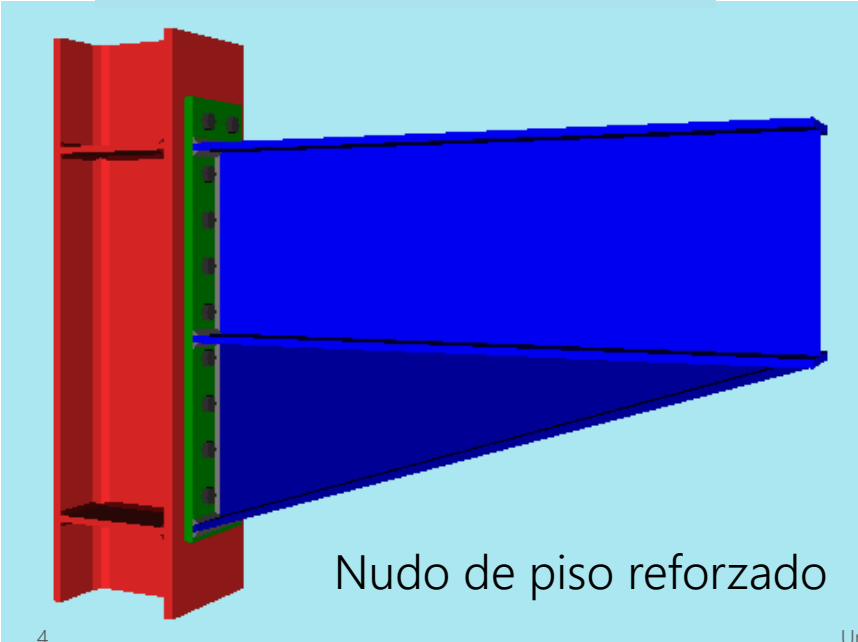
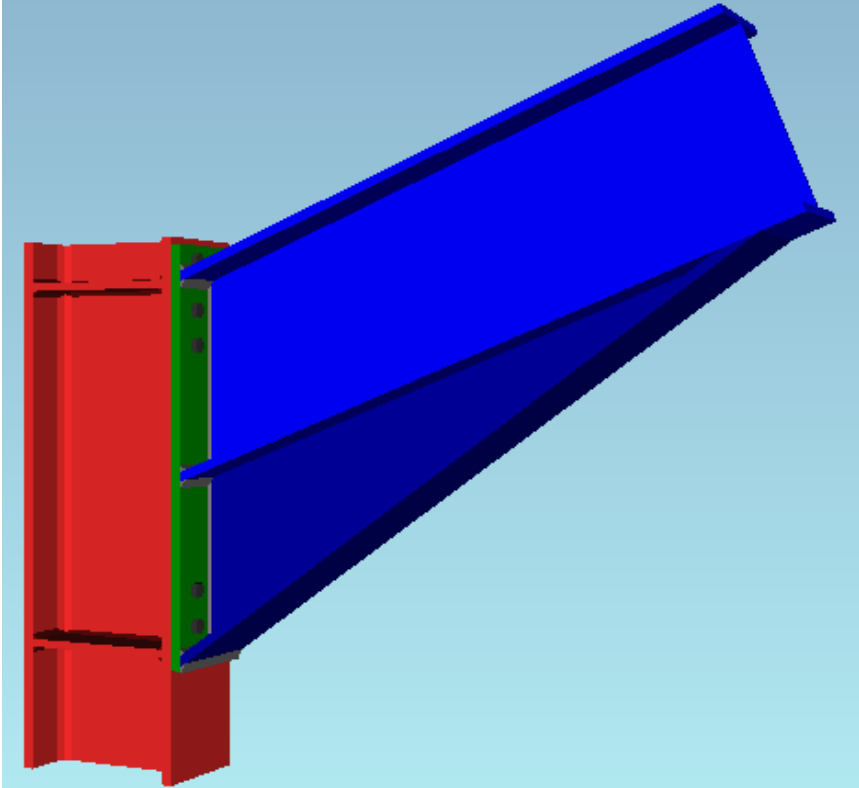
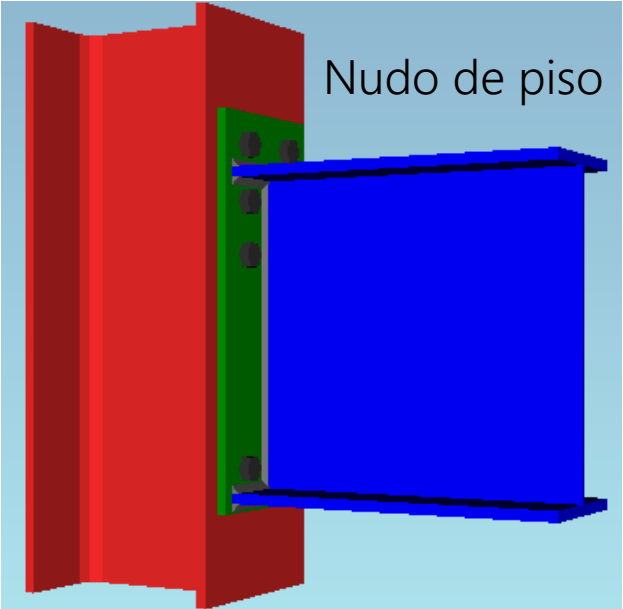
Nudo con viga reforzada
y poste rigidizado

Nudos de hombro para naves



Nudo con dintel reforzado

Ejemplos



Nudo de hombro reforzado

Nudo de piso reforzado

Unión viga – poste con chapa frontal

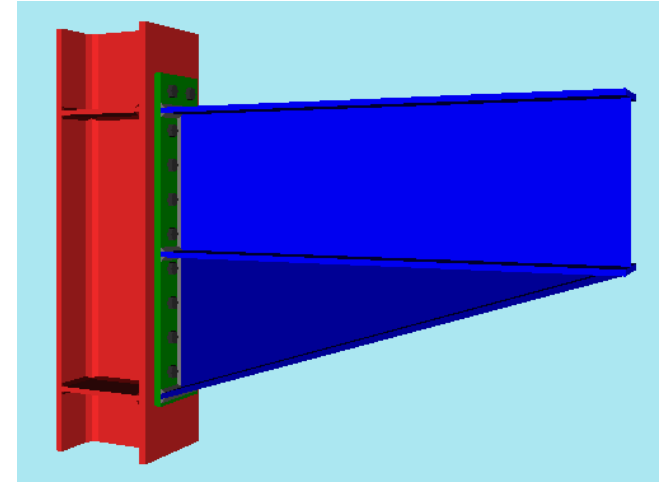
Componentes:

Viga y chapa frontal soldada a ella.

Poste: ala atornillada a la chapa frontal.

Rigidizadores en el poste, si son necesarios.

Refuerzo inferior en la viga, opcional, para grandes momentos flectores.



Transmite M, V, N . Representa un empotramiento entre la viga y el poste, aunque no perfecto: tiene cierta flexibilidad

Para resistir momento y axial sólo son eficaces dos columnas de tornillos, salvo chapas muy gruesas o estudios especiales. Resto de tornillos para absorber cortante.

No recomendada para esfuerzos de fatiga

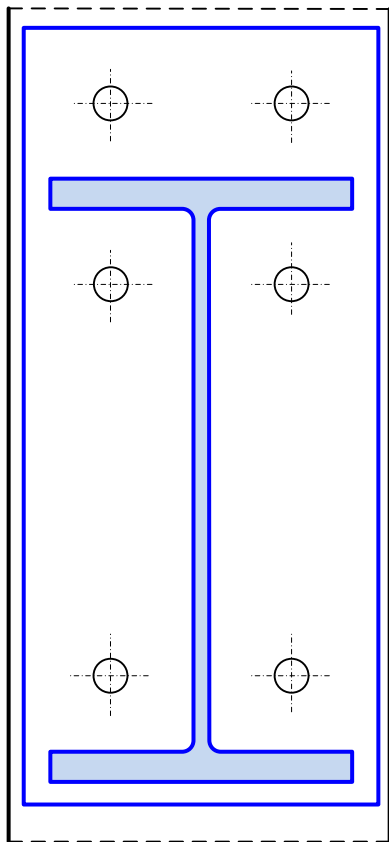
Unión viga – poste con chapa frontal sencilla habitual

Sólo **2 filas de tornillos de tracción**, equidistantes del ala.

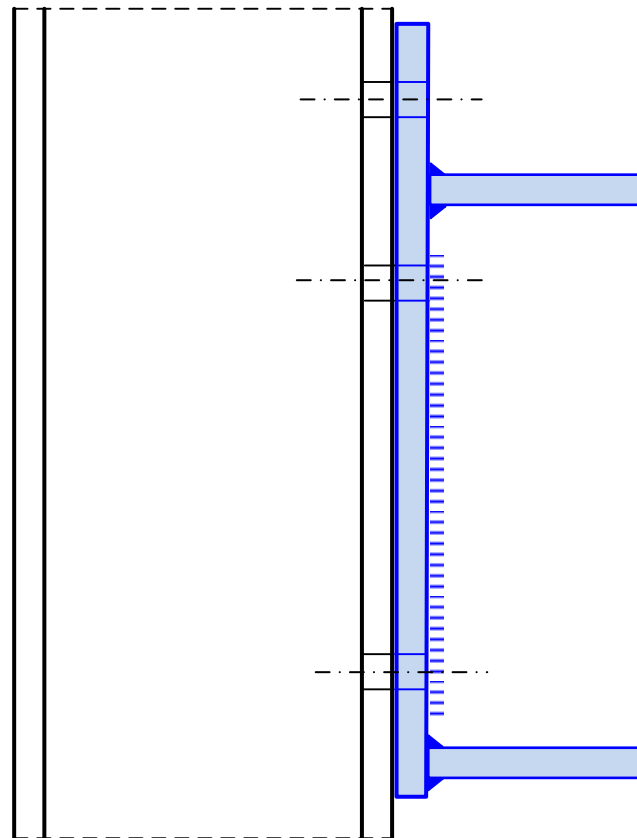
Una fila de tornillos inferior para absorber cortante.

Poste sin rigidizadores de alma

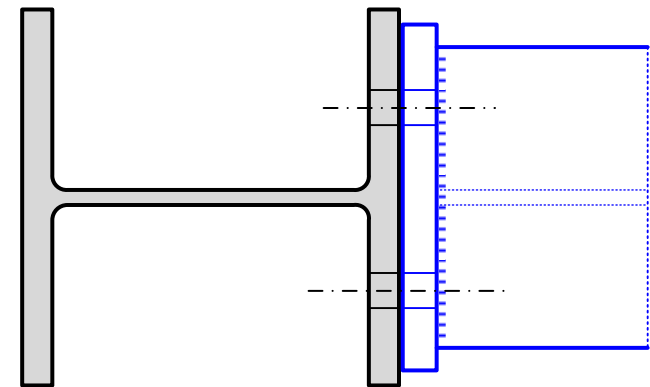
Similar a la unión viga – viga con chapa frontal + comportamiento del poste



Frente

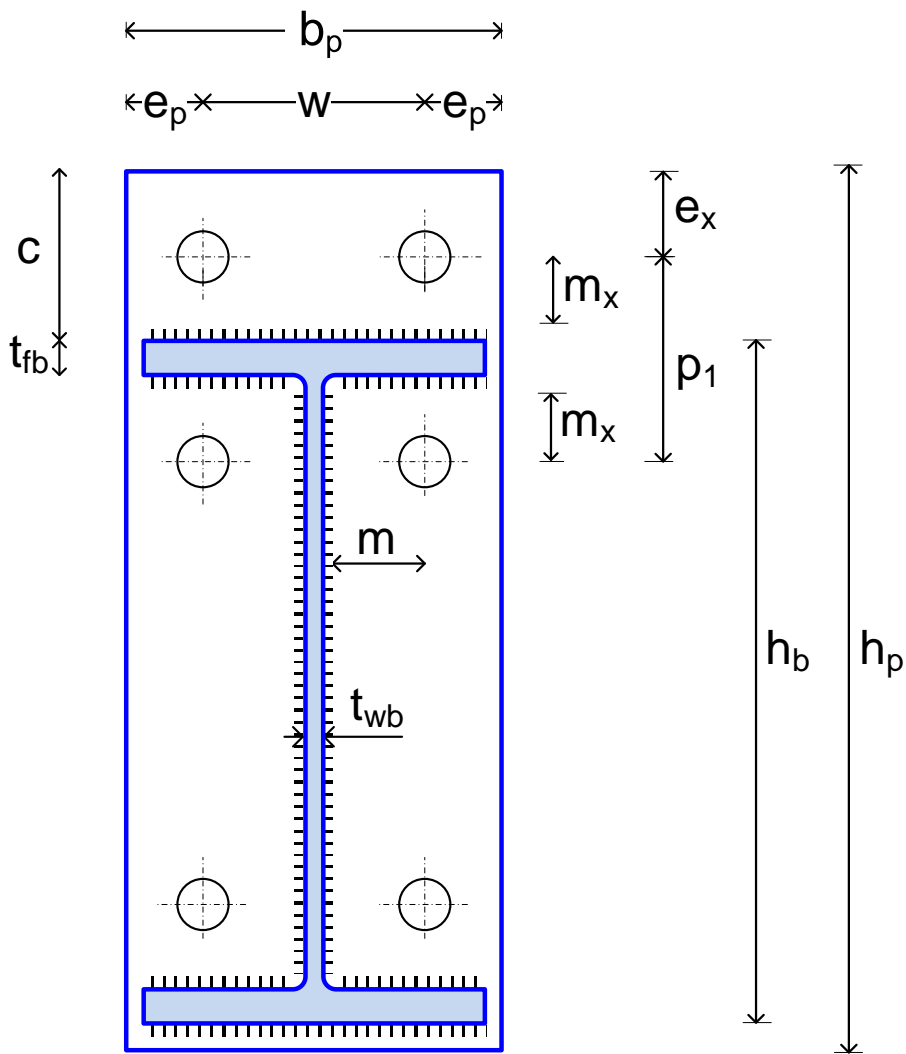


Alzado



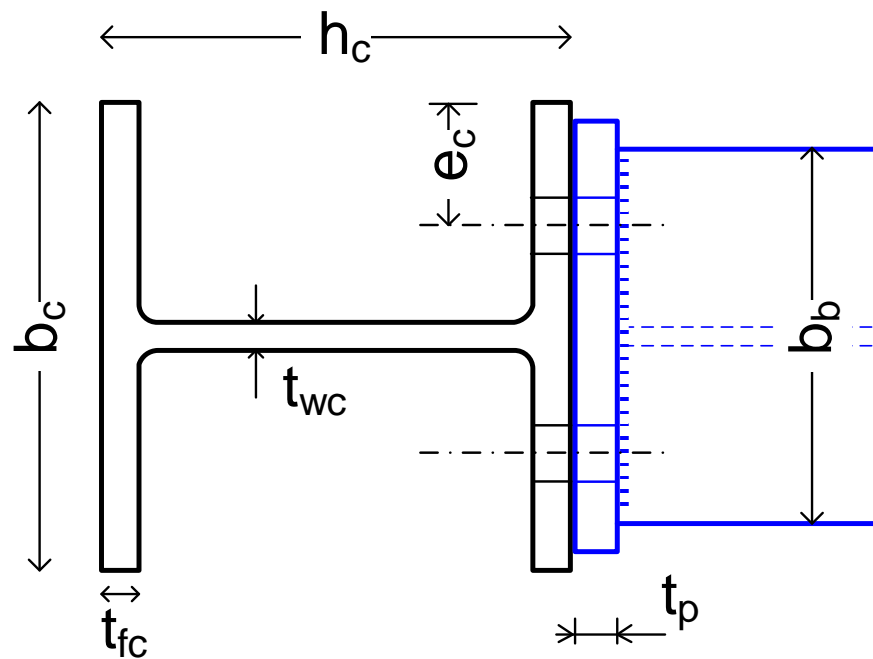
Planta

Unión viga – poste con chapa frontal sencilla habitual



Frente

Subíndices
b: viga, *c*: columna, *p*: chapa



Planta

Método de los componentes

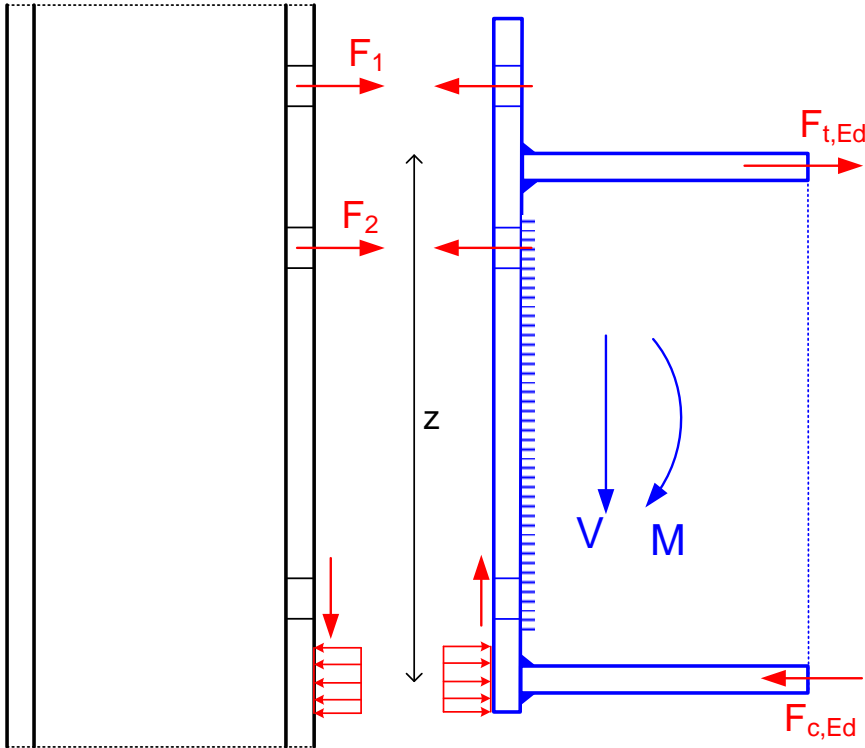
- La unión es una combinación de componentes básicos individuales.
- Cada componente tiene una resistencia a tracción, compresión, flexión o cortante. Estos esfuerzos pueden coexistir en un componente.
- Proceso:
 - Identificación de los componentes activos para el esfuerzo a transmitir
 - Cálculo de la resistencia de cada componente individual F_{Rd}
 - Ensamblado de los componentes para evaluar la resistencia de la unión.
- Componentes básicos definidos en EN 1993-1-8 Tabla 6.1

Unión viga-poste con chapa frontal. Transmisión de esfuerzos

Momento flector equivale a dos fuerzas en las alas:

Si no hay fuerza axial, son iguales

$$F_{t,Ed} = F_{c,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}}$$



- Fuerza de tracción $F_{t,Ed}$ soportada por las filas de tornillos superiores y su T de tracción
- Fuerza de compresión $F_{c,Ed}$ absorbida por contacto en la zona inferior
- Cortante absorbido por los 2 tornillos inferiores

Centro de compresiones: en el eje del ala comprimida

Brazo de palanca z : distancia del centro de compresiones al punto intermedio entre las dos filas de tornillos

Comprobaciones de resistencia de componentes básicos

Para cada fila de tornillos y cada grupo de filas:

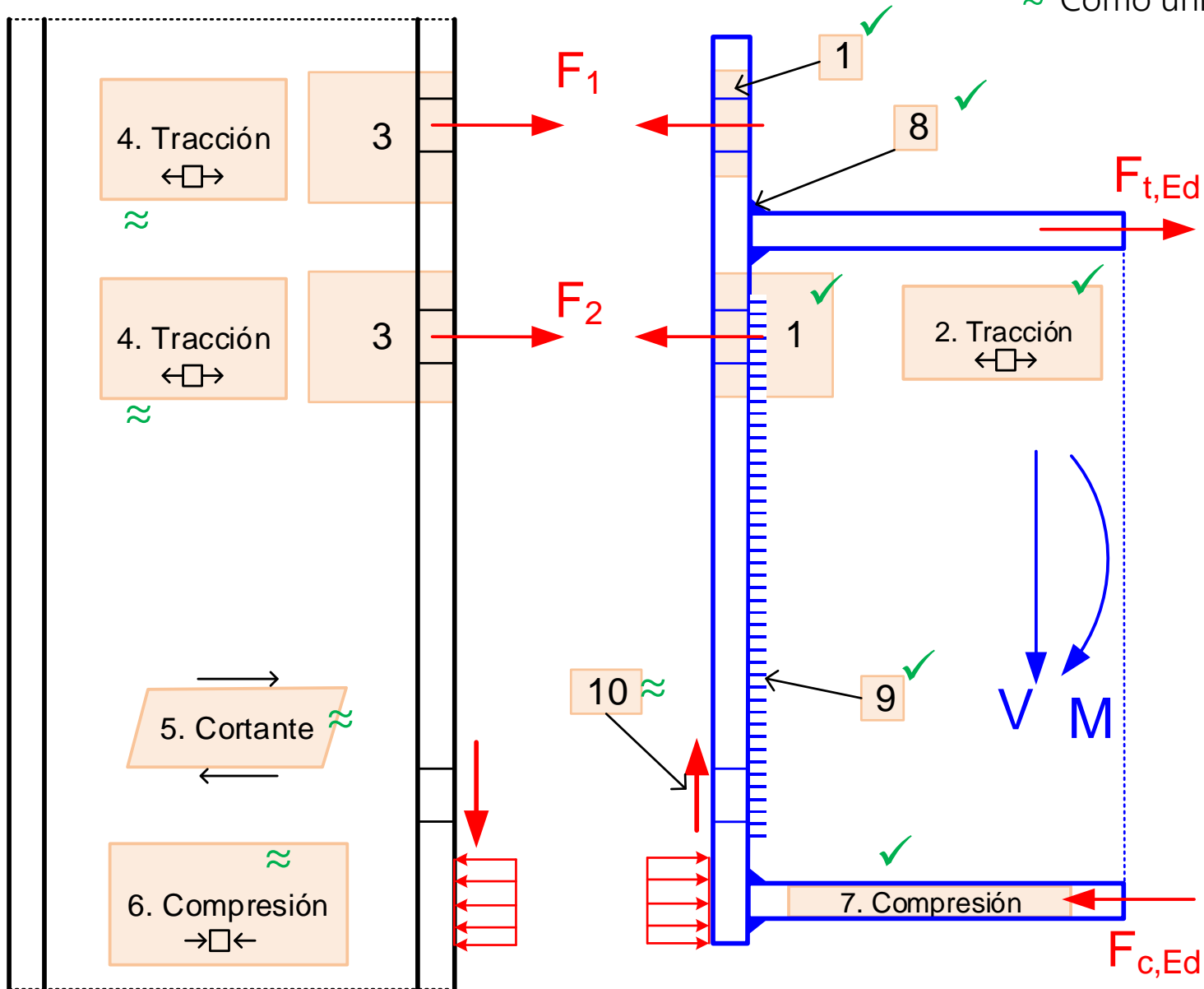
- R1. Flexión chapa frontal + tornillos (*ep*): T equivalente. **Ídem** a unión viga – viga
- R2. Alma viga a tracción (*wb*). **Ídem** a unión viga – viga
- R3. Flexión ala del poste (*fc*). Casquillo de T equivalente **NUEVO**
- R4. Tracción alma del poste (*t,wc*). **Similar** al nudo soldado, con otra longitud efectiva

Otras resistencias limitantes

- R5. Cortante panel alma del poste. **Similar** al nudo soldado
- R6. Compresión alma del poste. **Similar** al nudo soldado
- R7. Compresión ala de la viga. **Ídem** a unión viga – viga
- R8. Soldadura ala viga – chapa. **Ídem** a unión viga – viga
- R9. Soldadura alma viga – chapa. **Ídem** a unión viga – viga
- R10. Tornillos a cortante. **Similar** a unión viga – viga

Resistencia de componentes básicos

- ✓ Como unión viga-viga
- ≈ Como unión soldada



Cálculo de la resistencia de cada fila. Conceptos EN 1993-1-8 §6.2.7.2

- La resistencia de las filas debe calcularse de forma secuencial empezando por la fila más alejada del centro de compresiones (fila $r = 1$)
 - Centro de compresiones: en el centro del ala de la viga
- Al calcular la resistencia de una fila (r) se debe ignorar la resistencia de las filas más cercanas al centro de compresión ($> r$).
- La resistencia de la fila r como fila individual, será la menor de los 4 efectos: $R1$ (ep), $R2$ (wb), $R3$ (fc) y $R4$ (t,wc).
- La resistencia de la fila r se tomará como su resistencia como fila individual, reducida como se indica a continuación.
 - La resistencia de la fila r debería, si es necesario, reducirse para que la suma de las resistencias de las filas precedentes más la propia fila r , no supere la resistencia de dicho grupo en conjunto. Para los 4 efectos.
 - La resistencia de la fila r debería, si es necesario, reducirse para asegurar que cuando se tienen en cuenta todas las filas precedente más la propia fila r , no se superen las resistencias $R5$, $R6$, $R7$ anteriores.
- La resistencia de las filas debería reducirse de forma lineal en ciertos casos.

R1 Resistencia a flexión de la chapa frontal (ep)

Calcular como en la unión viga - viga

Fila 1. Exterior al ala de la viga $F_{1,t,ep}^{indiv}$

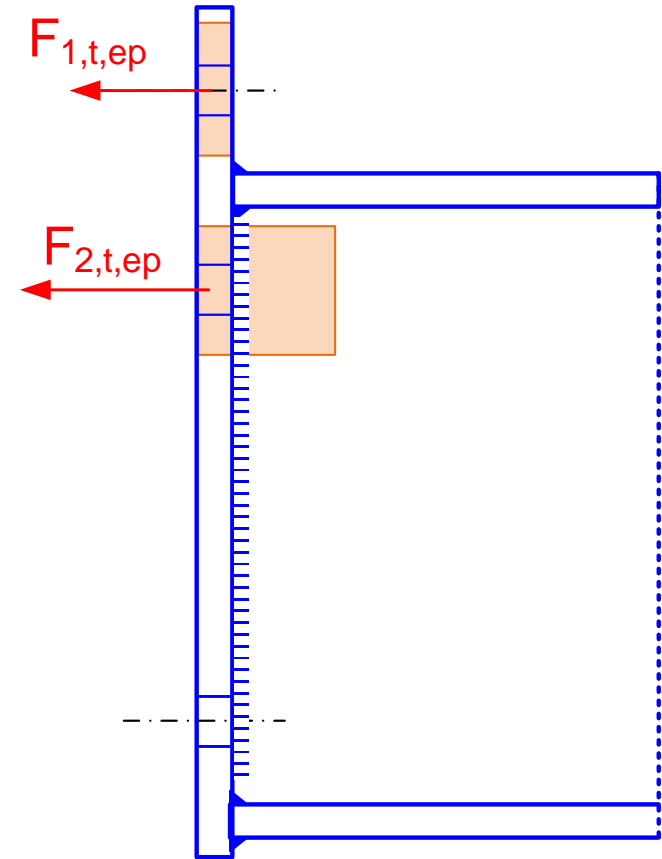
Fila 2. Bajo el ala de la viga $F_{2,t,ep}^{indiv}$



Cálculos laboriosos.

Ver resistencias R1.1 y R1.2 de la unión viga - viga

Filas 1 y 2 no forman grupo en la viga: están separadas por el ala.



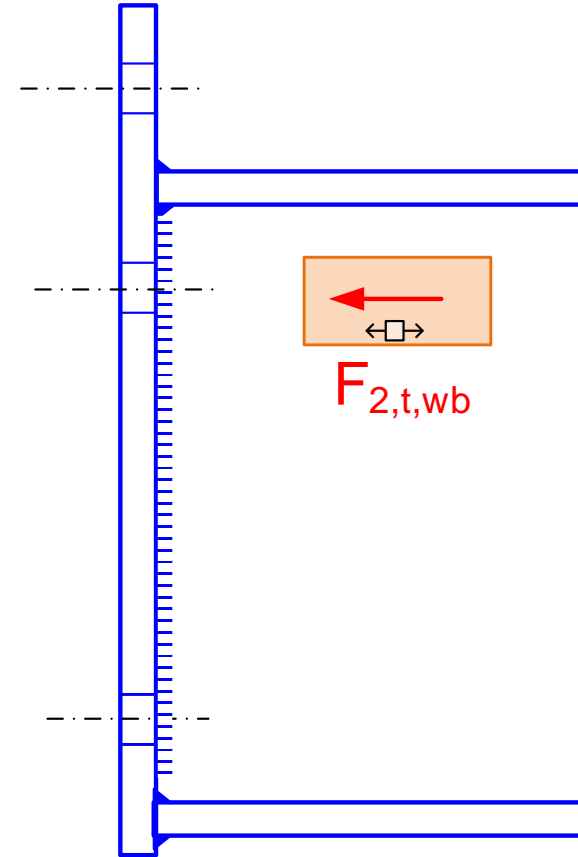
R2 Resistencia a tracción del alma de la viga (wb)

Calcular como la resistencia R2
en la unión viga - viga

$$F_{2,t,w,b,Rd}^{indiv} = b_{eff,t,w,b} t_{wb} \frac{f_{y,w,b}}{\gamma_{M0}}$$

$$b_{eff,t,w,b} = l_{eff1} = \min(2\pi m, \alpha m)$$

Se toma como altura eficaz a tracción $b_{eff,t,w,b}$, la misma longitud eficaz usada para la T en la chapa

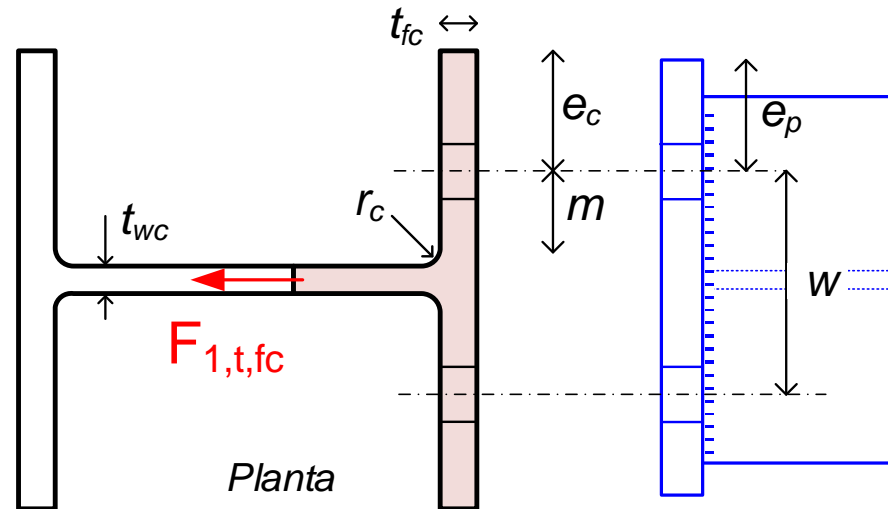
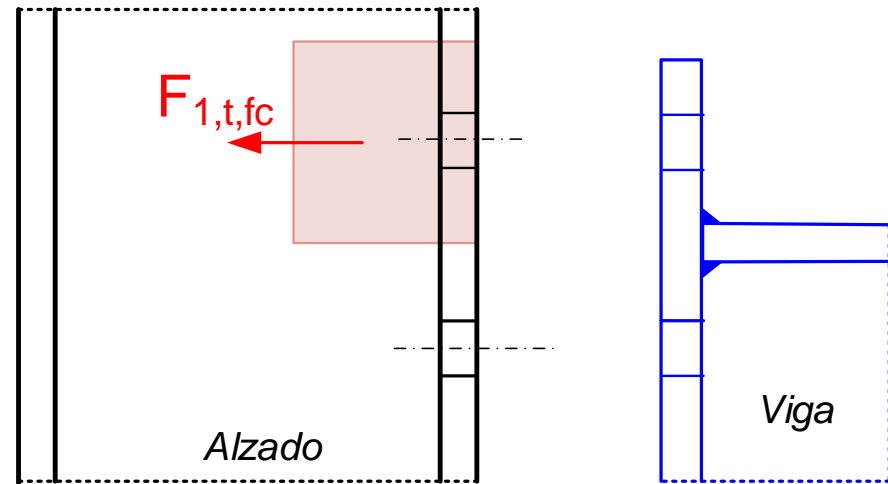
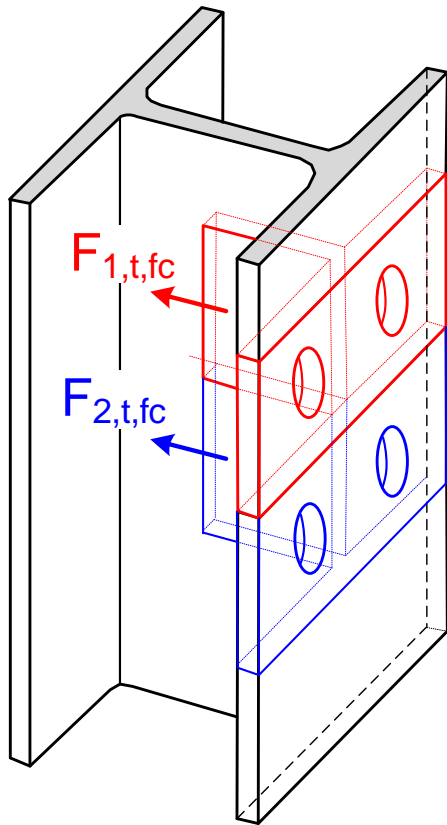


R3. Flexión ala del poste (*fc*). Resistencia individual de las filas (*r=1,2*)

EN 1993-1-8 6.2.6.4.1

Casquillos equivalentes para las filas $r = 1,2$

Normalmente son iguales

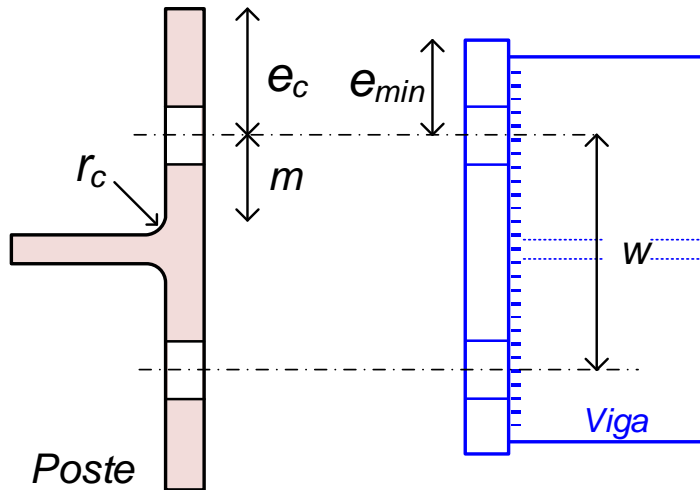


$$m = \frac{w - t_{wc}}{2} - 0.8 r_c$$

R3. Flexión ala del poste (f_c). Resistencia individual de las filas ($r=1,2$)

Parámetro n para la T de tracción del poste

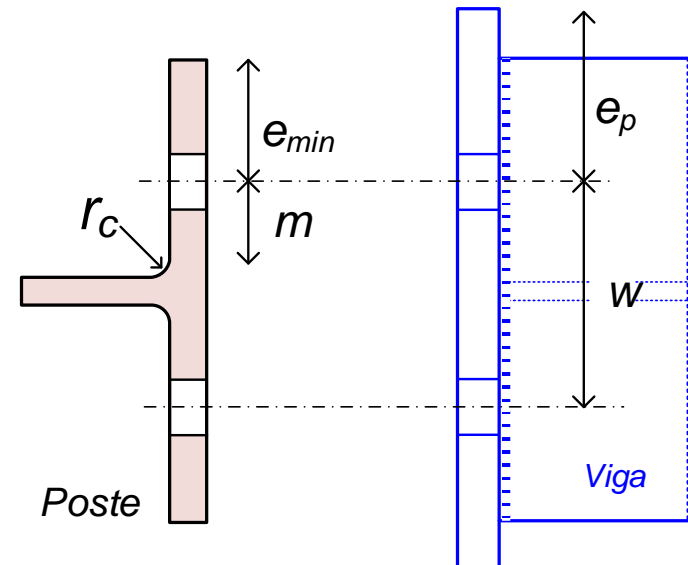
Chapa frontal más pequeña que el ala del poste



$$e_{min} = e_p$$

$$n = e_{min}$$

Chapa frontal más grande que el ala del poste



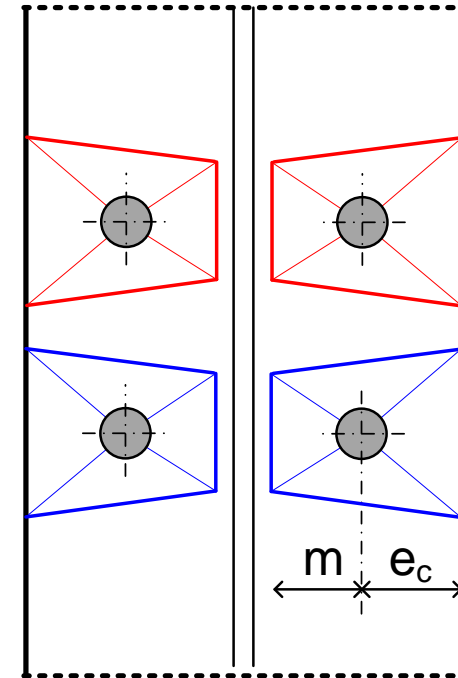
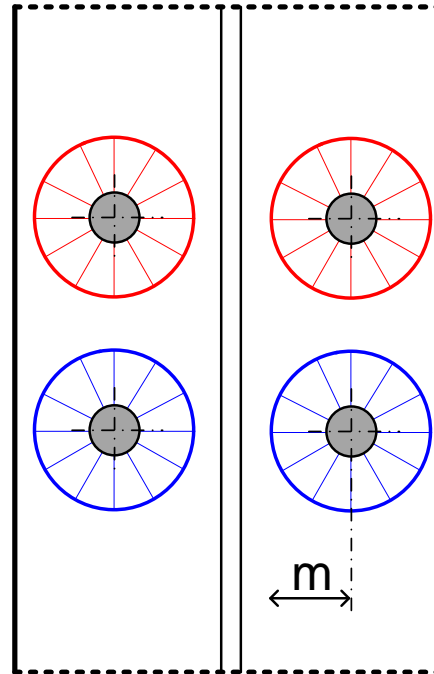
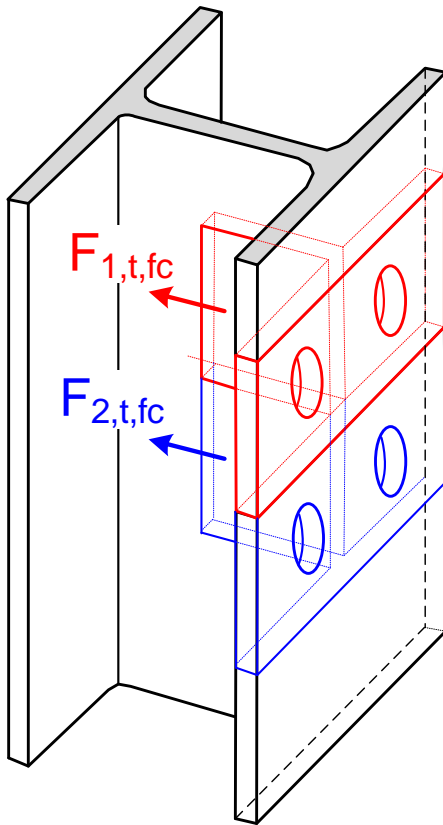
$$e_{min} = e_c$$

$$n \leq 1.25 m$$

pero

R3. Flexión ala del poste (*fc*). Resistencia individual de las filas (*r=1,2*)

Patrones de rotura del ala de la columna



$$l_{eff,cp} = 2 \pi m$$

$$l_{eff,nc} = 4m + 1.25 e_c$$

Longitud eficaz

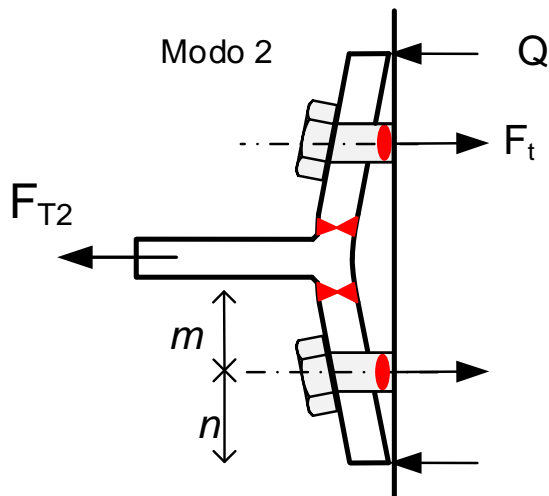
Resistencia a flexión del ala del poste.

Longitud eficaz l_{eff} de cada modo de rotura

Aplicable a todas las filas de tornillos del ala del poste

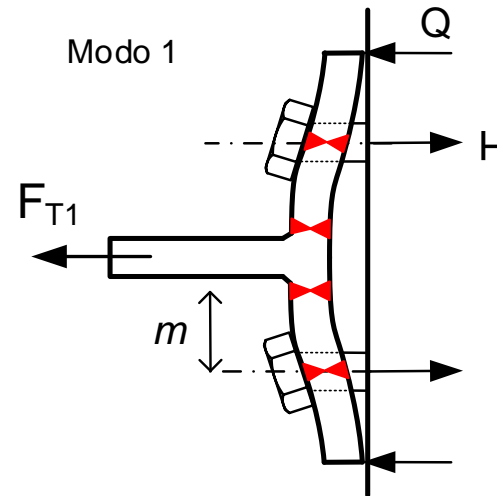
Modo 2:
Sólo patrones
no circulares

$$l_{eff2} = l_{eff,nc}$$



Modo 1:
El menor de los patrones
circulares y no circulares

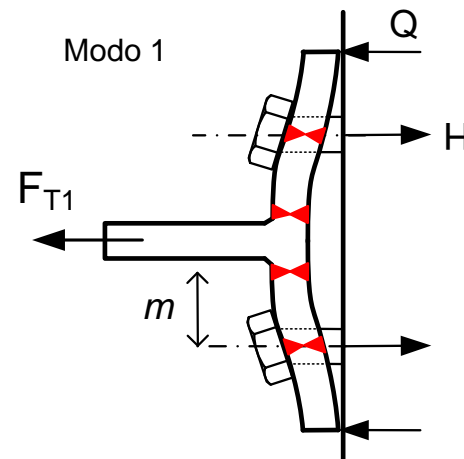
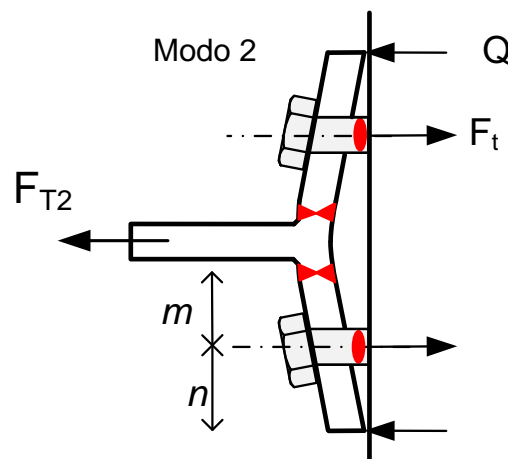
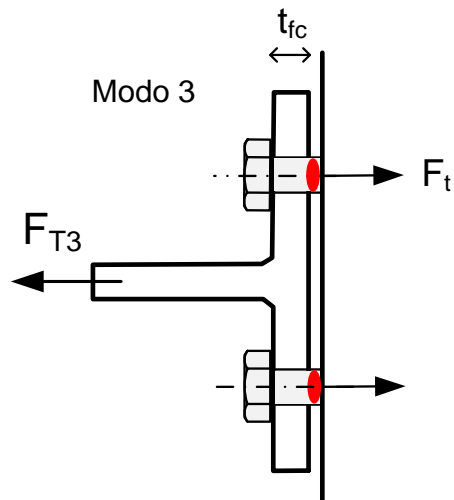
$$l_{eff1} = \min \left(\begin{matrix} l_{eff,nc} \\ l_{eff,cp} \end{matrix} \right)$$



R3. Resistencia individual de las filas del ala del poste (f_c) ($r=1,2$)

Resistencia del casquillo equivalente a la fila r

$$F_{r,t,f_c,Rd}^{indiv} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd}) \quad r = 1,2$$



$$n = \min(e_{min}, 1.25 m)$$

$$l_{eff2} = l_{eff,nc}$$

$$l_{eff1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

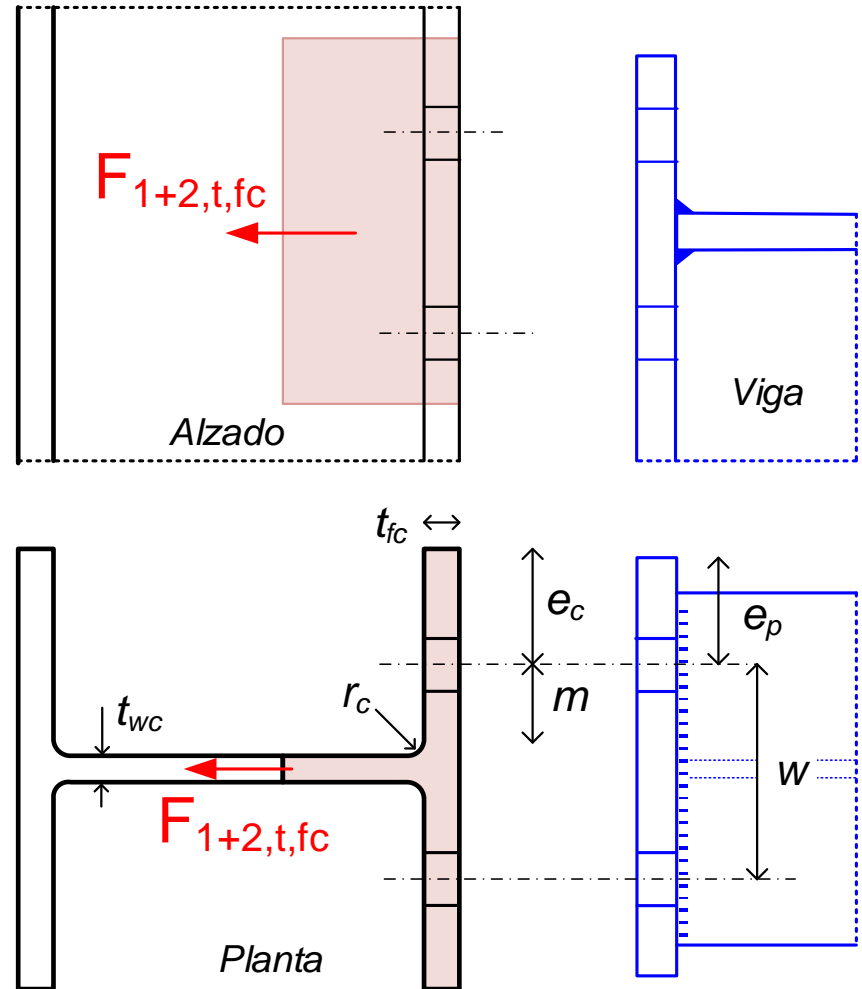
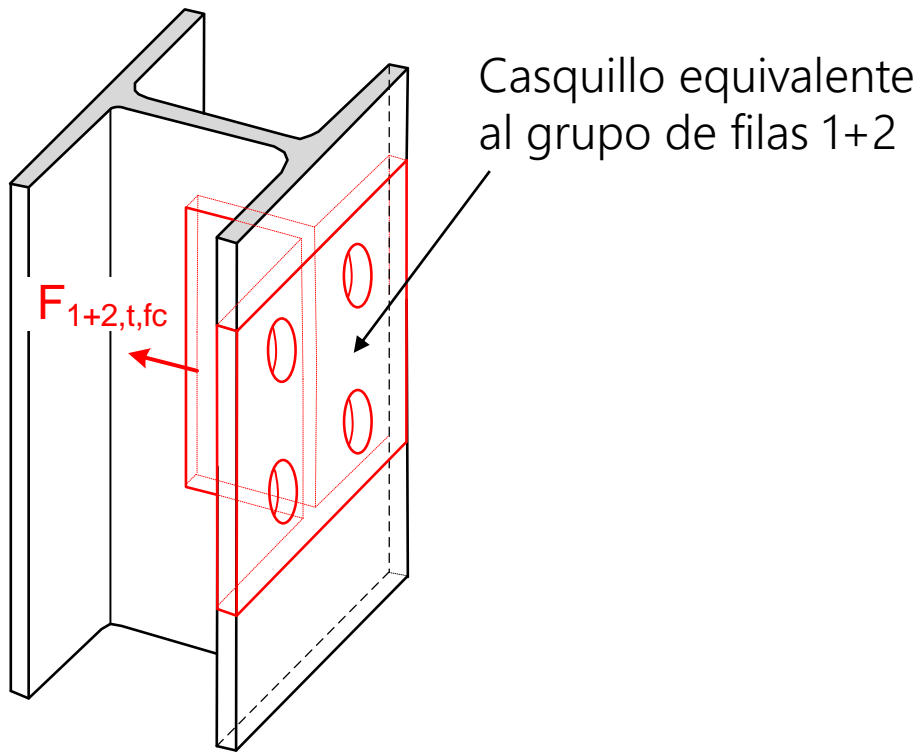
$$F_{T3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

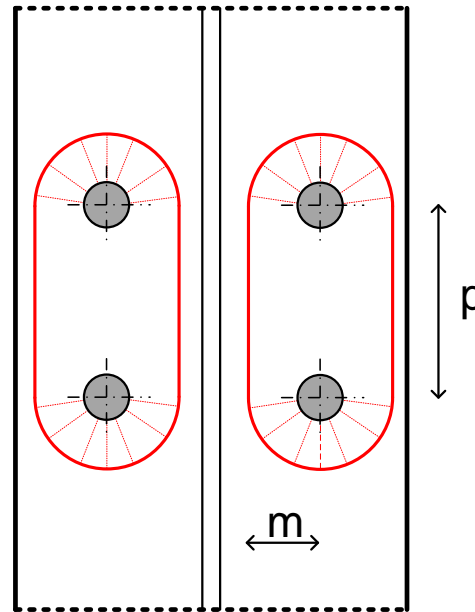
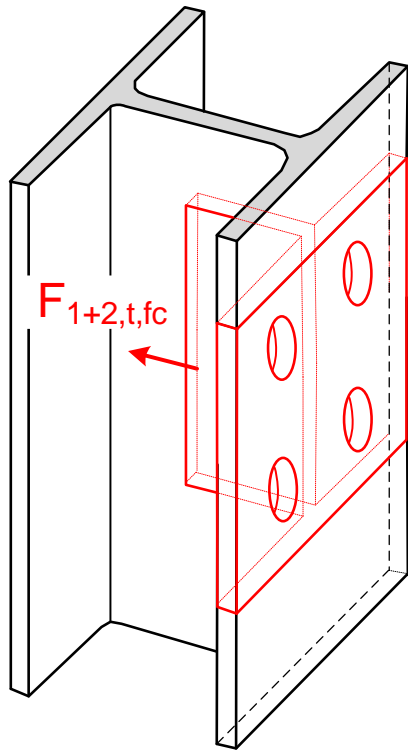
R3. Flexión ala del poste (f_c). Resistencia del grupo de filas 1+2

Las filas adyacentes no separadas por un rigidizador trabajan como un grupo

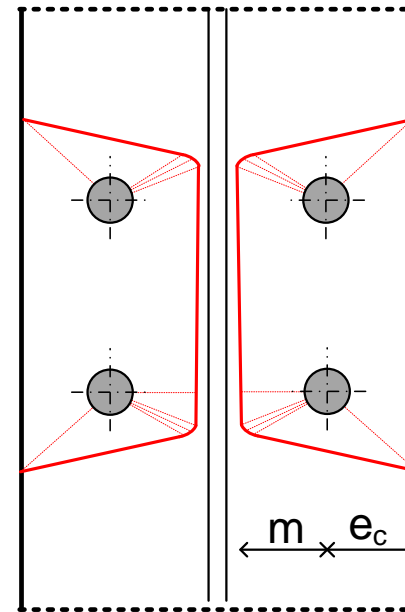


R3. Flexión ala del poste (*fc*). Resistencia del grupo de filas 1+2

Patrones de rotura del ala de la columna
 Longitud eficaz del grupo = suma de longitudes



$$l_{eff,cp}^{1+2} = 2(\pi m + p)$$



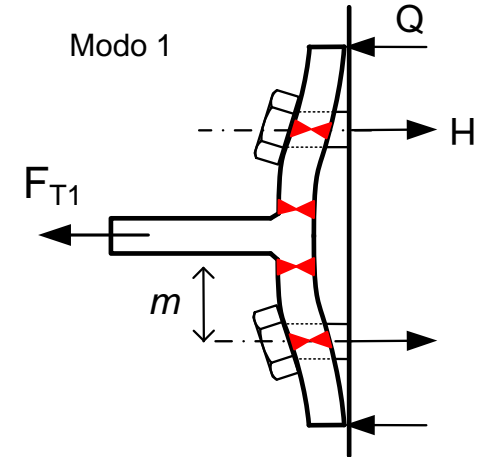
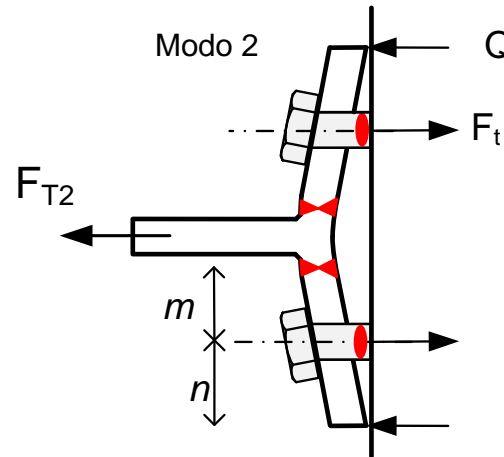
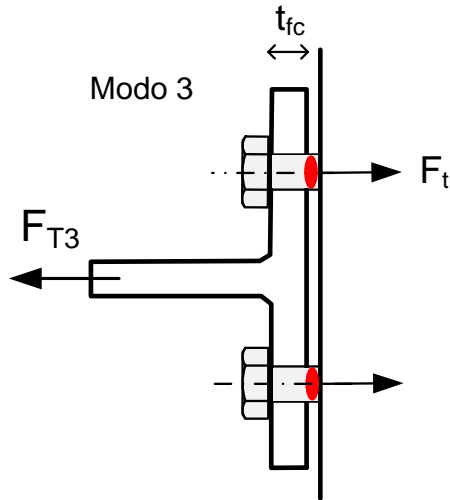
$$l_{eff,nc}^{1+2} = 2(2m + 0.625 e_c + 0.5p)$$

Calcular la resistencia del grupo con estas longitudes eficaces, y los valores de m, n para las filas individuales, $\Rightarrow F_{1+2,t,fc,Rd}$ en las fórmulas del casquillo T y 4 tornillos

R3. Flexión ala del poste (f_c). Resistencia del grupo de filas 1+2

Resistencia del casquillo
equivalente al grupo 1+2

$$F_{1+2,t,fc,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$$



$$n = \min(e_{min}, 1.25 m)$$

$$l_{eff2}^{1+2} = l_{eff,nc}^{1+2}$$

$$l_{eff1}^{1+2} = \min(l_{eff,nc}^{1+2}, l_{eff,cp}^{1+2})$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{l_{eff2}^{1+2} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{l_{eff1}^{1+2} t_{fc}^2 f_y}{4 \gamma_{M0}}$$

$$F_{T3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

R4. Alma del poste a tracción (t,wc)

§ 6.2.6.3

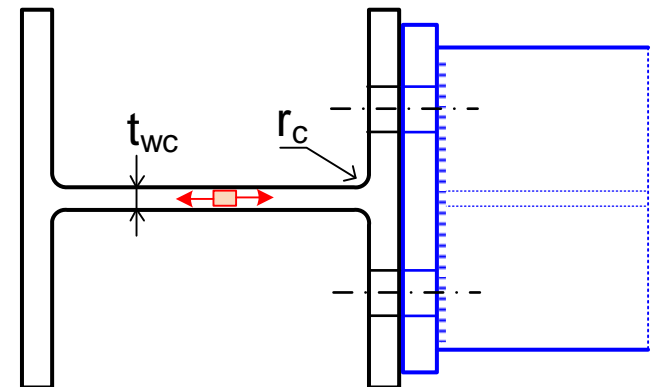
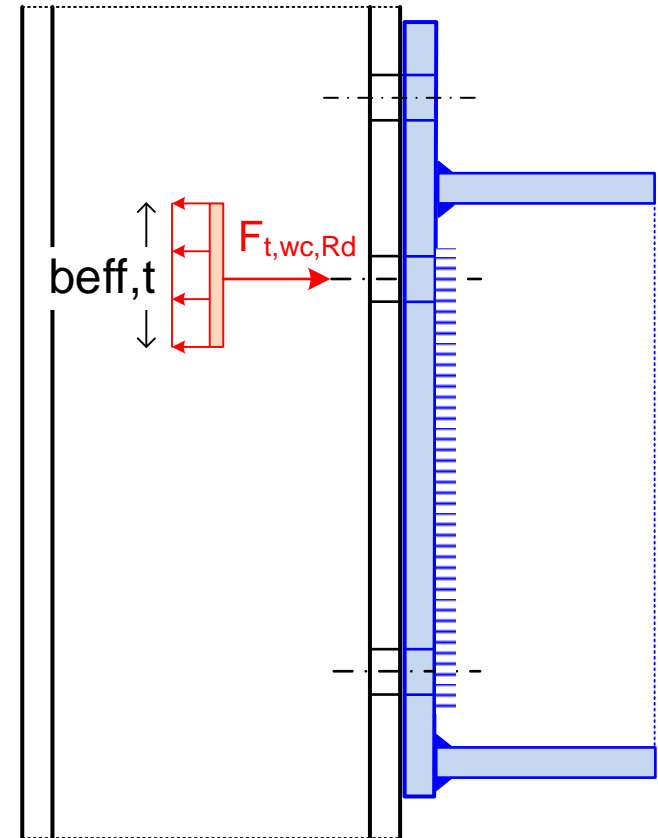
Máxima fuerza de tracción que puede soportar el alma del poste sin rigidizar, en cada fila de tornillos, o en cada grupo de filas

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

$b_{eff,t,wc}$: longitud eficaz de la fila o grupo: usar la misma que en la T del ala del poste (R3, f_c)

$$b_{eff,t,wc} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$$

ω : coeficiente de reducción por interacción con el cortante en el alma del poste. Mismas expresión que en la unión viga-poste soldada. Depende de un parámetro de transformación β



Coeficiente de interacción con el cortante en el alma del poste ω

Depende del parámetro de transformación β

Tabla 6.3 EN 1993-1-8

Parámetro de transformación β	Coeficiente de interacción ω	Ídem a la unión soldada
$0 \leq \beta \leq 0.5$	$\omega = 1$	
$0.5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$	
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$	
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$	
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$	

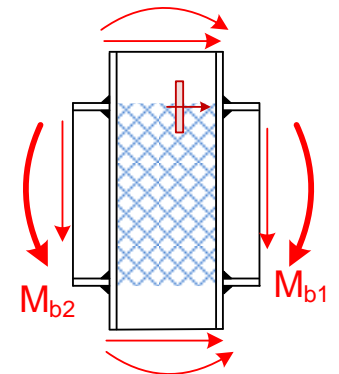
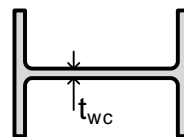
$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left(\frac{t_{wc} b_{eff,t,wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2 \left(\frac{t_{wc} b_{eff,t,wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

$b_{eff,t,wc}$: Altura eficaz del alma del poste a tracción

A_{vc} : Área del poste a cortante

t_{wc} : Espesor del alma del poste

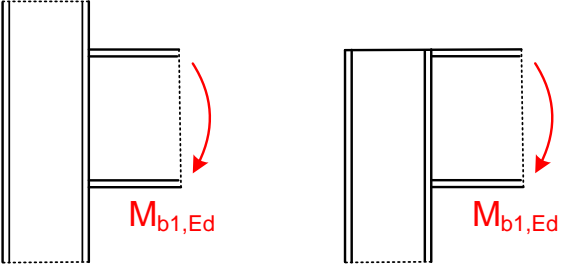
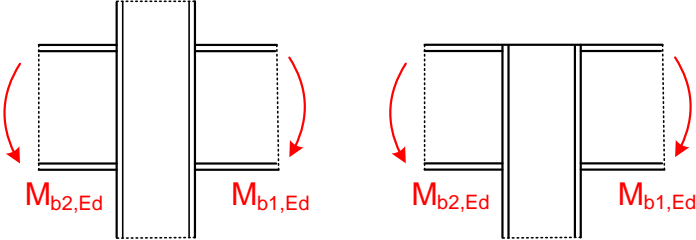


Parámetro de transformación β

Ídem a la
unión soldada

Depende de la relación entre los momentos M_{b1}, M_{b2} a ambos lados del poste

Tabla 5.4 EN 1993-1-8

Tipo de unión	Acción	β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ (*)
	$\frac{M_{b1,Ed}}{M_{b2,Ed}} > 0$	$\beta \approx 1$
	$\frac{M_{b1,Ed}}{M_{b2,Ed}} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

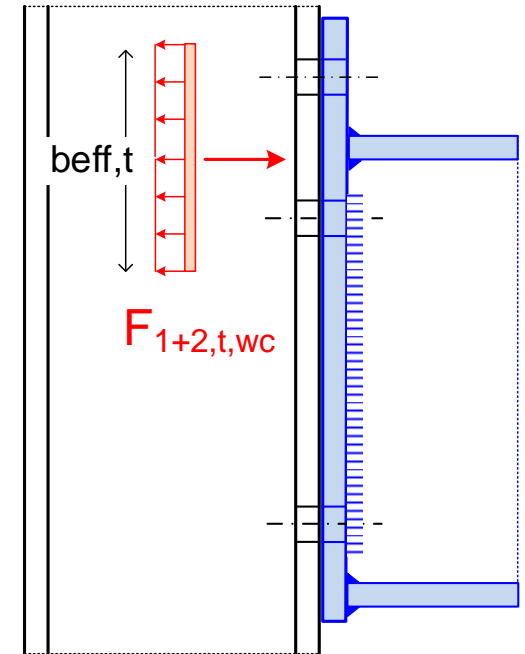
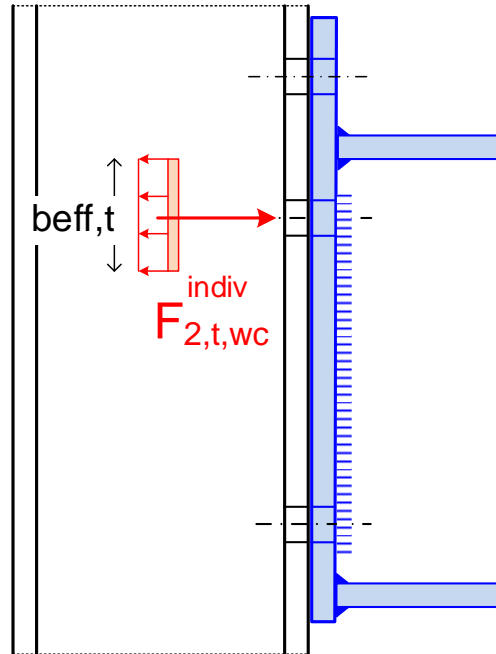
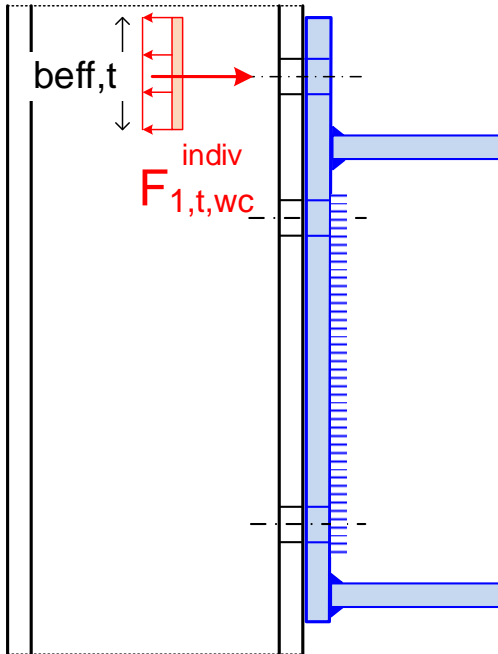
(*) En este caso el valor de β es exacto

R4. Resistencia del alma del poste a tracción (t,wc)

Calcular la resistencia a tracción del alma del poste para:

Filas 1 y 2 individuales: $F_{1,t,wc,Rd}^{indiv}$ $F_{2,t,wc,Rd}^{indiv}$

Grupo de filas 1+2: $F_{1+2,t,wc,Rd}$



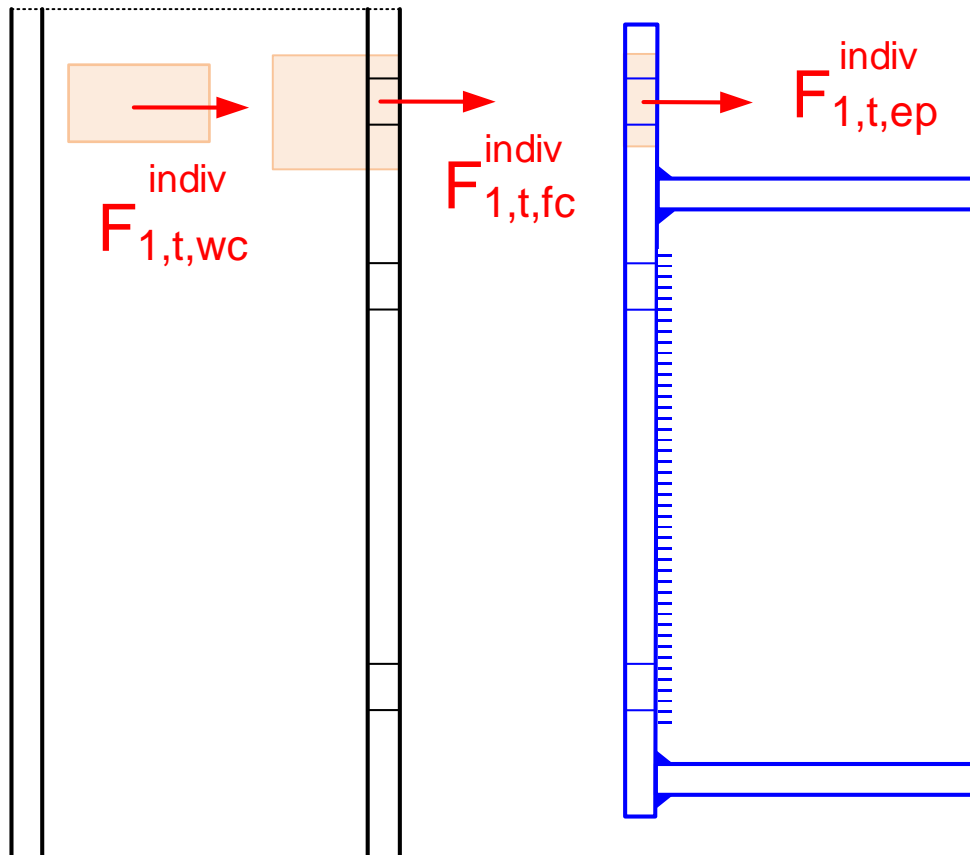
Resistencia final de la fila 1

Su menor resistencia individual.

No tiene resistencia como perteneciente a grupo

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

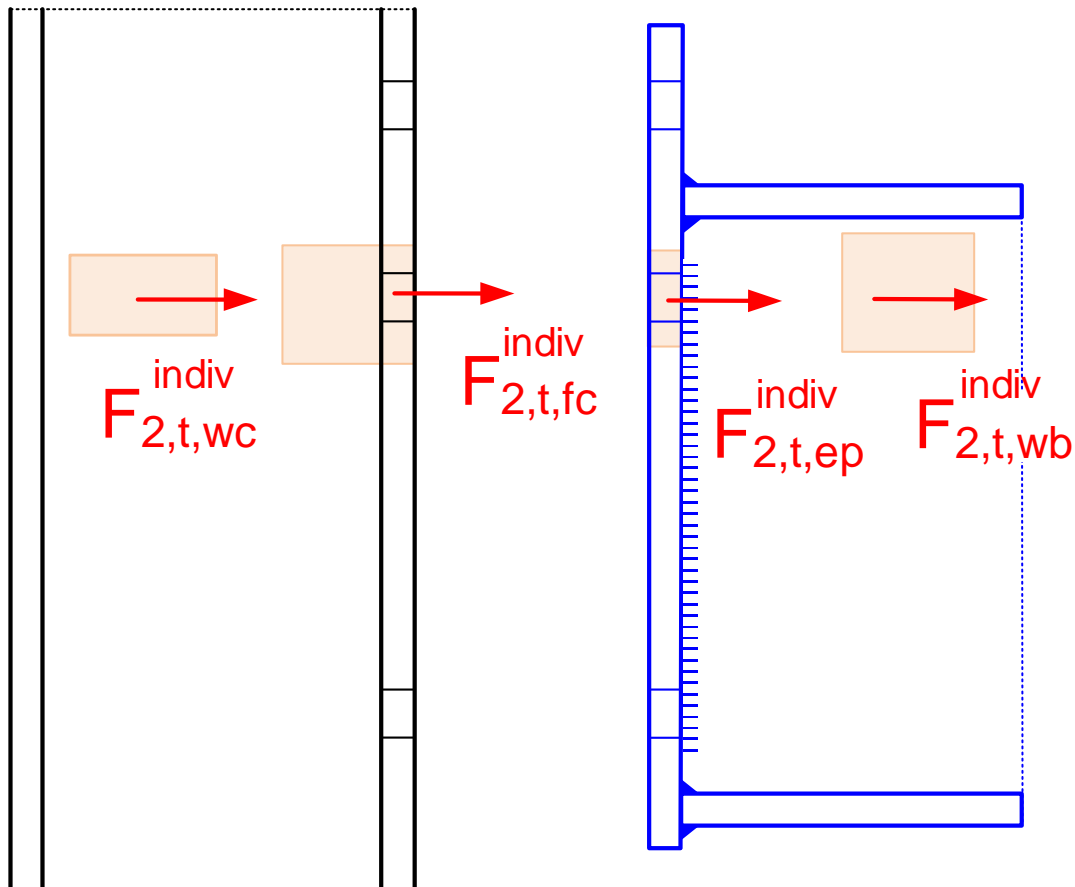
$$\nexists F_{1,t,wb,Rd}$$



Resistencias individuales de la fila 2

La resistencia final de una fila que se agrupa con otras NO es la menor de las individuales

Hay que hacer una **reducción por pertenencia al grupo 1+2**



Reducción de la fila 2 por pertenencia al grupo 1+2

La suma de resistencias de todas las filas de un grupo no puede superar la resistencia del grupo en su conjunto, para ninguno de los 4 efectos !

$$F_{1,Rd} + F_{2,t,fc,Rd}^{partgrupo} \leq F_{1+2,t,fc,Rd} \quad \text{Flexión ala poste (fc)}$$
$$F_{1,Rd} + F_{2,t,wc,Rd}^{partgrupo} \leq F_{1+2,t,wc,Rd} \quad \text{Tracción alma poste (wc)}$$

Otras filas del grupo Participación de la fila 2 en el grupo 1+2 Resistencia del grupo 1+2

Si es necesario, la resistencia de la fila 2 debe disminuirse para no superar la resistencia del grupo en su conjunto !!!!

Para los otros efectos R1 (flexión chapa: ep) y R2 (tracción alma viga: wb), las filas 1 y 2 no se agrupan pues están separadas por el ala de la viga

Resistencia de la fila 2 como participante en el grupo 1+2

La resistencia de la fila 2 como participante en el grupo 1+2 es igual a:

- La resistencia del grupo 1+2
- Menos la resistencia de la fila precedente 1, ya calculada

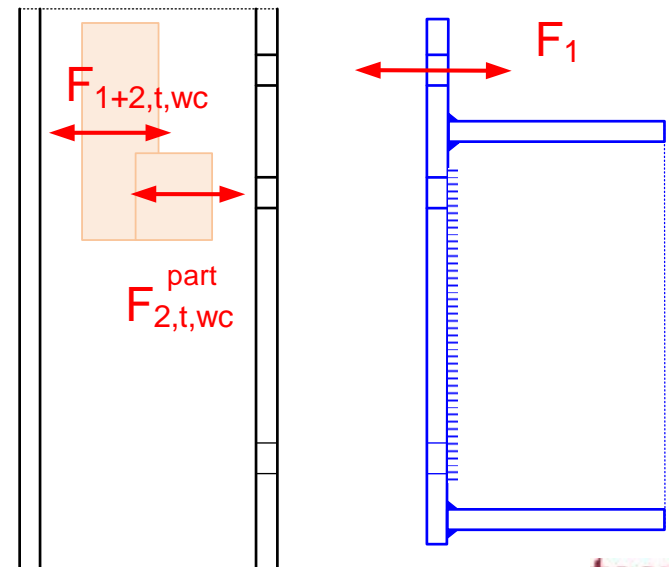
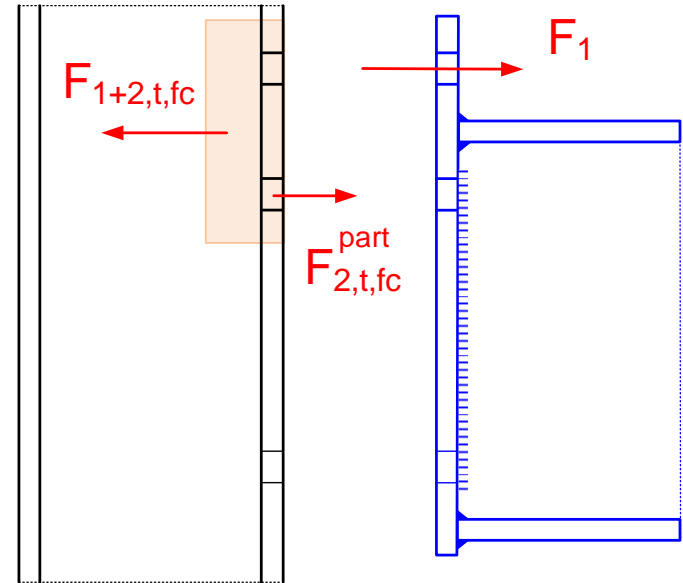
$$F_{2,t,fc,Rd}^{partgrupo} = F_{1+2,t,fc,Rd} - F_{1,Rd}$$

$$F_{2,t,wc,Rd}^{partgrupo} = F_{1+2,t,wc,Rd} - F_{1,Rd}$$

Resistencia de la fila 2 como participante en el grupo 1+2

Resistencia del grupo 1+2

Resistencia de las filas anteriores del grupo



Resistencia final de la fila 2

Resistencia final de la fila 2: la menor de todas las individuales (4) y las dos resistencias como participante en el grupo 1+2

$$F_{2,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} F_{2,t,ep,Rd}^{indiv} \\ F_{2,t,wb,Rd}^{indiv} \\ F_{2,t,fc,Rd}^{indiv} \\ F_{2,t,fc,Rd}^{partgrupo} \\ F_{2,t,wc,Rd}^{indiv} \\ F_{2,t,wc,Rd}^{partgrupo} \end{array} \right)$$

← R1. Flexión chapa (ep) **individual**

← R2. Tracción alma viga (wb) **individual**

← R3. Flexión ala poste (fc) **individual** }

← R3. Flexión ala poste (fc) **part. en grupo** }

← R4. Tracción alma poste (t,wc) **individual** }

← R4. Tracción alma poste (t,wc) **en grupo** }

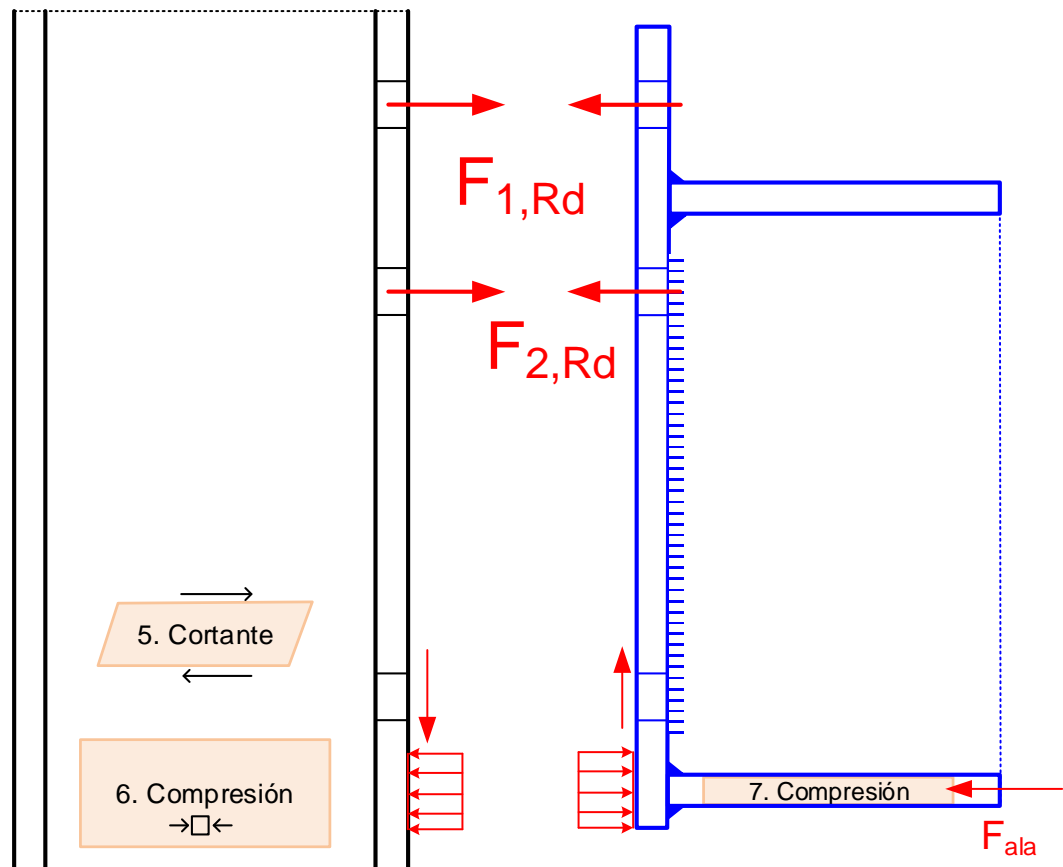
Últimas resistencias: R5, R6, R7

La suma de las resistencias de las filas $F_{1,Rd} + F_{2,Rd}$ está limitada por la resistencia de otras zonas de la unión:

R5. Alma del poste a cortante. Igual que en la unión soldada

R6. Alma del poste a compresión transversal. Similar a la unión soldada

R7. Ala de la viga a compresión. Igual que en la unión viga – viga



R5. Resistencia a cortante del panel del alma del poste sin rigidizar (1)

Igual que en la unión soldada (§ 6.2.6.1)

Para unión por un lado, o por 2 lados con cantos similares

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área a cortante del poste

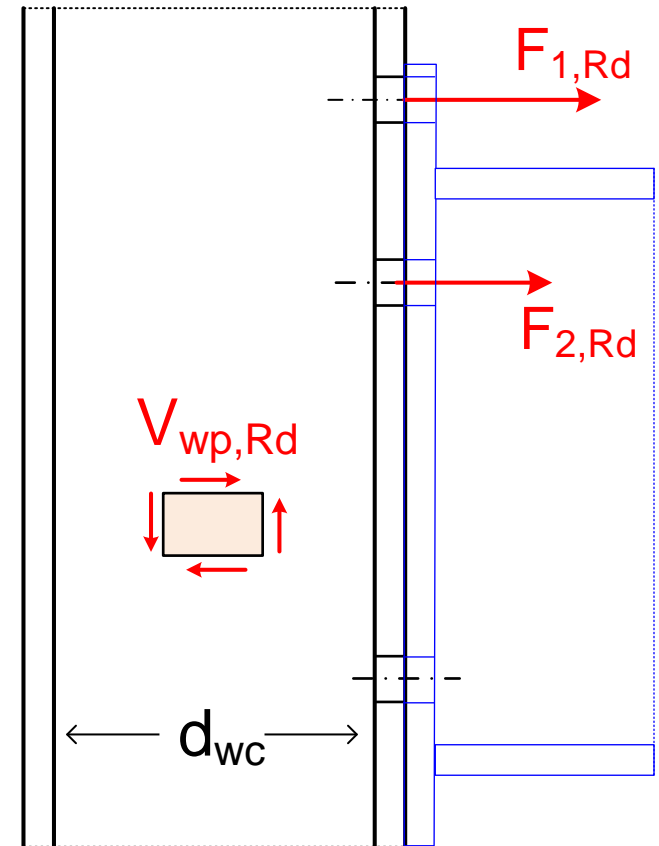
El alma del poste debe cumplir:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\epsilon$$

d_{wc} : anchura de la parte recta del alma del poste

t_{wc} : espesor del alma del poste

Todos los perfiles estándar cumplen



R5. Resistencia a cortante del panel del alma del poste sin rigidizar (2)

Igual que en la unión soldada

Esfuerzo cortante de cálculo en el alma:

§ 5.3

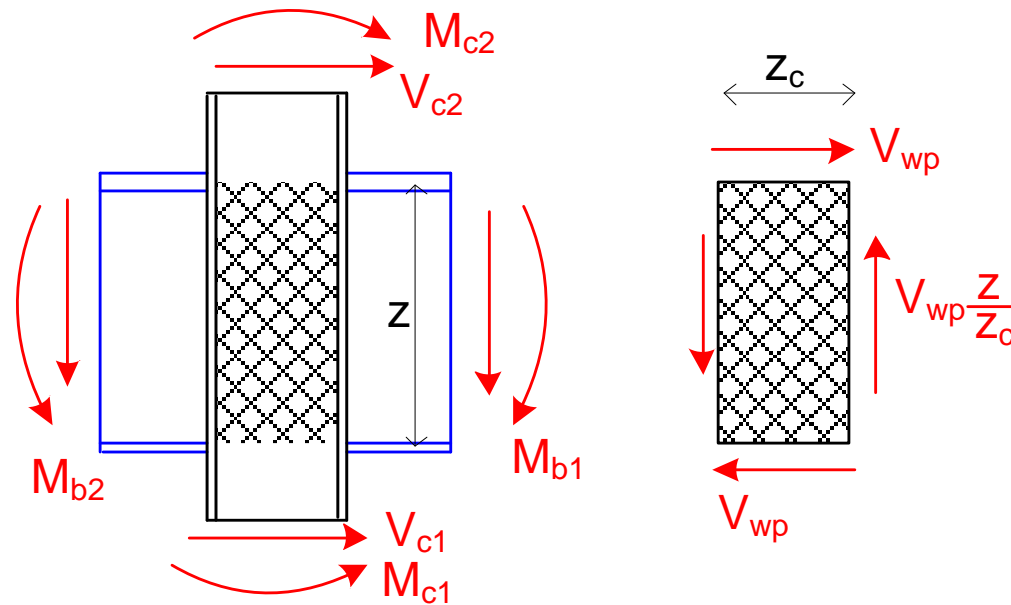
$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2}$$

Los momentos son en las vigas, en la periferia del alma

Comprobación

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Si no cumple: es necesario reforzar el alma con rigidizadores



R5. Reducción para no sobrepasar la resistencia a cortante del panel del alma del poste sin rigidizar (3)

La suma de las resistencias de todas las filas debe ser inferior a la resistencia a cortante del panel del alma del poste, transformada

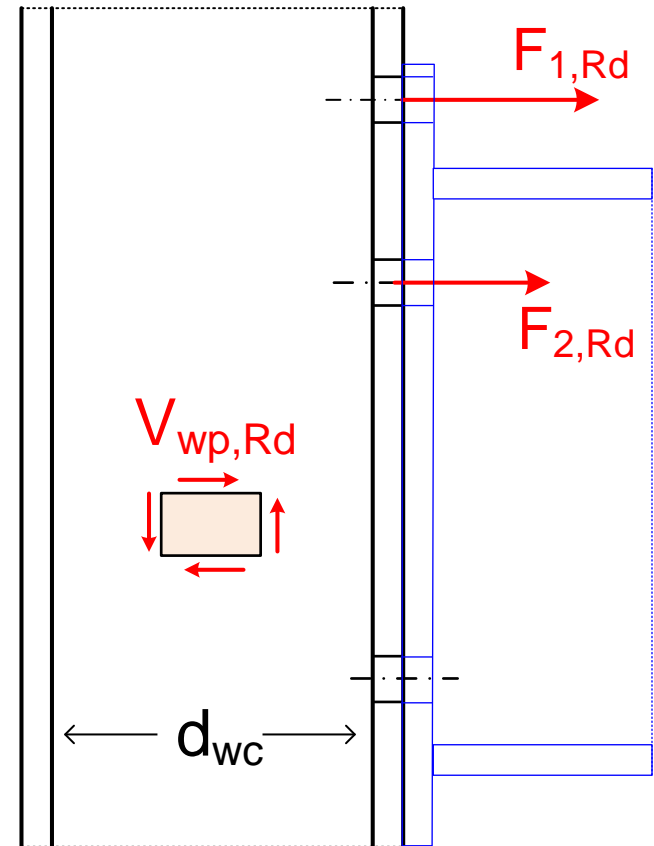
$$F_{1,Rd} + F_{2,Rd} \leq \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$$

β : Parámetro de transformación
Empleado en la interacción con el cortante en el alma del poste (R4)

Se deben disminuir:

- primero $F_{2,Rd}$, incluso hacerla cero,
- y después $F_{1,Rd}$

para no superar la resistencia a cortante del panel del alma del poste transformada



R6. Resistencia a compresión del alma del poste (1)

Igual que en la unión soldada § 6.2.6.2

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

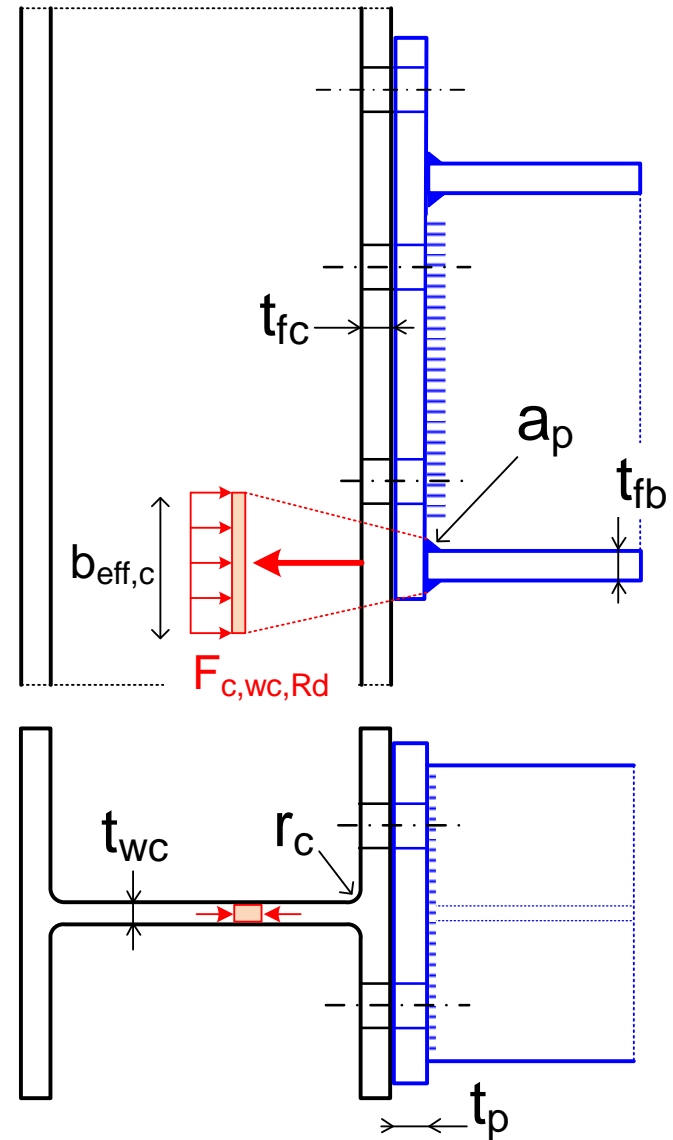
$b_{eff,c,wc}$: alto eficaz en el alma a compresión

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

s_p : dispersión a 45° a través de la chapa frontal $t_p \leq s_p \leq 2 t_p$, si hay espacio debajo

Poste soldado: $r_c \rightarrow \sqrt{2} a_c$

ω : coeficiente de reducción por interacción con el cortante: misma expresión que en la resistencia a tracción del alma del poste (R4), pero empleando $b_{eff,c,wc}$ en lugar de $b_{eff,t,wc}$



R6. Resistencia a compresión del alma del poste (2)

Igual que en la unión soldada

k_{wc} : factor de tensión de compresión

Si el alma del poste está muy comprimida axialmente, se debe reducir su resistencia a compresión transversal

$\sigma_{com,Ed}$: máxima tensión axial de compresión en el alma del poste, debida a N_c y M_c : en el punto pésimo del alma (unión entre zona recta y acuerdo curvo: $d_{wc}/2$)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{N_{c,Ed}}{A_{col}} + \frac{M_{c,Ed} (d_{wc}/2)}{I_{col}}$$

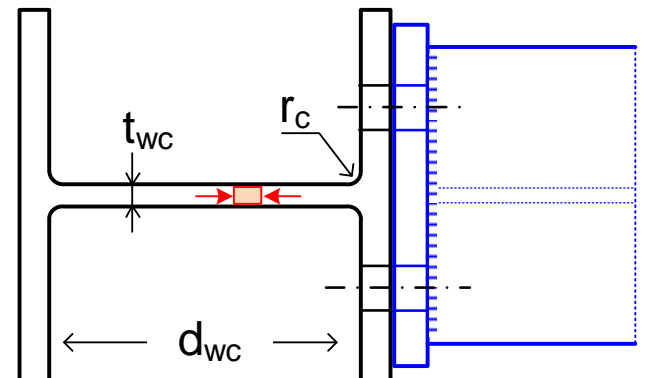
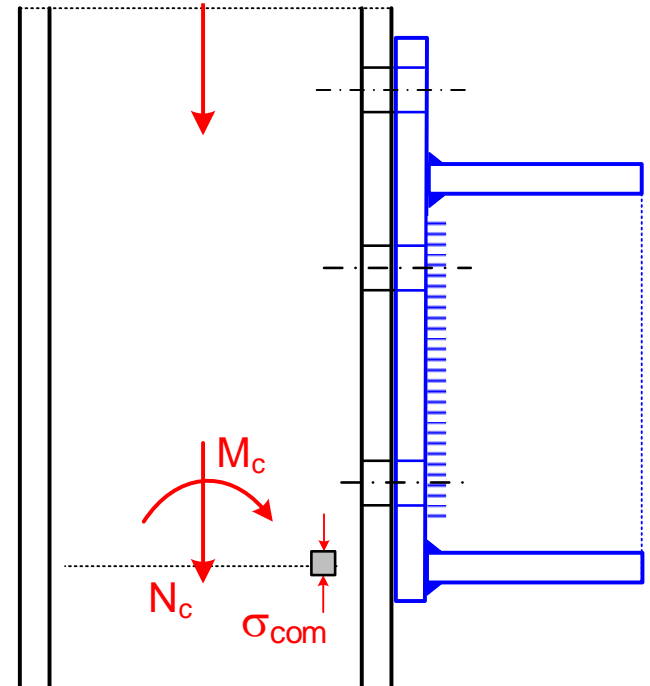
d_{wc} : zona recta del alma del poste

- Hasta el 70% de $f_{y,wc}$ no hay reducción

$$\sigma_{n,Ed} \leq 0.7 f_{y,wc} \rightarrow k_{wc} = 1$$

- A partir del 70% de f_{yc} : reducción lineal

$$\sigma_{n,Ed} > 0.7 f_{y,wc} \rightarrow k_{wc} = 1.7 - \frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{y,wc}}$$



R6. Resistencia a compresión del alma del poste (3)

Igual que en la unión soldada

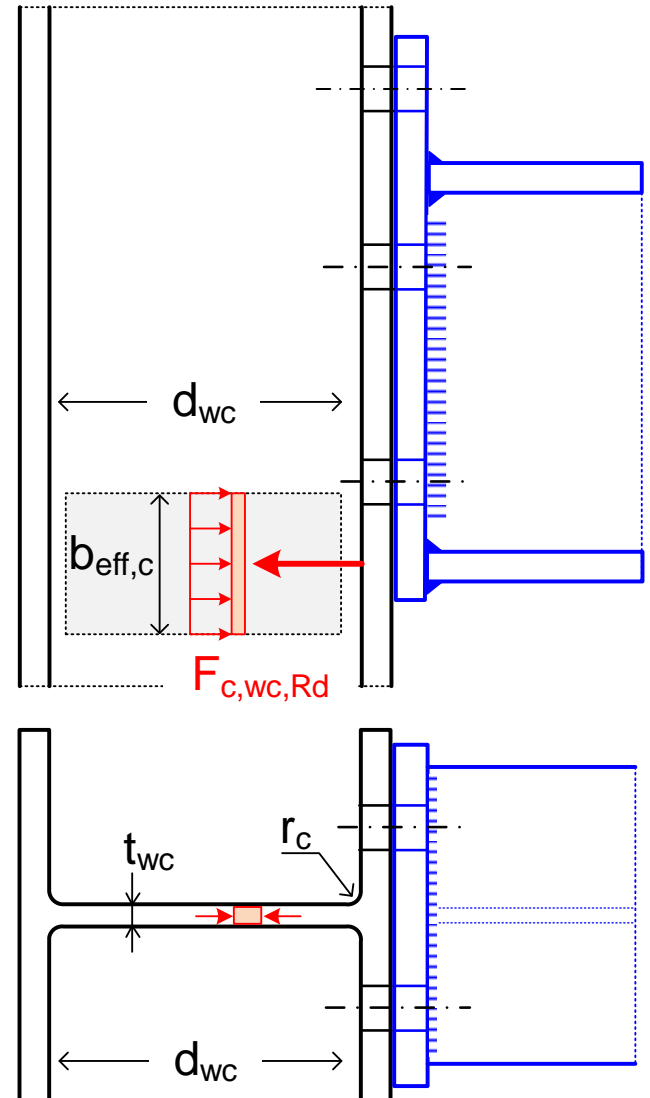
ρ : factor de abolladura del alma del poste

El alma del poste está muy comprimida: se puede producir un pandeo local (abolladura) de la zona rectangular $d_{wc} \times b_{eff,c,wc}$ si ésta es muy esbelta. Depende de:

$\bar{\lambda}_p$: esbeltez de la zona de alma del poste ($d_{wc} \times b_{eff,c,wc}$) que puede pandear:

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \bar{\lambda}_p \leq 0.72 & \rho = 1 \\ \bar{\lambda}_p > 0.72 & \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.2}{\bar{\lambda}_p^2} \end{array} \right.$$



R6. CTE: Resistencia a compresión del alma del poste

Igual que en la unión soldada

Formula de CTE para considerar el aplastamiento (sin pandeo):

$$F_{C,wc,Rd} = k_{wc} t_{wc} b_{ef} \frac{f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

b_{ef} : alto eficaz en el alma

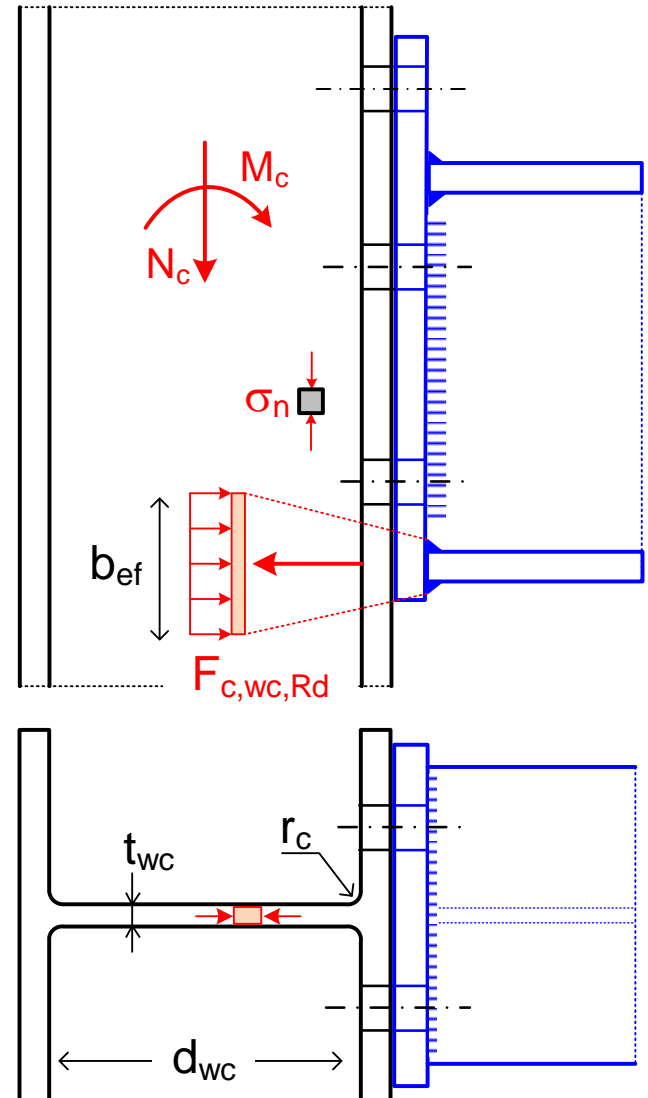
$$b_{ef} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)$$

k_{wc} : factor de tensión de compresión (distinto del EC3)

$$k_{wc} = 1.25 - 0.5 \gamma_{M0} \frac{\sigma_{n,Ed}}{f_{y,wc}}$$

$$k_{wc} \leq 1$$

CTE indica que se debe considerar el pandeo local intraslacional del alma del poste, pero no especifica cómo (SE-A 8.8.6-12)



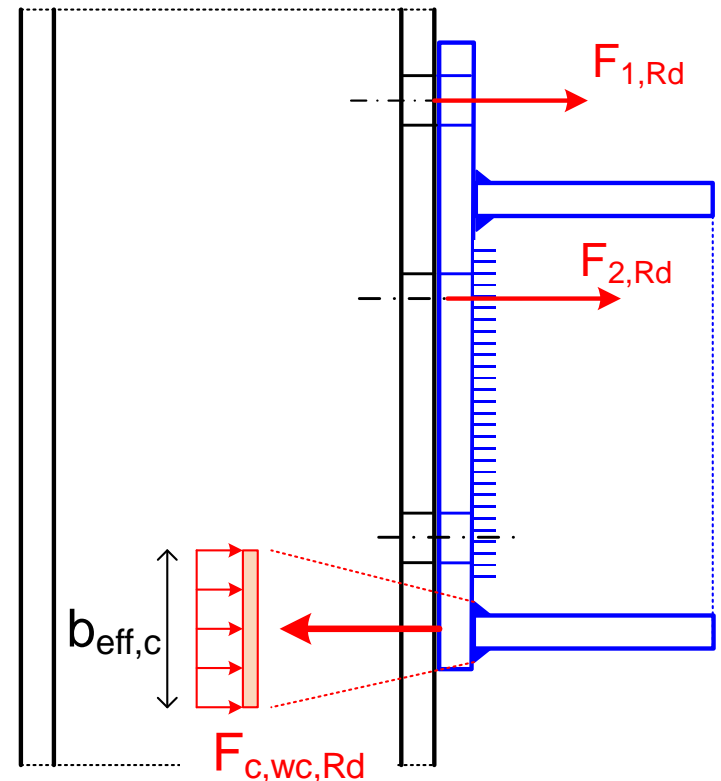
R6. Reducción para no sobrepasar la resistencia a compresión del alma del poste

La suma de las resistencias de todas las filas $F_{1,Rd} + F_{2,Rd}$ debe ser inferior a la máxima fuerza de compresión que puede soportar el alma del poste sin rigidizar $F_{c,wc,Rd}$:

$$F_{1,Rd} + F_{2,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$$

Se deben disminuir:

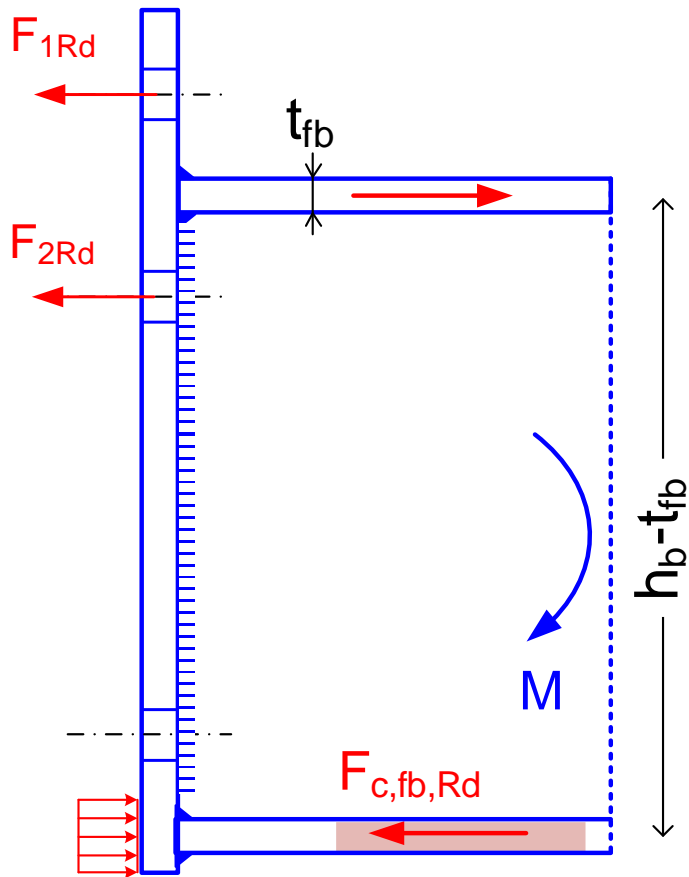
- primero $F_{2,Rd}$, incluso hacerla cero,
 - y después $F_{1,Rd}$
- para cumplir con esta limitación*



R7. Resistencia a compresión del ala de la viga

Igual que en la unión viga -viga

La suma de las fuerzas $F_{1,Rd} + F_{2,Rd}$ no puede ser superior a la resistencia a compresión del ala de la viga $F_{c,fb,Rd}$



$$F_{1,Rd} + F_{2,Rd} \leq F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f}$$

Se está suponiendo que la resultante de las compresiones actúa a nivel del eje del ala

$M_{c,Rd}$ Momento resistente a flexión de la viga:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clases 1 y 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clase 3}$$

Si es necesario, se deben disminuir, primero $F_{2,Rd}$ (incluso hacerla cero) y después $F_{1,Rd}$ para no superar la resistencia a compresión del ala

Resistencia de la unión a flexión sin esfuerzo axial $M_{j,Rd}$

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

$$N_{Ed} \leq 0.05 N_{pl,Rd}$$

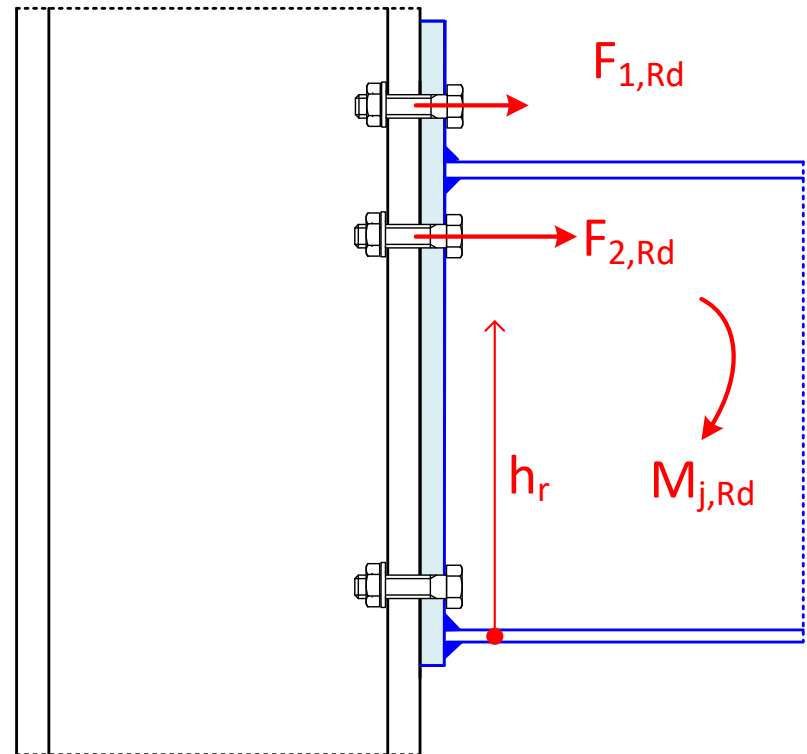
Momento de resistencia de la unión (EN 1993-1-8, 6.2.7.2):

$$M_{j,Rd} = F_{1,Rd} h_1 + F_{2,Rd} h_2$$

$F_{r,Rd}$ resistencia efectiva de la fila $r = 1,2$

h_r distancia al centro de compresiones de la fila $r = 1,2$

Centro de compresiones: en línea con el centro del ala comprimida de la viga.



Resistencia de la unión a tracción, sin momento $N_{j,Rd}$

El EC3 no indica cómo calcular esta resistencia de cálculo de la unión a tracción. Razonable:

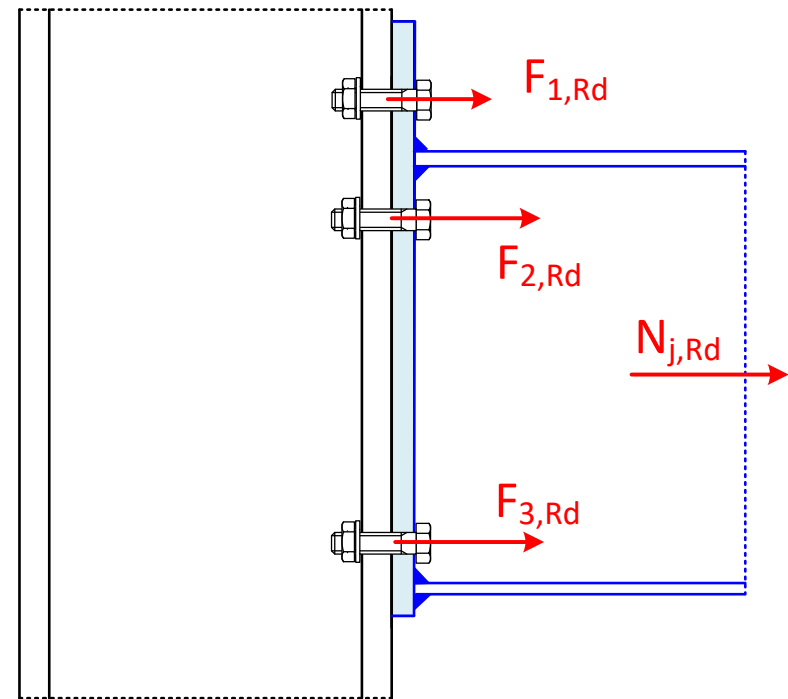
$$N_{j,Rd} \approx F_{1,Rd} + F_{2,Rd} + F_{3,Rd}$$

Se debe considerar la resistencia de cada fila en los 4 efectos R1 a R4, **sin hacer la reducción por:**

- cortante alma del poste (R5), ni
 - compresión en el alma del poste (R6), ni
 - compresión ala de la viga (R7),
- que sólo se aplican cuando se transmite momento

$F_{3,Rd}$ no se ha determinado.

Se puede calcular como fila individual, en los 4 efectos, o hacer $F_{3,Rd} = F_{2,Rd}$, si la geometría es similar



Resistencia de la unión a flexión + esfuerzo de tracción

EN 1993-1-8 6.2.7.1 (3)

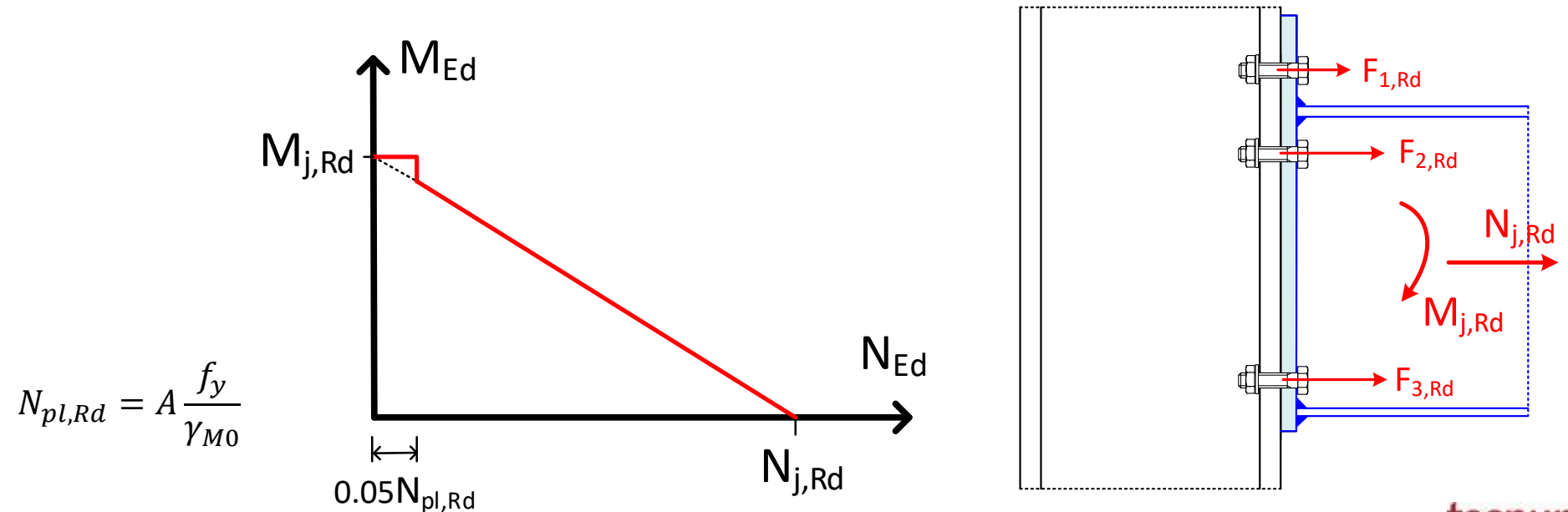
Si el axial no es despreciable

$$N_{Ed} > 0.05 N_{pl,Rd}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1$$

$M_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a flexión, suponiendo que no hay esfuerzo axial

$N_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a tracción, suponiendo que no hay momento aplicado

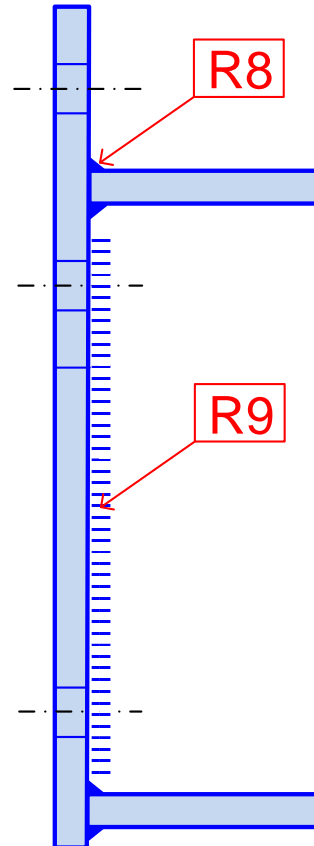


Resistencia de las soldaduras

Como en la unión viga - viga

R8 Resistencia de la soldadura de las alas de la viga a la chapa

R9 Resistencia de la soldadura del alma de la viga a la chapa $V_{w,wb,Rd}$



R10: Resistencia a cortante de los tornillos $V_{b,Rd}$

Todo el cortante se resiste por los 2 tornillos inferiores

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} = 2 \min(F_{v,Rd}, F_{b,ep,Rd}, F_{b,fc,Rd})$$

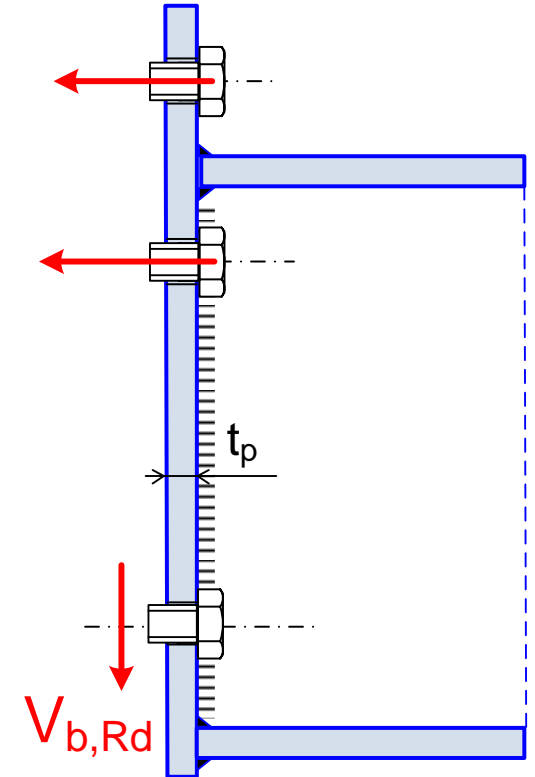
- $F_{v,Rd}$ Resistencia a **cortadura** de un tornillo
- $F_{b,ep,Rd}$ Resistencia a **aplastamiento** de un tornillo contra la chapa frontal

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

- $F_{b,fc,Rd}$ Resistencia a **aplastamiento** de un tornillo contra el ala del poste

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{u,fc} d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$$

α_b, k_1 según diseño



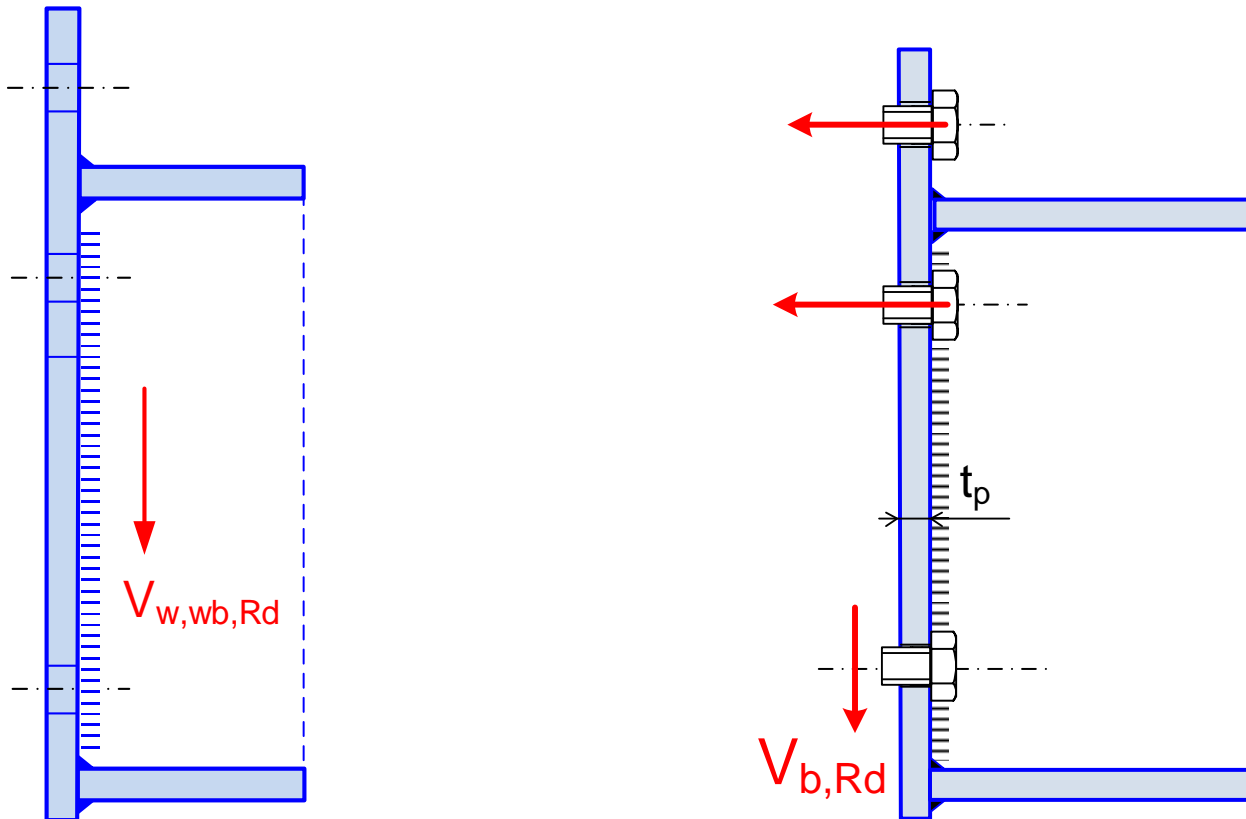
Nota: se puede soportar cortante también por los tornillos superiores (tornillos sometidos a esfuerzos combinados de tracción y cortante)

Hasta $0.286 F_{v,Rd}$

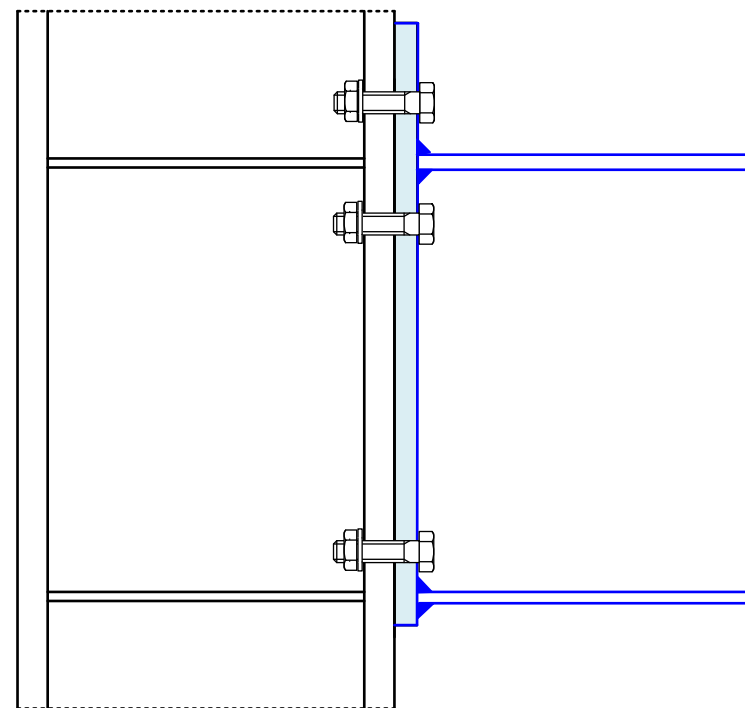
Resistencia a cortante de la unión $V_{j,Rd}$

Limitada por la resistencia de la soldadura del alma de la viga a la chapa frontal $V_{w,wb,Rd}$, y por la resistencia de los tornillos $V_{b,Rd}$

$$V_{j,Rd} = \min(V_{w,wb,Rd}, V_{b,Rd})$$



Unión sencilla viga-poste
con chapa frontal atornillada.
Poste con rigidizadores
horizontales



Poste reforzado con rigidizadores horizontales

Situar rigidizadores interiores al poste, coincidiendo con las dos alas de la viga.

Resistencias que cambian:

Rigidizador en la zona de tracción

R3. Resistencia a flexión del ala del poste

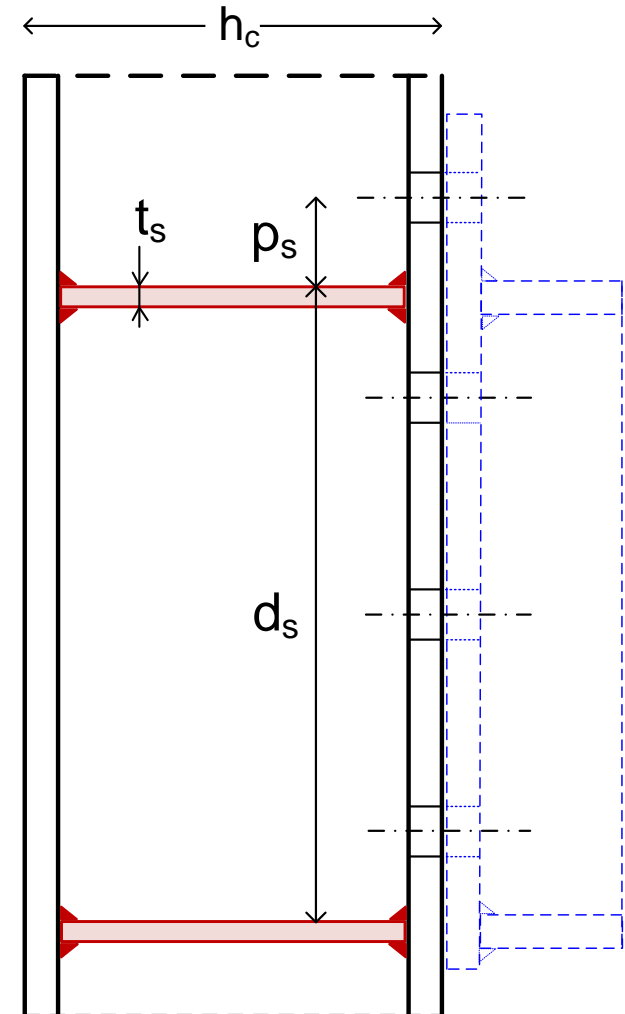
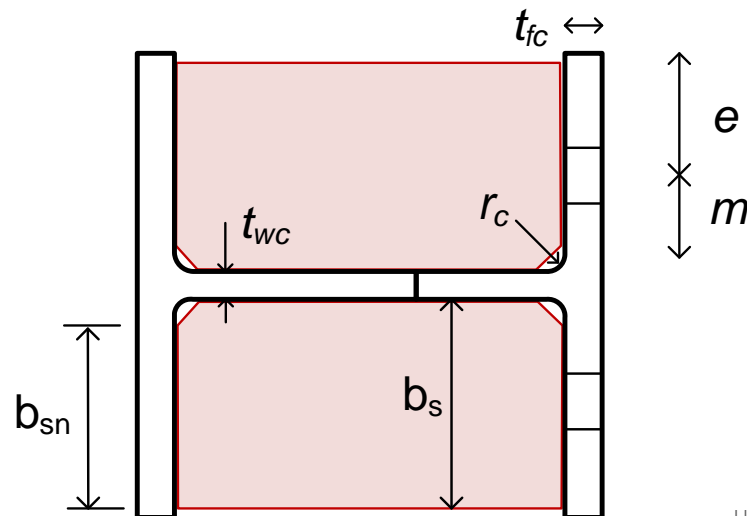
R4. Resistencia a tracción del alma del poste

Rigidizador en las dos zonas

R5. Resistencia a cortante del alma del poste

Rigidizador en la zona de compresión

R6. Compresión en el alma del poste



R3. Resistencia a flexión del ala del poste rigidizada

Filas 1 y 2 no se agrupan: sólo cálculo individual

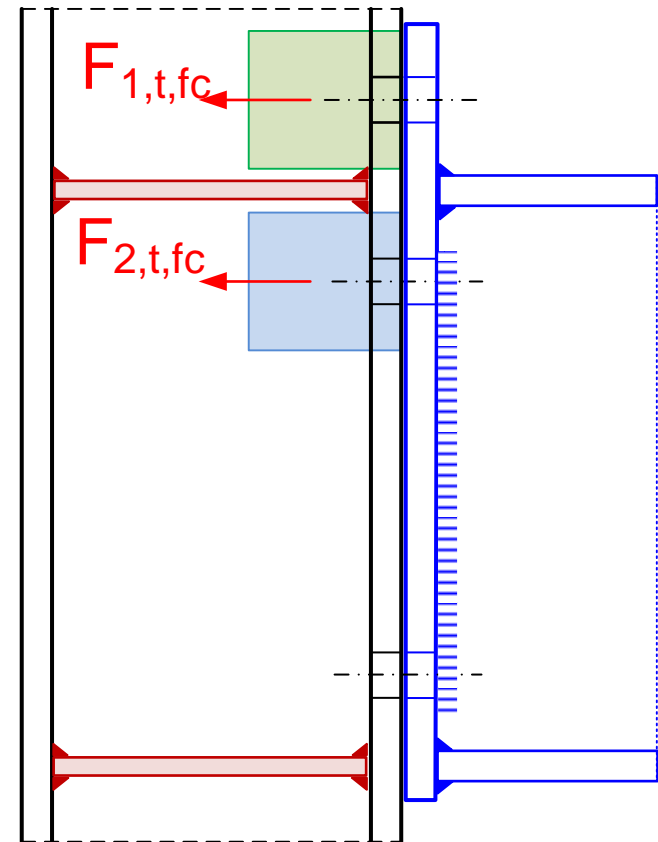
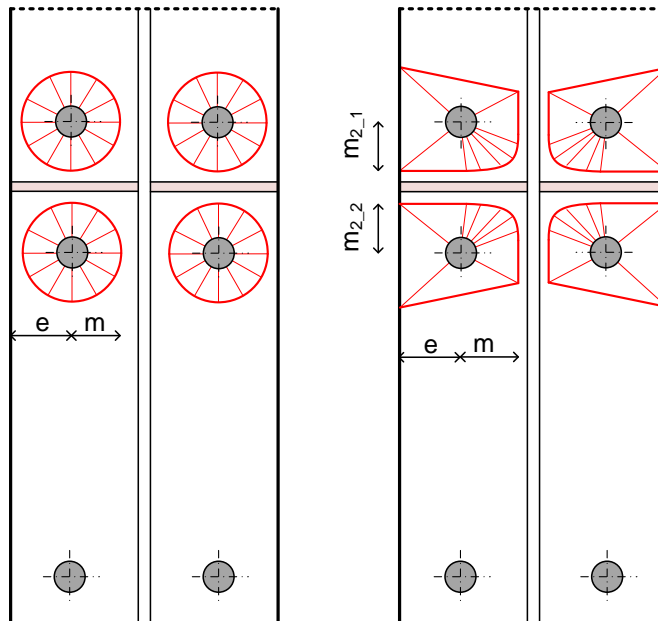
EN 1993-1-8 6.2.6.4.2

Longitud eficaz de filas 1 y 2 mayor: otras formas de rotura

$$l_{eff,cp} = 2 \pi m \quad \text{Igual a sin rigidizadores}$$

$$l_{eff,nc} = \alpha m \quad \text{Distinta a sin rigidizadores}$$

Calcular $F_{1,t,fc}$ $F_{2,t,fc}$ con las fórmulas de la T de tracción.



R4. Resistencia a tracción del alma del poste rigidizada

Máxima fuerza de tracción que puede soportar el alma del poste rigidizada, en cada fila de tornillos (o en cada grupo de filas)

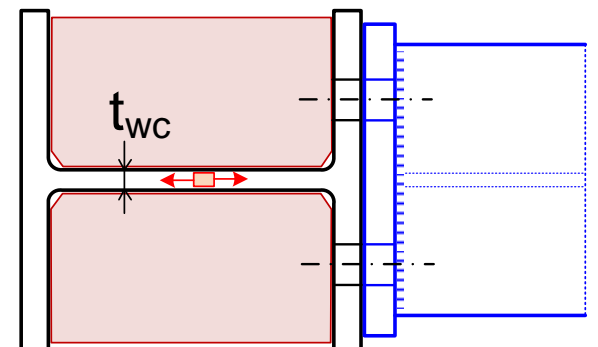
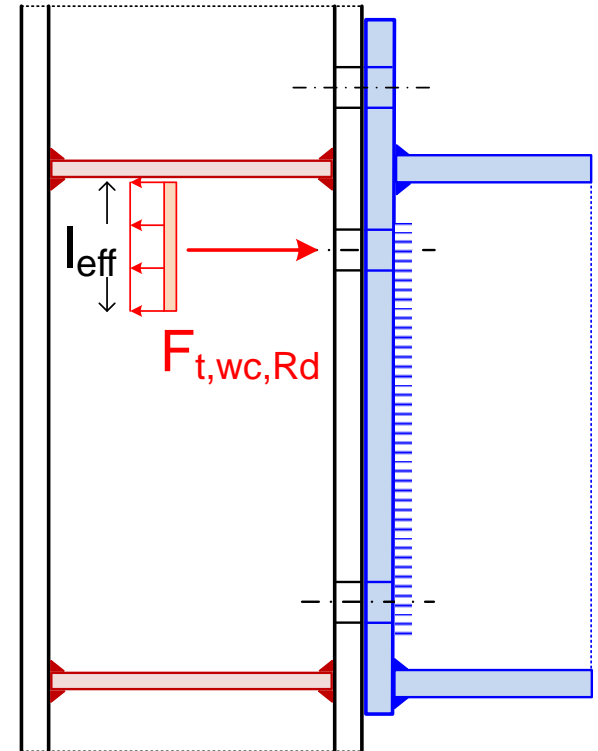
No hay recomendaciones en las normas.

Práctica habitual:

Misma expresión que en la unión sin rigidizadores, pero con el valor actual de la longitud eficaz l_{eff} para la flexión del ala del poste rigidizada recién calculado en R3, sin agruparse.

$$F_{t,wc,Rd} = \omega l_{eff} t_{wc} \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}}$$

$$l_{eff} = \min(2\pi m, \alpha m)$$



R4. Resistencia del rigidizador en la zona de tracción (1)

Basado en Steel Construction Institute, publicación P398

Longitud efectiva del alma a tracción: suponiendo una distribución a 60° desde los tornillos a ambos lados del rigidizador, hasta el centro del alma (sin pasar del punto medio entre filas de tornillos)

$$L_{wt} = \sqrt{3} \frac{w}{2} + p_{1-2} + \min(0.5 p_{2-3}, \sqrt{3} \frac{w}{2})$$

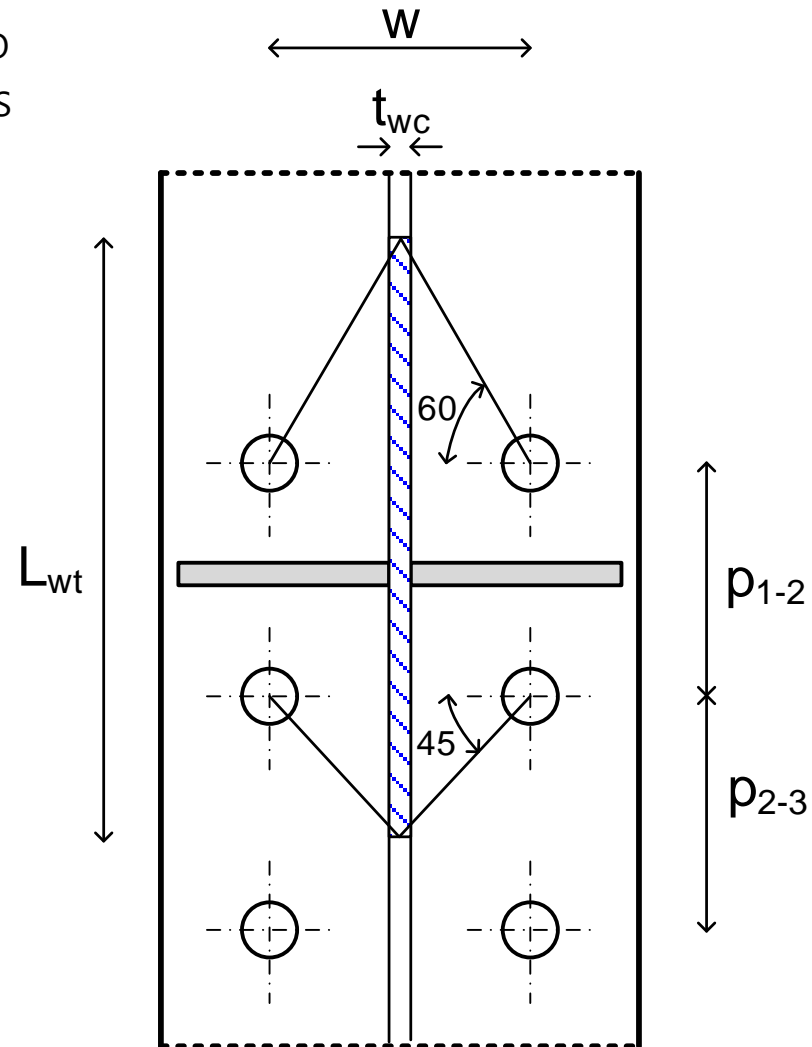
Criterio A:

Fuerza de diseño del rigidizador: la resistencia de las filas 1, 2 de tornillos, menos la aportada por la longitud efectiva del alma a tracción

$$F_{s,Ed,A} = F_{r1,Rd} + F_{r2,Rd} - L_{wt} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$F_{r1,Rd}$ Resistencia de la fila de tornillos 1 (encima)

$F_{r2,Rd}$ Resistencia de la fila de tornillos 2 (debajo)



R4. Resistencia del rigidizador en la zona de tracción (2)

Basado en Steel Construction Institute, publicación P398

Criterio B:

Las fuerzas en los tornillos se soportan por el alma y por el rigidizador. Se supone que las fuerzas se reparten de forma proporcional a la distancia de los tornillos al alma (m) y al rigidizador (m_2)

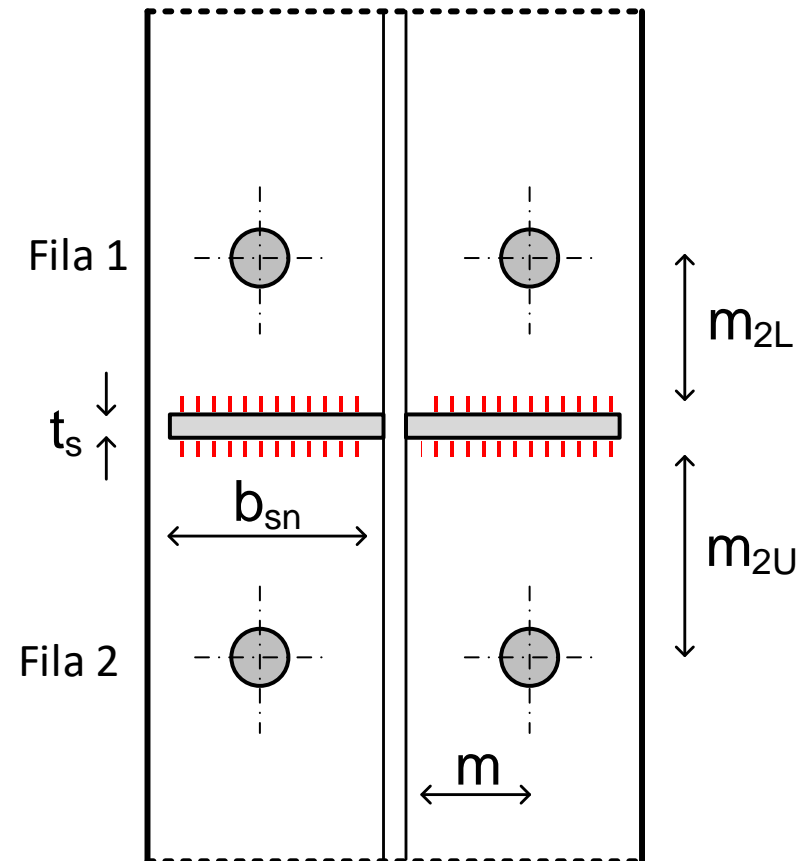
Fuerza de diseño a soportar por el rigidizador:

$$F_{s,Ed,B} = \frac{m F_{r1,Rd}}{(m + m_{2L})} + \frac{m F_{r2,Rd}}{(m + m_{2U})}$$

Comprobación del rigidizador:

$$\max(F_{s,Ed,A}, F_{s,Ed,B}) \leq 2 b_{sn} t_s \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}}$$

b_{sn} longitud del rigidizador en contacto recto con el interior del ala (descontando acuerdos curvos)



R5. Resistencia a cortante del panel de alma del poste rigidizado

Si hay rigidizadores (espesor t_s) frente a las dos alas, la resistencia a cortante del panel central del alma del poste se puede aumentar en (§ 6.2.6.1 (4)):

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

Como máximo:

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

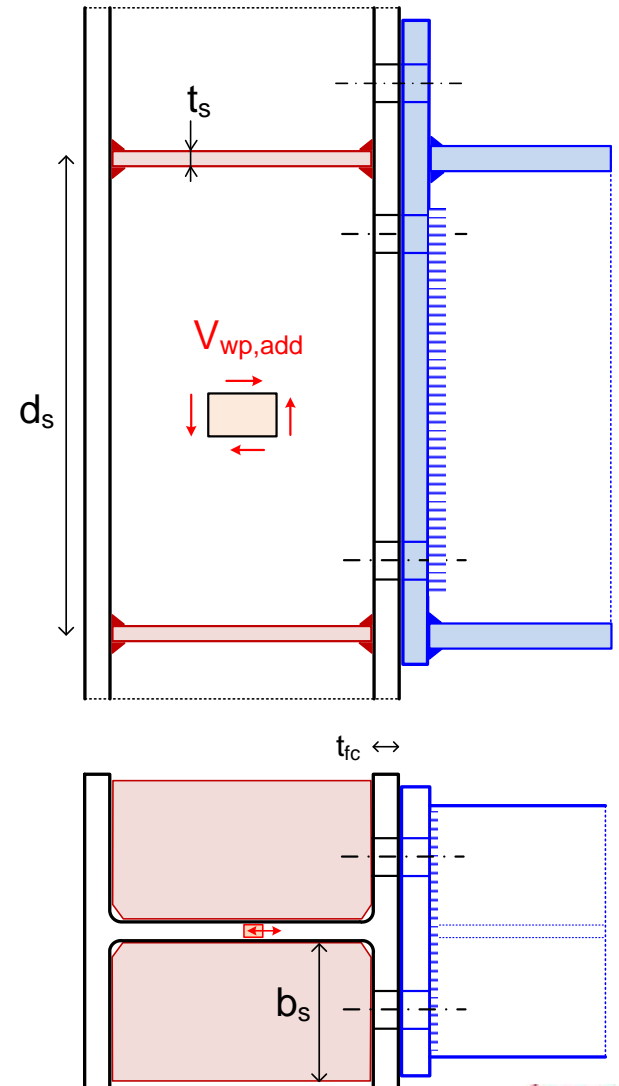
d_s : distancia entre ejes de rigidizadores

Momento resistente plástico del ala del poste:

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{b_{fc} t_{fc}^2 f_{yd}}{4}$$

Momento resistente plástico de cada rigidizador:

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{(2 b_s) t_s^2 f_{yd,s}}{4}$$



R6. Resistencia a compresión del alma del poste rigidizada (1)

R6a. Resistencia a aplastamiento de la sección transversal

Sección transversal resistente:

1. área de los rigidizadores en contacto con el ala del poste: $2 b_{sn} t_s$

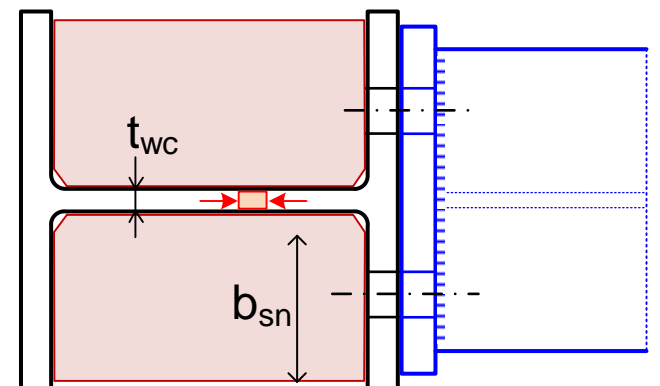
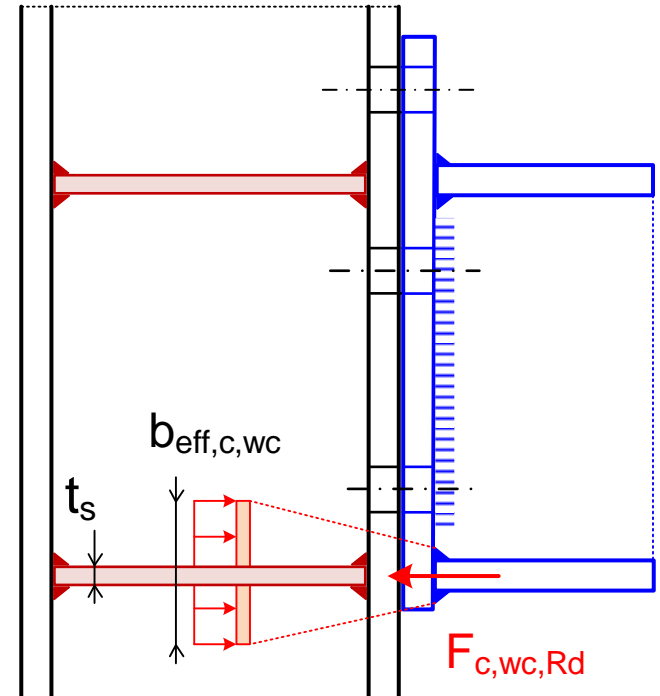
2. área del alma del poste de altura $b_{eff,c,wc}$: $b_{eff,c,wc} \times t_{wc}$

$$F_{C,wc,Rd} = 2 b_{sn} t_s \frac{f_{ys}}{\gamma_{M0}} + b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_{yc}}{\gamma_{M0}}$$

Resistencia
rigidizadores

Resistencia
alma del poste

b_{sn} longitud del rigidizador en contacto recto con el interior del ala



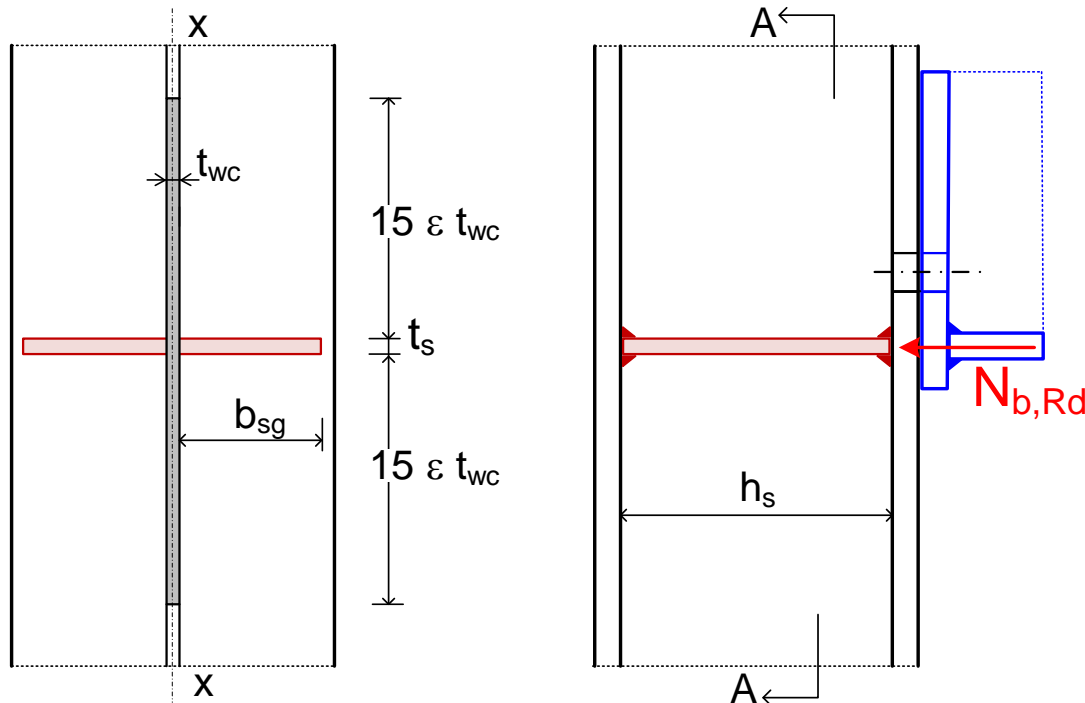
R6. Resistencia a compresión del alma del poste rigidizada (2)

R6b. Resistencia a pandeo de la sección transversal EN 1993-1-5 §9.1

Sección transversal resistente a pandeo: sección cruciforme

1. los dos rigidizadores a cada lado del ala del poste
2. área del alma del poste de altura $15 \epsilon t_{wc}$ a cada lado de los rigidizadores

Pandeo respecto del eje vertical (x-x)



R6. Resistencia a compresión del alma del poste rigidizada (3)

Para evitar el pandeo por torsión, los rigidizadores deben cumplir: $\frac{b_{sg}}{t_s} \leq 14 \epsilon$

b_{sg} longitud del rigidizador desde el alma hasta su extremo libre

Área de la sección en + $A_{s,eq} = 2 b_{sg} t_s + 30 \epsilon t_{wc} t_{wc}$

Inercia de la sección en + $I_{s,eq,xx} = \frac{1}{12} t_s (2 b_{sg} + t_{wc})^3 + \frac{1}{12} 30 \epsilon t_{wc} t_{wc}^3$

Radio de giro: $i_{s,eq,xx} = \sqrt{\frac{I_{s,eq,xx}}{A_{s,eq}}}$

Esbeltez a pandeo: $\bar{\lambda} = \frac{L_p}{i_{s,eq,xx}} \frac{1}{93.9 \epsilon}$

$L_p = h_s$

Longitud de pandeo = longitud del rigidizador

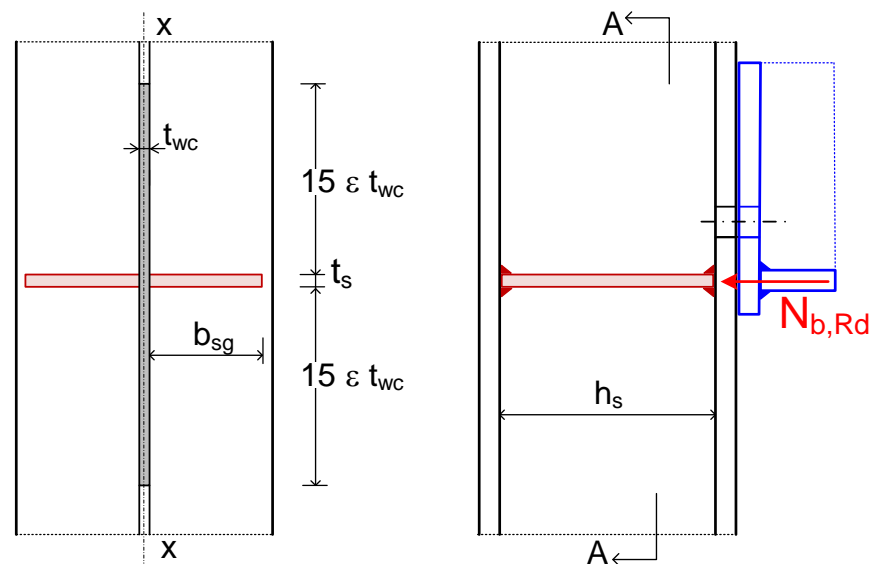
Calcular χ con la curva de pandeo c

Si $\bar{\lambda} < 0.2$ $\chi = 1$ y el pandeo no afecta

Carga crítica de pandeo $N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{s,eq} f_{ys}}{\gamma_{M1}}$

Debe ser:

$N_{b,Rd} \geq F_{c,wc,Rd}$

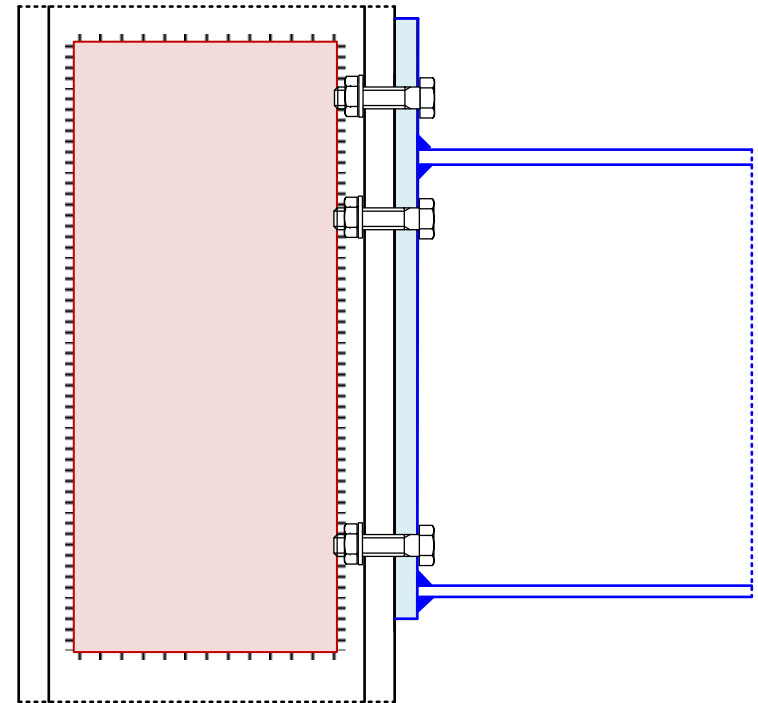


Poste reforzado con chapa lateral de alma

Si la resistencia a cortante de alma del poste $V_{wp,Rd}$ es insuficiente

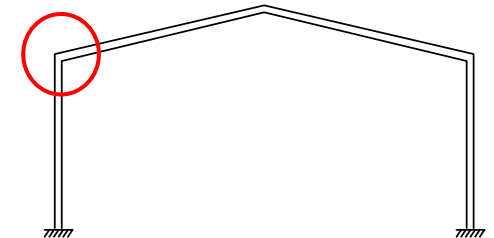
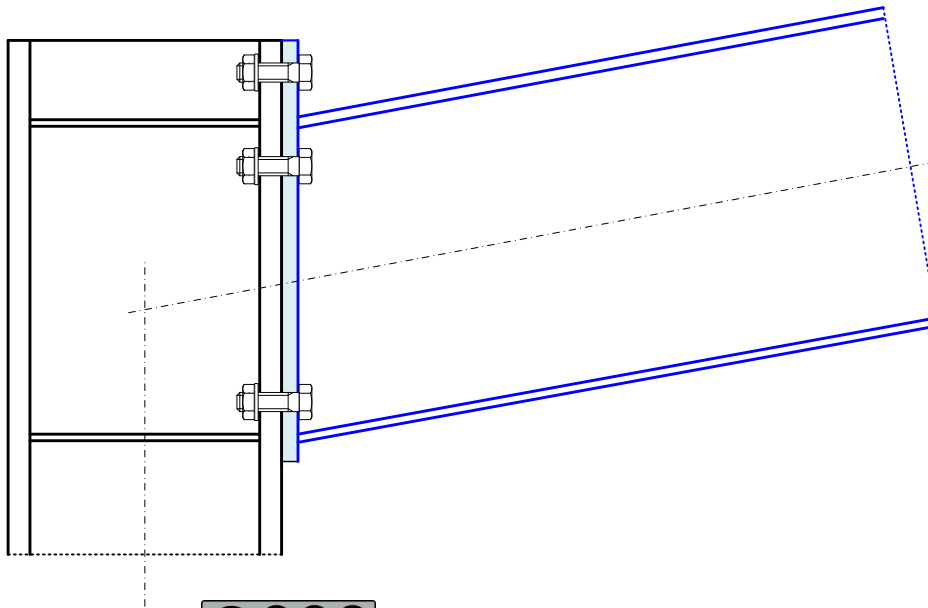
Aumentar el área a cortante A_{vc} añadiendo una chapa lateral

Dimensionar de la misma forma que en la unión viga – poste soldada



Poste que termina en el nudo

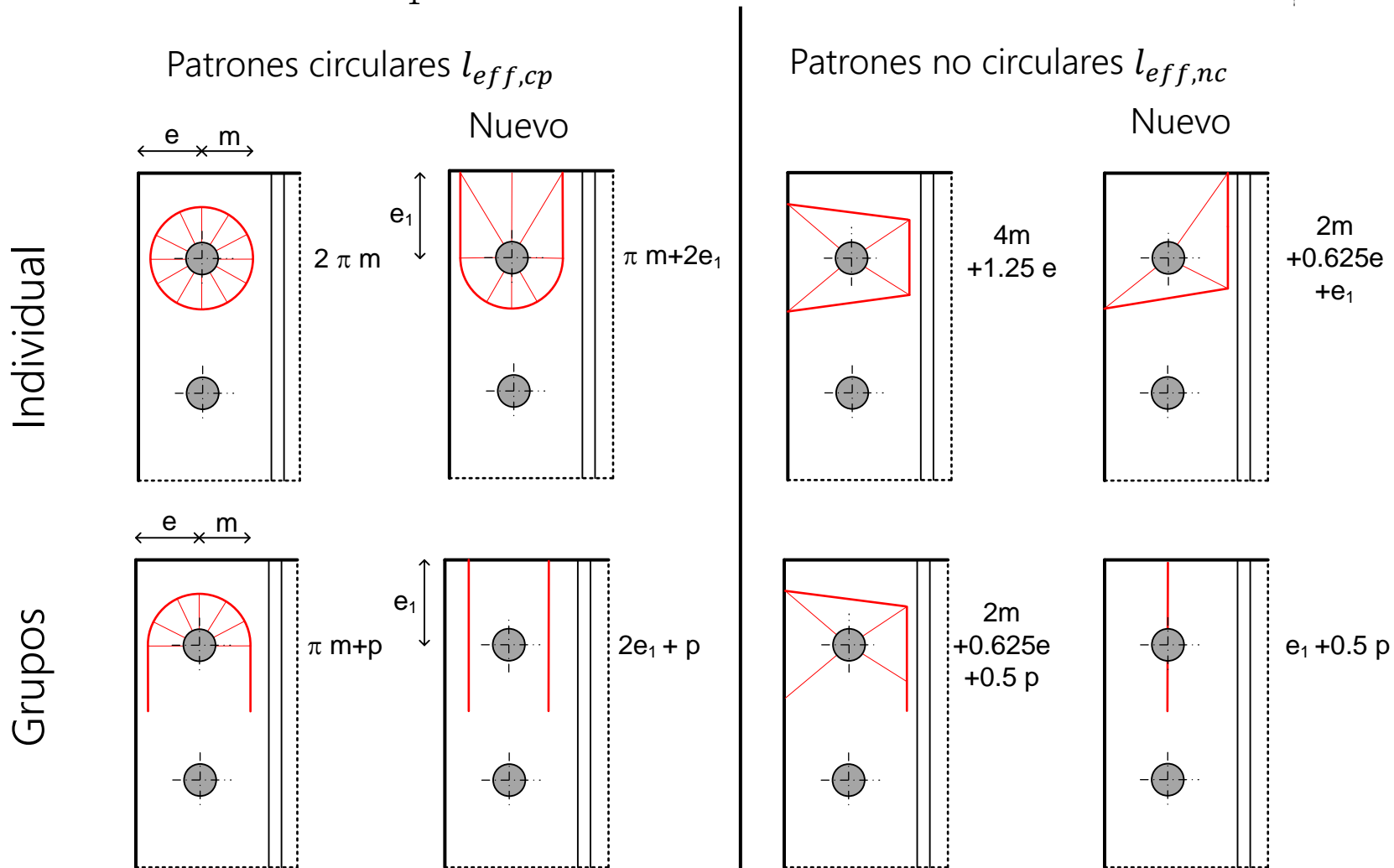
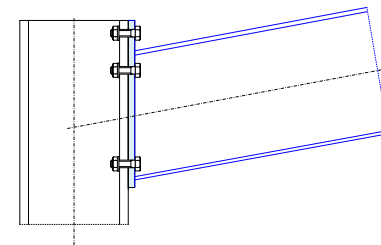
Hombro en pórtico de nave o esquina en cubierta de edificio



Poste que termina en el nudo. No rigidizado

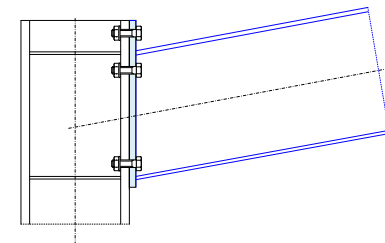
La primera fila de tornillos puede tener nuevos modos de fallo (hacia la arista superior libre), con nuevos valores de su longitud eficaz.

Distancia al borde libre: e_1



Poste que termina en el nudo. Rigidizado

La primera fila de tornillos puede tener nuevos modos de fallo (hacia la arista superior libre), con nuevos valores de su longitud eficaz.

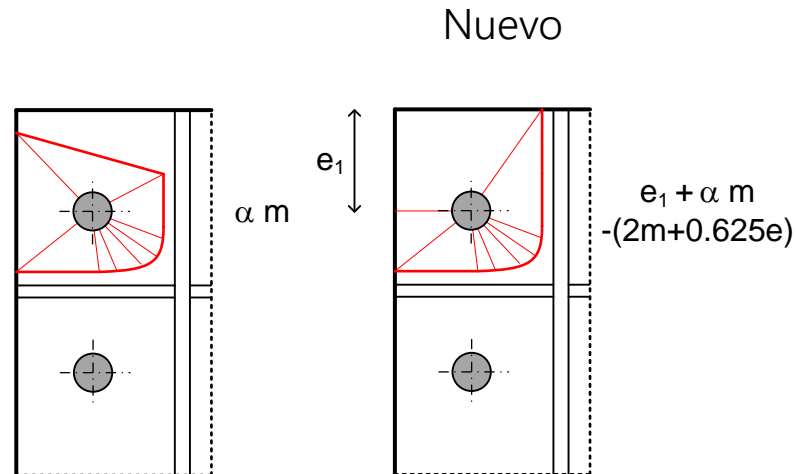
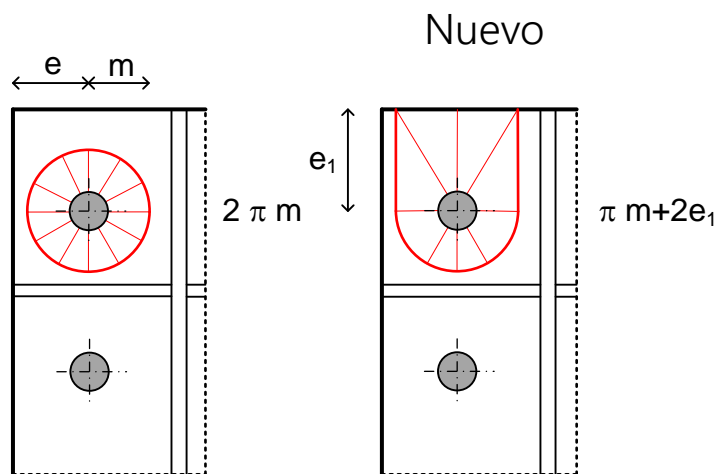


Distancia al borde libre: e_1

Patrones circulares $l_{eff,cp}$

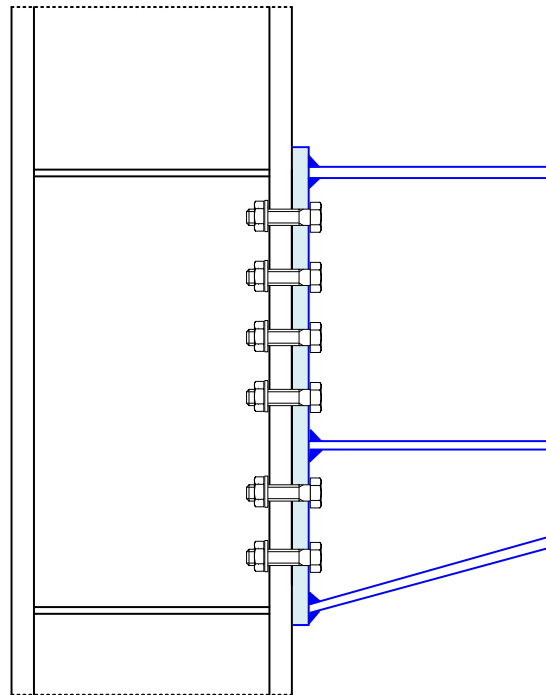
Patrones no circulares $l_{eff,nc}$

Individual



Esta fila exterior no forma grupos, por la presencia del rigidizador

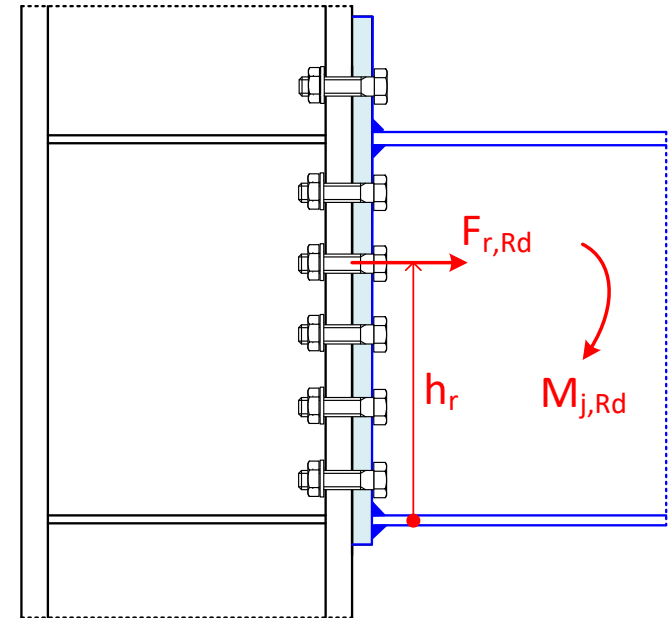
Uniones con varias filas de tornillos



Uniones con varias filas de tornillos

La resistencia de cada fila $F_{r,Rd}$ se debe determinar siguiendo los conceptos indicados en EN 1993-1-8, 6.2.7.2.

Ver: Cálculo de la resistencia de cada fila.
Conceptos EN 1993-1-8, 6.2.7.2



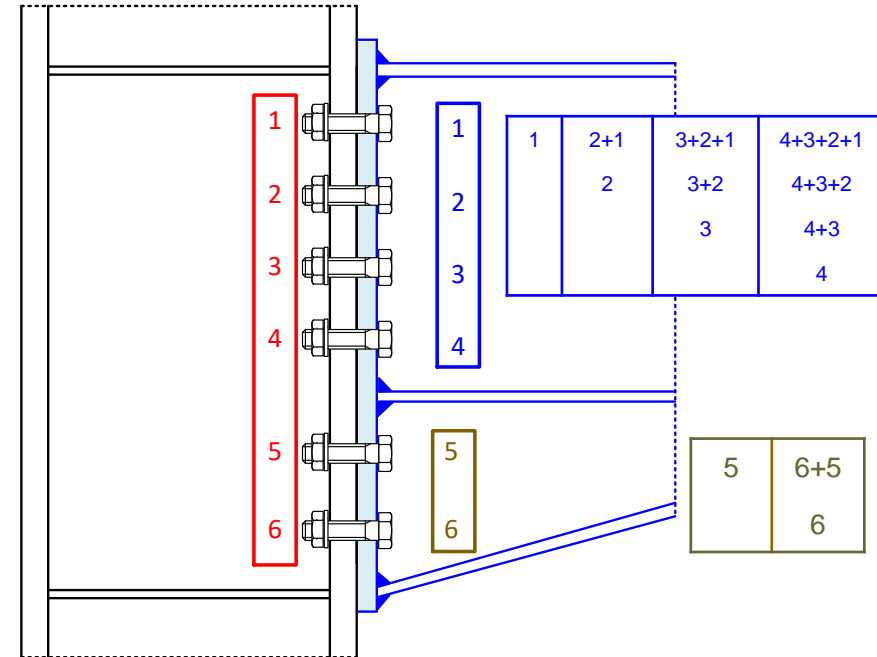
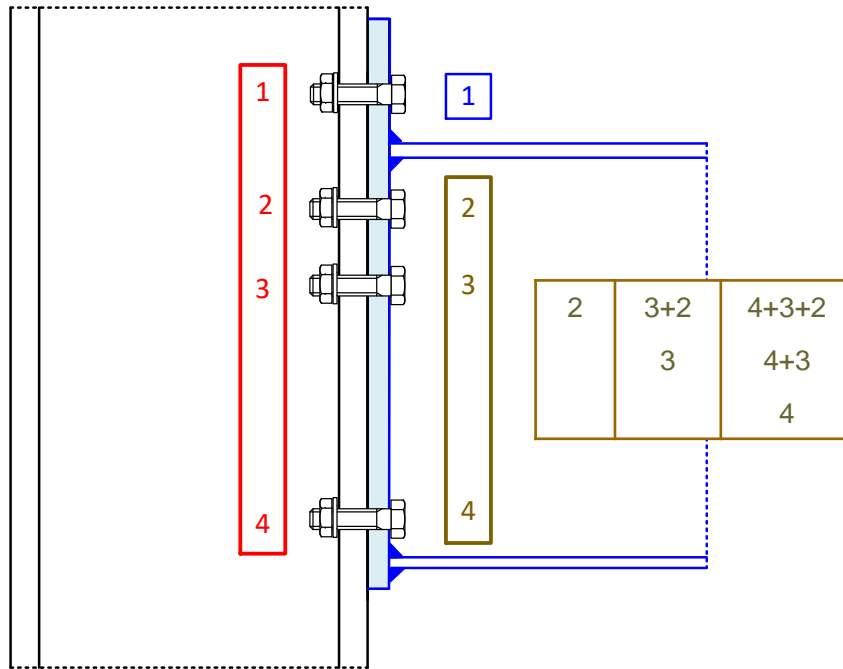
Las líneas de rotura de las filas próximas se conectan entre si para dar lugar a formas de rotura que agrupan varias filas (grupos).

La resistencia de una fila tiene dos valores:

- Resistencia como fila individual (como en la unión sencilla)
- Resistencia como fila participante en un grupo

Grupos de filas en viga y poste

Grupo: filas adyacentes no separadas por un rigidizador.
Pueden ser diferentes en viga y poste



1	2+1	3+2+1	4+3+2+1
	2	3+2	4+3+2
		3	4+3
			4

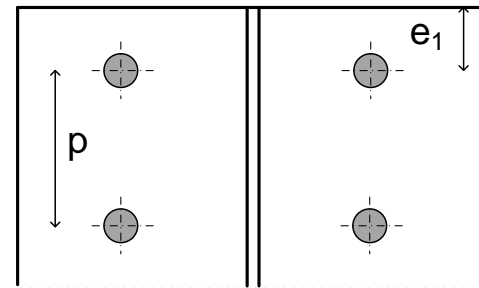
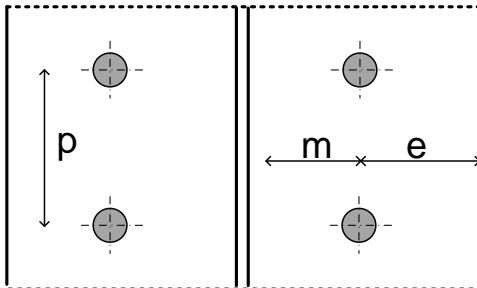
Las filas inferiores no se suelen usar para la resistencia a flexión. Sólo a cortante

1	2+1	3+2+1	4+3+2+1	5+4+3+2+1	6+5+4+3+2+1
	2	3+2	4+3+2	5+4+3+2	6+5+4+3+2
		3	4+3	5+4+3	6+5+4+3
			4	5+4	6+5+4
				5	6+5
					6

Longitudes equivalentes. Postes sin rigidizadores

	Fila individual		Fila parte de un grupo	
Fila	Patrones circulares $l_{eff,cp}$	Patrones no circulares $l_{eff,nc}$	Patrones circulares $l_{eff,cp}$	Patrones no circulares $l_{eff,nc}$
Interior (3)	$2 \pi m$	$4 m + 1.25 e$	$2 p$	p
Exterior (2)	$2 \pi m$	$4 m + 1.25 e$	$\pi m + p$	$2 m + 0.625 e + 0.5 p$
Extremo libre	El menor de: $2 \pi m$ $\pi m + 2 e_1$	El menor de: $4 m + 1.25 e$ $2 m + 0.625 e + e_1$	El menor de: $\pi m + p$ $2 e_1 + p$	El menor de: $2 m + 0.625 e + 0.5 p$ $e_1 + 0.5 p$

EN 1993-1-8 6.2.6.4.1



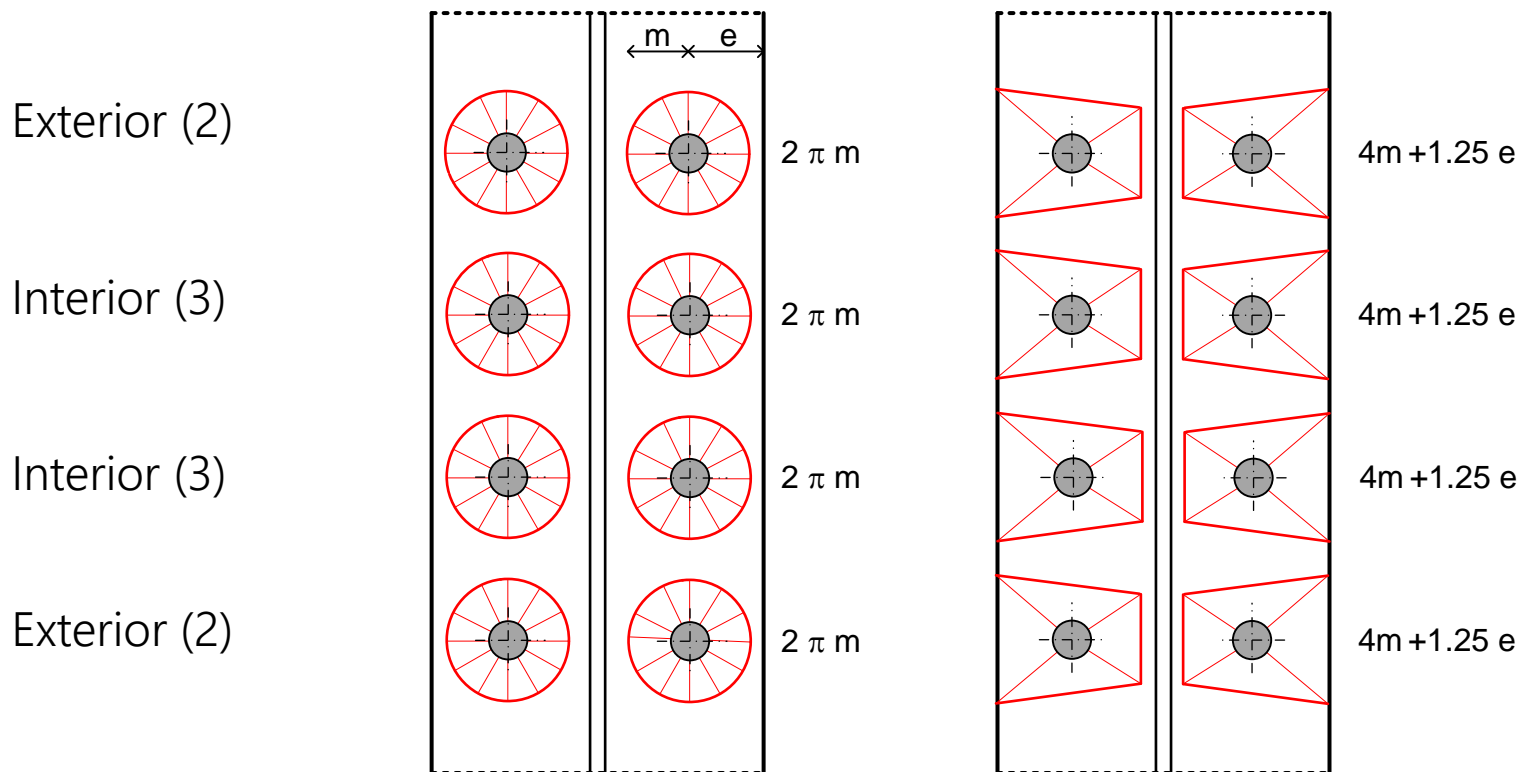
Extremo libre arriba

Patrones de rotura de ala de poste no rigidizado

Filas individuales

Patrones circulares $l_{eff,cp}$

Patrones no circulares $l_{eff,nc}$

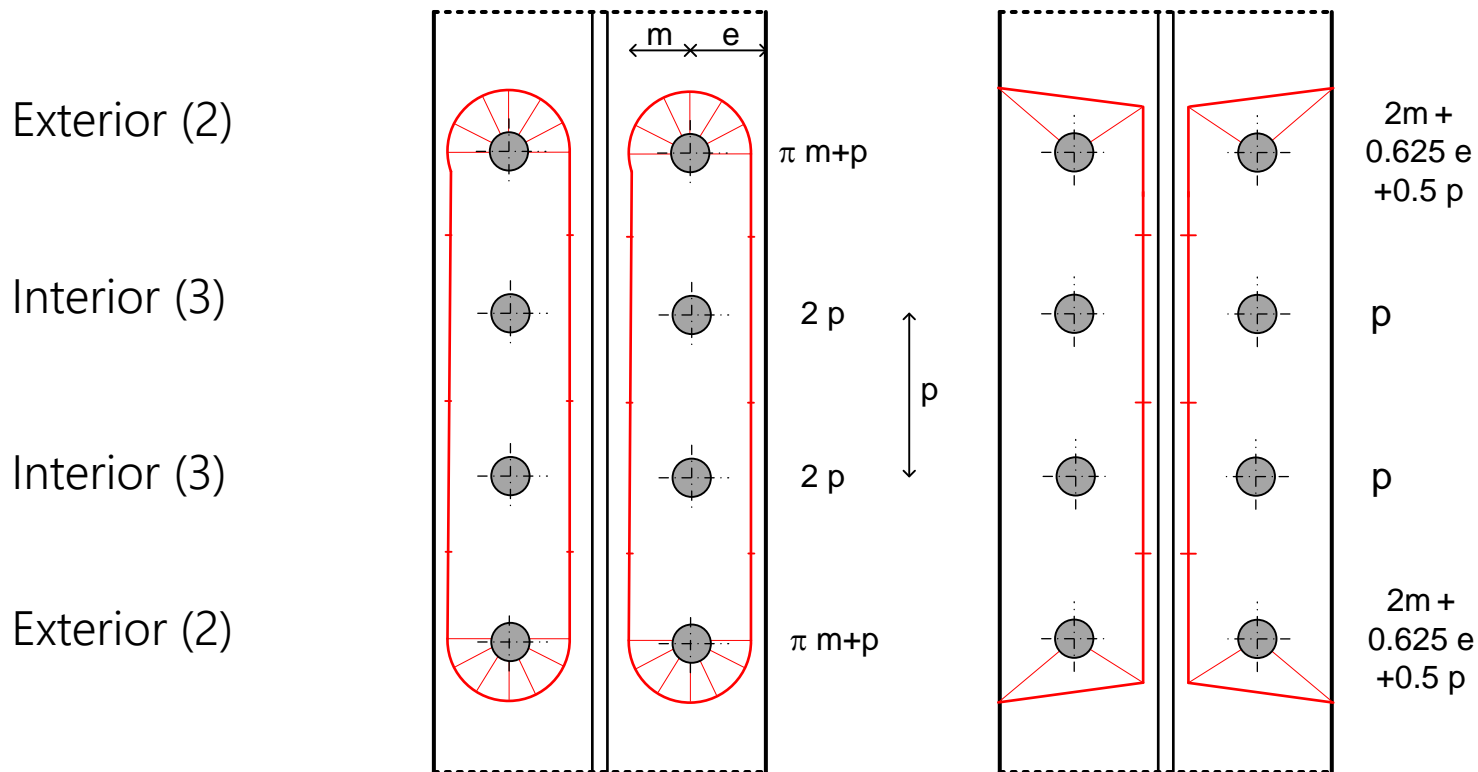


Patrones de rotura de ala de poste no rigidizado

Filas pertenecientes a un grupo

Patrones circulares $l_{eff,cp}$

Patrones no circulares $l_{eff,nc}$

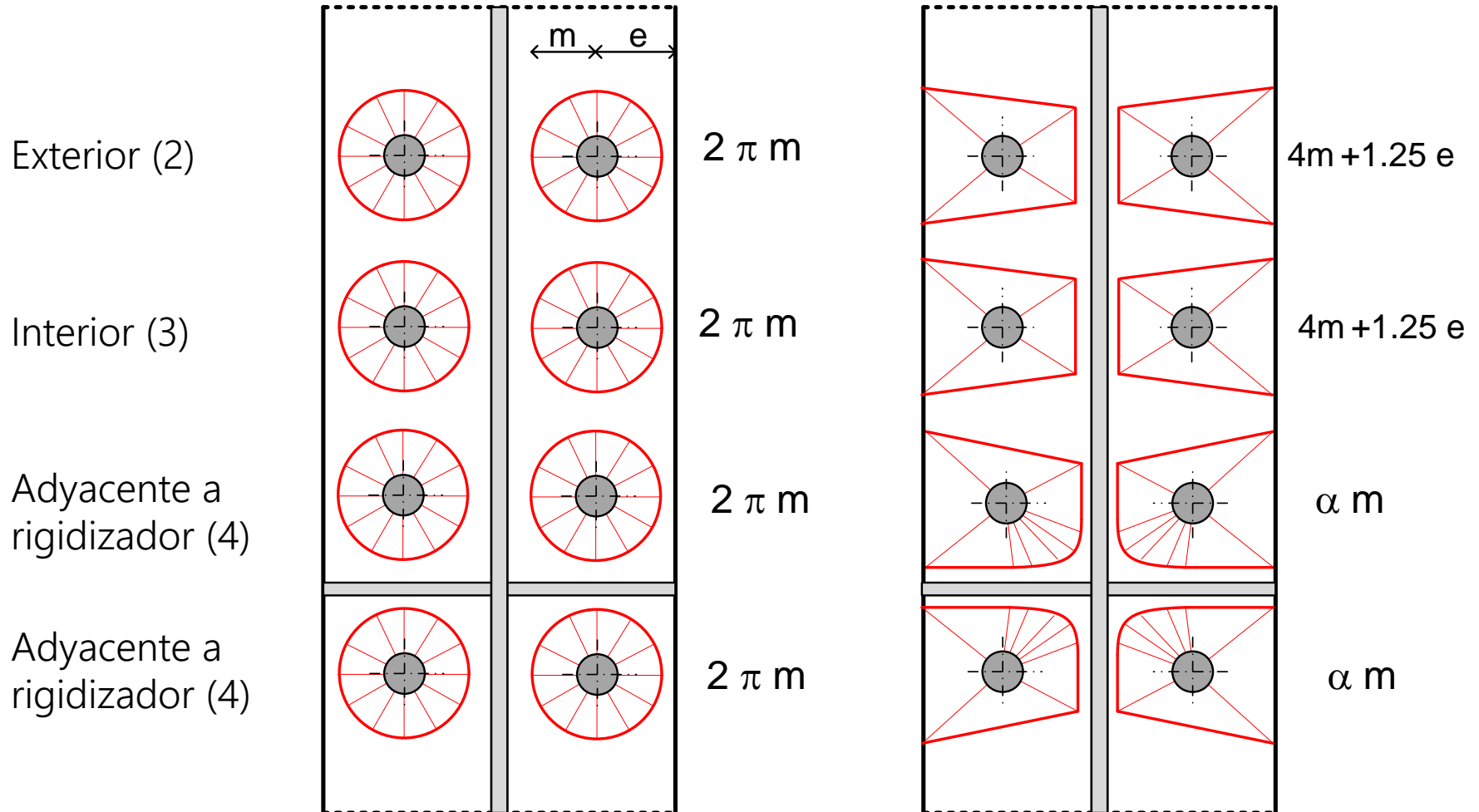


	Fila individual		Fila parte de un grupo	
Fila	Patrones circulares $l_{eff,cp}$	Patrones no circulares $l_{eff,nc}$	Patrones circulares $l_{eff,cp}$	Patrones no circulares $l_{eff,nc}$
Adyacente a rigidizador (4)	$2 \pi m$	αm	$\pi m + p$	$0.5 p + \alpha m - (2m + 0.625 e)$
Interior (3)	$2 \pi m$	$4 m + 1.25 e$	$2 p$	p
Exterior (2)	El menor de: $2 \pi m$ $\pi m + 2 e_1$	El menor de: $4m + 1.25 e$ $2m + 0.625e + e_1$	El menor de: $\pi m + p$ $2 e_1 + p$	El menor de: $2m + 0.625 e + 0.5 p$ $e_1 + 0.5 p$
Exterior adyacente a rigidizador (1)	El menor de: $2 \pi m$ $\pi m + 2 e_1$	$e_1 + \alpha m - (2 m + 0.625 e)$	No posible	No posible

Las expresiones con e_1 sólo aplican a las filas exteriores situadas en el extremo final del poste
 e_1 distancia de la fila exterior al borde del poste

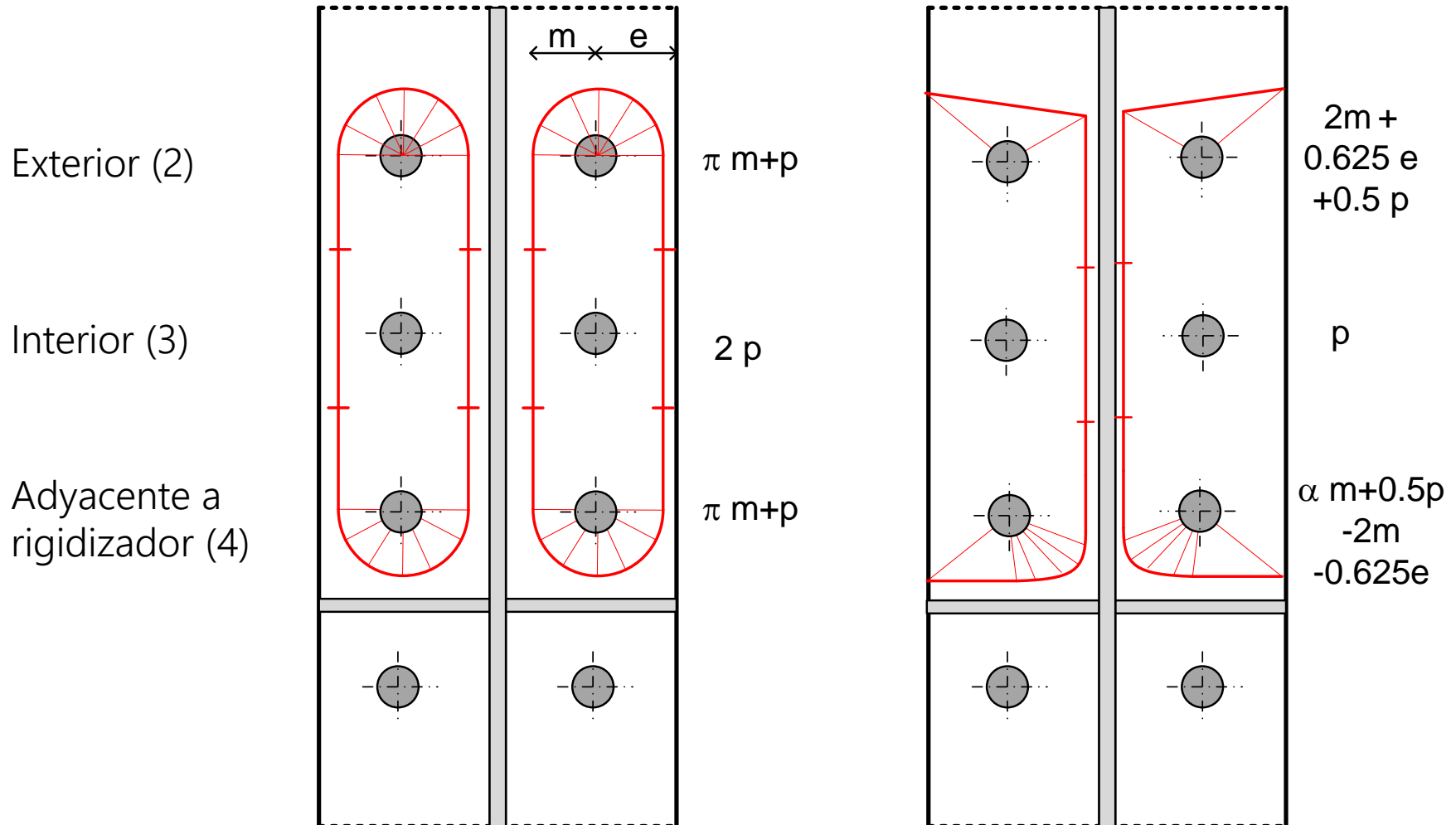
Patrones de rotura de ala de poste rigidizado (1)

Filas individuales



Patrones de rotura de ala de poste rigidizado (2)

Filas pertenecientes a un grupo



Uniones con varias filas de tornillos. Filas individuales y grupos

A. Se debe determinar la resistencia de cada fila como fila individual, para los 4 efectos:

$$F_{r,t,ep,Rd}^{indiv} \quad F_{r,t,wb,Rd}^{indiv} \quad F_{r,t,fc,Rd}^{indiv} \quad F_{r,t,wc,Rd}^{indiv}$$

B. Se debe determinar la resistencia de todos los grupos en los que participa la fila

Las líneas de rotura de las filas próximas se conectan entre si para dar lugar a formas de rotura que agrupan varias filas. Las filas no se agrupan a través de los rigidizadores.

Una fila se debe agrupar de forma secuencial con todas las precedentes (situadas por encima), que no estén separadas por un rigidizador.

$$\begin{array}{l} \text{Grupos de la fila } r : \\ r, r - 1 \\ r, r - 1, r - 2 \\ \dots \\ r, r - 1, r - 2, r - 3, \dots r_{ini} \end{array}$$

Calcular:

$$F_{grupo,t,ep,Rd} \quad F_{grupo,t,wb,Rd} \quad F_{grupo,t,fc,Rd} \quad F_{grupo,t,wc,Rd} \quad \forall \text{ grupo}$$

La longitud eficaz de un grupo es la suma de longitudes eficaces de las filas, pero con valores específicos para el trabajo en grupo

Resistencia de la fila r como participante en un grupo

Es igual a:

la resistencia del grupo F_{grupo}

menos la suma de las resistencias de las filas precedentes del grupo

$$F_{r,t,ep,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,ep,Rd} - \sum_{k=r_{ini}}^{k=r-1} F_{k,Rd}$$

$$F_{r,t,wb,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,wb,Rd} - \sum_{k=r_{ini}}^{k=r-1} F_{k,Rd}$$

$$F_{r,t,fc,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,fc,Rd} - \sum_{k=r_{ini}}^{k=r-1} F_{k,Rd}$$

$$F_{r,t,wc,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,wc,Rd} - \sum_{k=r_{ini}}^{k=r-1} F_{k,Rd}$$

\forall grupo

Resistencia como
participante en el grupo

Resistencia del
grupo

Resistencia de las filas
anteriores del grupo

Si es necesario, la resistencia de la fila r debe disminuirse para no superar la resistencia del grupo en su conjunto

Uniones con varias filas de tornillos. Resistencia final de una fila

La resistencia de la fila r , para cada efecto, es la menor de:
su resistencia como fila individual y
su resistencia como participante en los grupos.

$$F_{r,t,ep,Rd} = \min(F_{r,t,ep,Rd}^{indiv} , F_{r,t,ep,Rd}^{partgrupo}) \quad \text{R1 Chapa viga (ep)}$$

$$F_{r,t,wb,Rd} = \min(F_{r,t,wb,Rd}^{indiv} , F_{r,t,wb,Rd}^{partgrupo}) \quad \text{R2 Alma viga (wb)}$$

$$F_{r,t,fc,Rd} = \min(F_{r,t,fc,Rd}^{indiv} , F_{r,t,fc,Rd}^{partgrupo}) \quad \text{R3 Ala poste (fc)}$$

$$F_{r,t,wc,Rd} = \min(F_{r,t,wc,Rd}^{indiv} , F_{r,t,wc,Rd}^{partgrupo}) \quad \text{R4 Alma poste (t,wc)}$$

La resistencia final de la fila r es la menor de todos los 4 efectos:

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

Finalmente, la resistencia de las filas $F_{r,Rd}$ se debe reducir nuevamente para cumplir con los otros 3 efectos: cortante alma poste, compresión alma poste y compresión ala viga.

$$\Sigma F_{r,Rd} \leq \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$$

$$\Sigma F_{r,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$$

$$\Sigma F_{r,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$$

Nudos con varias filas de tornillos. Proceso general (1)

Determinar grupos: una fila se agrupa con todas las anteriores, que no estén separadas por un rigidizador (pueden ser diferentes en viga y columna)

Bucle en las filas, de arriba (fila 1) abajo (fila N). Para cada fila r

- Determinar la resistencia de la fila. P. e. para R3: ala del poste a flexión (fc)
 - De forma individual $F_{r,fc,Rd}^{indiv}$
 - Bucle en todos los grupos donde participa la fila
 - ✓ Resistencia del grupo $F_{grupo,t,fc,Rd}$
 - ✓ Resistencia máxima de la fila r como participe en un grupo

$$F_{r,t,fc,Rd}^{partgrupo} = F_{grupo,t,fc,Rd} - \sum_{k=r_{ini}}^{r-1} F_{k,Rd}$$

- Resistencia de la fila r para este efecto: $F_{r,t,fc,Rd} = \min(F_{r,t,fc,Rd}^{indiv}, F_{r,t,fc,Rd}^{partgrupo})$
- Repetir para los otros 3 efectos: R1 (ep), R2 (wb), R4 (wc)

Nudos con varias filas de tornillos. Proceso general (2)

- Determinar la resistencia mínima de la fila $F_{r,Rd}$ en los 4 efectos

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

- Fin bucle en filas

Aplicar límite por cortante del alma del poste (R5)

$$\sum F_{r,Rd} \leq \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$$

Disminuir resistencia de las filas de abajo hacia arriba

Aplicar límite por compresión del alma del poste (R6)

$$\sum F_{r,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$$

Aplicar límite por compresión del ala de la viga (R7)

$$\sum F_{r,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$$

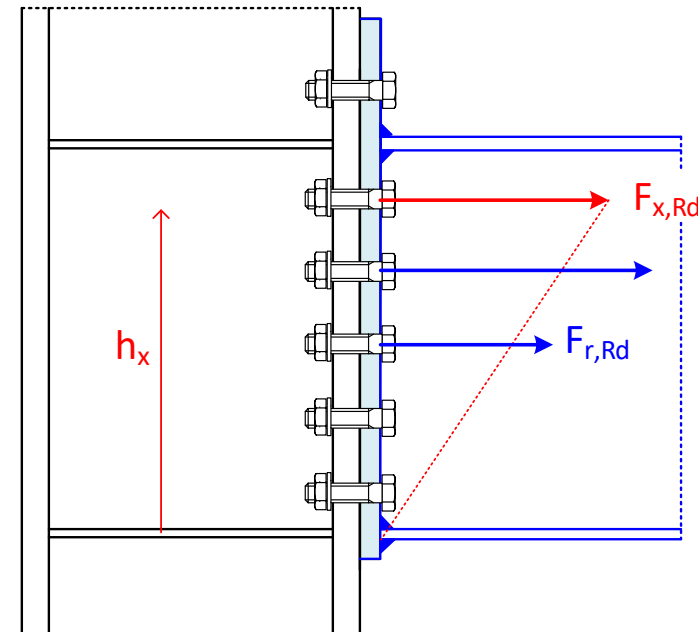
Reducción final lineal de la resistencia de las filas (1)

Para que se pueda alcanzar la resistencia total en más de una fila de tornillos se requiere que exista ductilidad suficiente en las filas más alejadas del centro de compresiones, a fin de permitir los reajustes plásticos.

Cuando la resistencia depende de la deformación de la T a flexión (modos 1 y 2), normalmente existe ductilidad suficiente, y se alcanza la resistencia total de las filas, ya calculada. Si la T falla en modo 3 (por los tornillos a tracción) la limitada capacidad de deformación de los tornillos no permite la redistribución plástica de las fuerzas en las filas inferiores.

Para cumplir esto, EN 1993-1-8 §6.2.7.2 (9) exige limitar la resistencia calculada para las filas, de tal forma que la fuerza en cualquier fila inferior no puede exceder un valor proporcional a su distancia al centro de compresiones.

Refiere al AN para más información. El AN no añade nada.



Reducción final lineal de la resistencia de las filas (2)

Si una fila cualquiera x falla en modo 3, no tiene ductilidad suficiente, y no se puede asumir una distribución plástica de las fuerzas en las filas inferiores: es necesario limitar su fuerza.

Se considera que esto ocurre cuando la fila x tiene una resistencia $F_{x,Rd}$ mayor que $1.9 F_{t,Rd}$: en ese caso se debe disminuir de forma lineal la resistencia de todas las filas que están debajo de ella.

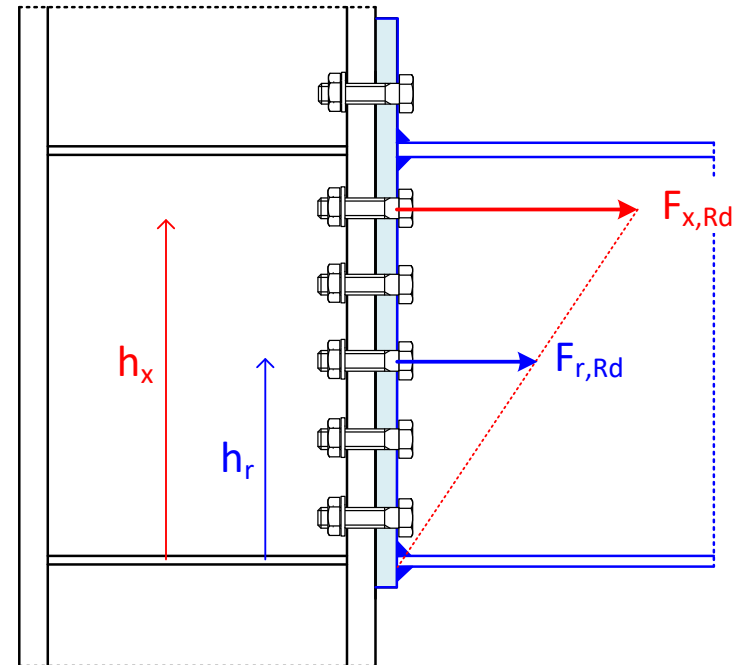
$$F_{x,Rd} > 1.9 F_{t,Rd}$$

↓

$$F_{r,Rd} = F_{x,Rd} \frac{h_r}{h_x} \quad r > x$$

$F_{t,Rd}$: resistencia de un tornillo a tracción

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$



Resistencia de la unión a flexión sin esfuerzo axial $M_{j,Rd}$

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

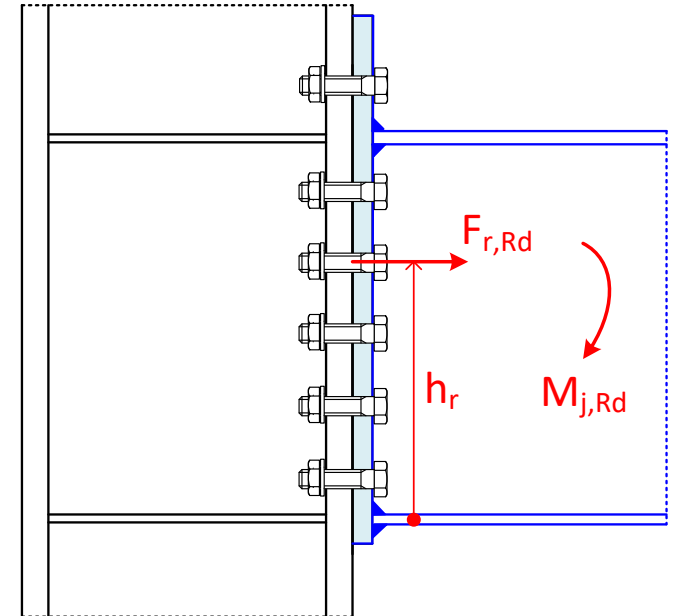
$$N_{Ed} \leq 0.05 A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Momento de resistencia de la unión
(EN 1993-1-8 6.2.7.2):

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

$F_{r,Rd}$ resistencia eficaz de la fila de tornillos r

h_r distancia al centro de compresiones



Resistencia de la unión a tracción $N_{j,Rd}$ sin momento aplicado

La menor de 3: $N_{j,Rd} = \min(F_{g0,Rd}, F_{indiv,Rd}, F_{w,Rd})$

- Resistencia de un grupo con todas las filas ($g0$) en los 4 efectos:

$$F_{g0,Rd} = \min(F_{g0,t,ep,Rd}, F_{g0,t,wb,Rd}, F_{g0,t,fc,Rd}, F_{g0,t,wc,Rd})$$

- Suma de las resistencias todas las filas de forma individual, tomando el mínimo de los 4 efectos en cada fila:

$$F_{indiv,Rd} = \sum_r \min(F_{r,t,ep,Rd}^{indiv}, F_{r,t,wb,Rd}^{indiv}, F_{r,t,fc,Rd}^{indiv}, F_{r,t,wc,Rd}^{indiv})$$

- Resistencia de las soldaduras a esfuerzo axial

$$F_{w,Rd} = \sum (a_w L_w) \frac{f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

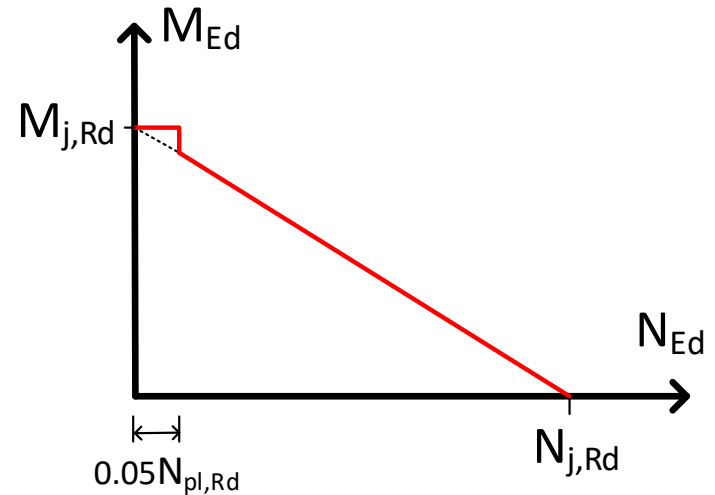
Resistencia a flexión y axial combinados

- Si el axial es pequeño $N_{Ed} \leq 0.05 N_{pl,Rd}$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1$$

- Si el axial es $N_{Ed} > 0.05 N_{pl,Rd}$

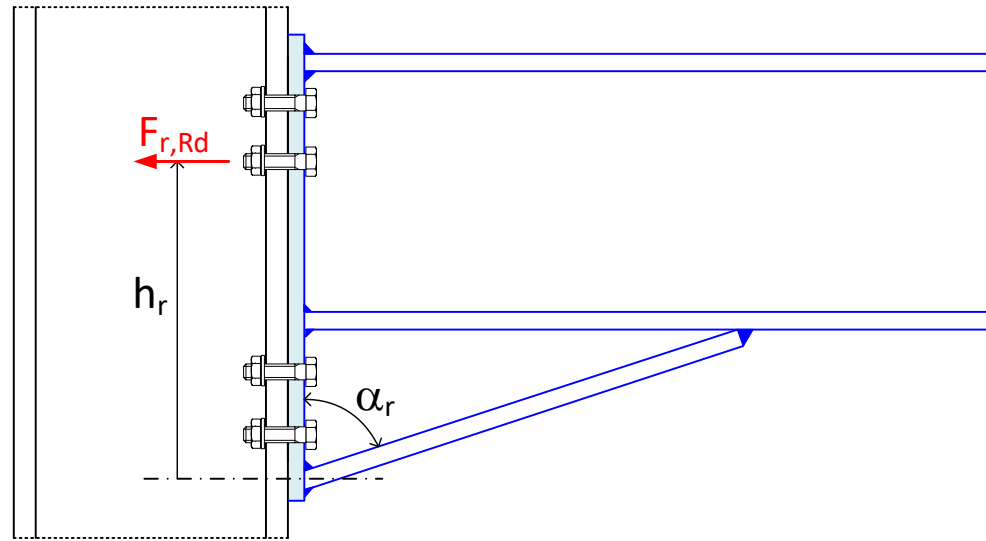
$$\frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1$$



$M_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a flexión, suponiendo que no hay axial aplicado

$N_{j,Rd}$ Resistencia de cálculo de la unión a tracción, suponiendo que no hay momento aplicado.

Viga con refuerzo inferior (1)



Centro de compresiones se sitúa en el centro del ala del refuerzo

Aumenta en brazo de palanca de las fuerzas en los tornillos

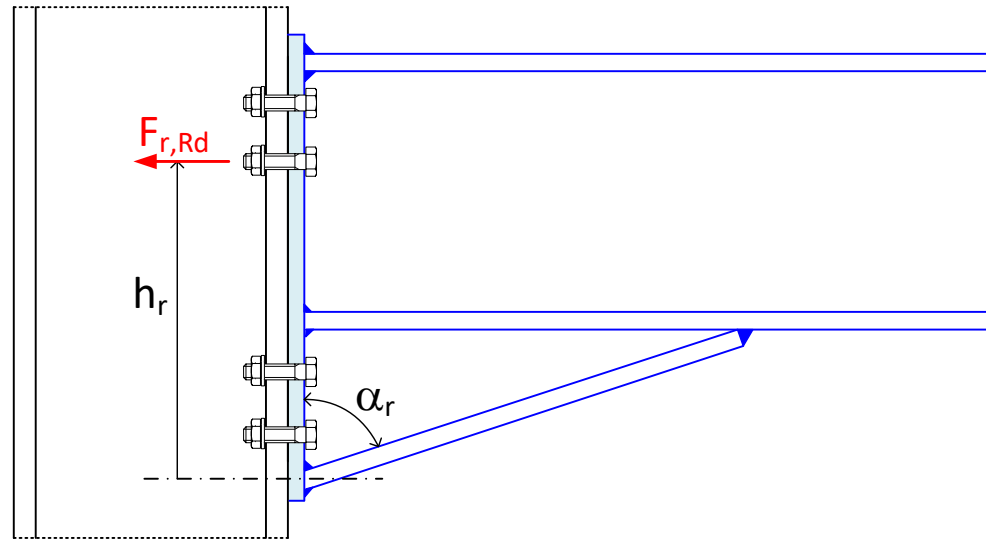
Permite evitar la placa extendida superior

Anchura y espesor del ala del refuerzo no menores que las del ala de la viga

Espesor del alma del refuerzo no menor que el del alma de la viga

La resistencia a compresión de la viga R_{7} la proporciona el ala del refuerzo. El ala inferior de la viga no proporciona resistencia a compresión

Viga con refuerzo inferior (2)



Altura del refuerzo: la necesaria para la resistencia a flexión de la viga sea adecuada para el momento en el empotramiento

Longitud del refuerzo: la necesaria para que donde termina el refuerzo la resistencia de la viga sea adecuada para el momento en ese punto

Si el refuerzo no se destina a aumentar la resistencia de la viga (sólo el brazo de palanca), se recomienda un ángulo del refuerzo $\alpha_r \geq 45^\circ$



tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Uniones entre columnas con chapa frontal



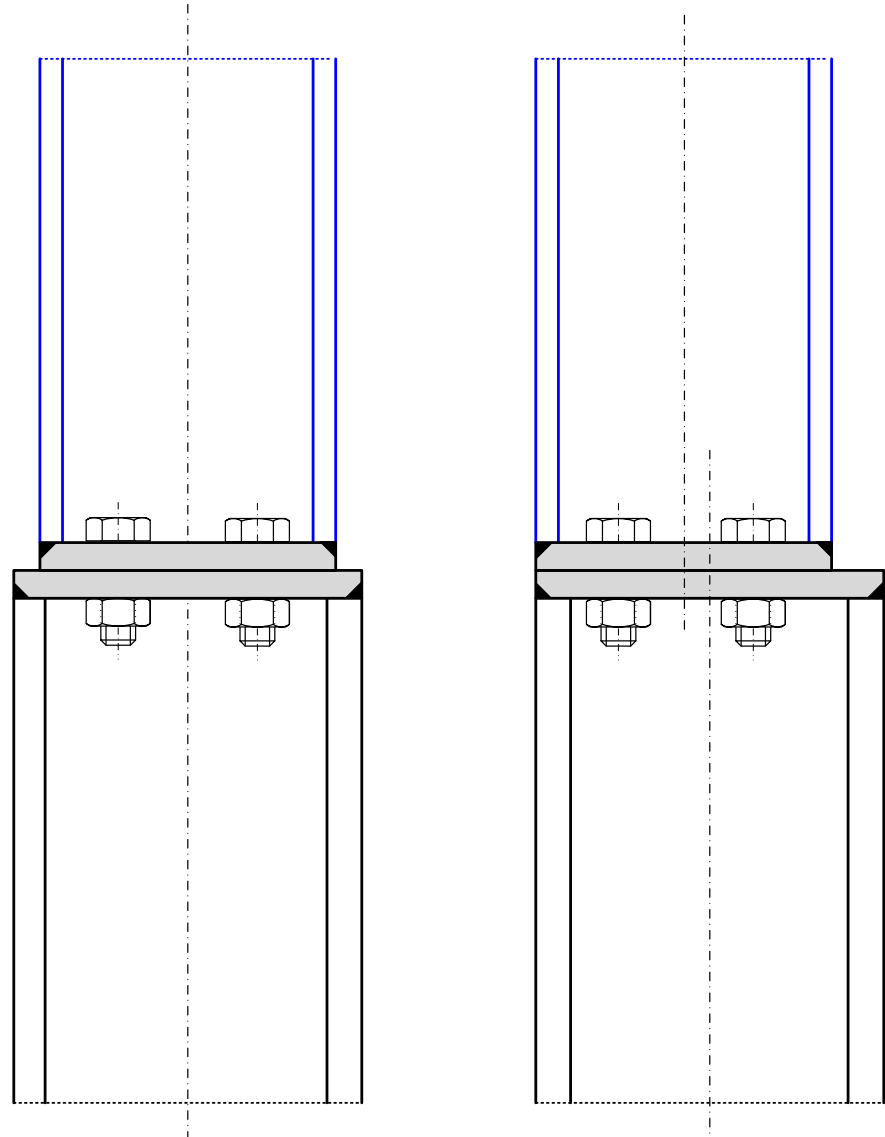
Unión articulada entre columnas con chapa frontal

Tornillos cerca del alma: poca capacidad de transmitir momento ($M_{j,Rd} \approx 0$)

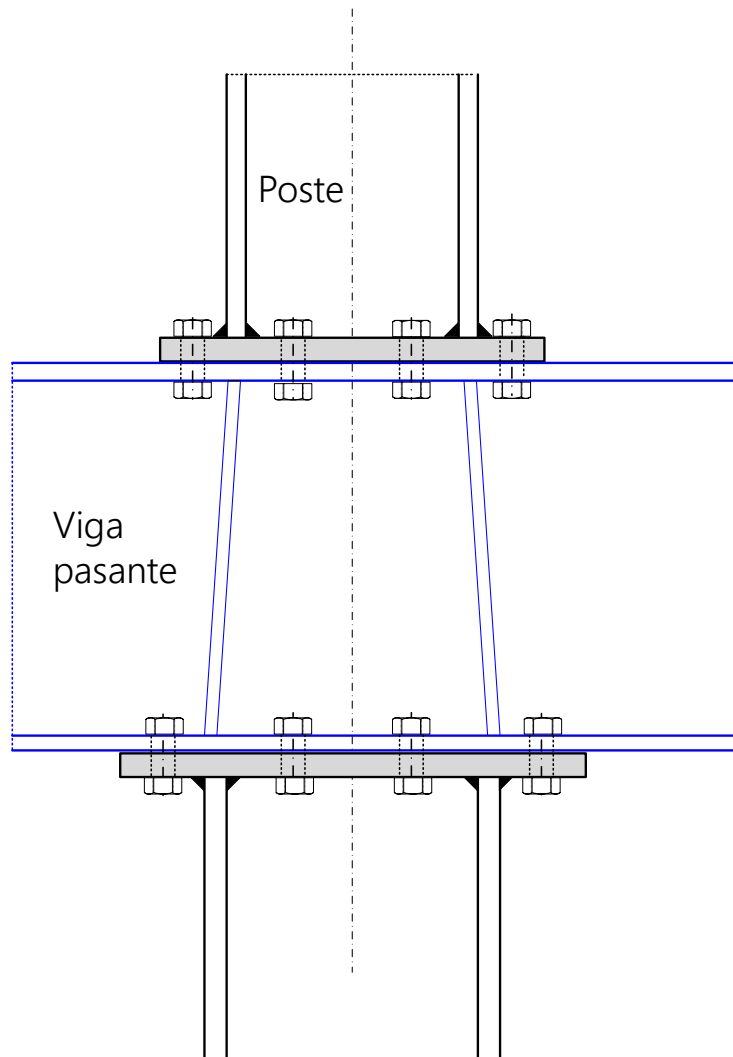
Fuerza vertical de compresión: por contacto entre las chapas

Fuerza horizontal: por rozamiento entre las chapas ($\mu = 0.2$), o por cortante en los tornillos

Fuerza vertical de tracción: comprobar las chapas frontales y tornillos como la T de tracción en la unión viga – viga



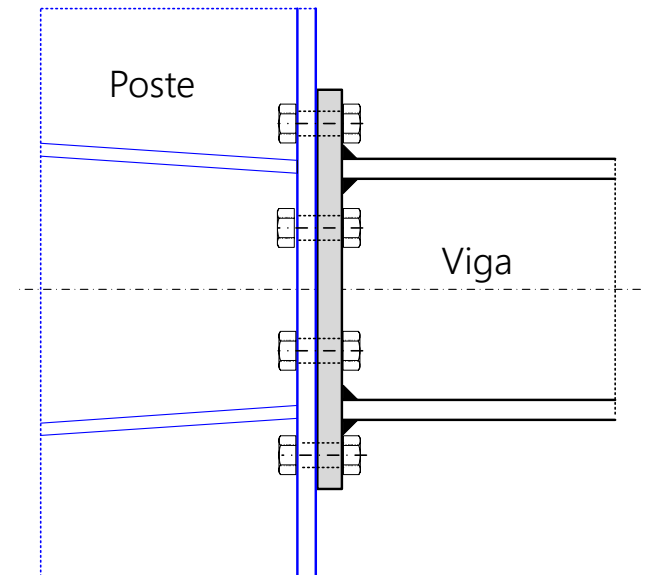
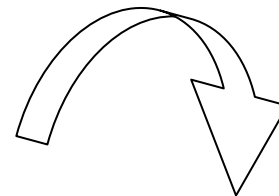
Unión rígida entre columnas con chapa frontal y viga pasante



Chapa frontal: capacidad de transmitir momento

Diseñar como unión viga-poste con chapa frontal:

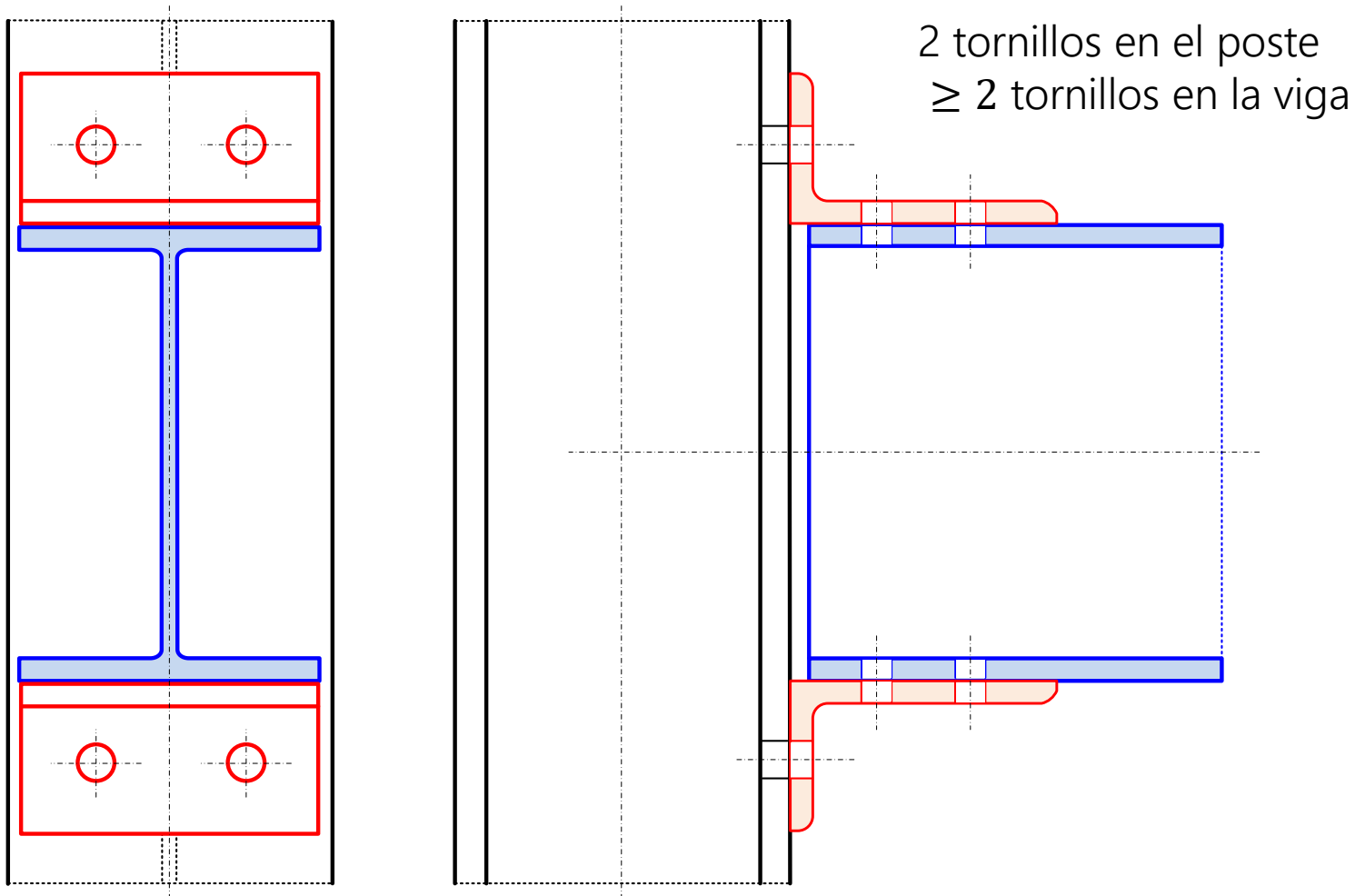
- Papeles cambiados entre viga y poste
- Dos uniones, superior e inferior





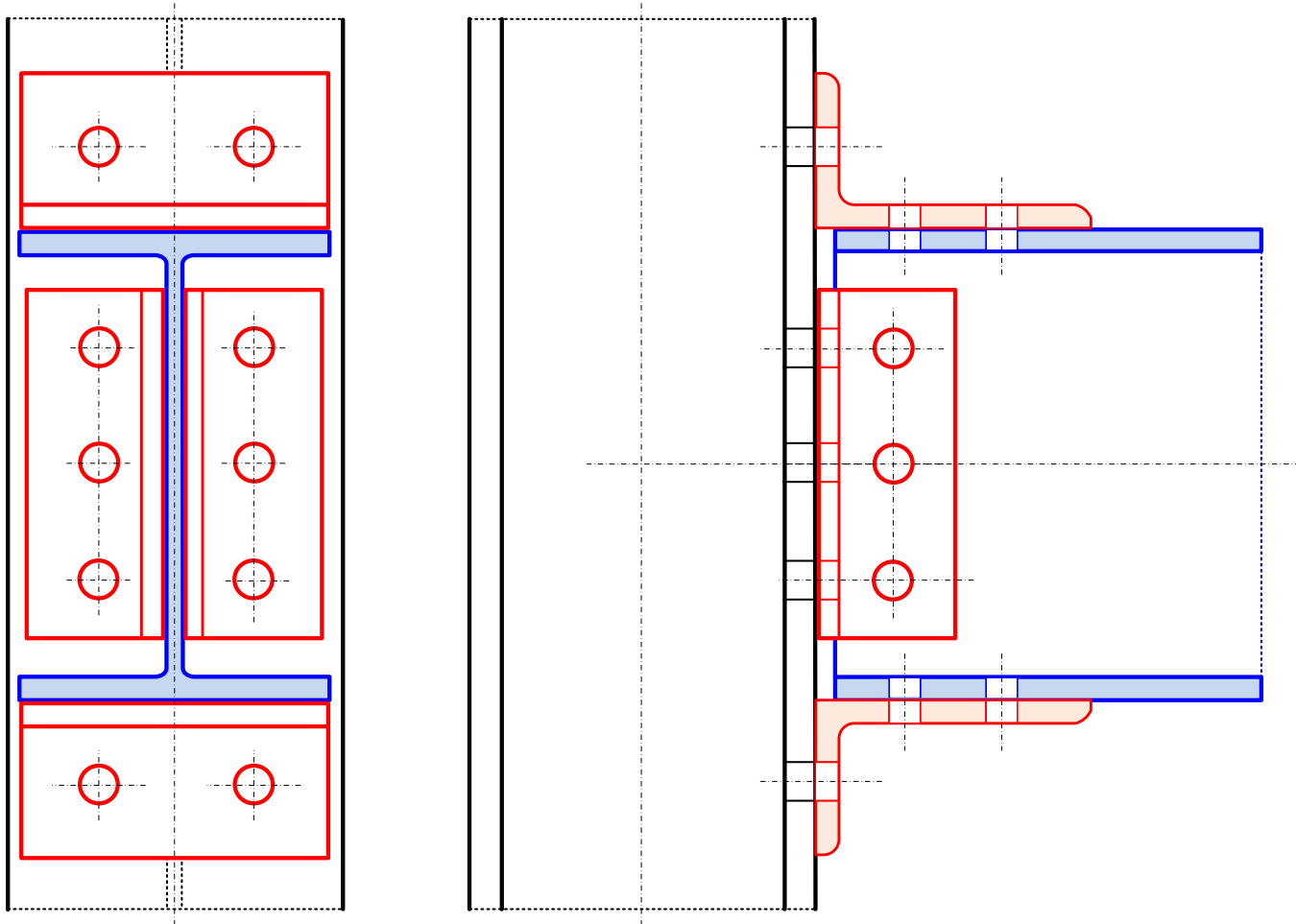
Unión viga – poste con casquillos de angular en las alas

Unión viga – poste con casquillos de angular en las alas



Capacidad de transmisión de momento baja.
Rigidez al giro débil

Unión viga – poste con casquillos de angular en las alas y alma



Mayor capacidad de transmisión de cortante

Diseñar la unión de alma como una unión de viga apoyada con doble casquillo de angular, transmitiendo todo el cortante

Transmisión de esfuerzos. Sin casquillos de alma

Momento flector: se absorbe todo él por los casquillos de las alas

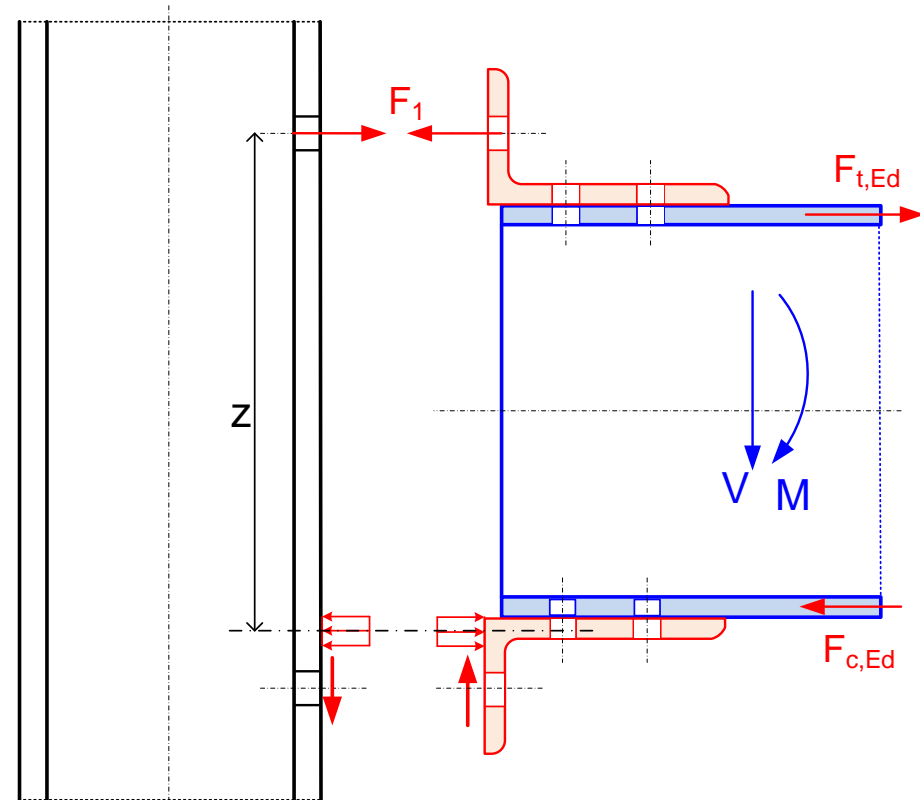
Se requiere que las alas del perfil sean capaces de absorber todo el flector

Fuerza en el ala:

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h_b - t_{fb}}$$

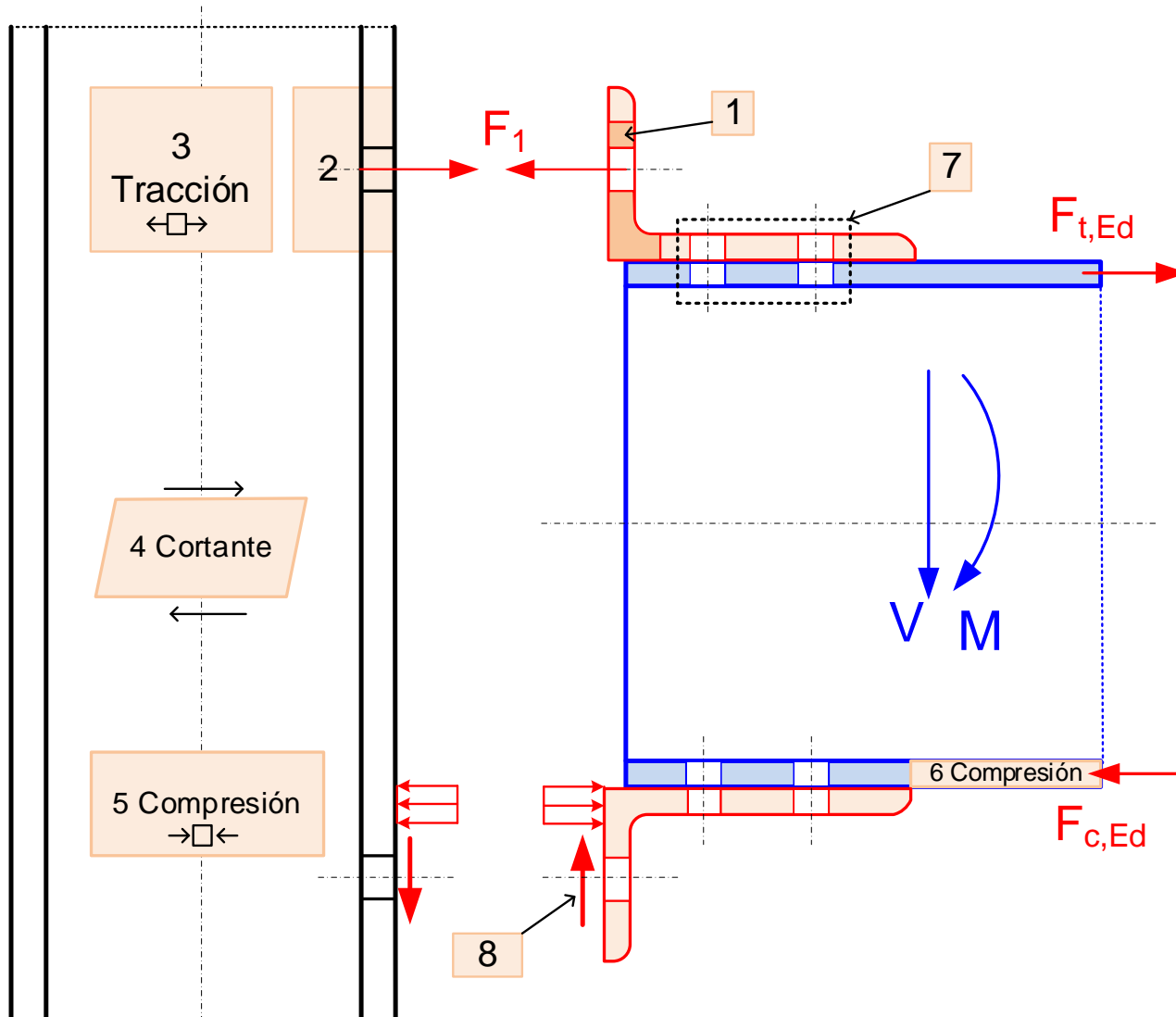
Centro de compresiones:
en línea con el semi-espesor del lado
del casquillo de angular en el ala de
compresión

Brazo de palanca z :
distancia del centro de compresión a
la fila de tornillos de tracción



Si no hay casquillo de alma , el esfuerzo cortante: se absorbe por el casquillo y los tornillos inferiores

Resistencia de componentes básicos. Sin casquillos de alma



R1. Flexión del casquillo L de tracción+ tornillos

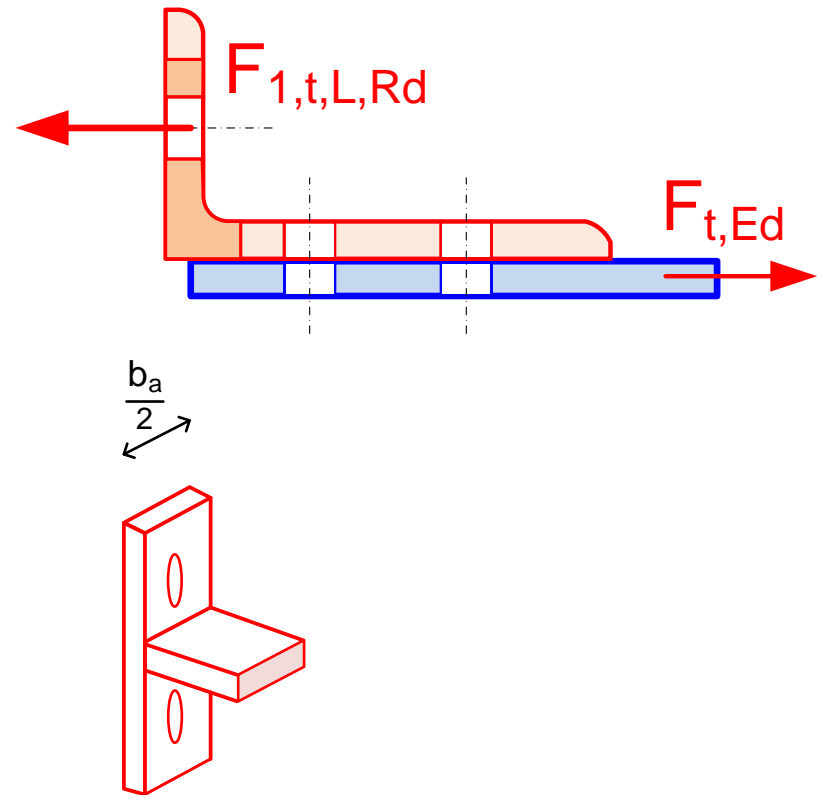
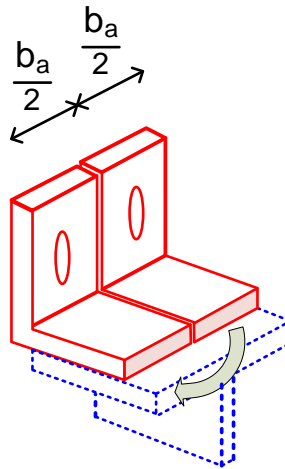
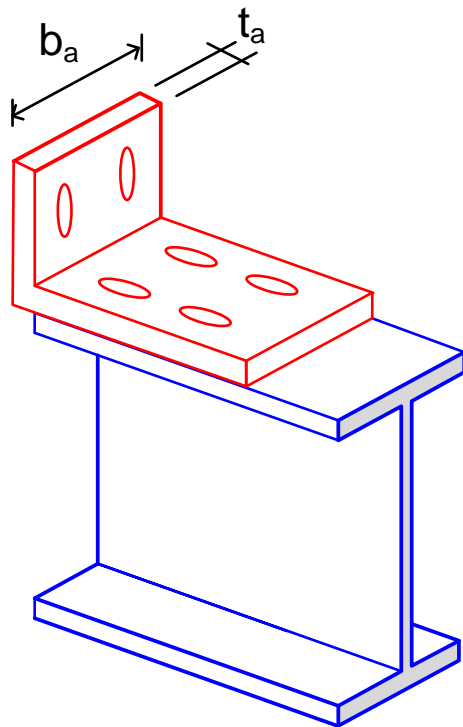
EN 1993-1-8, 6.2.6.6

Similar a la chapa extendida exterior de la unión con chapa frontal.

Calcular la resistencia como un casquillo en T

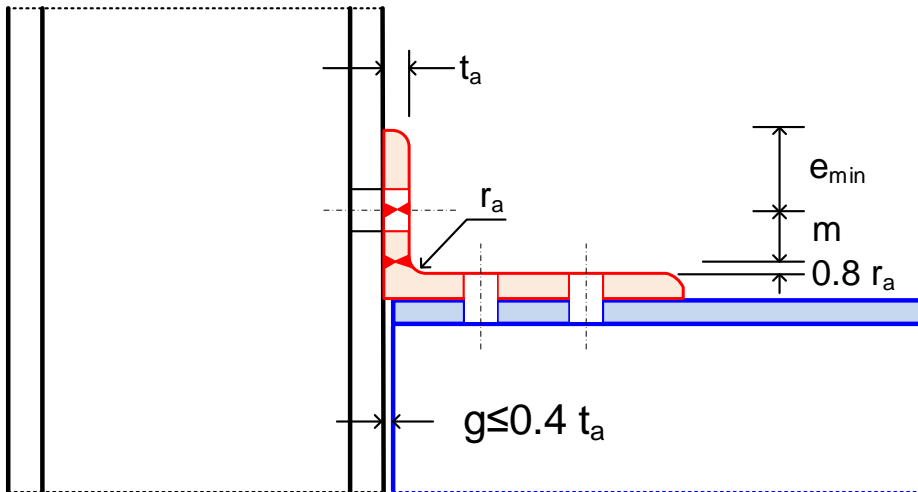
$$F_{1,t,L,Rd} = \min(F_{T1,Rd}, F_{T2,Rd}, F_{T3,Rd})$$

Longitud eficaz: $l_{eff} = \frac{b_a}{2}$



R1. Posición de la rótula plástica

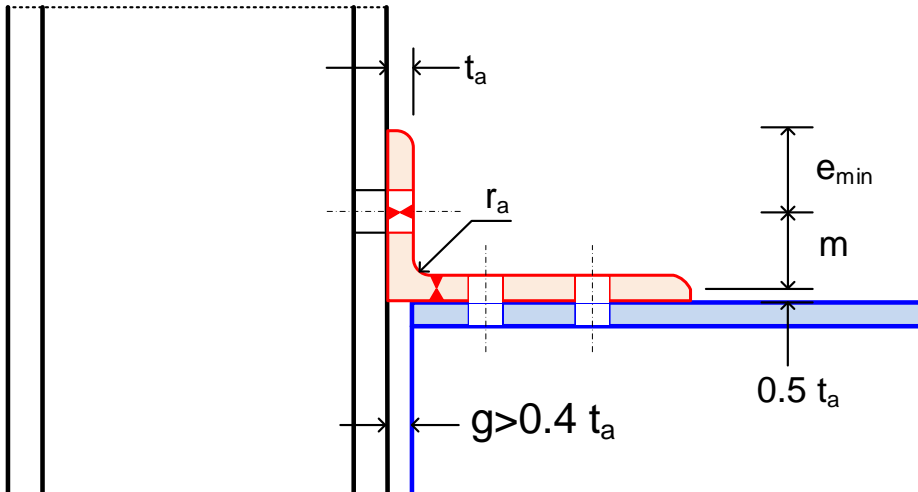
El valor de la holgura viga – poste g influye en la posición de las rótulas plásticas en la T, y en el valor de m EN 1993-1-8, 6.2.6.6



Holgura pequeña

$$g \leq 0.4 t_a$$

Rótula plástica en el lado columna del angular, a $0.8 r_a$ del lado interior del angular



Holgura grande

$$g > 0.4 t_a$$

Rótula plástica en el lado viga del angular

Resistencia de la fila 1

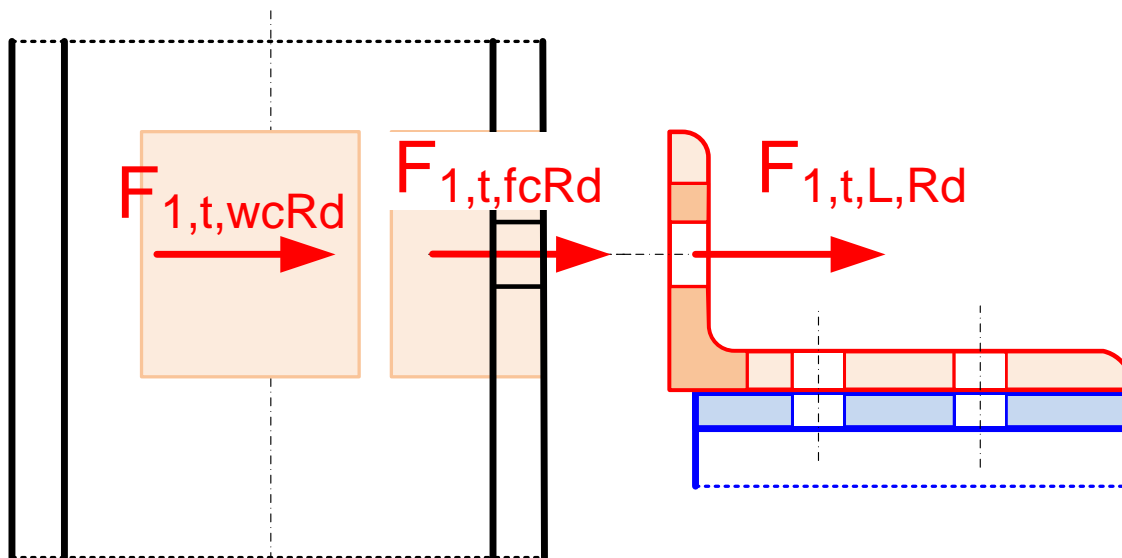
Resistencias iguales a la unión con chapa frontal:

R2. Flexión del ala del poste (fc). $F_{1,t,fc,Rd}$

R3. Tracción del alma del poste (t,wc). $F_{1,t,wc,Rd}$

Resistencia final de la fila exterior:

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



Otras resistencias limitantes

R4. Cortante del panel del alma del poste $V_{wp,Rd}$

Ídem a la unión con chapa frontal

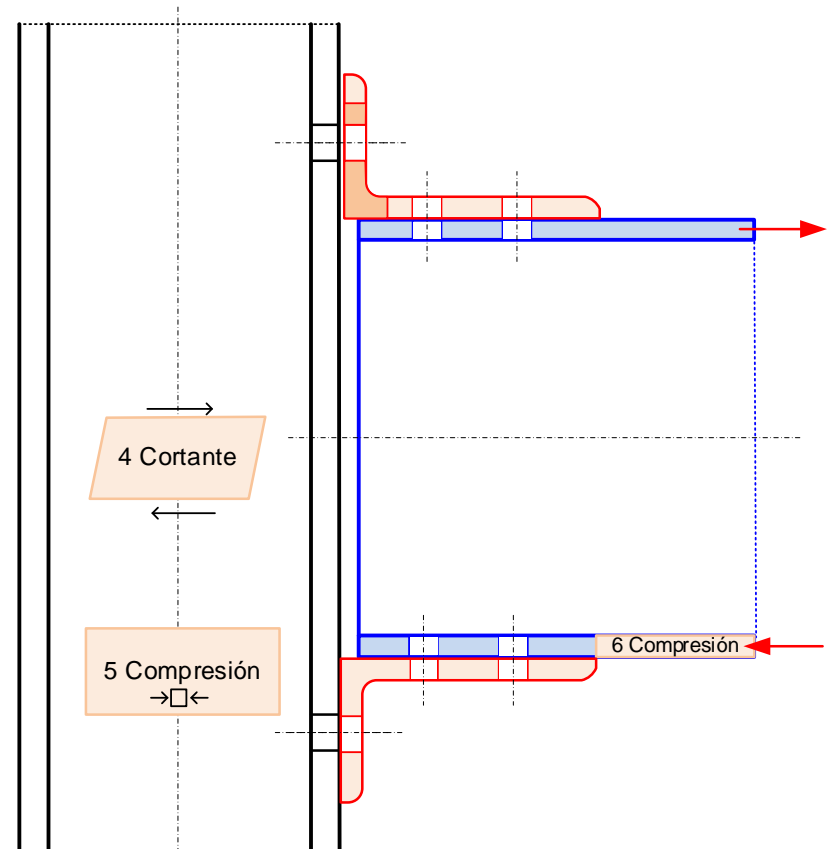
R5. Compresión del alma del poste $F_{c,wc,Rd}$

Similar a la unión con chapa frontal

R6. Compresión del ala de la viga

Ídem a la unión con chapa frontal

Todas ellas limitan el valor de la resistencia de la fila 1 $F_{1,Rd}$



R5. Resistencia a compresión del alma del poste

Similar a la unión con chapa frontal , con otra altura eficaz

$$F_{C,wc,Rd} = k_{wc} \rho \omega b_{eff,c,wc} t_{wc} \frac{f_{yc}}{\gamma_{M1}}$$

$b_{eff,c,wc}$: alto eficaz en el alma a compresión

$$b_{eff,c,wc} = 2 t_a + 0.6 r_a + 5(t_{fc} + s)$$

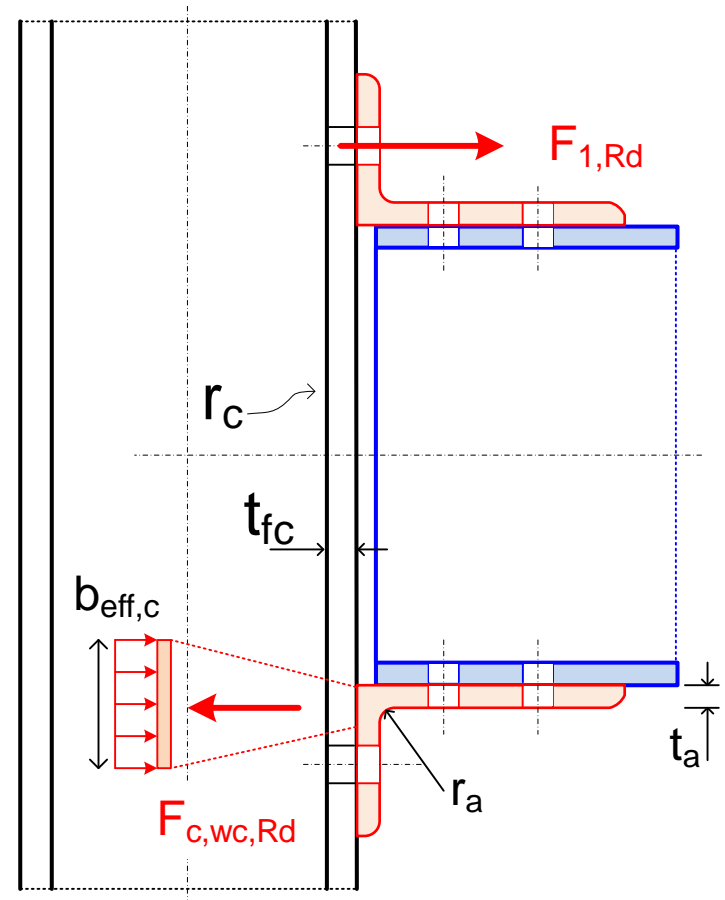
Poste laminado: $s = r_c$

Poste soldado: $s = \sqrt{2} a_c$

Restantes parámetros, como en la unión con chapa frontal

La resistencia de la fila 1 debe ser inferior a la máxima fuerza de compresión que puede soportar el alma del poste sin rigidizar:

$$F_{1,Rd} \leq F_{C,wc,Rd}$$



Resistencia de la unión a flexión sin esfuerzo axial $M_{j,Rd}$

Si el esfuerzo axial es despreciable: inferior al 5% de la resistencia plástica de cálculo de la sección bruta

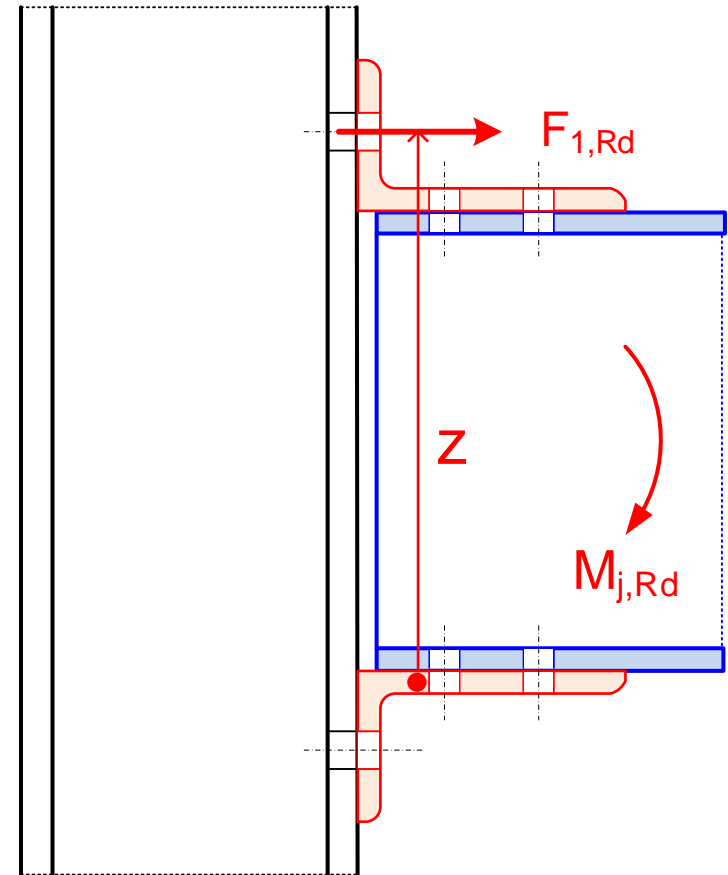
$$N_{Ed} \leq 0.05 N_{pl,Rd}$$

Momento de resistencia de la unión (EN 1993-1-8, 6.2.7.2):

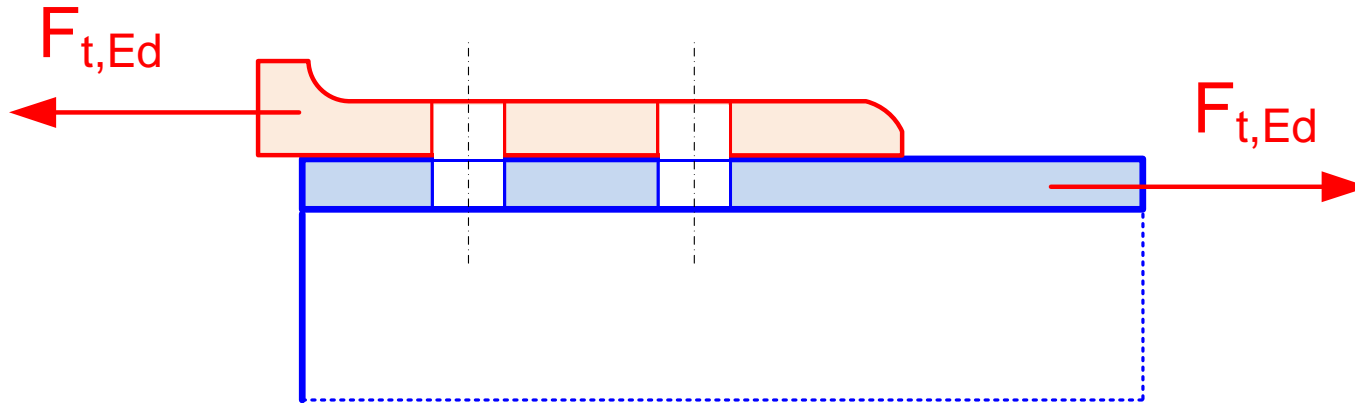
$$M_{j,Rd} = F_{1,Rd} z$$

Brazo de palanca z :
distancia del centro de compresión a la fila de tornillos de tracción

Centro de compresiones:
en línea con el semi-espesor del lado del casquillo de angular en el ala de compresión



R7 Resistencia de la unión atornillada casquillo – ala de la viga



Comprobar como en la *unión viga – viga con cubrejuntas* de ala (simple), sustituyendo el cubrejuntas por el ala del angular.

- Resistencia de los tornillos a cortante
- Resistencia a aplastamiento contra el ala de la viga
- Resistencia a aplastamiento contra el angular
- Resistencia a tracción del ala de la viga taladrada
- Resistencia a tracción del angular taladrado

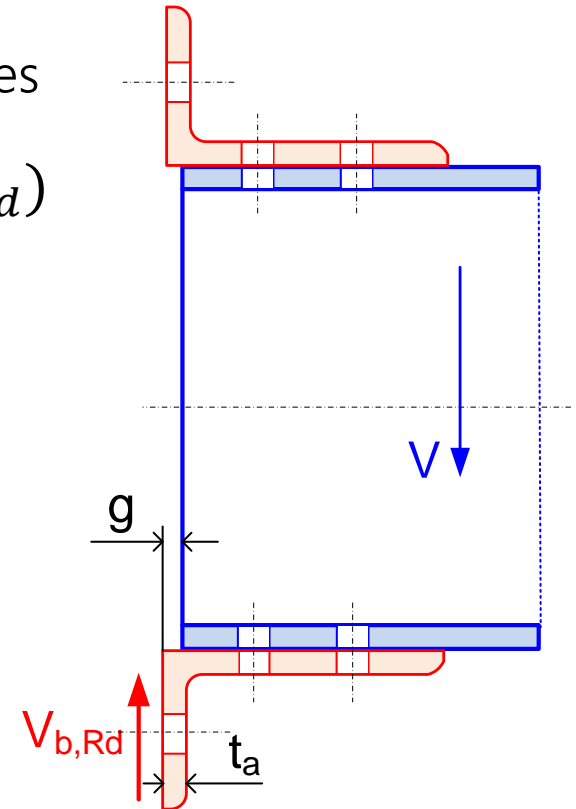
R8. Resistencia a cortante de la unión. Sólo angulares de ala

Todo el cortante se resiste por los 2 tornillos inferiores

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} = \min(2 F_{v,Rd}, 2 F_{b,ep,Rd}, 2 F_{b,fc,Rd})$$

- $F_{v,Rd}$ Resistencia a **cortadura** de un tornillo
- $F_{b,ep,Rd}$ Resistencia a **aplastamiento** de un tornillo contra el angular
- $F_{b,fc,Rd}$ Resistencia a **aplastamiento** de un tornillo contra el ala del poste

Debe ser $g < t_a$ para no transmitir el cortante por el ala del angular inferior



Además, se debe comprobar la resistencia de la viga a fuerza concentrada

Se puede soportar cortante también por los 2 tornillos superiores (tornillos sometidos a esfuerzos combinados de tracción y cortante)

$$\text{Hasta } 0.286 F_{v,Rd} \quad 2 F_{v,Rd} \rightarrow 2 F_{v,Rd} + 2 \times (0.286 F_{v,Rd})$$



Rigidez de las uniones

Normativa

EN-1993-1-8 §5.2, §6.3

Código Estructural Anejo 26, §6.3

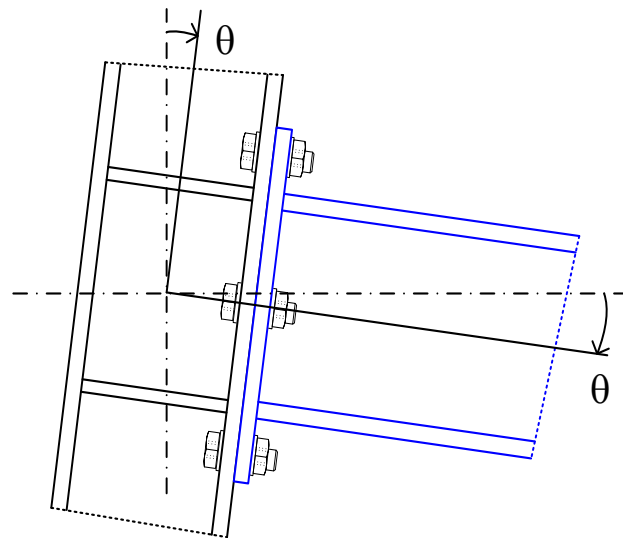
CTE: DB SE-A, Art. 8.8

Clasificación por su capacidad de rotación

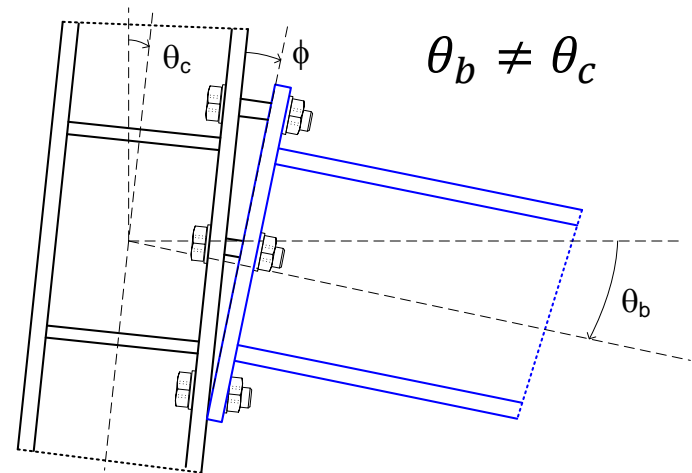
Nominalmente **articuladas**: transmitir fuerzas sin desarrollar momentos significativos que impidan su capacidad de rotación. Debe ser capaz de absorber las rotaciones resultantes.

Uniones **rígidas**: tienen suficiente rigidez rotacional como para garantizar una continuidad total de giros $\theta_b = \theta_c$

Uniones **semirrígidas**: su rigidez no garantiza la continuidad total del giro.



Rígida



Semirrígida

Modelo de rigidez rotacional. Diagrama momento - rotación

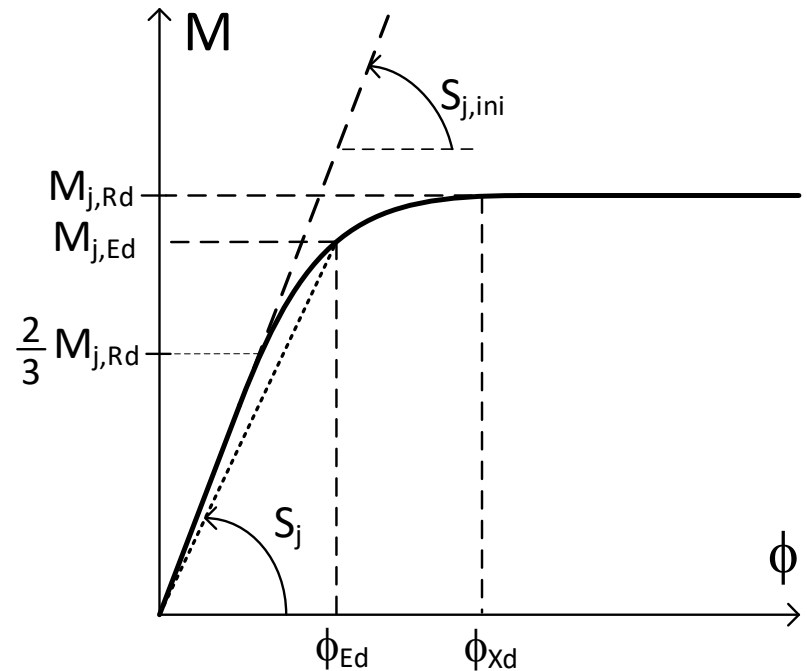
Rama lineal, rama de plastificación no lineal y rama de gran deformación

Rigidez de la rama lineal: $S_{j,ini}$ ← Existen métodos para calcularla

Rigidez de la rama no lineal: $S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu}$

$$\left\{ \begin{array}{ll} M_{j,Ed} < \frac{2}{3} M_{j,Rd} & \mu = 1 \\ \frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_{j,Ed} < M_{j,Rd} & \mu = \left(1.5 \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^\psi \end{array} \right.$$

Tipo de unión	ψ
Soldada	2.7
Atornillada con chapa frontal	2.7
Atornillada con casquillos de angular L en las alas	3.1



Clasificación en función de la rigidez $S_{j,ini}$

1: Rígidas $S_{j,ini} \geq k_b \frac{EI_b}{L_b}$

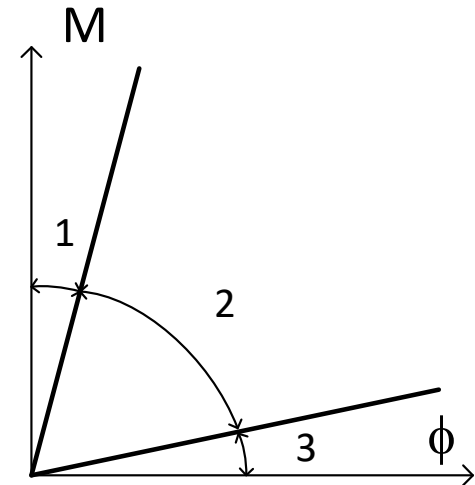
$k_b = 8$ Estructuras donde el arriostramiento reduce el desplazamiento horizontal en un 80%

$k_b = 25$ Otras estructuras, siempre que: $\frac{K_b}{K_c} \geq 0.1$

K_b Valor medio de I_b/L_b para todas las vigas en la parte superior de la planta

K_c Valor medio de I_c/L_c para todos los postes de la planta

Si $\frac{K_b}{K_c} < 0.1$ la unión se considerará como semirrígida



I_b, I_c Inercia de una viga o un poste

L_b, L_c Longitud de una viga o un poste

3: Articuladas $S_{j,ini} \leq 0.5 \frac{EI_b}{L_b}$

2: Semirrígidas $k_b \frac{EI_b}{L_b} \leq S_{j,ini} \leq 0.5 \frac{EI_b}{L_b}$

Simplificación del modelo de rigidez rotacional

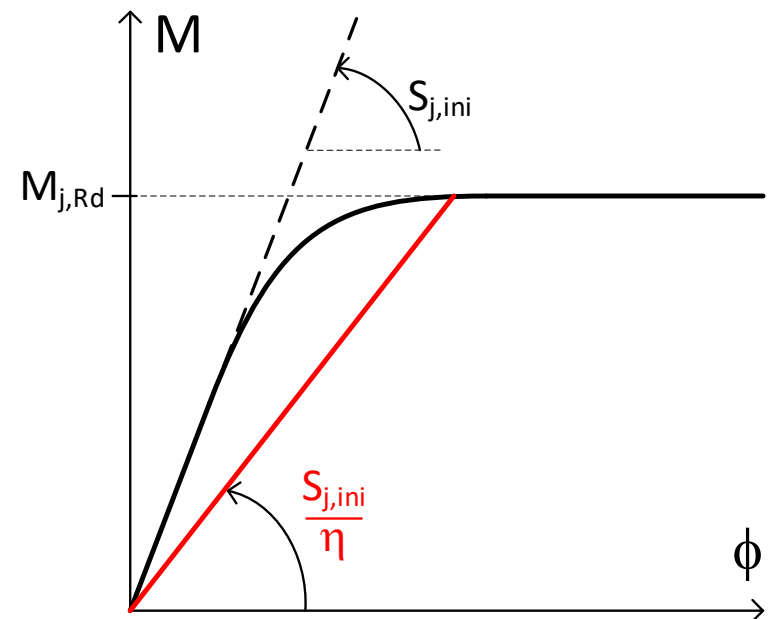
El modelo de rigidez rotacional es no lineal debido al coeficiente μ . Si se va a efectuar un análisis de la estructura en el rango lineal para calcular las deformaciones y esfuerzos, dicho modelo de rigidez lo transforma en no lineal.

Simplificación: emplear una *rigidez lineal corregida* a través de un coeficiente η constante

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta}$$

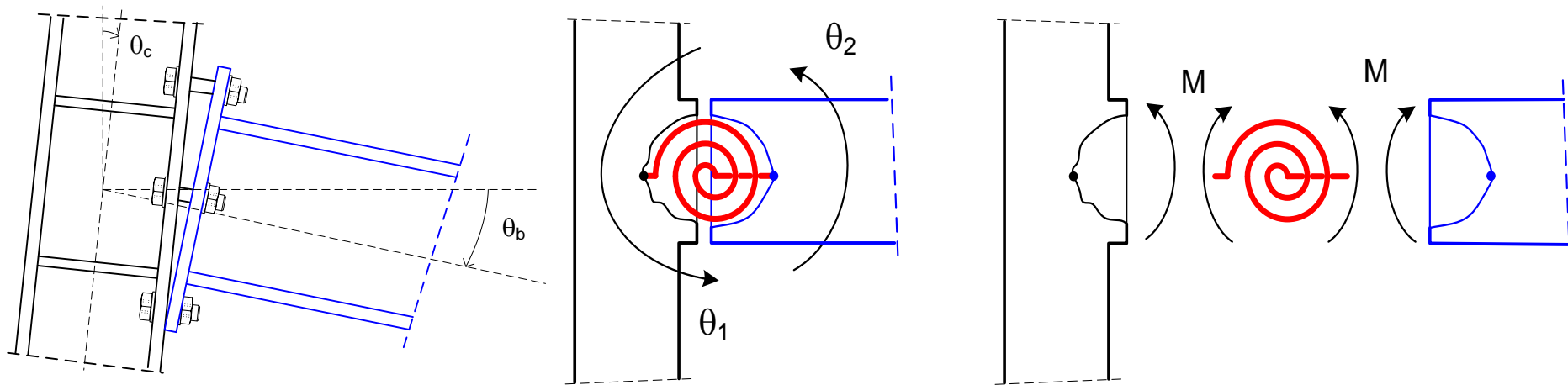
Tipo de unión	Viga-poste	Otras
Soldada	2	3
Atornillada con chapa frontal	2	3
Casquillos atornillados al ala	2	3.5

Coeficiente η según tipo de unión



Modelización de uniones flexibles al giro

En el análisis estructural, se modelizan mediante un resorte al giro que conecta las dos piezas unidas, y en el que se produce un giro relativo ϕ proporcional al momento aplicado M

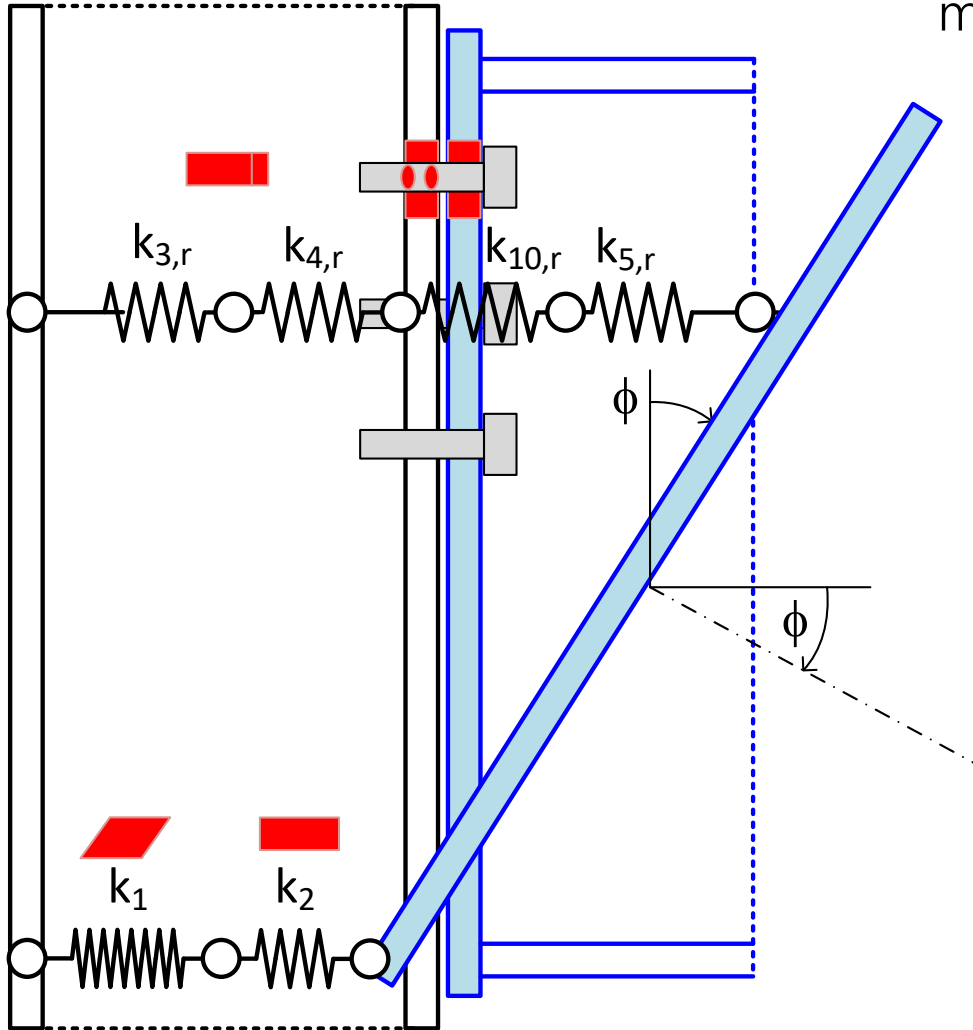


$$M = S_j (\theta_2 - \theta_1)$$

$$M = S_j \phi$$

Modelo de rigidez de una unión entre perfiles H

Componentes flexibles de la unión modelizados como muelles discretos



Zona de tracción:

Alma de la columna a tracción: $k_{3,r}$

Ala de la columna a flexión: $k_{4,r}$

Tornillos: $k_{10,r}$

Chapa frontal a flexión: $k_{5,r}$

Zona de compresión:

Alma del pilar a cortante: k_1

Alma pilar a compresión: k_2

Rigidez efectiva de una fila (r) de tornillos a tracción $k_{eff,r}$

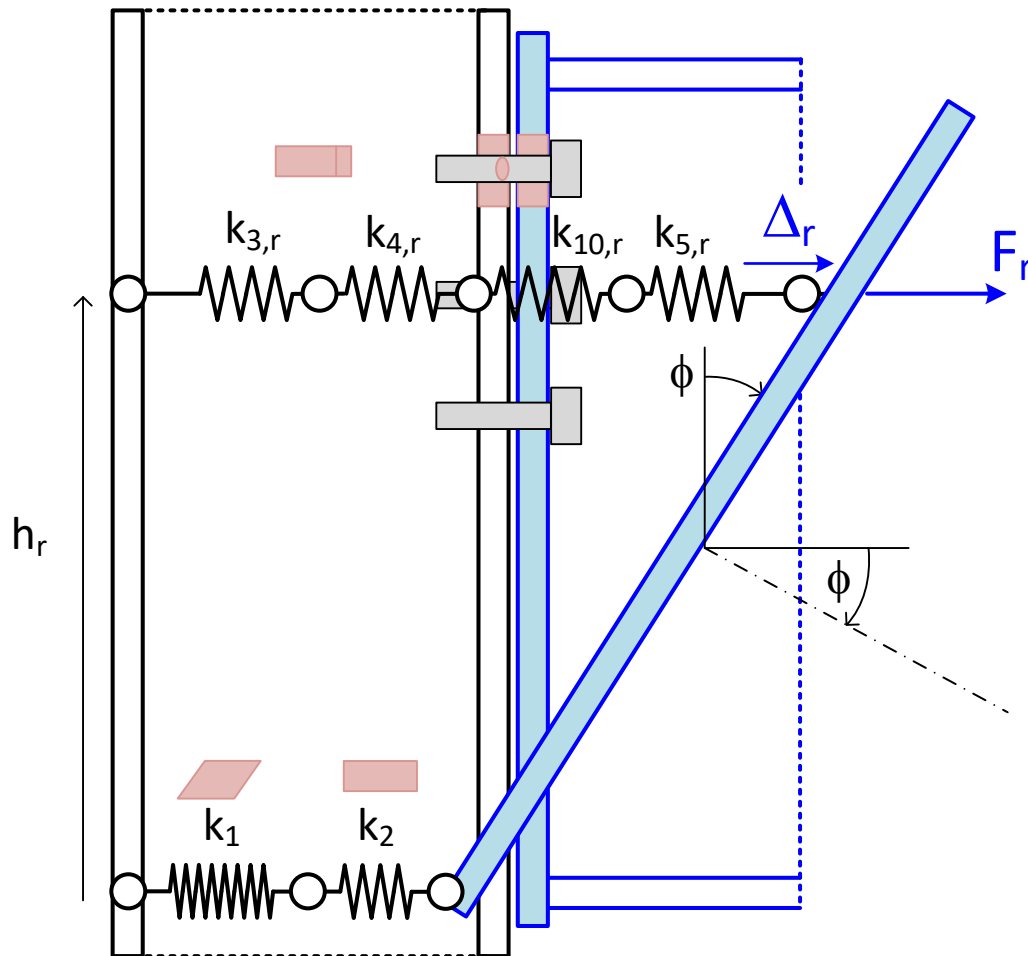
$$k_{eff,r} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3,r}} + \frac{1}{k_{4,r}} + \frac{1}{k_{5,r}} + \frac{1}{k_{10,r}}}$$

Alma de la columna a tracción: $k_{3,r}$

Ala de la columna a flexión: $k_{4,r}$

Tornillos: $k_{10,r}$

Chapa frontal a flexión: $k_{5,r}$

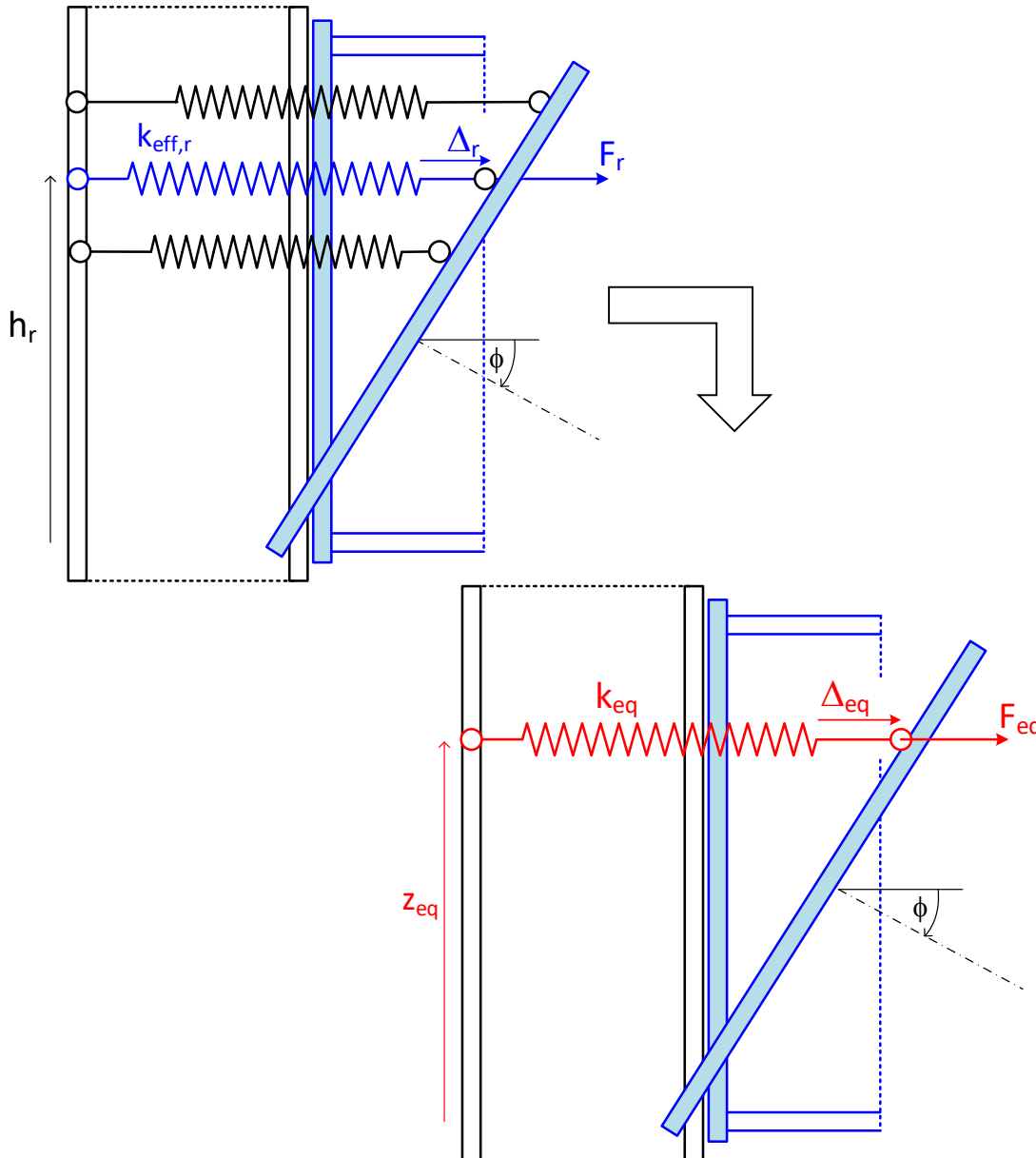


No se considera la rigidez de:

- ala de la viga en compresión
- alma de la viga en compresión
- alma de la viga a tracción.

Su deformación ya se tiene en cuenta en la deformación de la propia viga a flexión

Rigidez equivalente de un grupo de filas de tornillos a tracción



Chapa frontal rígida

Filas de tornillos en paralelo

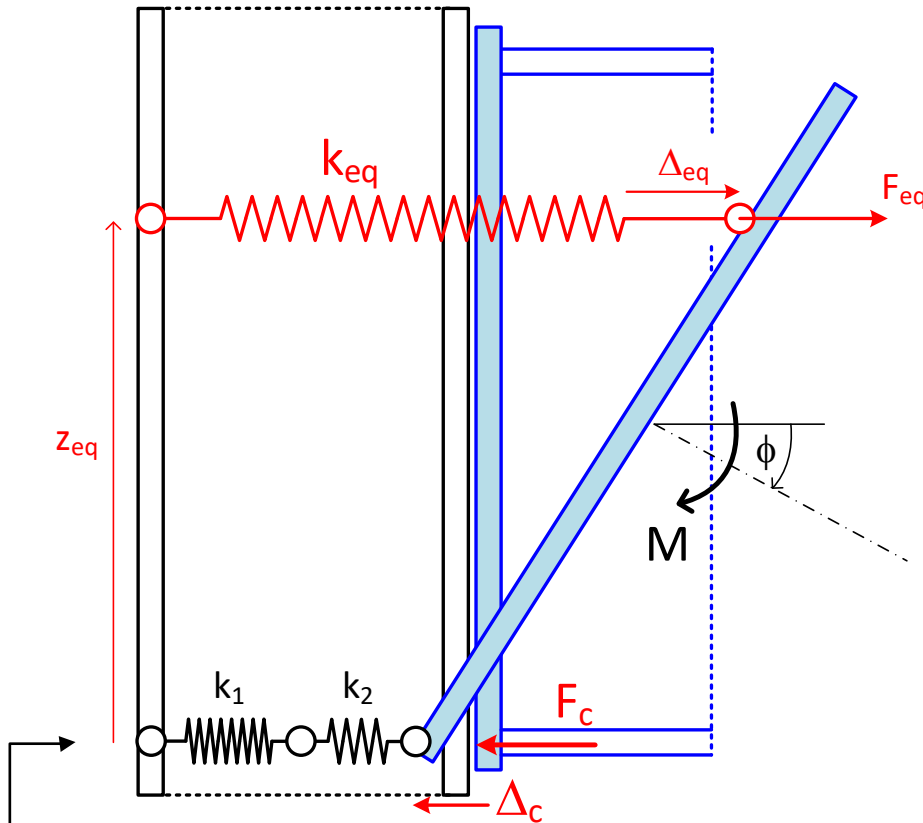
Centro de compresiones: en el ala comprimida

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

Brazo de palanca de la rigidez equivalente respecto del centro de compresiones:

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r^2}{\sum k_{eff,r} h_r}$$

Rigidez equivalente de la unión viga - poste



Equilibrio de fuerzas y momentos y compatibilidad de deformaciones.
Chapa frontal rígida
Sin fuerza axial

$$S_{j,ini} = \frac{M}{\phi} = \frac{z_{eq}^2 E}{\left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right)}$$

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu}$$

Zona de compresión:

Alma del pilar a cortante: k_1

Alma del pilar a compresión: k_2

Rigidez de los componentes básicos (1)

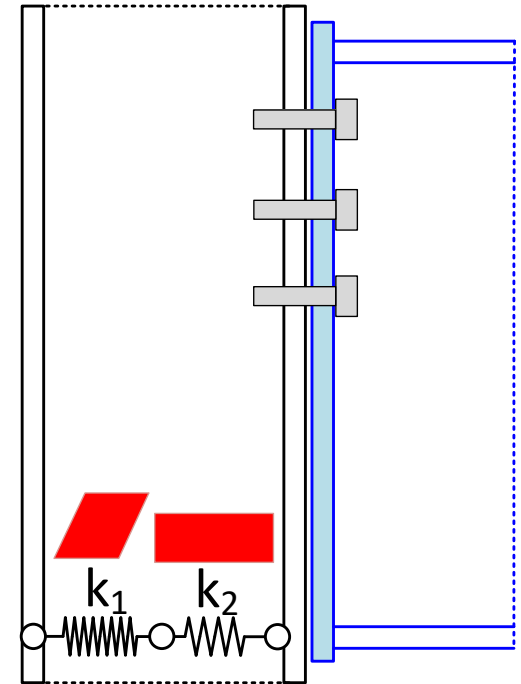
- Alma de columna a cortante, sin rigidizar

$$k_1 = \frac{0.38 A_{Vc}}{\beta z}$$

A_{Vc} : área a cortante de l columna
 β : parámetro de transformación usado para calcular su resistencia a cortante ($\beta \approx 0 \dots 2$)
 z : brazo de palanca

Se puede considerar $k_1 = \infty$ para uniones con vigas a ambos lados del poste, con momentos iguales y opuestos

Para uniones rigidizadas a cortante con chapa de alma, añadir a A_{Vc} el valor del área de refuerzo $b_s t_{wc}$



- Alma de columna a compresión, sin rigidizar

$$k_2 = \frac{0.7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,c,wc}$: anchura eficaz del poste a compresión usada en el cálculo de resistencia a compresión.
 d_c : canto del alma del poste (zona recta del alma).
 t_{wc} : espesor del alma del pilar

Tomar $k_2 = \infty$ para uniones con rigidizadores en la zona de compresión del alma del poste

Rigidez de los componentes básicos (2)

- Alma de columna a tracción, atornillada, rigidizada o no, una fila de tornillos a tracción, o unión soldada sin rigidizar

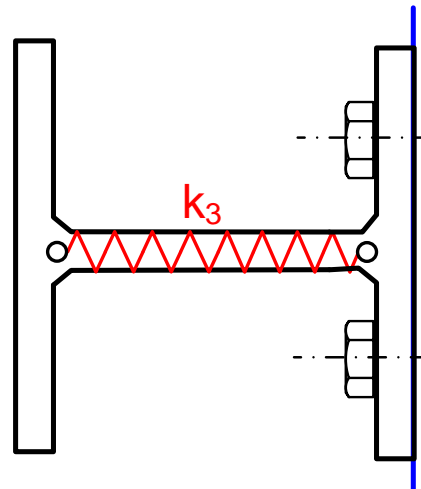
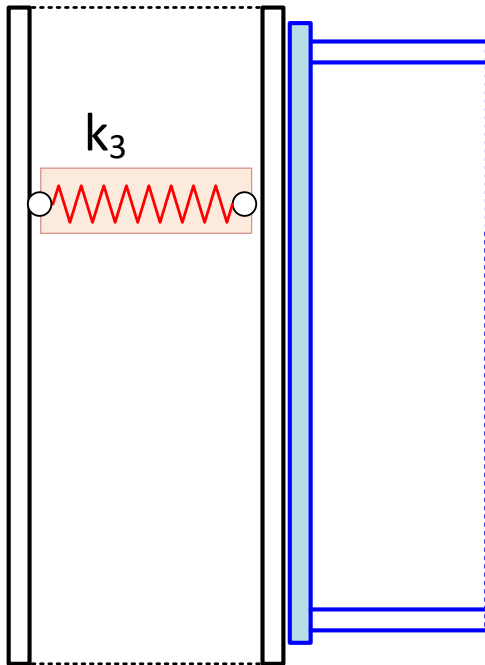
$$k_3 = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$$

$b_{eff,t,wc}$: anchura eficaz del alma del poste a tracción. La menor de las longitudes eficaces l_{eff} para la fila de tornillos, individualmente o como parte de un grupo de filas, tanto para alas rigidizadas o no.

d_c : altura del alma del poste (zona recta del alma).

t_{wc} : espesor del alma del poste.

Tomar $k_3 = \infty$ para uniones soldadas rigidizadas



Rigidez de los componentes básicos (3)

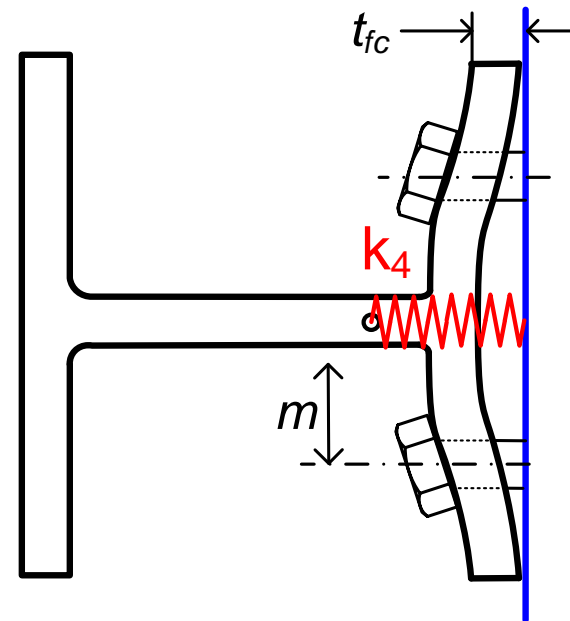
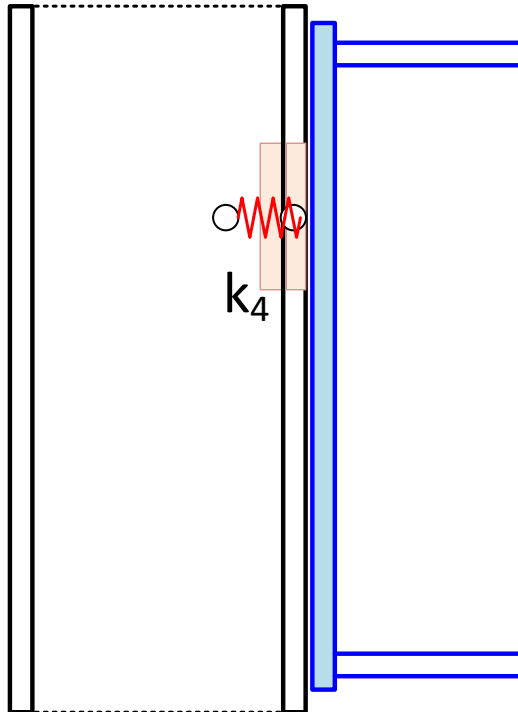
- Ala de columna a flexión

$$k_4 = \frac{0.9 l_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$$

l_{eff} : la menor de las longitudes eficaces para la fila de tornillos, individualmente o como parte de un grupo de filas, tanto para alas rigidizadas o no.

m : distancia del eje de tornillos a la línea de formación de la rótula plástica.

t_{fc} : espesor del ala de la columna



Rigidez de los componentes básicos (4)

- Chapa frontal a flexión, una fila de tornillos

$$k_5 = \frac{0.9 l_{eff} t_p^3}{m^3}$$

l_{eff} : menor de las longitudes eficaces para la fila.

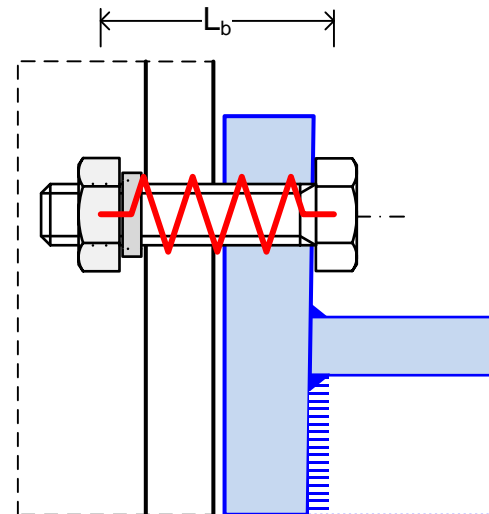
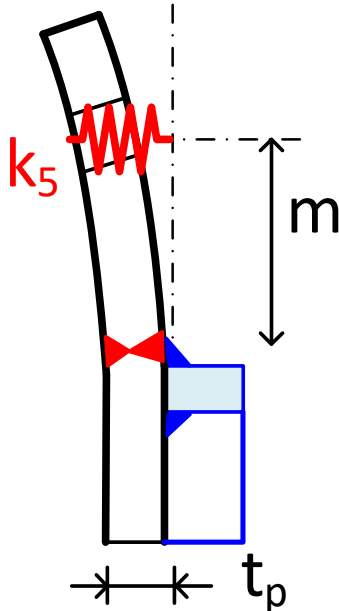
m : distancia del eje de tornillos a la línea de formación de la rótula plástica. Para la fila de tornillos situada en la chapa extendida, tomar m_x en lugar de m .

- Una fila de 2 tornillos a tracción, pretensados o no. Área individual A_s

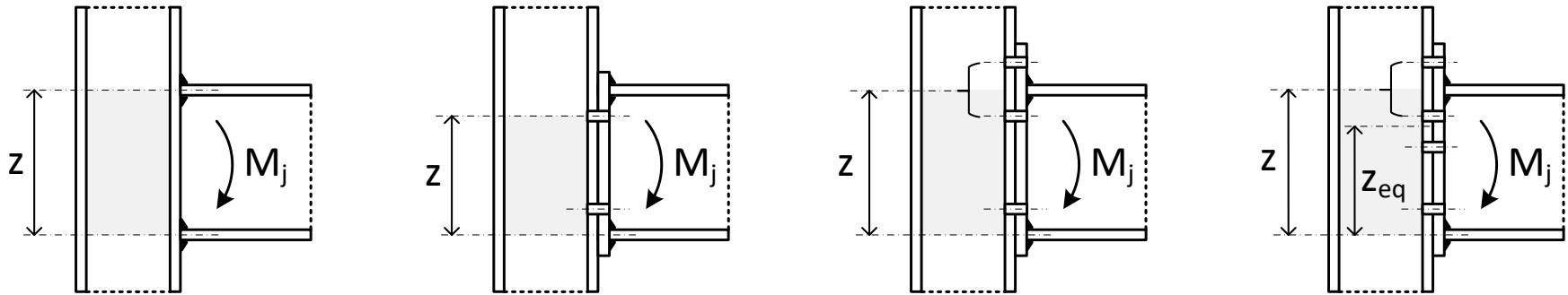
$$k_{10} = \frac{1.6 A_s}{L_b}$$

L_b : longitud de alargamiento del tornillo,

$$L_b = t_{fc} + t_{ep} + t_{washer} + \frac{t_{nut} + t_{head}}{2}$$



Brazo de palanca z



Centro de compresiones (CC): en línea con el semi-espesor del ala de compresión

- Unión soldada: distancia del CC al eje del ala superior.
- Unión atornillada con chapa frontal:
 - con una fila única de tornillos a tracción: distancia del CC a la fila de tornillos a tracción.
 - con dos filas de tornillos a tracción: distancia del CC al punto intermedio entre las dos filas de tornillos.
 - con dos o más filas de tornillos a tracción. Aproximado: distancia del CC al punto intermedio entre las dos filas de tornillos más alejadas. Más preciso: el brazo de palanca equivalente z_{eq} .

Método simplificado. Unión con chapa frontal extendida, con una fila de tornillos exterior y otra fila bajo ala

Rigidez de fila de tornillos exterior

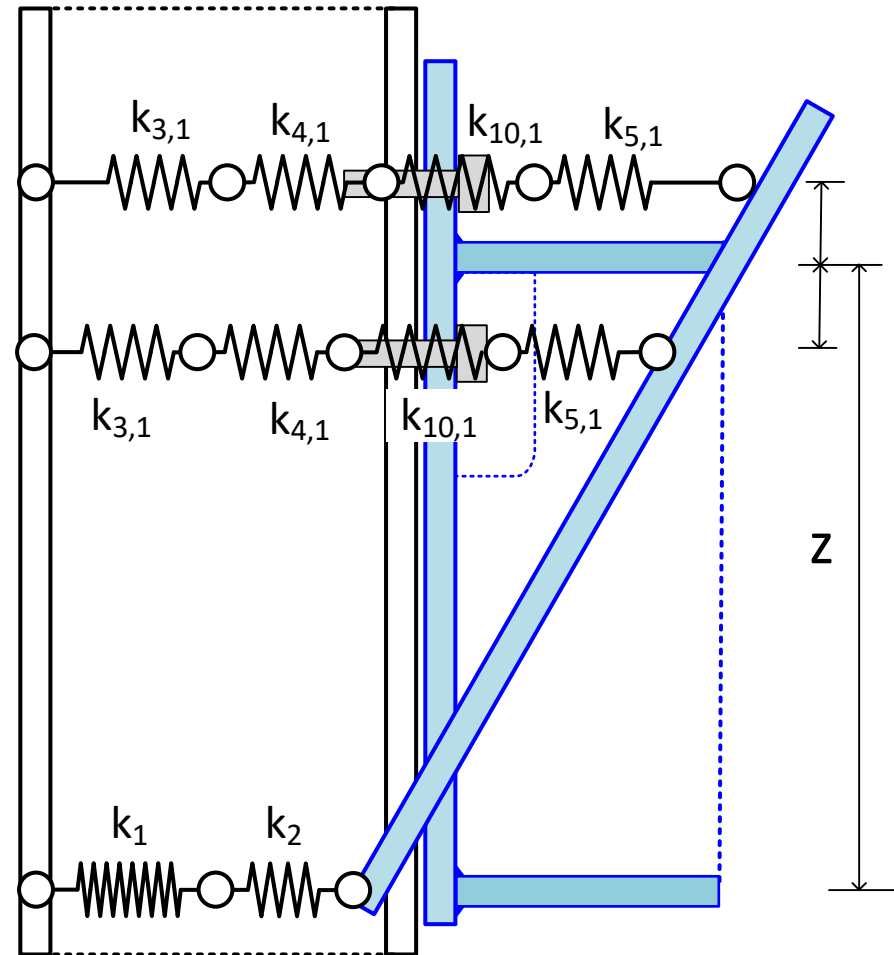
$$k_{eff,1} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3,1}} + \frac{1}{k_{4,1}} + \frac{1}{k_{5,1}} + \frac{1}{k_{10,1}}}$$

Rigidez de fila de tornillos bajo ala:
igual que la rigidez de la fila exterior

$$k_{eff,2} = k_{eff,1}$$

Se permite en este caso un método simplificado para el cálculo de la resistencia haciendo $F_{2,Rd} = F_{1,Rd}$

Se emplea el mismo método para la rigidez



Método simplificado. Unión con chapa frontal extendida, con una fila de tornillos exterior y otra fila bajo ala

Brazo de palanca: punto intermedio entre las dos filas

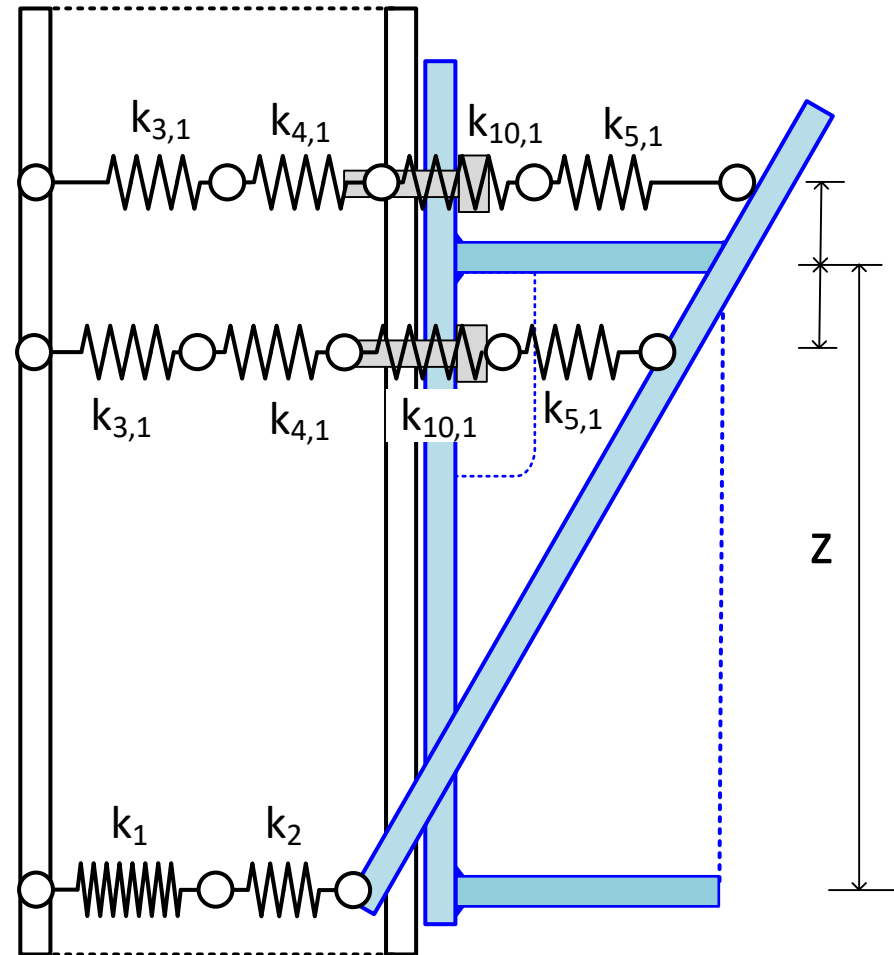
$$z_{eq} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

Rigidez equivalente de las 2 filas

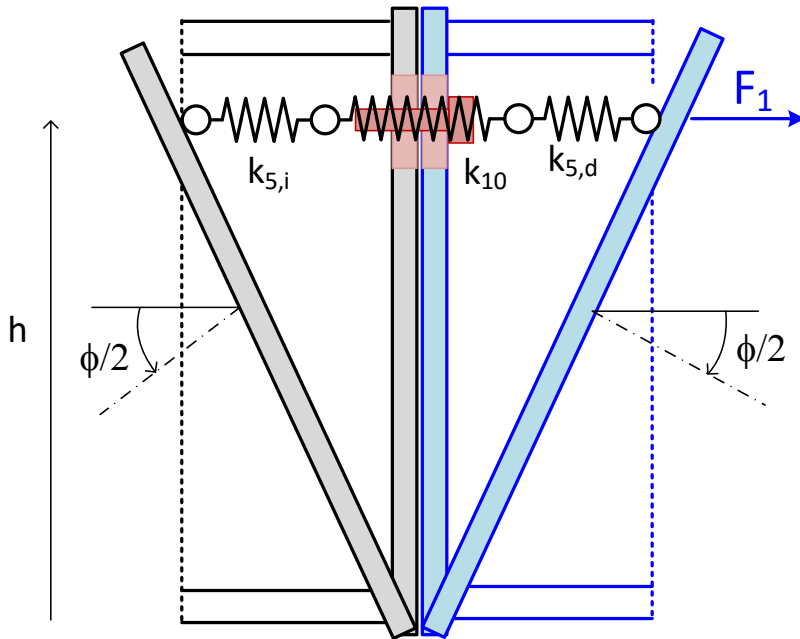
$$k_{eq} = 2 k_{eff,1}$$

Rigidez de la unión

$$S_{j,ini} = \frac{z_{eq}^2 E}{\left(\frac{1}{2 k_{eff,1}} + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right)}$$

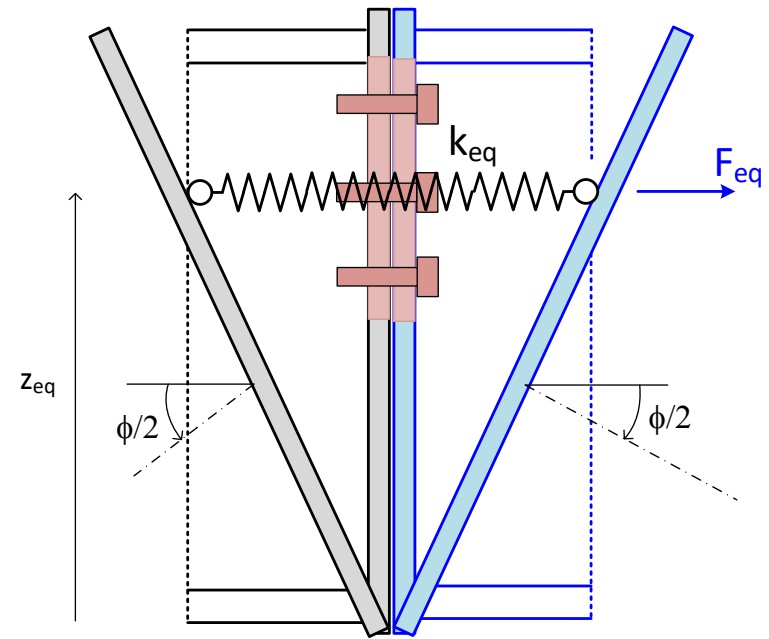


Rigidez de la unión viga – viga con chapa frontal



Una fila de tornillos a tracción

$$S_{j,ini} = \frac{h^2 E}{\left(\frac{1}{k_{10}} + \frac{1}{k_{5,d}} + \frac{1}{k_{5,i}}\right)}$$

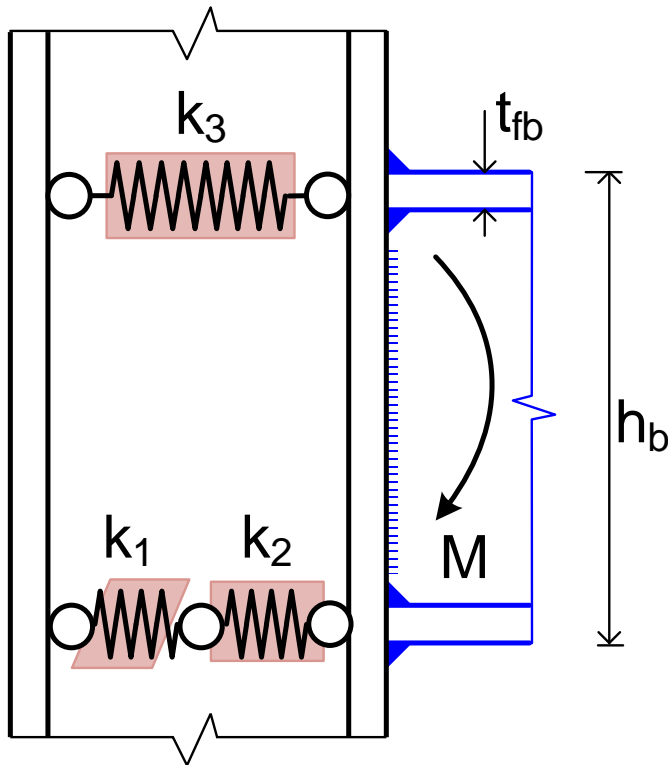


Varias filas de tornillos

$$S_{j,ini} = \frac{z_{eq}^2 E}{\left(\frac{1}{k_{eq}}\right)}$$

No existe flexibilidad en la zona inferior a compresión

Rigidez de la unión viga – poste soldada



k_1 Alma de columna a cortante, sin rigidizar

k_2 Alma de columna a compresión, sin rigidizar

k_3 Alma de columna a tracción, sin rigidizar

$$S_{j,ini} = \frac{z_b^2 E}{\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}\right)}$$

$$z_b = h_b - t_{fb}$$

Unión viga – pilar soldada

Coeficientes

Viga a un solo lado del pilar

k_1 k_2 k_3

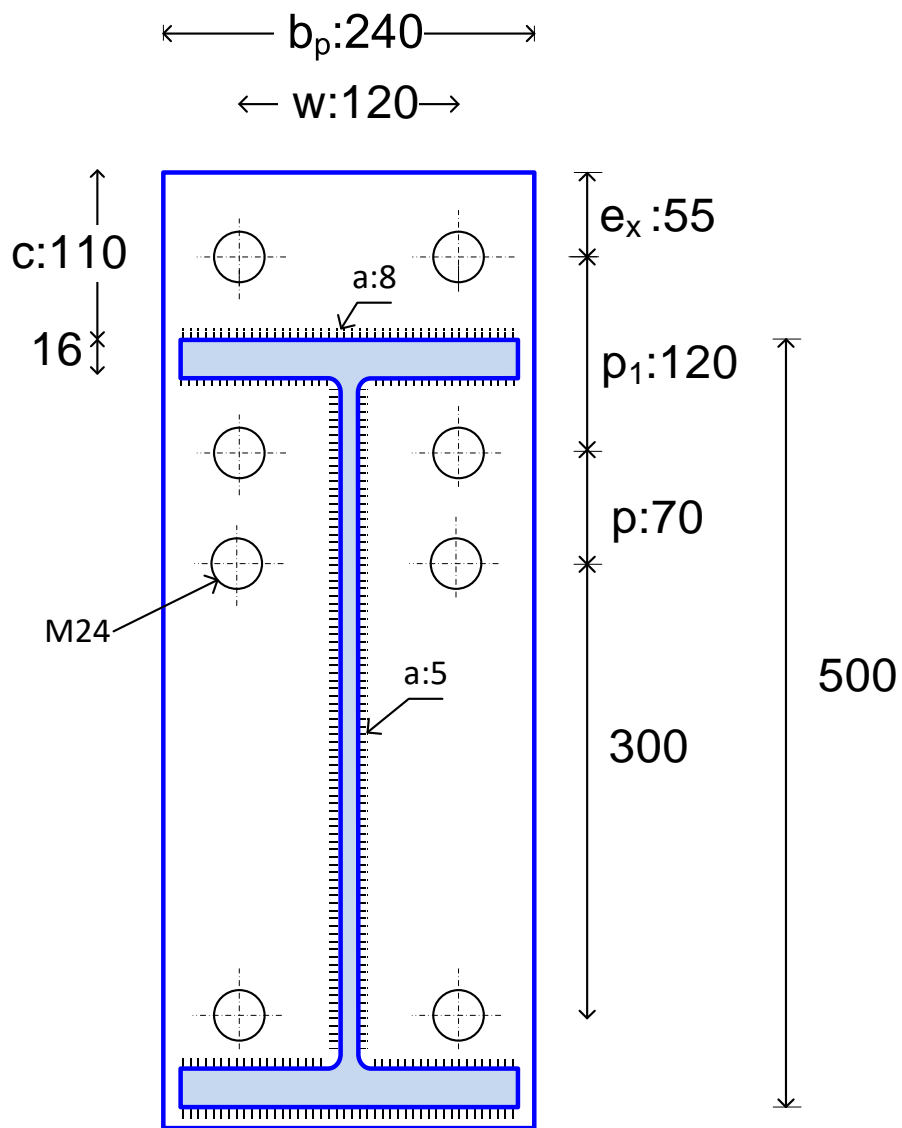
A ambos lados del pilar. Momentos iguales y opuestos ($k_1 = \infty$)

k_2 k_3

A ambos lados del pilar. Momentos diferentes

k_1 k_2 k_3

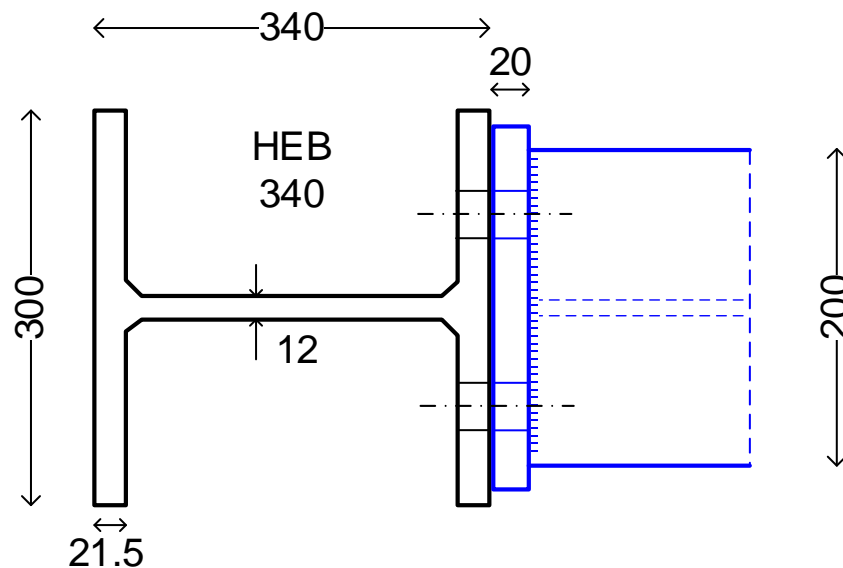
Ejemplo 1. Unión atornillada viga IPE 500, poste HEB 340, S275



3 filas de tornillos a tracción

Tornillos M24 Calidad 10.9

Fila inferior no se considera para la rigidez (brazo de palanca pequeño)



Ejemplo 1. Unión atornillada viga IPE 500, poste HEB 340, S275

Rigidez equivalente de las filas a tracción

Fila (r)	$k_{3,r}$	$k_{4,r}$	$k_{5,r}$	$k_{10,r}$	$k_{eff,r}$	h_r
1	6.26	47.61	8.91	9.04	2.48	547
2	3.28	24.98	12.76	9.04	1.87	427
3	5.39	41.04	10.31	9.04	2.39	357

Brazo de palanca equivalente de 3 filas a tracción

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r^2}{\sum k_{eff,r} h_r} = 461.1 \text{ mm}$$

Rigidez equivalente de 3 filas a tracción

$$k_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} = 6.53 \text{ mm}$$

Ejemplo 1. Unión atornillada viga IPE 500, poste HEB 340, S275

Área a cortante del pilar: $A_{Vc} = 5609 \text{ mm}^2$ Parámetro de transformación $\beta = 1$

Brazo de palanca de la unión $z = z_{eq} = 461.1 \text{ mm}$

- Rigidez del alma del poste a cortante $k_1 = \frac{0.38 A_{Vc}}{\beta z} = 4.62 \text{ mm}$
-

Anchura eficaz del poste a compresión $b_{eff,c,wc} = 304.8 \text{ mm}$

Zona recta del alma: $d_c = 243 \text{ mm}$

- Rigidez del alma del poste a compresión $k_2 = \frac{0.7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c} = 10.54 \text{ mm}$
-

Rigidez de la unión,
en la rama lineal

$$S_{J,ini} = \frac{z_{eq}^2 E}{\left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right)} = 96.15 \cdot 10^6 \frac{\text{N m}}{\text{rad}}$$

Longitud de viga para unión rígida, pórtico arriostrado ($k_b = 8$): $L_b > 8.42 \text{ m}$

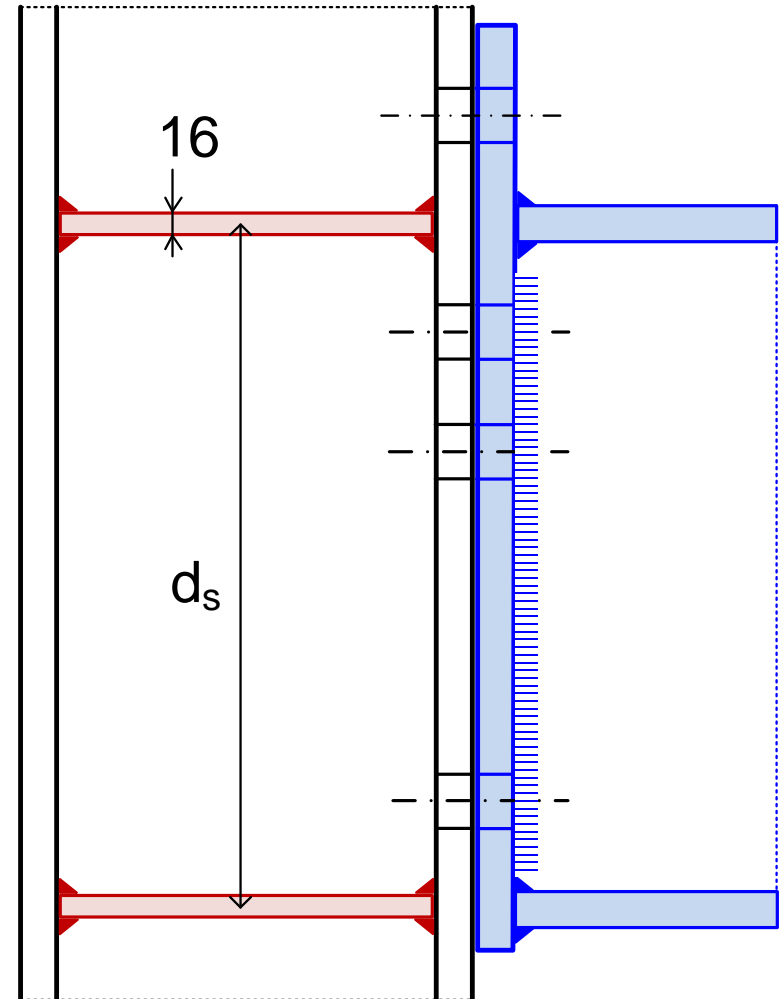
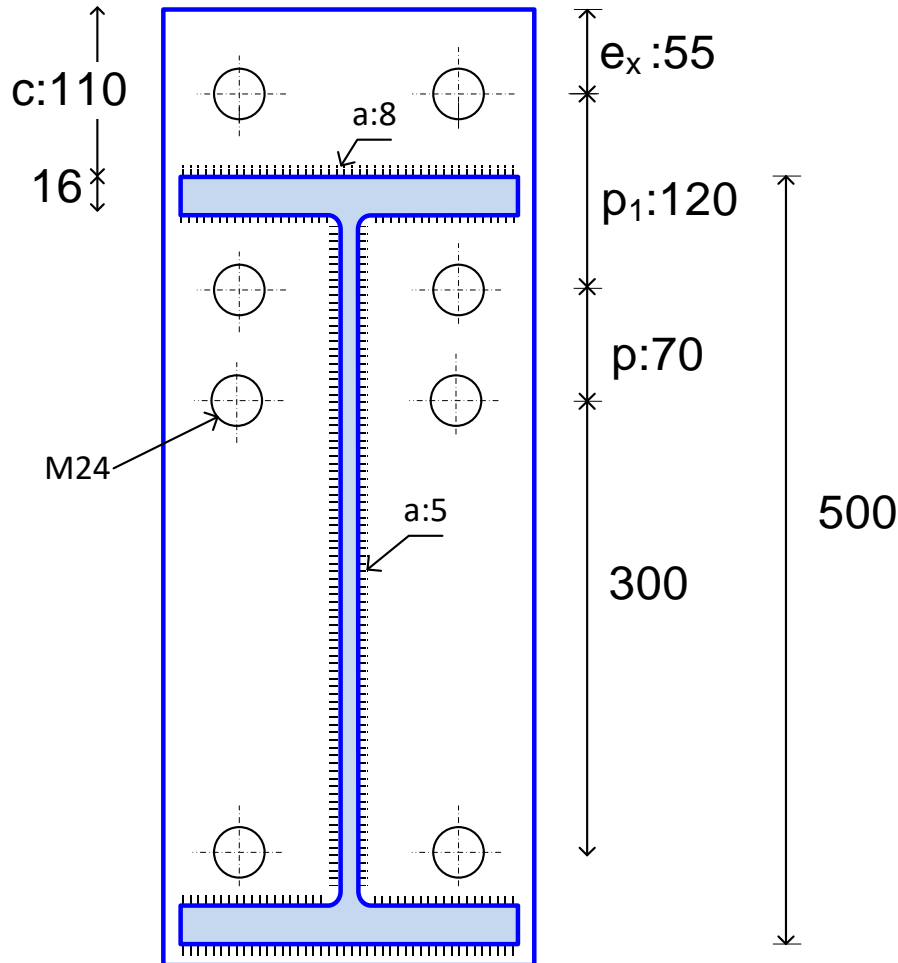
Ejemplo 2. Unión atornillada viga IPE 500, poste rigidizado HEB 340, S275

Ídem a ejemplo 1 con poste rigidizado a nivel de las alas de la viga

$$d_s = 500 - 16 = 484$$

$$\leftarrow b_p:240 \rightarrow$$

$$\leftarrow w:120 \rightarrow$$



Ejemplo 2. Unión atornillada viga IPE 500, poste rigidizado HEB 340, S275

Rigidez equivalente de las filas a tracción

Fila (r)	$k_{3,r}$	$k_{4,r}$	$k_{5,r}$	$k_{10,r}$	$k_{eff,r}$	h_r
1	7.04	53.54	8.91	9.04	2.61	547
2	5.94	45.18	12.76	9.04	2.63	427
3	5.39	41.04	10.31	9.04	2.39	357

Brazo de palanca equivalente de 3 filas a tracción

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r^2}{\sum k_{eff,r} h_r} = 459.6 \text{ mm}$$

Rigidez equivalente de 3 filas a tracción

$$k_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} = 7.41 \text{ mm}$$

Ejemplo 2. Unión atornillada viga IPE 500, poste rigidizado HEB 340, S275

Área a cortante del pilar: $A_{Vc} = 5609 \text{ mm}^2$ Parámetro de transformación $\beta = 1$

Brazo de palanca de la unión $z = z_{eq} = 459.6 \text{ mm}$

- Rigidez del alma del poste a cortante $k_1 = \frac{0.38 A_{Vc}}{\beta z} = 4.64 \text{ mm}$

- Rigidez del alma del poste rigidizado a compresión $k_2 = \infty$

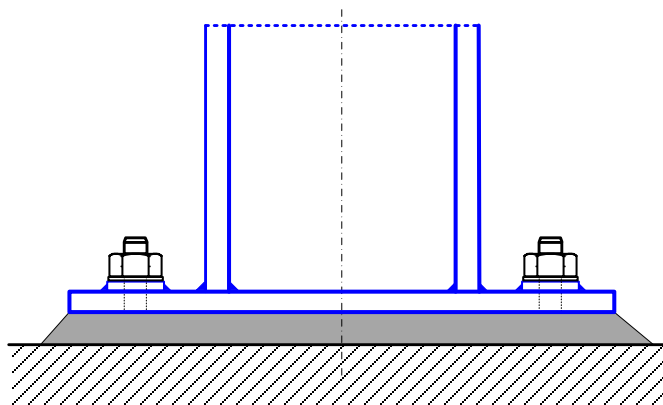
Rigidez de la unión,
en la rama lineal

$$S_{J,ini} = \frac{z_{eq}^2 E}{\left(\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_1} + 0\right)} = 126.54 \cdot 10^6 \frac{\text{N m}}{\text{rad}}$$

Longitud de viga para unión rígida, pórtico arriostrado ($k_b = 8$): $L_b > 6.40 \text{ m}$

Longitud de viga para unión rígida, pórtico no arriostrado: $L_b > 20 \text{ m}$

Uniones a la cimentación



Uniones a la cimentación

- Normativa

- Eurocódigo 3, EN 1993-1-8, § 6.2.8
- Código Estructural 2021. Anejo 26 § 6.2.8 (coincide con EN 1993-1-8)
- CTE. Código Técnico de la Edificación, DB-SE-A § 8.8.1

- Información

- Celigüeta J. T., *Diseño de bases de postes con placa de anclaje*, tecnun, 2017
- Jaspart J. P., Weynand K., *Design of Joints in Steel and Composite Structures*, Wiley - ECCS, 2016, ISBN: 978-92-9147-132-4
- Wald F., Hofmann J., Kuhlmann U. et al, *Design of Steel to Concrete Joints, Design Manual I*, ECCS, 2014, ISBN: 978-92-9147-119-5
- *Joints in Steel Construction: Moment-resisting Joints to Eurocode 3*, Document P398, SCI & BSCA, The Steel Construction Institute & The British Constructional Steelwork Association Ltd., 2015, ISBN: 978-1-85-942209-0
- Life Long Learning Programme, SKILLS project. *Base Plate Connections*, <https://www.cticm.com/projets/projet-skills/>

Elementos de una unión a la cimentación

Placa base unida al perfil del soporte.

Empotramiento: soldada en el perímetro del poste.

Articulaciones: bulón intermedio.

Bloque de hormigón de cimentación (zapata, losa o encepado intermedio)

Pernos de anclaje embebidos en el hormigón: transmiten las fuerzas de tracción de la placa base al bloque de hormigón. Pretensados y fijados por tuercas (recomendado con cargas dinámicas).

Mortero de nivelación de alta resistencia, sin retracción de fraguado (20 – 50 mm).
Transmite las fuerzas de compresión de la placa base al bloque de hormigón.

Otros:

Rigidizadores de la unión poste – placa base

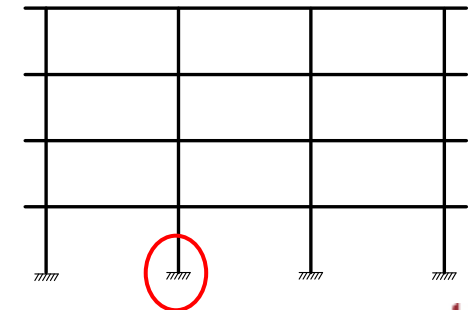
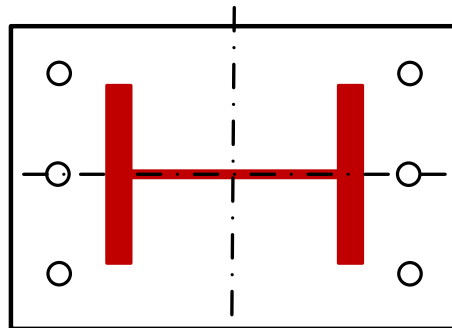
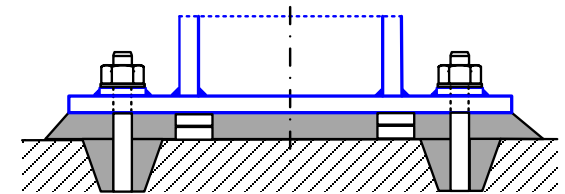
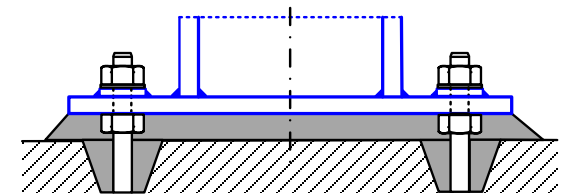
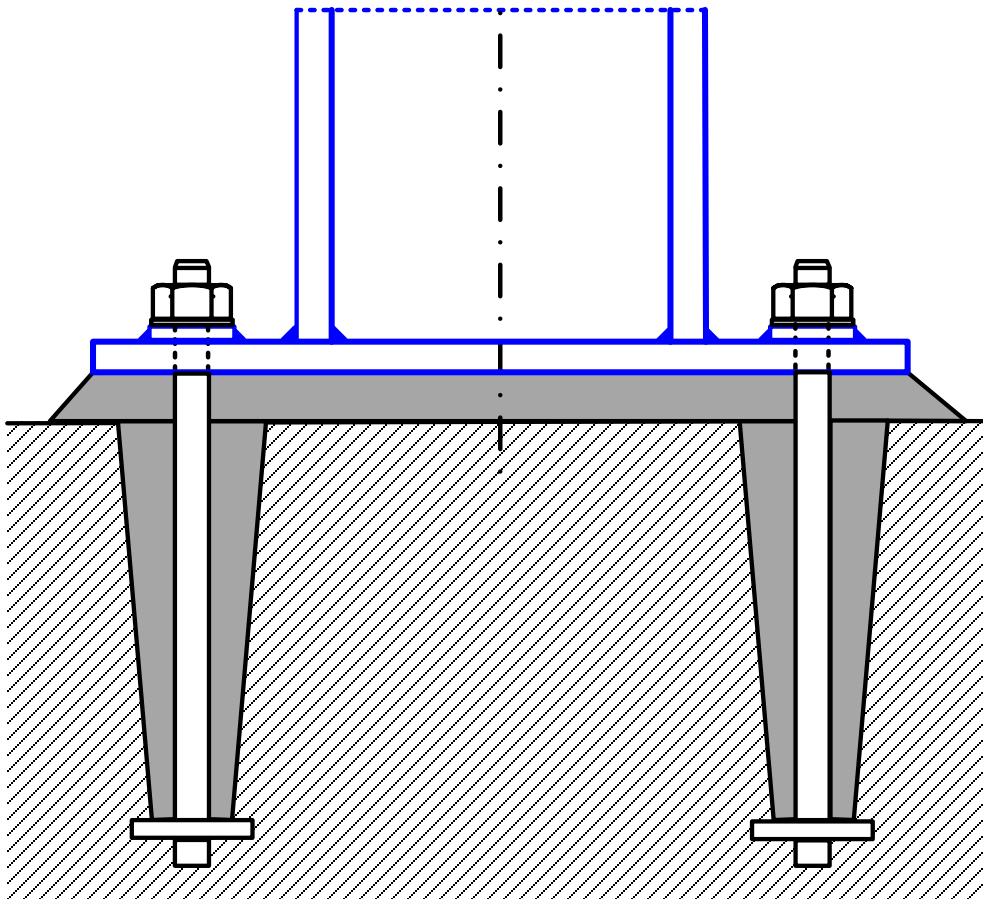
Conectores para absorber fuerza horizontal.

Montaje y nivelación del poste: calzos o cuñas de acero entre la placa base y el hormigón. A veces se sustituyen por tuercas bajo la placa base, roscadas al perno

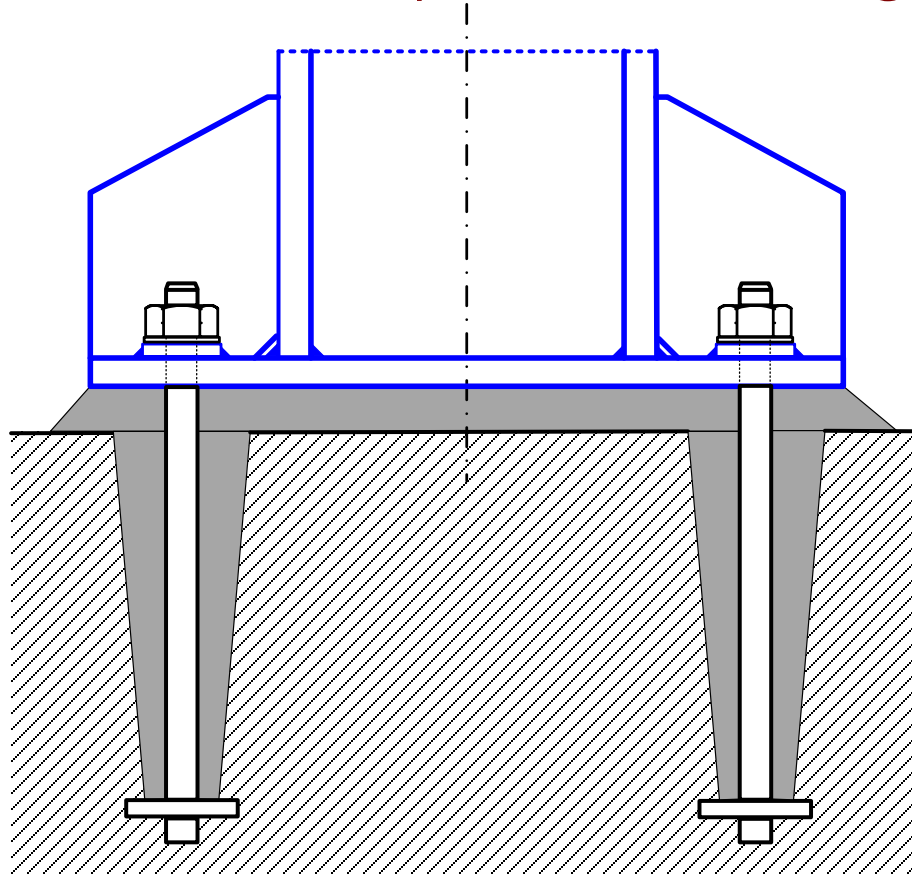
Empotramiento básico sin rigidizar

Esfuerzo axial de compresión
Momento pequeño/medio
Reacción horizontal pequeña/media

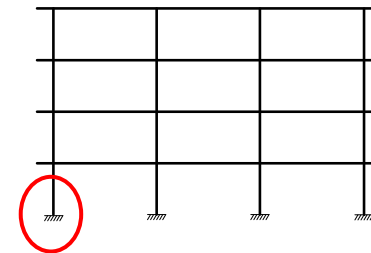
Elementos de nivelación



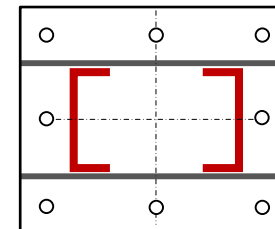
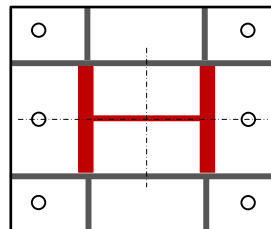
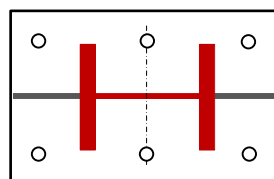
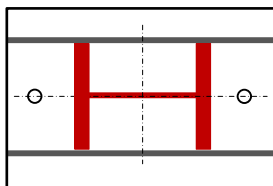
Empotramiento rigidizado



Esfuerzo axial de compresión
Momento grande
Reacción horizontal pequeña/media



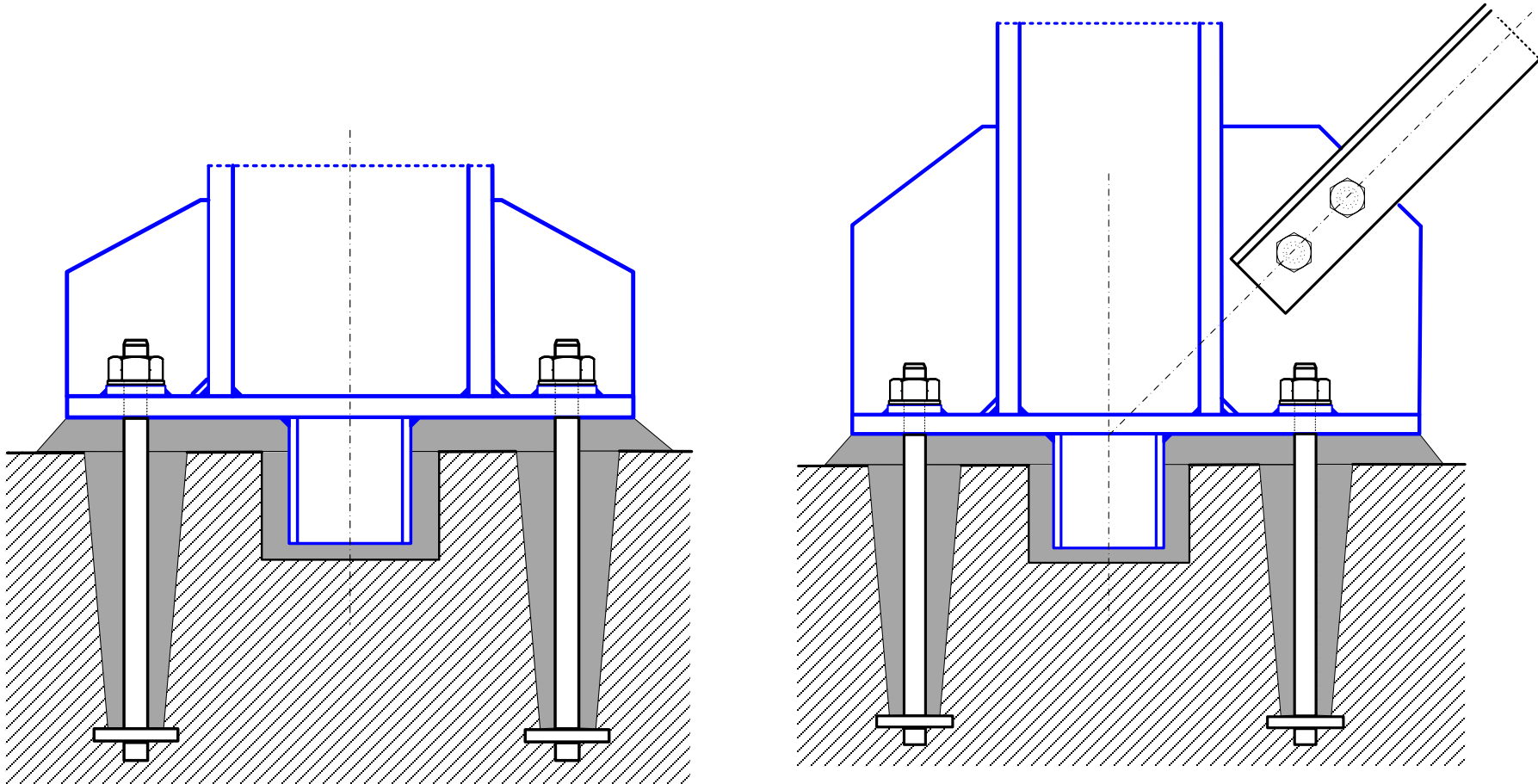
Disposiciones en planta típicas de pernos y rigidizadores



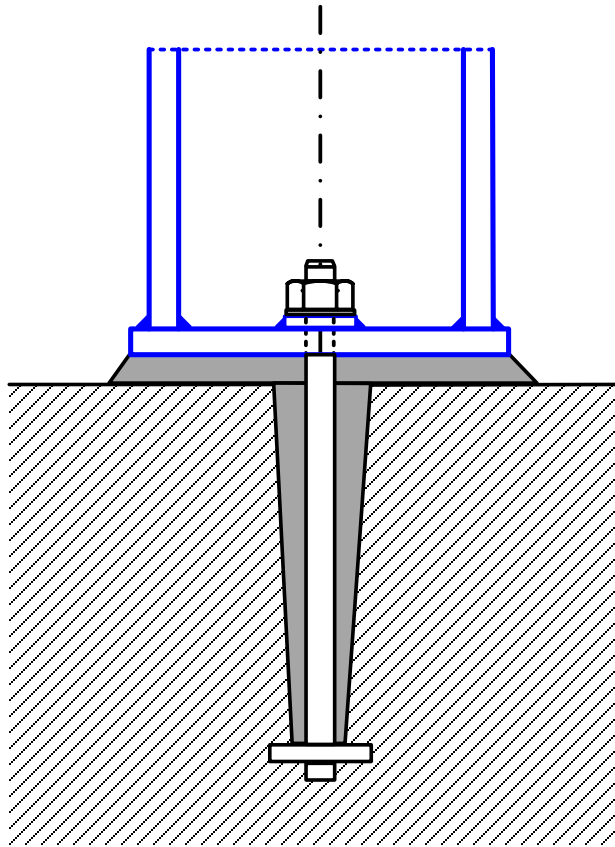
Uniones a la cimentación

Empotramiento para gran reacción horizontal

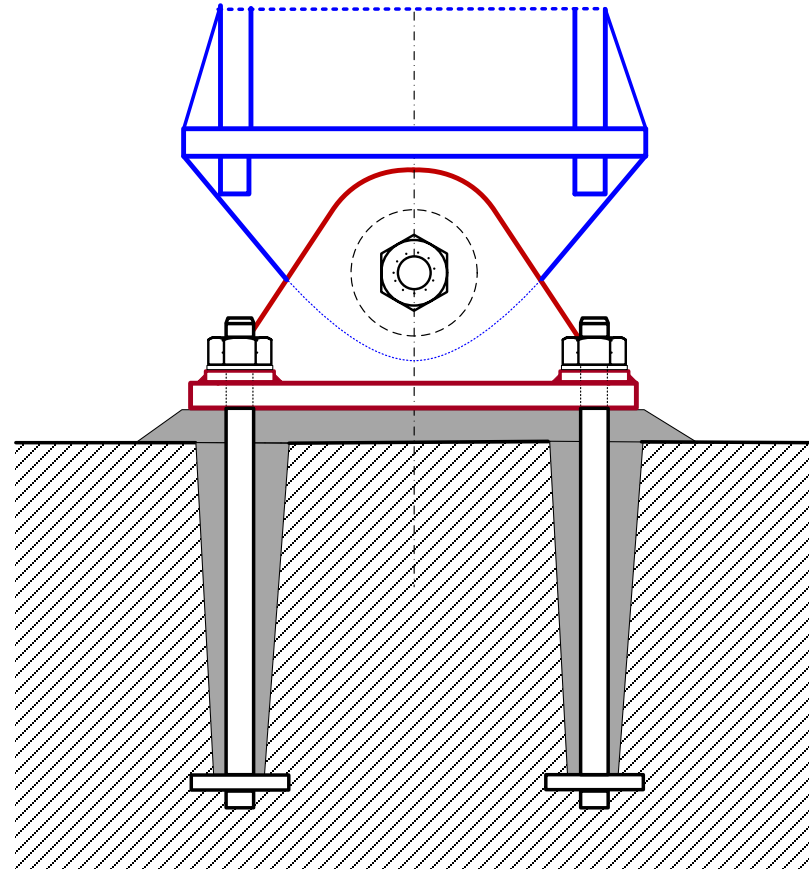
El esfuerzo cortante en el casquillo absorbe gran parte de la reacción horizontal



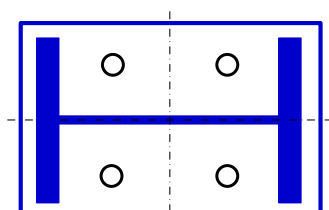
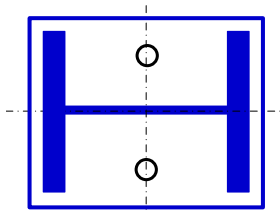
Articulaciones



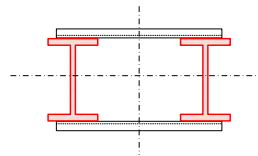
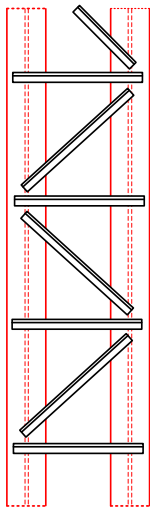
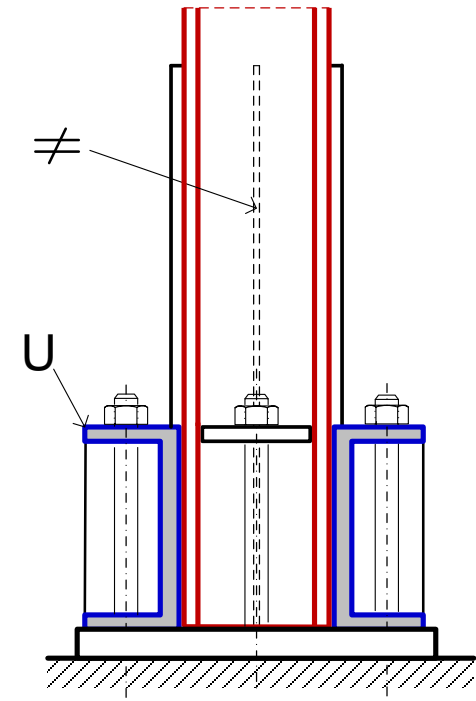
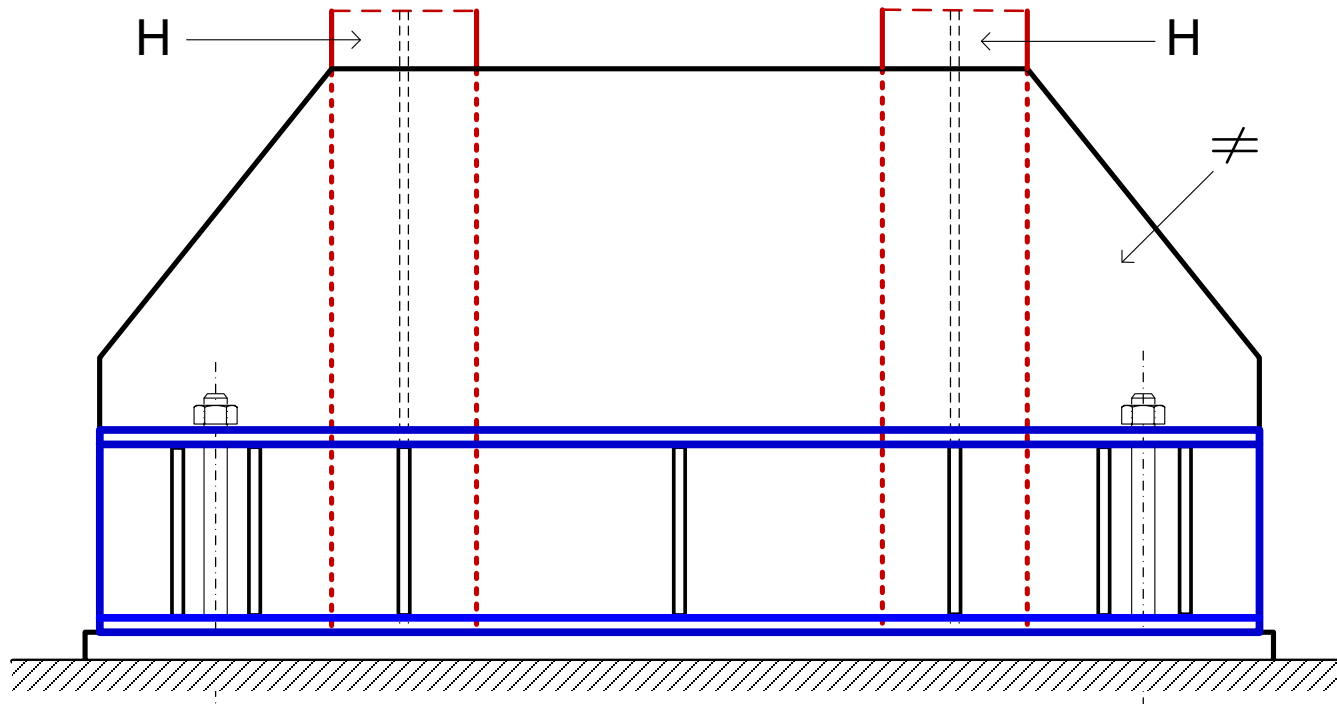
Sencilla



Grandes cargas



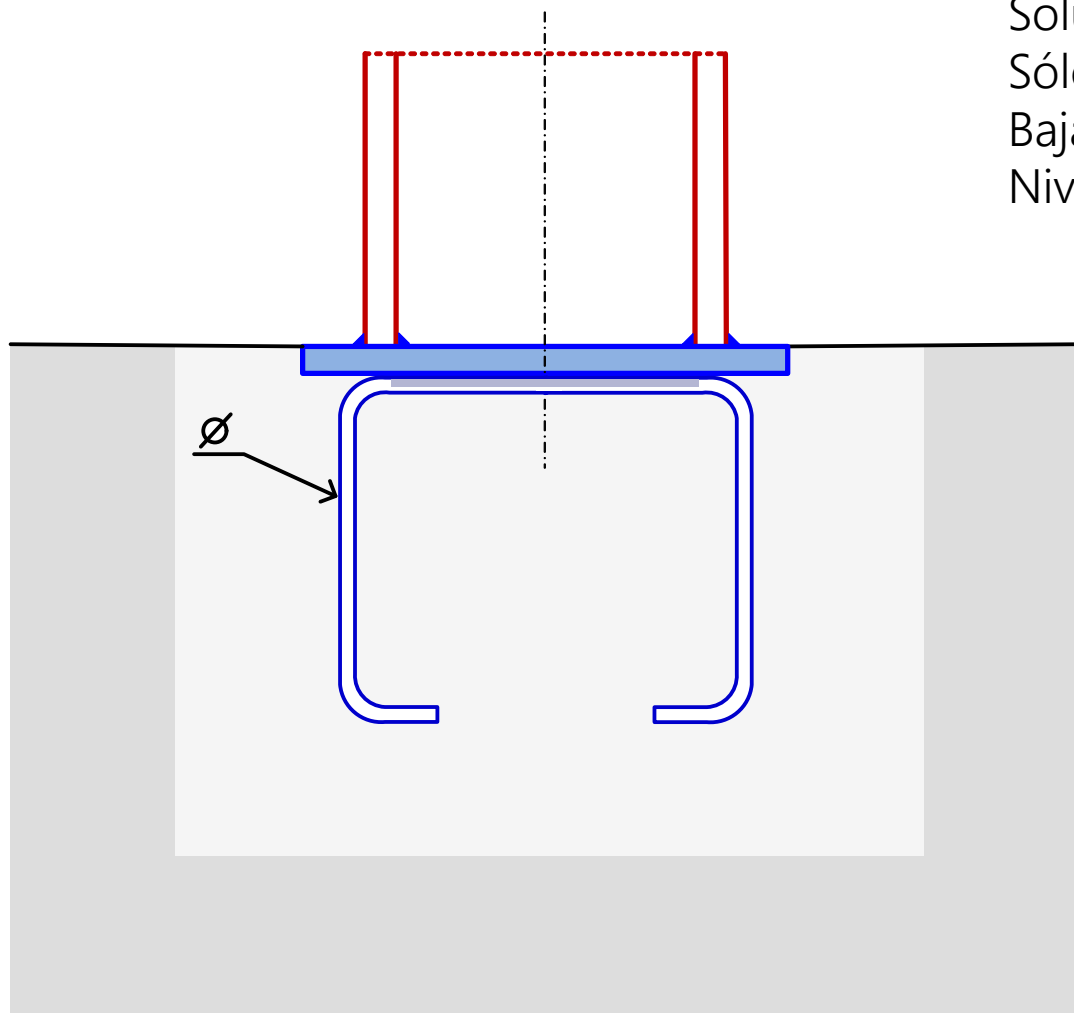
Empotramiento reforzado



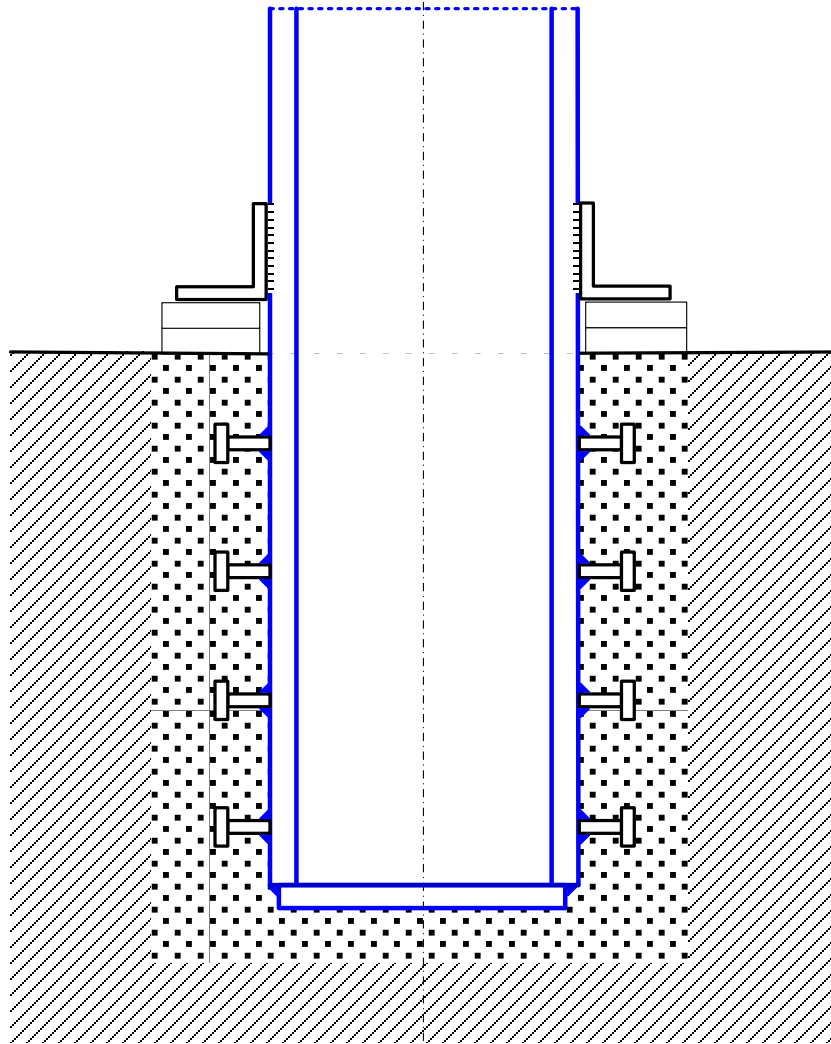
Poste compuesto de 2 perfiles H unidos con celosía
Chapas de enlace entre los perfiles H
Placa base reforzada con 2 UPE y rigidizadores

Placa embebida en el hormigón

Solución a evitar
Sólo cargas pequeñas
Baja calidad
Nivelación difícil



Empotramiento directo sin placa



Conectores soldados al poste
Hormigonado en dos fases

Compresión pequeña

Superficie portante

EN 1993-1-8 §6.2.5

La transmisión de fuerzas de compresión entre la placa base y el hormigón **no** se efectúa en toda la superficie de la placa base.

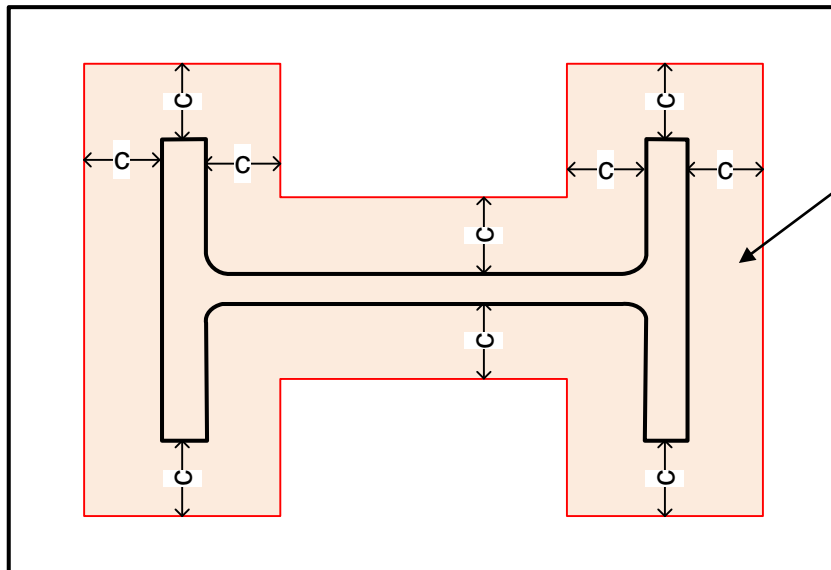
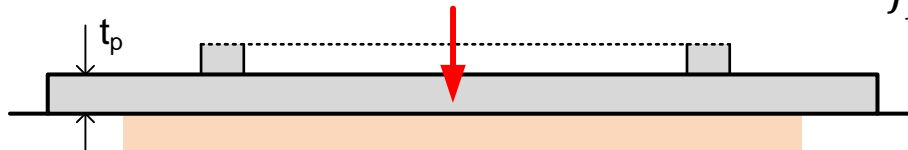
Debido a la flexibilidad de la placa, las fuerzas de compresión se transmiten **sólo** alrededor del **perímetro del perfil**, añadiendo una **anchura suplementaria de apoyo** c :

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}}$$

t_p Espesor de la placa base

f_y Límite elástico del acero de la placa base

f_{jd} Resistencia del hormigón a compresión
(Resistencia al aplastamiento)



Superficie portante para un poste sometido a compresión simple o compuesta

Perfiles H: expresión sencilla para el área de la superficie portante A_P

$$A_P = P_H c + A_H + 4 c^2$$

P_H : perímetro del perfil en H

A_H : área del perfil en H

Justificación de la anchura suplementaria de apoyo c

Se trata de **asegurar la resistencia de la placa de apoyo** sometida a la presión de contacto con el hormigón f_{jd}

Trozo en voladizo de longitud c y ancho b , sometido a carga uniforme f_{jd}

Momento flector en la unión placa – poste $M = (f_{jd} c b) \frac{c}{2}$

Tensión máxima en la placa (elástico)

$$\sigma = \frac{M \left(\frac{t_p}{2} \right)}{\frac{b t_p^3}{12}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

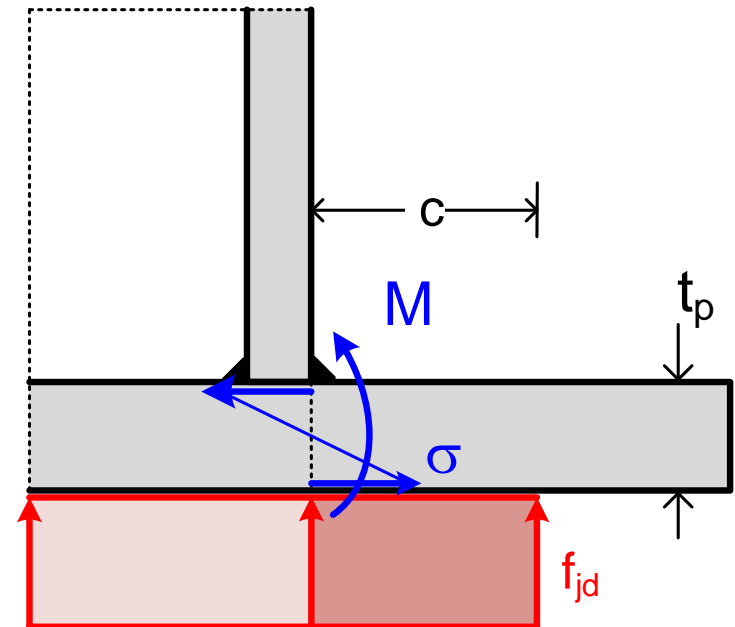
Sustituyendo M y despejando c

$$c \leq t_p \sqrt{\frac{f_y}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}}$$

t_p Espesor de la placa base

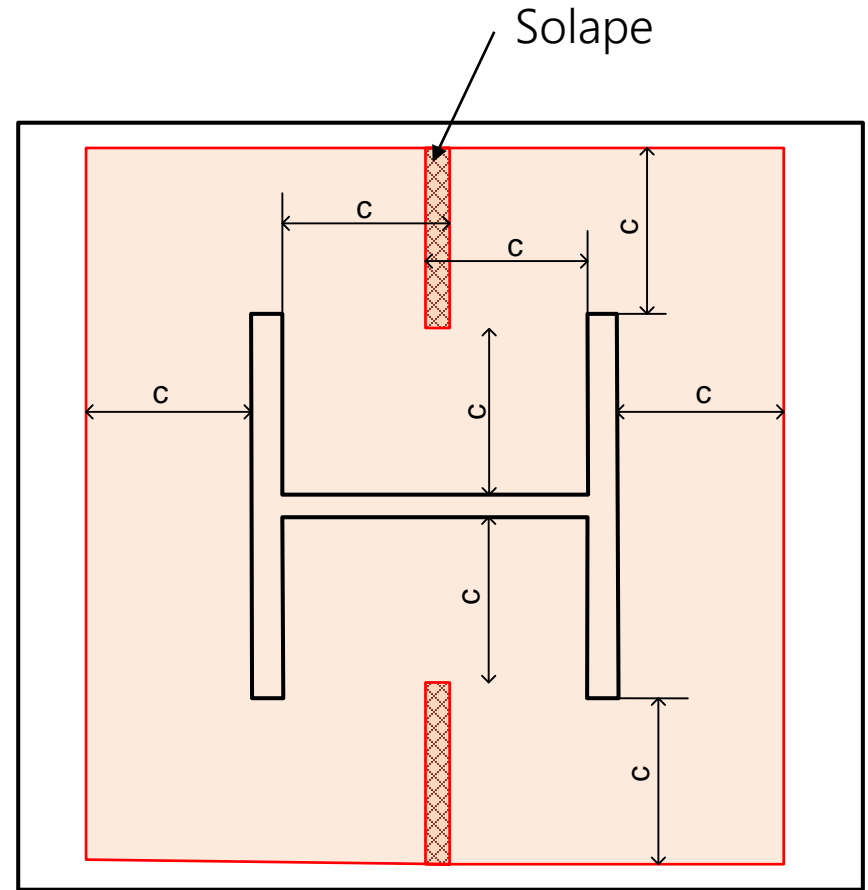
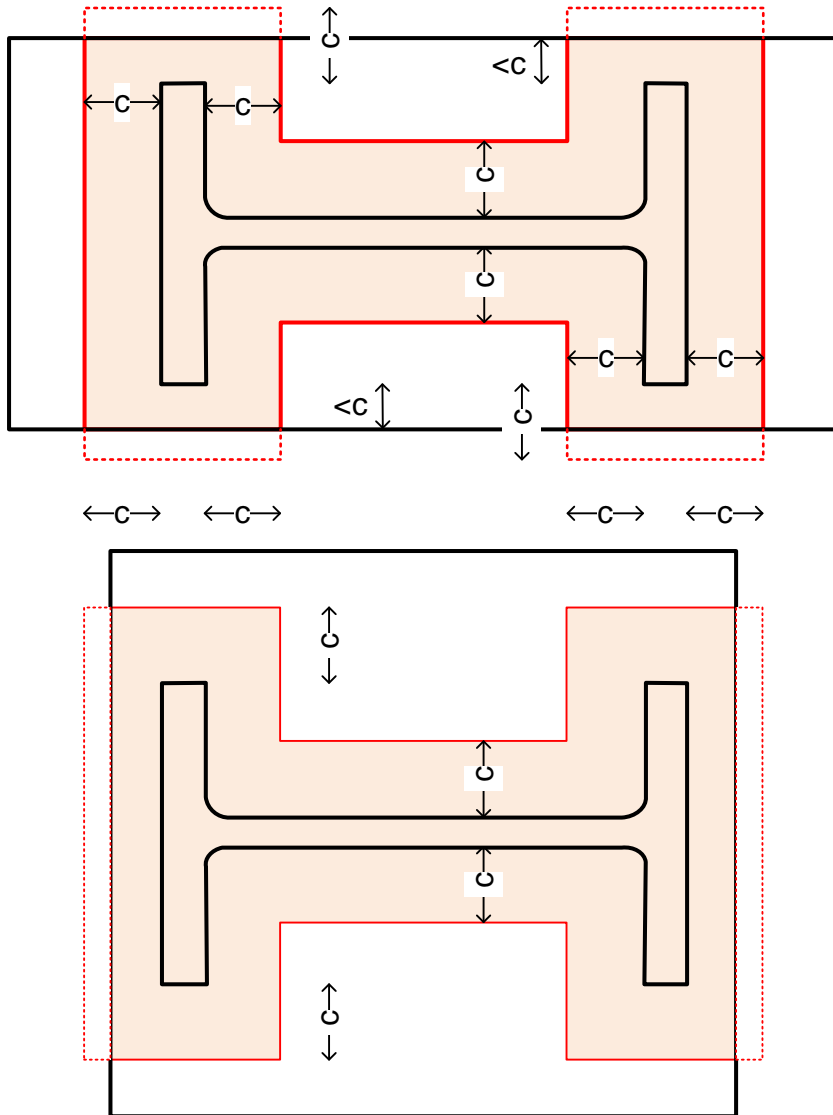
f_y Límite elástico del acero de la placa base

f_{jd} Resistencia del hormigón a compresión

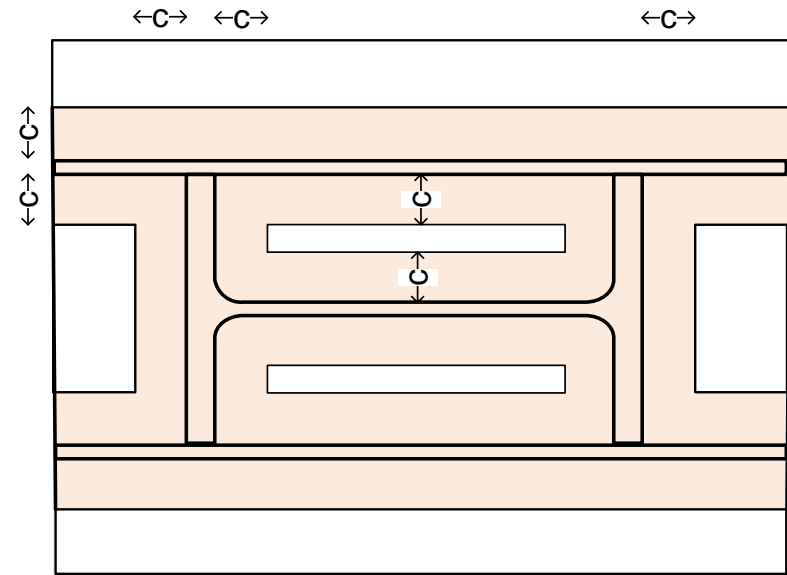
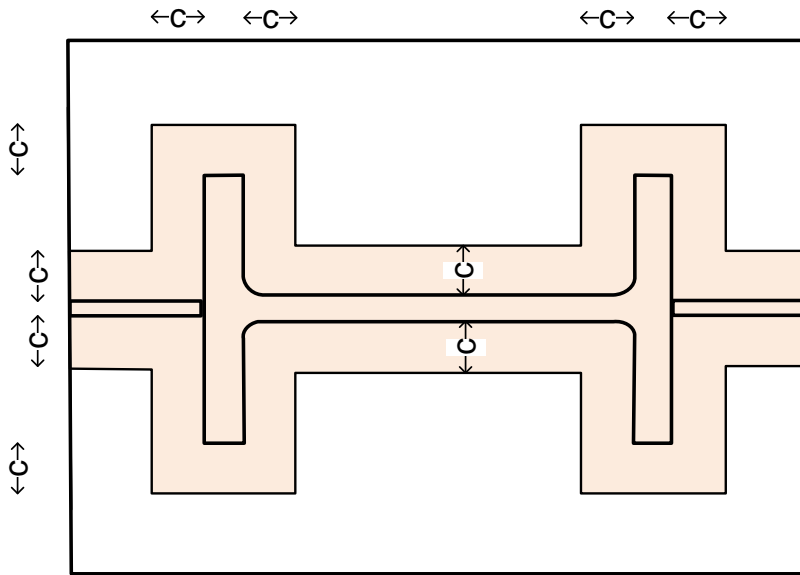


Límites a la superficie portante

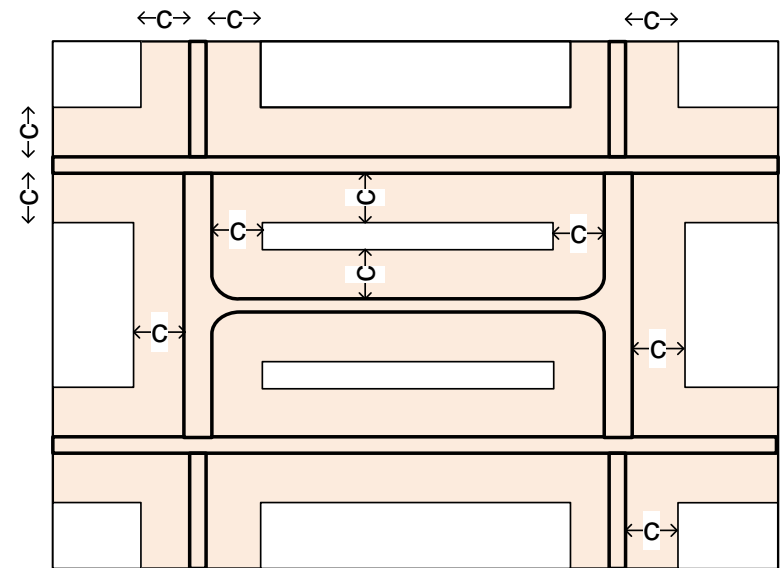
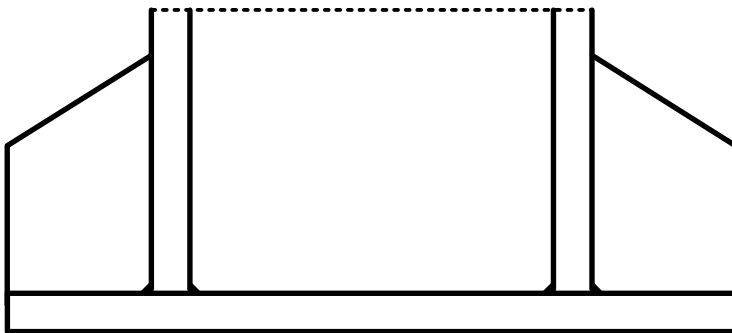
La superficie portante debe estar contenida en la placa base, y no debe haber solapes.



Superficie portante en apoyos reforzados



Se extiende alrededor de todos los rigidizadores.



Resistencia de cálculo a aplastamiento de la unión f_{jd}

f_{jd} Tensión máxima de compresión en el hormigón en la superficie de apoyo

UNE-EN 1993-1-8 §6.2.5 (design bearing strength)

Es mayor que su resistencia característica f_{ck} .
La superficie directamente cargada está rodeada de más hormigón no cargado que impide su deformación lateral (zunchado) y aumenta su resistencia a compresión.

$$f_{jd} = \beta_j \frac{F_{Rdu}}{b_{eff} l_{eff}}$$

F_{Rdu} : resistencia del bloque de hormigón a fuerza puntual (dado en normas)

$b_{eff} l_{eff}$ área de la superficie en contacto

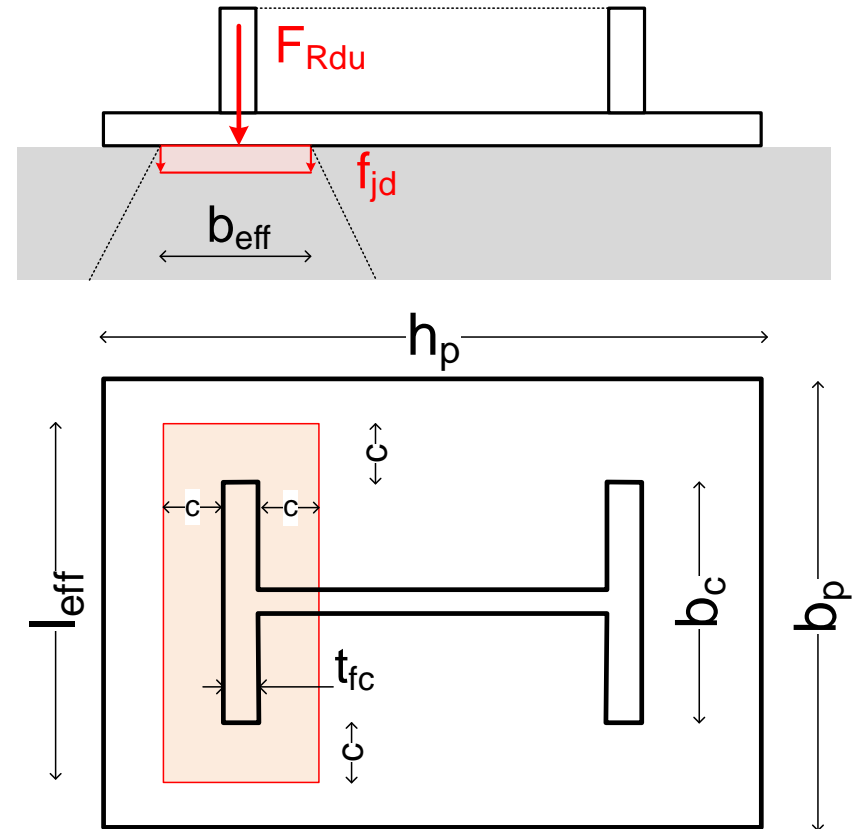
$$b_{eff} = t_{fc} + 2c \quad l_{eff} = b_c + 2c$$

β_j Coeficiente del material. Depende de la calidad de la capa de mortero (*grout*):

Puede tomarse: $\beta_j = \frac{2}{3}$ Si el mortero cumple:

$$\begin{cases} f_{ck,grout} \geq 0.2 f_{ck} \\ e_{grout} \leq \min(50 \text{ mm}, 0.2 b_p, 0.2 h_p) \end{cases}$$

Si no se cumple, tomar: $f_{jd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1.5$

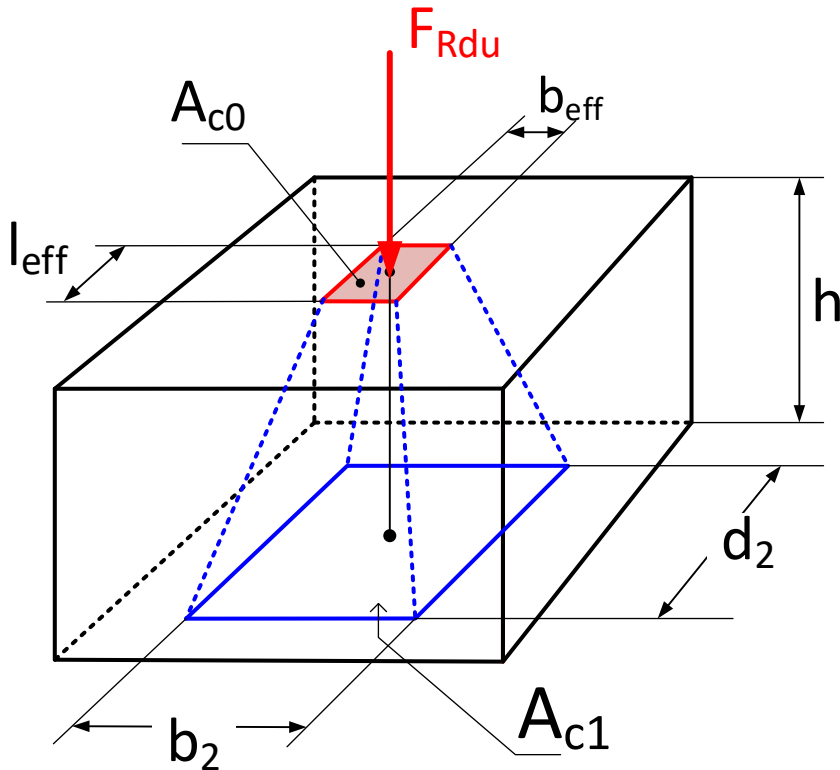


F_{Rdu} : resistencia del bloque de hormigón a fuerza puntual

EN 1992-1-1 §6.7

$$F_{Rdu} = A_{c0} \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

$$\text{con } \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \sqrt{\frac{b_2 d_2}{b_{eff} l_{eff}}} \leq 3$$



f_{ck} : resistencia característica del hormigón
(\approx C20 a C70 MPa)

$$\gamma_C = 1.5$$

$A_{c0} = b_{eff} l_{eff}$: área de reparto de la fuerza en la cara superior (EN 1993-1-8 §6.2.5-7)

$A_{c1} = b_2 d_2$ área de máxima distribución de la fuerza a la profundidad del bloque h

$$b_2 \leq 3 b_{eff} \quad h \geq b_2 - b_{eff}$$

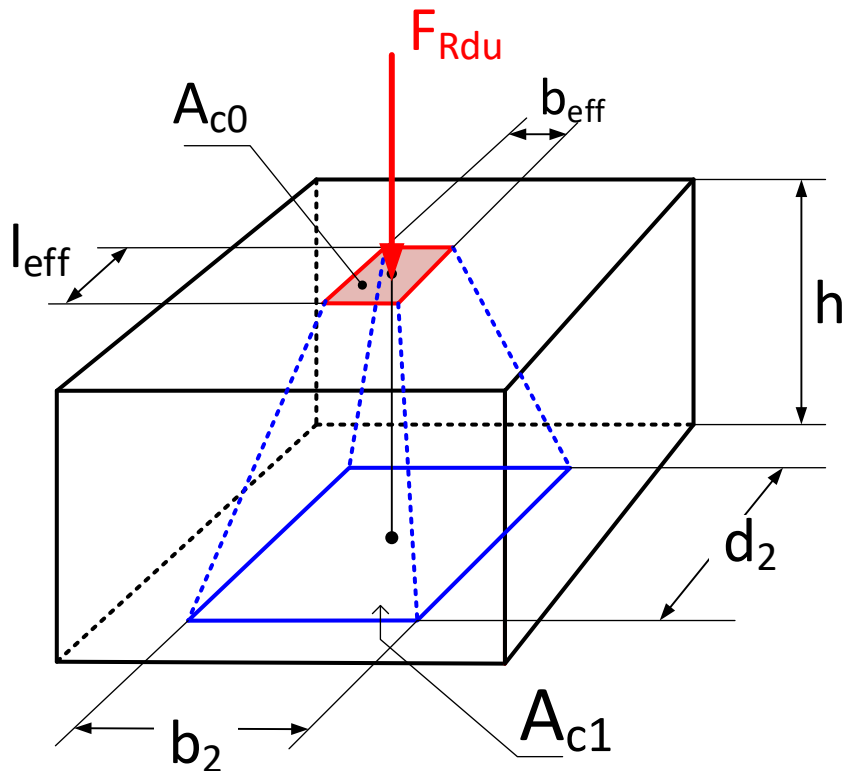
$$d_2 \leq 3 l_{eff} \quad h \geq d_2 - l_{eff}$$

No se pueden calcular hasta no conocer $b_{eff} l_{eff}$, que dependen de c

Resistencia de cálculo a aplastamiento de la unión f_{jd}

Sustituyendo F_{Rdu} en f_{jd} se obtiene la expresión de uso práctico:

$$f_{jd} = \beta_j \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \sqrt{\frac{b_2 d_2}{b_{eff} l_{eff}}}$$



Hay que iterar, pues b_{eff} y l_{eff} dependen de la anchura de apoyo c , pero, a su vez, c depende de f_{jd}

Para no iterar: suponer los valores extremos de b_2 y d_2 , que dan la mayor resistencia

$$b_2 = 3 b_{eff} \quad d_2 = 3 l_{eff}$$

$$f_{jd} = \beta_j \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \sqrt{9}$$

Una vez calculados b_{eff} l_{eff} , comprobar la altura del bloque:

$$h \geq b_2 - b_{eff} \quad h \geq d_2 - l_{eff}$$

Resistencia de cálculo a aplastamiento de la unión f_{jd} CTE

f_{jd} se denomina en el CTE: Resistencia portante de la superficie de asiento.

Mayor que su resistencia característica f_{ck} . La superficie directamente cargada (placa base) está rodeada de más hormigón no cargado que impide su ensanchamiento (zunchado) y aumenta su resistencia a compresión.

$$f_{jd} = \beta_j k_j \frac{f_{ck}}{\gamma_C} \quad \text{con} \quad f_{jd} \leq 3.3 \frac{f_{ck}}{\gamma_C}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 b_1}{a b}} \quad k_j \leq 5$$

$(a \times b)$: área de la placa

$(a_1 \times b_1)$: área portante equivalente

h : profundidad del bloque

$a_1 \times b_1$ debe estar contenida en el bloque de hormigón

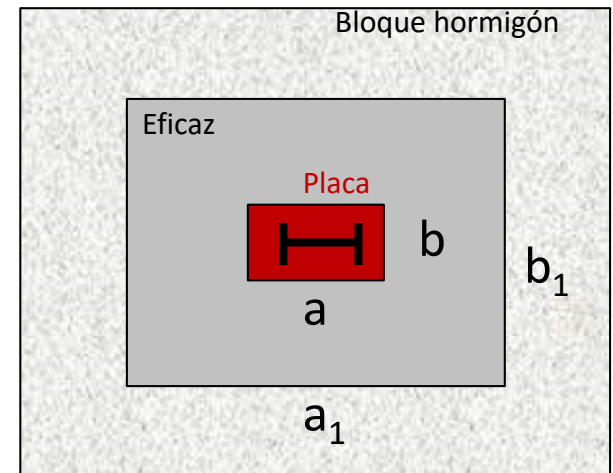
$$a_1 = \min(5 a, a + h, 5 b_1)$$

$$b_1 = \min(5 b, b + h, 5 a_1)$$

β_j : Coeficiente de junta. Ídem a EC3

$$\gamma_C = 1.5$$

En el CTE no figura el γ_C

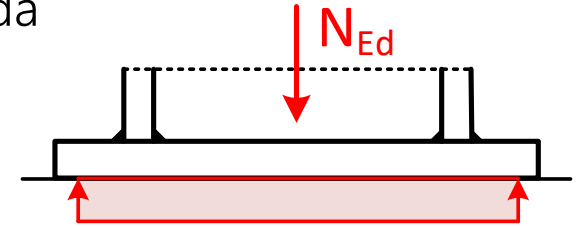


Poste sometido a compresión simple N_{Ed}

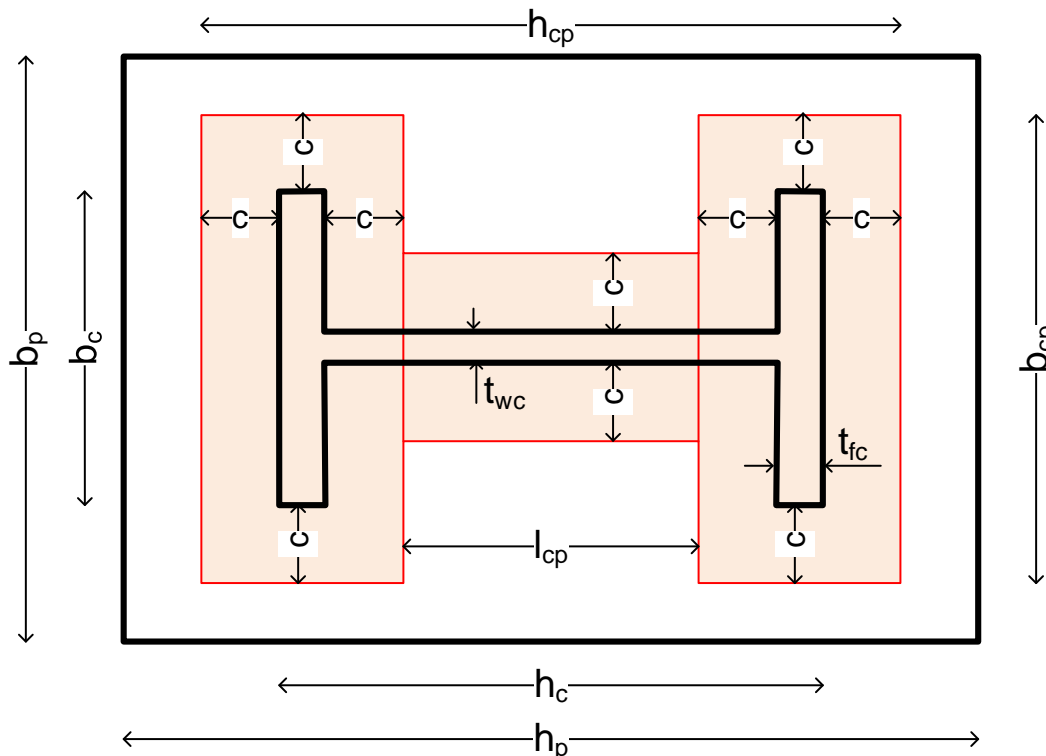
Resistencia a esfuerzo axial de compresión $F_{C,Rd}$ aportada por toda la superficie portante del hormigón:

$$N_{Ed} \leq F_{C,Rd} = f_{jd} S_{portante}$$

$$F_{C,Rd} = f_{jd} \left(h_{cp} b_{cp} - l_{cp} (b_{cp} - t_{wc} - 2c) \right)$$



← Rectángulo exterior – 2 laterales



$$h_{cp} = \min(h_c + 2c, h_p)$$

$$b_{cp} = \min(b_c + 2c, b_p)$$

$$l_{cp} = \max(h_c - 2t_{fc} - 2c, 0)$$

↑
Valores extremos para que la zona portante esté dentro de la placa

Poste articulado sometido a tracción simple

Resistencia aportada por un casquillo en T con los tornillos situados entre las alas del poste. Dos modos de fallo:

$$N_{Ed} \leq F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

Modo 1-2: fallo de la T, sin fuerzas de palanca (pernos muy flexibles)

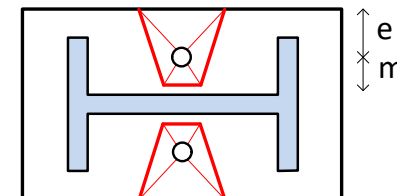
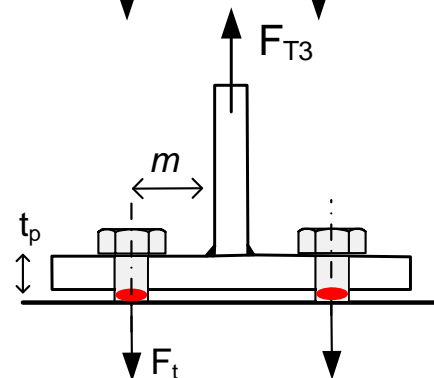
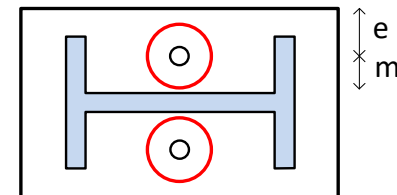
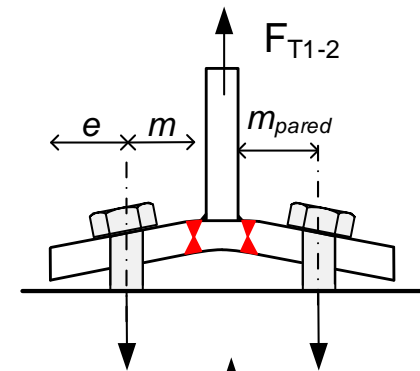
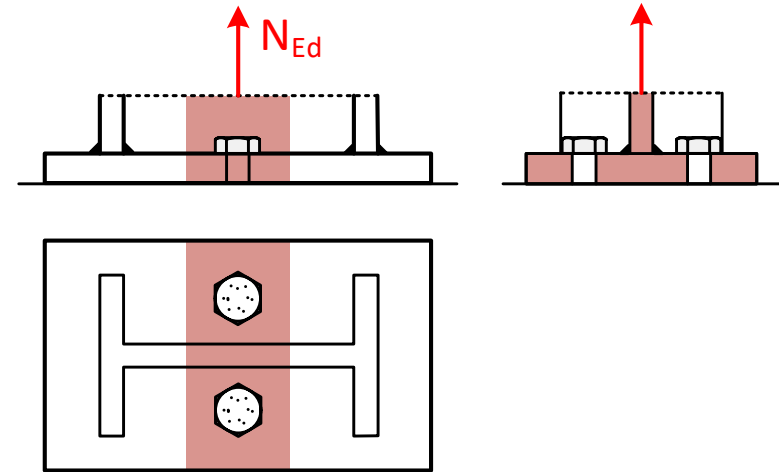
$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{l_{eff,12} t_p^2 f_y}{2 m \gamma_{M0}}$$

$$l_{eff,12} = \min(2 \pi m, 4 m + 1.25 e)$$

$$m = m_{pared} - 0.8 a_w \sqrt{2}$$

Modo 3: fallo de los pernos a tracción

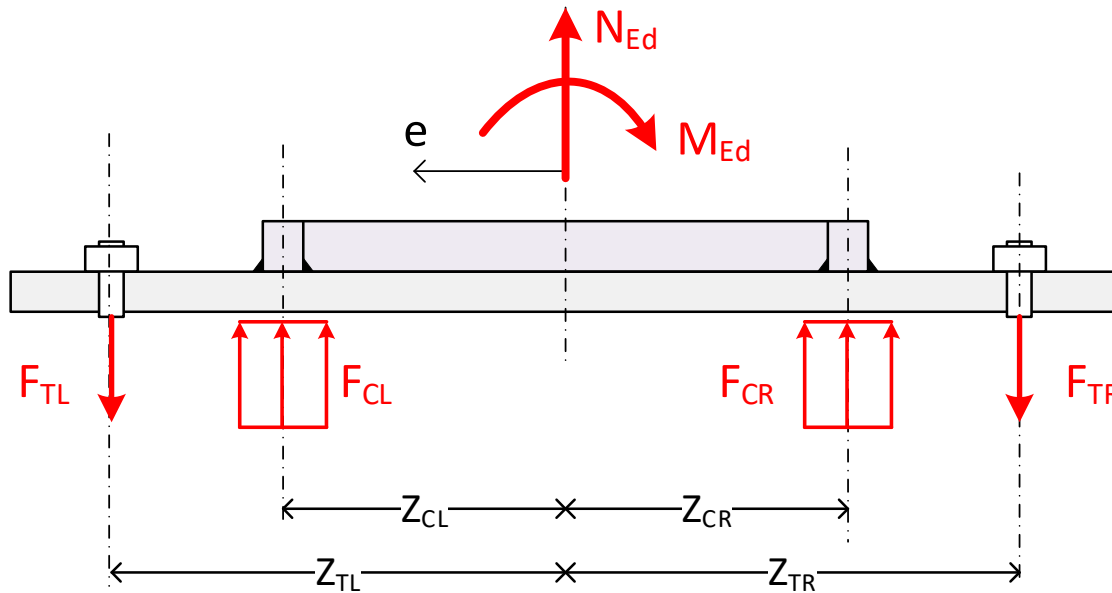
$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd,perno}$$



Poste con axial y flector. Modelo de diseño

Fuerzas posibles { **Tracción:** pernos fuera de las alas + placa base a flexión (casquillo T)
Compresión: zona del hormigón situada **bajo el ala a compresión** del poste. Despreciar la zona bajo el alma, y la zona exterior de la placa

Modelo válido para momentos no muy grandes. Conservador si M es grande



N_{Ed} Positivo a tracción ↑
 M_{Ed} Positivo horario ↻

Excentricidad:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Positiva hacia la izquierda ←

Subíndices

L: izquierda (left)

R: derecha (right)

Minúsculas (*l, r*)
 en las normas

F_{TL}, F_{TR} : fuerzas de tracción. Situadas en el eje de los pernos

F_{CL}, F_{CR} : fuerzas de compresión. Situadas en el eje del ala del poste

Z_{TL}, Z_{TR} : brazos de palanca de las fuerzas de tracción. Normalmente son iguales

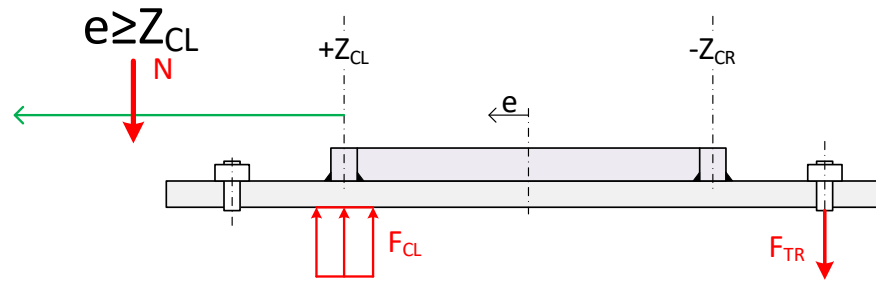
Z_{CL}, Z_{CR} : brazos de palanca de las fuerzas de compresión. Normalmente son iguales

Poste con
esfuerzo axial de
compresión y
momento flector

$$N_{Ed} < 0$$

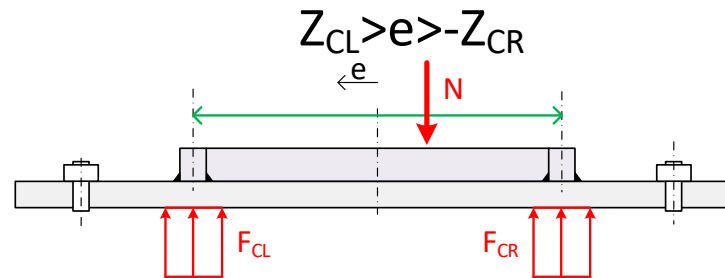
Fuerzas posibles
en la unión

Hay 3 posibles
disposiciones de las
fuerzas de tracción
y/o compresión, en
función del valor de la
excentricidad



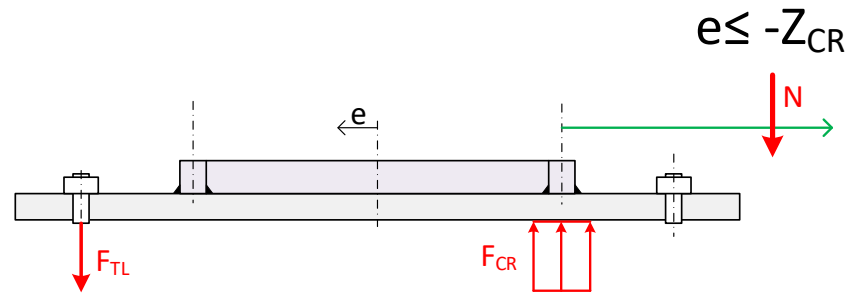
$$Z_L = Z_{CL}$$

$$Z_R = Z_{TR}$$



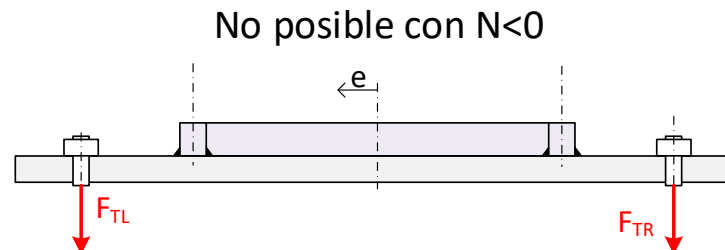
$$Z_L = Z_{CL}$$

$$Z_R = Z_{CR}$$



$$Z_L = Z_{TL}$$

$$Z_R = Z_{CR}$$

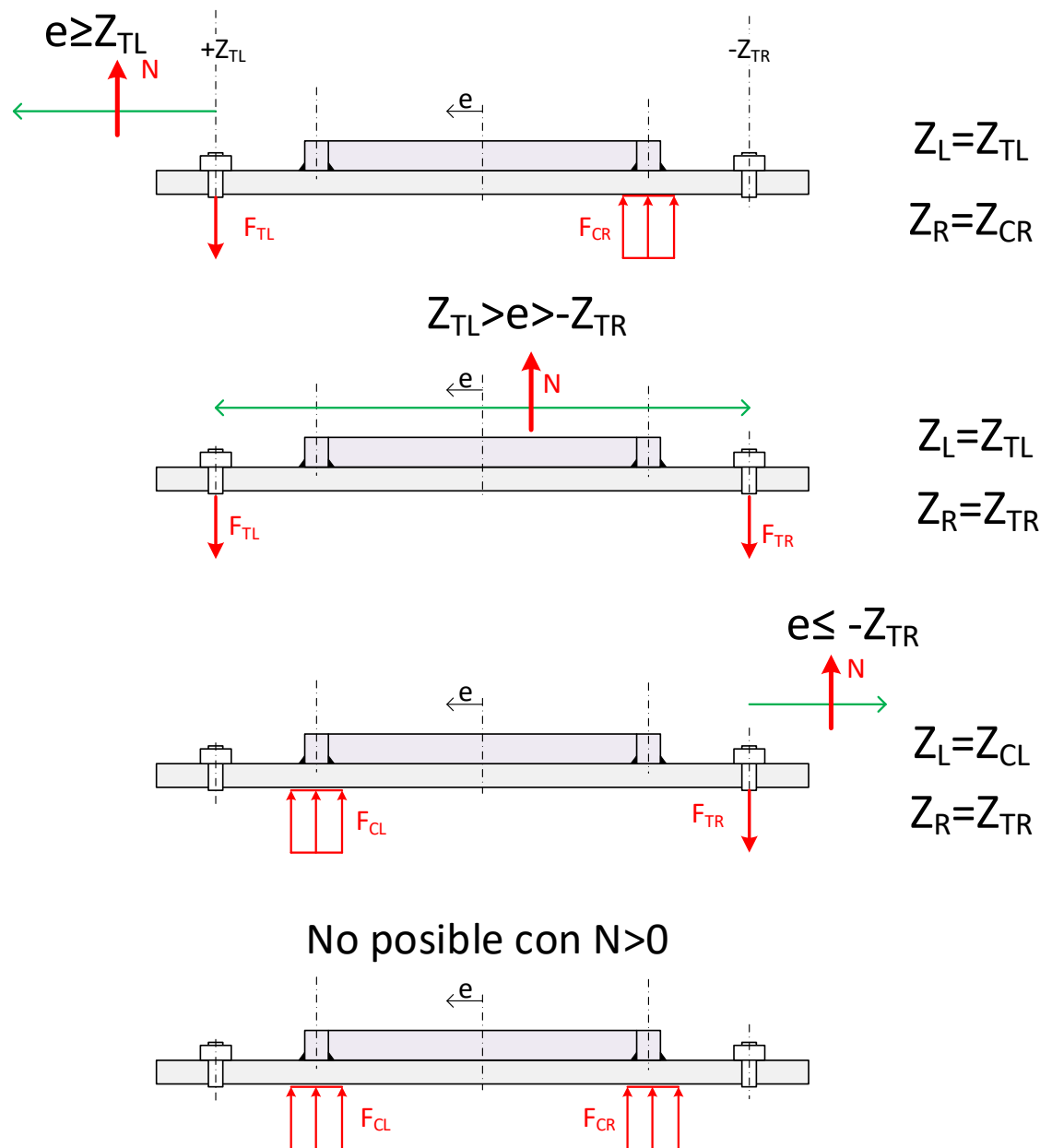


Poste con
esfuerzo axial de
tracción y
momento flector

$$N_{Ed} > 0$$

Fuerzas posibles
en la unión

Hay 3 posibles
disposiciones de las
fuerzas de tracción
y/o compresión, en
función del valor de la
excentricidad



Fuerzas de tracción y compresión

Conociendo la posición de las fuerzas de tracción y compresión: Z_L y Z_R

Por equilibrio se obtienen las fuerzas a ambos lados:

$$F_L = \frac{N_{Ed} Z_R}{(Z_L + Z_R)} + \frac{M_{Ed}}{(Z_L + Z_R)}$$

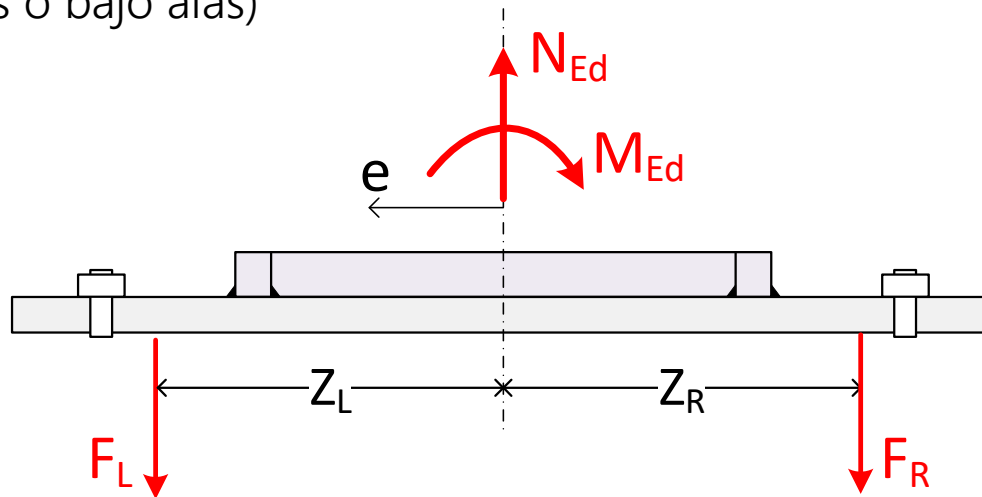
$$F_R = \frac{N_{Ed} Z_L}{(Z_L + Z_R)} - \frac{M_{Ed}}{(Z_L + Z_R)}$$

F_L : Fuerza izquierda

F_R : Fuerza derecha

Supuestas positivas a tracción ambas

Z_L y Z_R : ajustar sus valores a Z_T o Z_C según la posición de las fuerzas
(pernos o bajo alas)



Se comparan con las resistencias a tracción y compresión

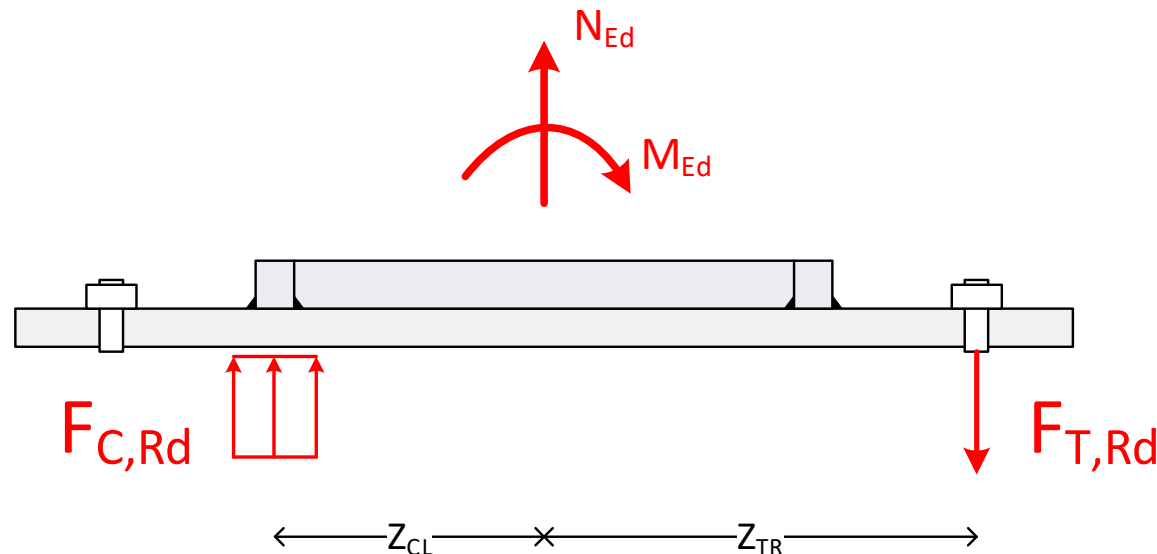
Resistencias de la unión

$F_{C,Rd}$: resistencia de la zona a compresión

- RC1. Resistencia del **hormigón a compresión**

$F_{T,Rd}$: resistencia de la zona a tracción

- RT1. Resistencia de la **placa base a flexión** y de los **pernos a tracción**
- RT2. Resistencia a tracción del **alma del poste** junto a su ala.



RC1: Resistencia a compresión $F_{C,Rd}$

EN 1993-1-8 §6.2.5

La proporción del hormigón a compresión:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff}$$

f_{jd} : resistencia de cálculo a aplastamiento del hormigón trabajando a compresión (*bearing strength*)

l_{eff} : longitud eficaz de la superficie portante

b_{eff} : ancho eficaz de la superficie portante

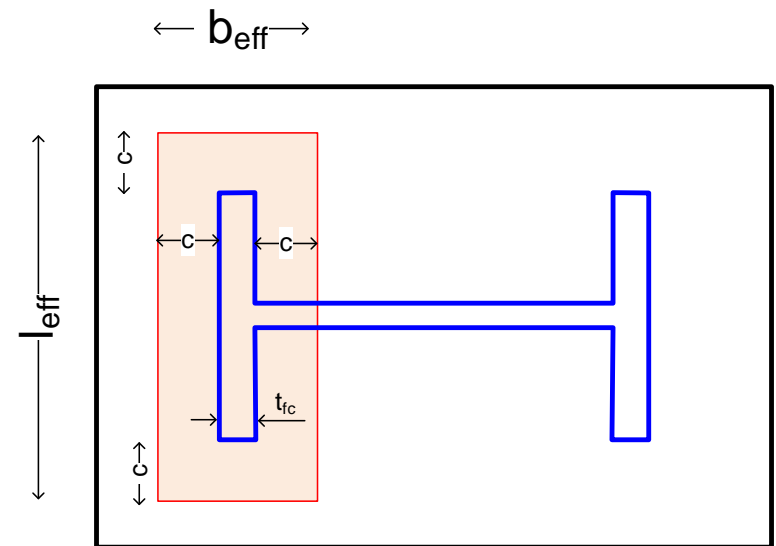
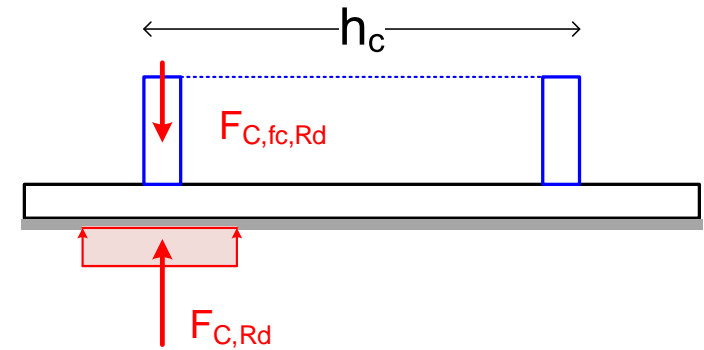
$$b_{eff} = t_{fc} + 2c \quad l_{eff} = b_c + 2c$$

Es recomendable que esta resistencia sea mayor que la resistencia del ala del poste a compresión:

$$F_{C,Rd} \geq F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_c - t_{fc}}$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clases 1 y 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Clase 3}$$

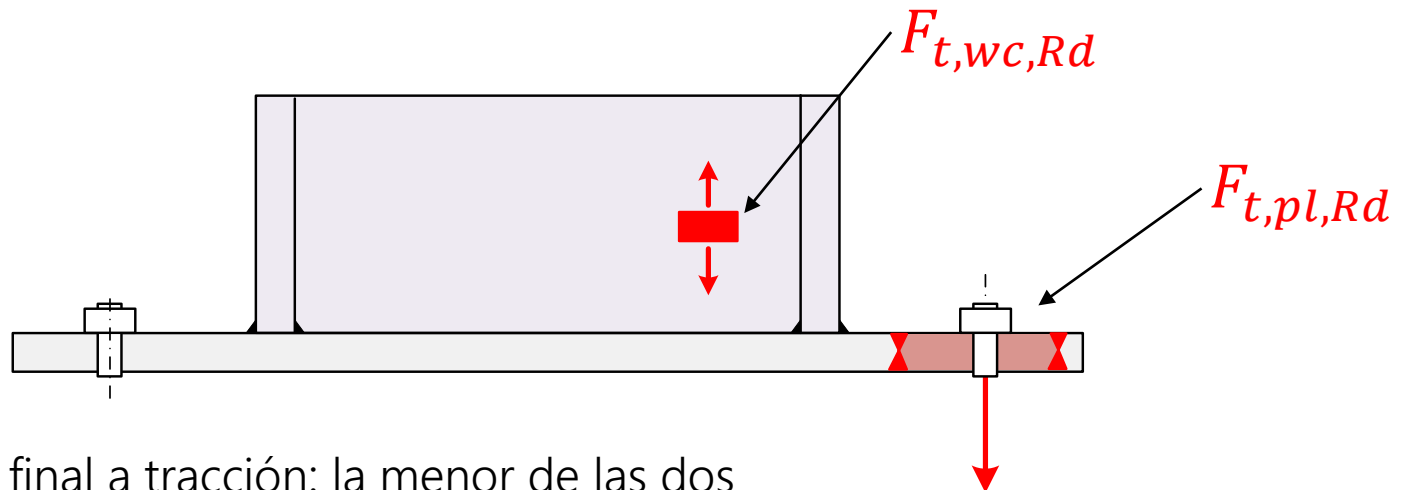


Resistencia a tracción de la unión $F_{T,Rd}$

EN 1993-1-8 §6.2.8.3 (2)

RT1 $F_{t,pl,Rd}$: Resistencia de la placa base a flexión y de los pernos a tracción, calculada como un casquillo en T.

RT2 $F_{t,wc,Rd}$: Resistencia a tracción del alma del poste junto a su ala.
Calcular como en una unión viga-poste o viga-viga, según §6.2.6.3.

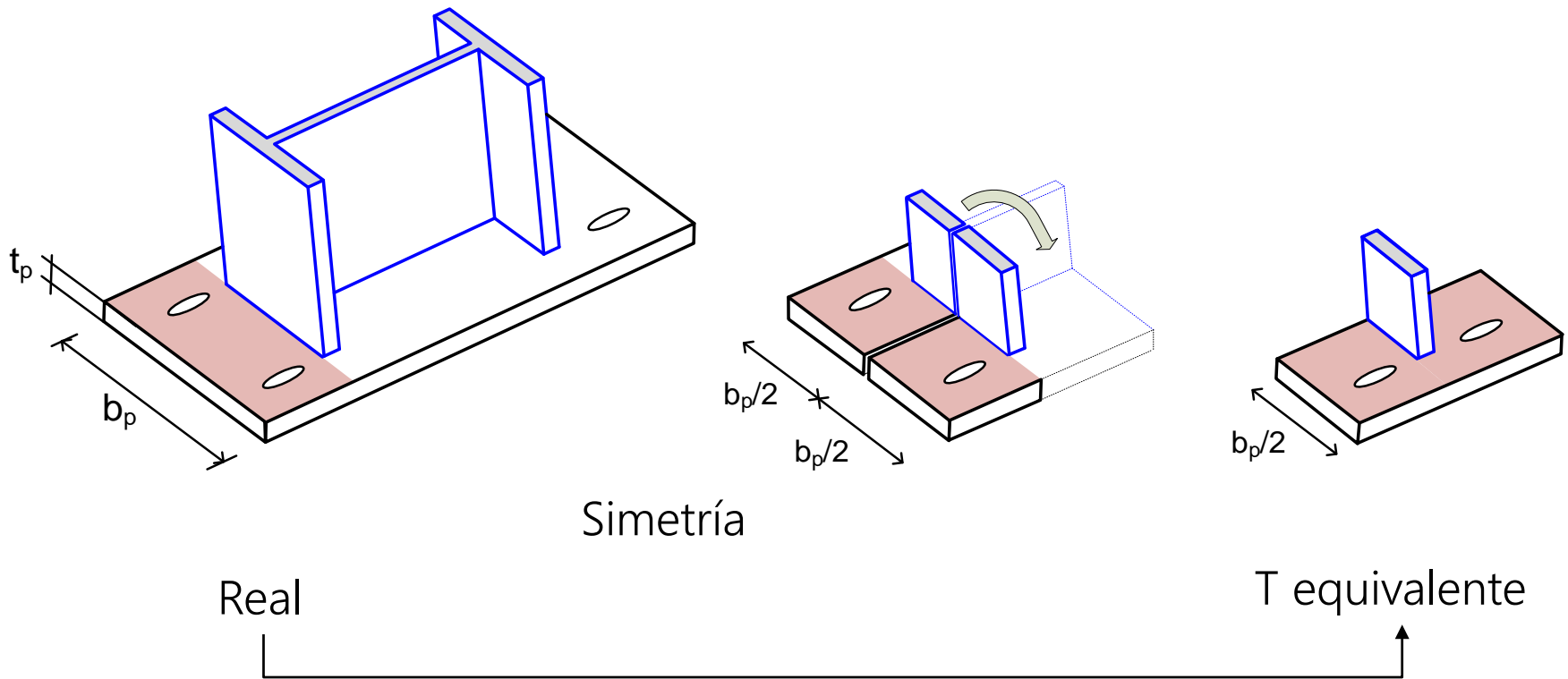


Resistencia final a tracción: la menor de las dos

$$F_{T,Rd} = \min(F_{t,pl,Rd}, F_{t,wc,Rd})$$

RT1. Resistencia de la placa base a flexión $F_{t,pl,Rd}$

La simetría de los tornillos de la fila exterior permite crear una T equivalente a la parte exterior de la placa de anclaje, con anchura la mitad de la anchura de la placa $b_p/2$



RT1. Resistencia de la placa base a flexión $F_{t,pl,Rd}$

$F_{t,pl,Rd}$: resistencia de la placa base a flexión y de los pernos a tracción, calculada como un casquillo en T. Dos modos de fallo:

$$F_{t,pl,Rd} = \min (F_{T,1-2,Rd} , F_{T,3,Rd})$$

- **Modo 1-2:** modo de rotura especial, intermedio entre el 1 y el 2. Sin fuerzas de palanca. **Pernos muy flexibles.**

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{l_{eff,12} t_p^2 f_y}{2 m_x \gamma_{M0}}$$

Longitud eficaz para el modo 1-2

$$l_{eff,12} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc})$$

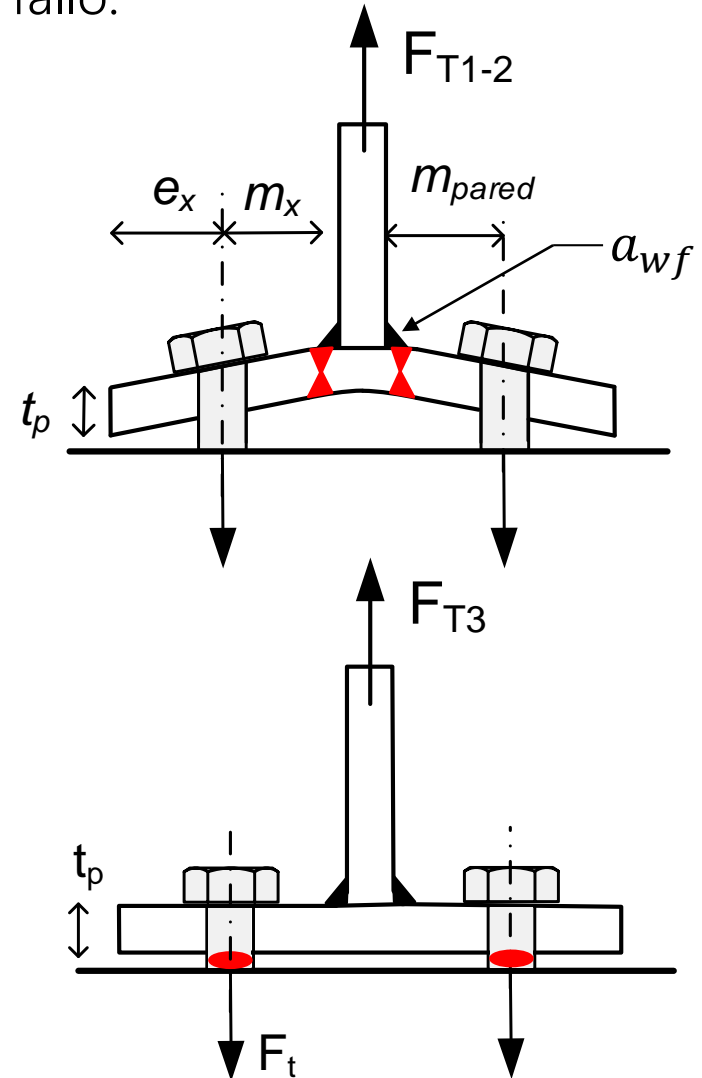
$$m_x = m_{pared} - 0.8 a_{wf} \sqrt{2}$$

a_{wf} : garganta de la soldadura ala-placa base

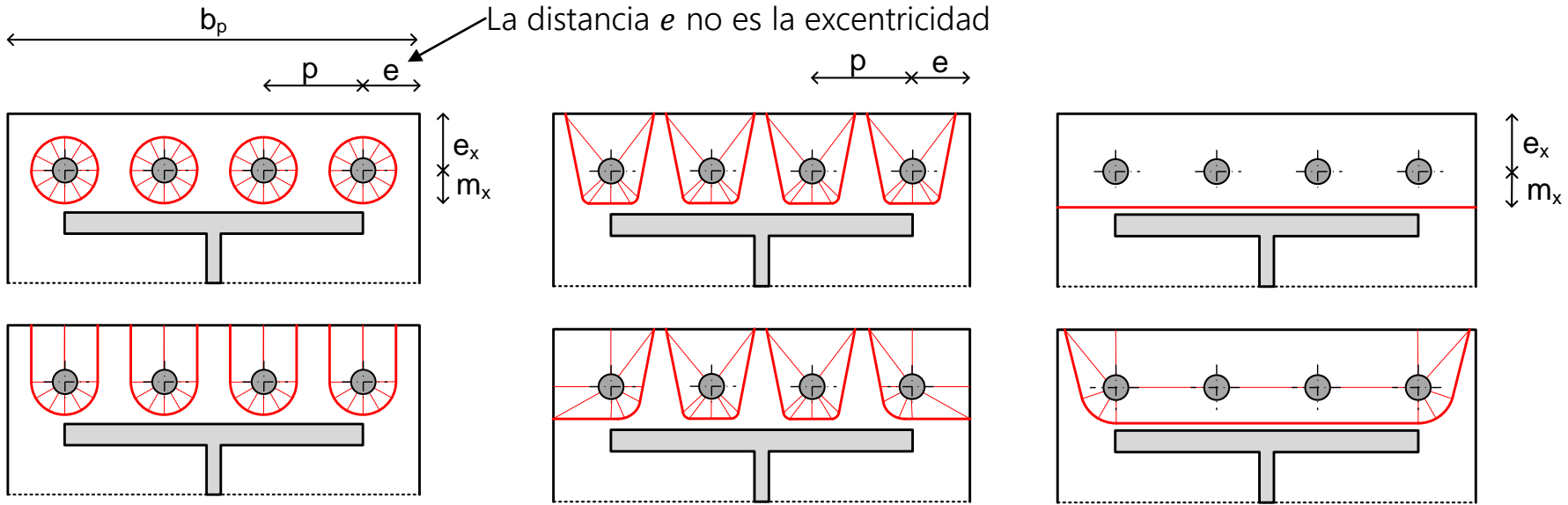
- **Modo 3:** fallo de los pernos a tracción

$$F_{T,3,Rd} = n_t F_{t,Rd,perno}$$

n_t : número de pernos en la fila



RT1. Líneas de rotura de la placa base junto a los pernos



Circulares

No circulares

$$l_{eff,cp} = \min \left[\begin{array}{c} \frac{n_t}{2} (2 \pi m_x) \\ \frac{n_t}{2} (\pi m_x + 2 e_x) \end{array} \right]$$

$$l_{eff,nc} = \min \left[\begin{array}{c} \frac{n_t}{2} (4 m_x + 1.25 e_x) \\ 2 m_x + 0.625 e_x + e + (n_t - 2)(2m_x + 0.625 e_x) \\ \frac{b_p}{2} \\ 2 m_x + 0.625 e_x + (n_t - 1) \frac{p}{2} \end{array} \right]$$

n_t : número total de pernos en la fila

$$m_x = m_{pared} - 0.8 a_{wff} \sqrt{2}$$

a_{wff} : garganta soldadura ala-placa

$$l_{eff,12} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc})$$

RT1. Resistencia a tracción de los pernos de anclaje $F_{t,Rd,perno}$

Similar a la resistencia de un tornillo a tracción:

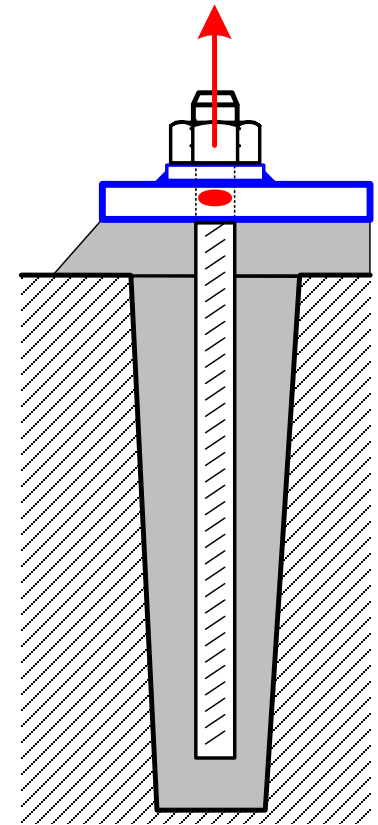
$$F_{t,Rd,perno} = \frac{0.9 f_{ub} A_S}{\gamma_{M2}}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Pernos en base a barras redondas corrugadas de alta adherencia para armado de hormigón, roscadas

Materiales

Calidad	$f_{yb} \frac{N}{mm^2}$	$f_{ub} \frac{N}{mm^2}$	Alarg. rotura
B 400 S	400	440	14%
B 500 S	500	550	12%



Barras redondas para armado de hormigón roscadas usadas como pernos

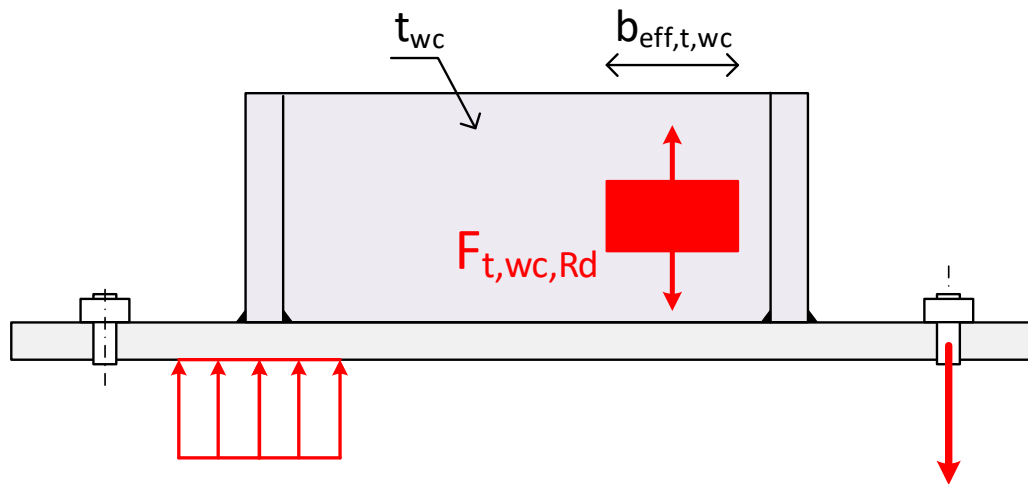
Diámetro (mm)	16	20	25	32	40
A (mm ²)	201	314	491	804	1260
A_S (mm ²)	157 (M16)	245 (M20)	353 (M24)	561 (M30)	817 (M36)

RT2. Resistencia del alma del poste a tracción $F_{t,wc,Rd}$

Similar a la resistencia del alma de la viga en la unión viga – viga o viga – poste con chapa frontal, pero con el espesor del alma de la columna t_{wc}

$$F_{t,wc,Rd} = b_{eff,t,wc} t_{wc} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$b_{eff,t,wc} = l_{eff,12}$$

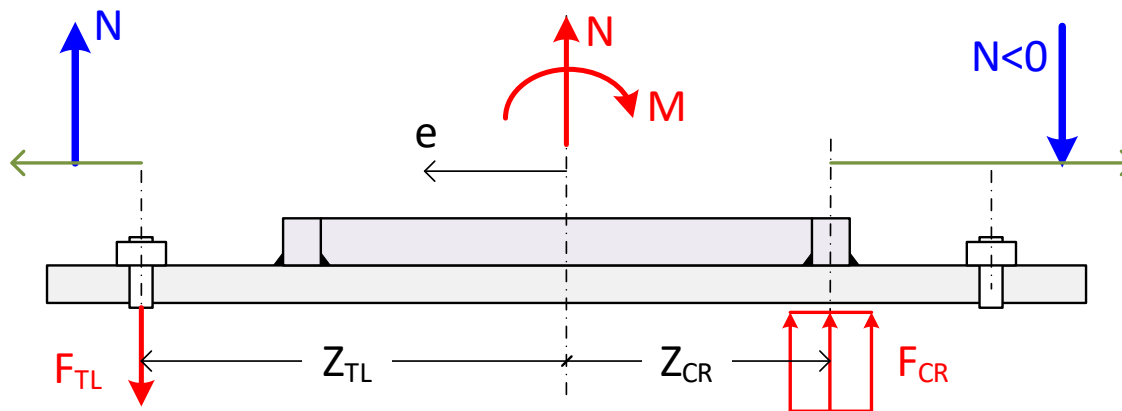
Tomar como anchura eficaz $b_{eff,t,wc}$ la misma longitud eficaz usada para la resistencia de la T en la placa base a flexión $l_{eff,12}$ (6.2.6.3-(3))



Momento resistente máximo según EN 1993-1-8, 6.2.8.3

Se pueden obtener expresiones sencillas para el máximo momento que puede resistir la unión, en función de la excentricidad de la carga e , y de la disposición de las fuerzas de tracción y compresión. Con compresión sólo bajo el ala.

Ejemplo: para el caso de tracción izquierda F_{TL} y compresión derecha F_{CR}



Casos:

$$N > 0 \quad e \geq Z_{TL}$$

$$N < 0 \quad e \leq -Z_{CR}$$

Equilibrio:
$$N = \frac{M}{e} = F_{TL} - F_{CR}$$

$$M = F_{CR} Z_{CR} + F_{TL} Z_{TL}$$

2 ecuaciones, 3 incógnitas: F_{TL}, F_{CR}, M

Se deja e como parámetro dato

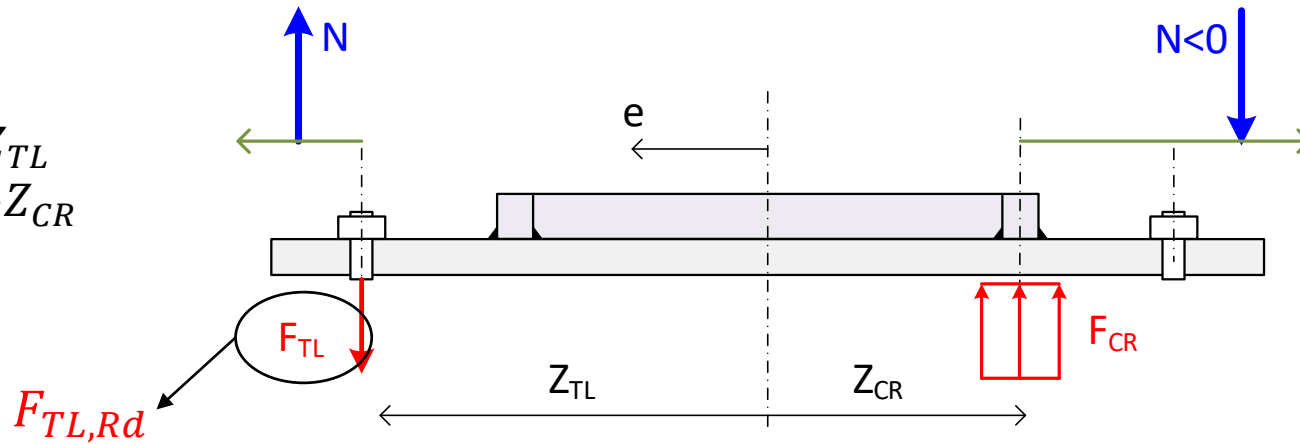
Idea: llevar al límite cada una de las fuerzas F_{TL}, F_{CR} y calcular el momento que se puede soportar en cada caso $M_{j,Rd}$, sin cambiar e

Momento resistente máximo. Ejemplo (1)

Casos:

$$N > 0 \quad e \geq Z_{TL}$$

$$N < 0 \quad e \leq -Z_{CR}$$



Equilibrio:

$$\frac{M}{e} = F_{TL} - F_{CR} \qquad M = F_{CR} Z_{CR} + F_{TL} Z_{TL}$$

Llevamos al límite F_{TL} :

Si $F_{TL} \rightarrow F_{TL,Rd}$

$$\frac{M_{j,Rd}}{e} = F_{TL,Rd} - F_{CR} \qquad M_{j,Rd} = F_{CR} Z_{CR} + F_{TL,Rd} Z_{TL}$$

2 incógnitas: $M_{j,Rd}$ F_{CR}

Resolviendo:

Momento máximo que agota F_{TL}

$$M_{j,Rd} = \frac{F_{TL,Rd} (Z_{CR} + Z_{TL})}{\left(\frac{Z_{CR}}{e} + 1\right)}$$

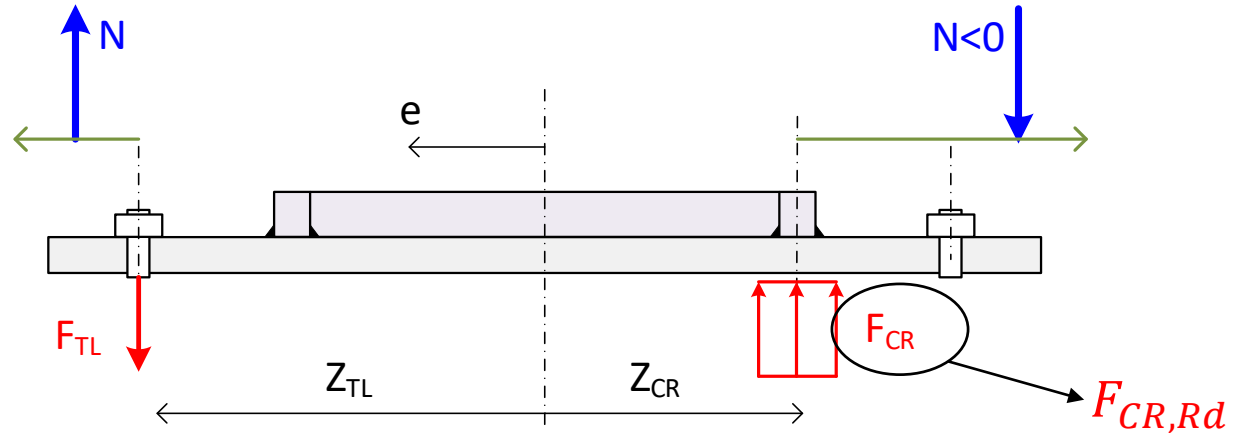
F_{CR} : no interesa

Momento resistente máximo. Ejemplo (2)

Casos:

$$N > 0 \quad e \geq Z_{TL}$$

$$N < 0 \quad e \leq -Z_{CR}$$



Equilibrio:

$$\frac{M}{e} = F_{TL} - F_{CR}$$

$$M = F_{CR} Z_{CR} + F_{TL} Z_{TL}$$

Llevamos al límite F_{CR} :

Si $F_{CR} \rightarrow F_{CR,Rd}$

$$\frac{M_{j,Rd}}{e} = F_{TL} - F_{CR,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = F_{CR,Rd} Z_{CR} + F_{TL} Z_{TL}$$

2 incógnitas: $M_{j,Rd}$ F_{TL}

Resolviendo:

Momento máximo
que agota F_{CR}

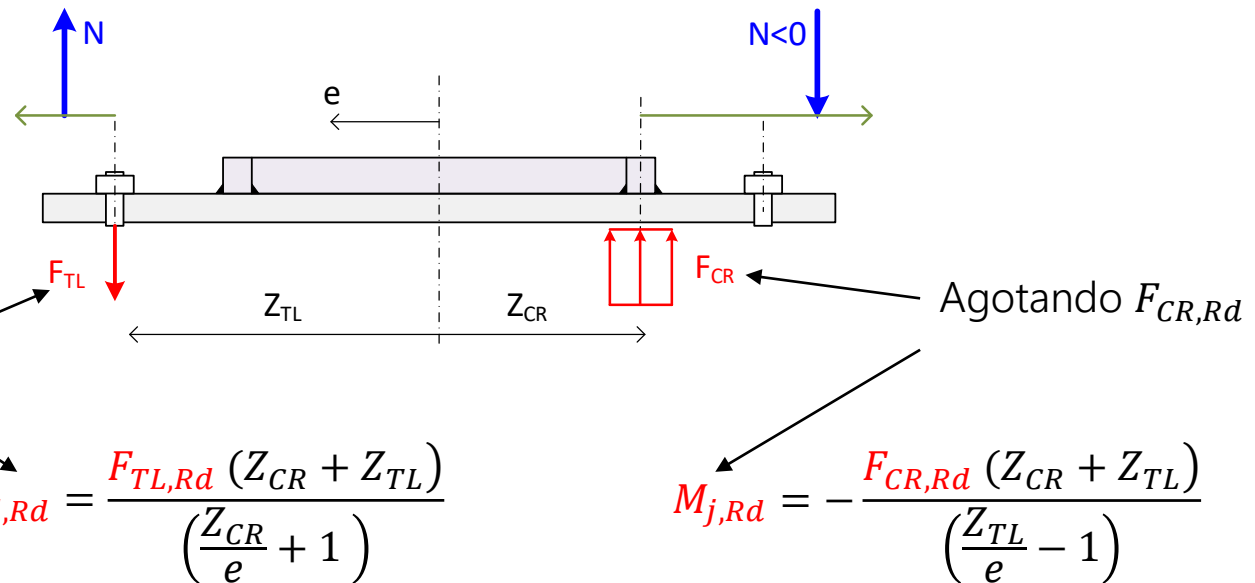
$$M_{j,Rd} = - \frac{F_{CR,Rd} (Z_{CR} + Z_{TL})}{\left(\frac{Z_{TL}}{e} - 1\right)}$$

Momento resistente máximo $M_{j,Rd}$

Casos:

$$N > 0 \quad e \geq Z_{TL}$$

$$N < 0 \quad e \leq -Z_{CR}$$



El menor de los dos casos límite es $M_{j,Rd}$

Repitiendo el proceso del ejemplo para todas las posibles disposiciones de la carga, se obtiene el momento resistente máximo $M_{j,Rd}$, en función de la excentricidad e de la carga vertical, en la hipótesis de que la zona de compresión está sólo bajo el ala.

La tabla siguiente indica todos los valores posibles.

Coincide con la tabla 6.7 de EN 1993-1-8

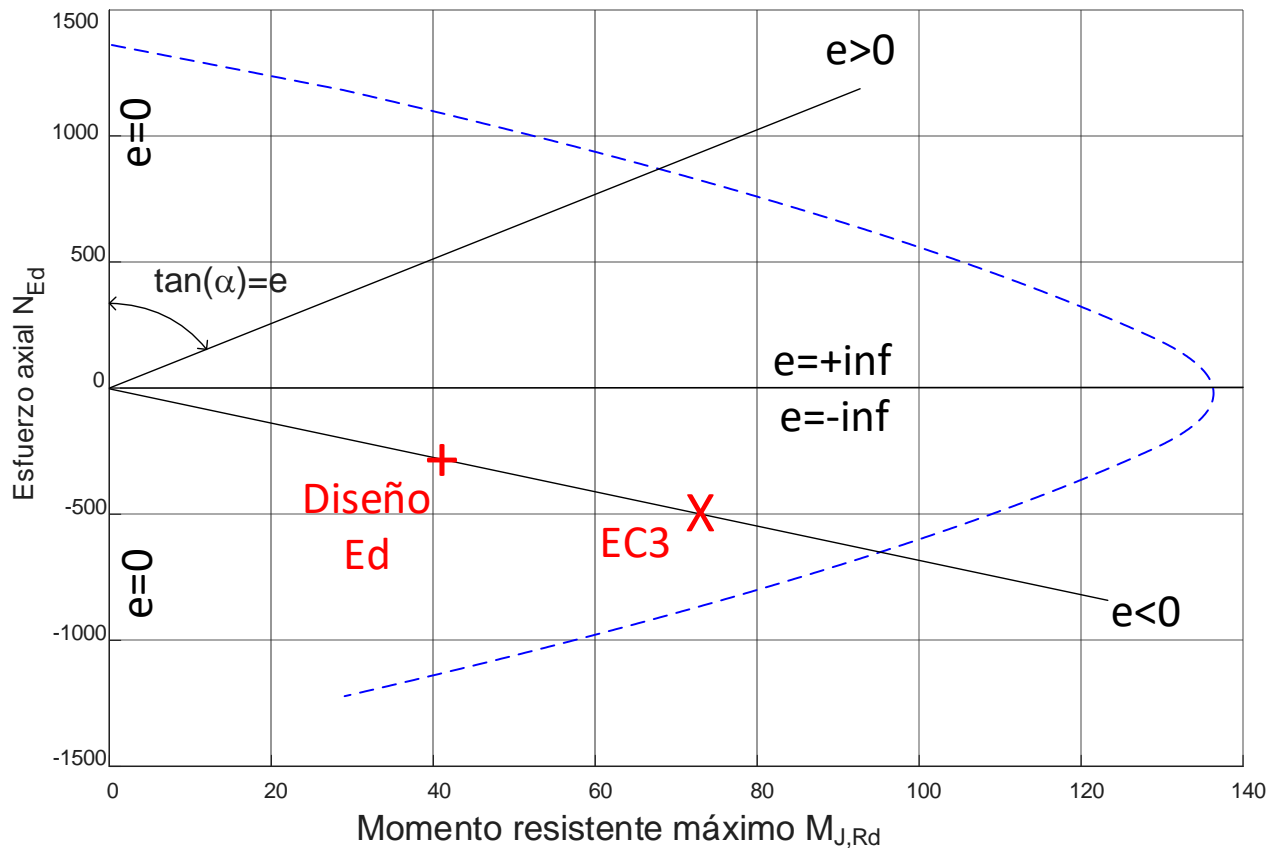
Momento resistente máximo $M_{j,Rd}$ (tabla 6.7 de EN 1993-1-8)

Acciones	Valor de cálculo del momento resistente a flexión $M_{j,Rd}$	
Tracción a la izquierda Compresión a la derecha $Z = Z_{TL} + Z_{CR}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > Z_{TL}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e \leq -Z_{CR}$
	El menor de: $\frac{F_{TL,Rd} Z}{\frac{Z_{CR}}{e} + 1}$ y $\frac{-F_{CR,Rd} Z}{\frac{Z_{TL}}{e} - 1}$	
Tracción a la izquierda Tracción a la derecha $Z = Z_{TL} + Z_{TR}$	$N_{Ed} > 0$ y $0 < e < Z_{TL}$	$N_{Ed} > 0$ y $-Z_{TR} < e \leq 0$
	El menor de: $\frac{F_{TL,Rd} Z}{\frac{Z_{TR}}{e} + 1}$ y $\frac{F_{TR,Rd} Z}{\frac{Z_{TL}}{e} - 1}$	
Compresión a la izquierda Tracción a la derecha $Z = Z_{CL} + Z_{TR}$	$N_{Ed} > 0$ y $e < -Z_{TR}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e > Z_{CL}$
	El menor de: $\frac{-F_{CL,Rd} Z}{\frac{Z_{TR}}{e} + 1}$ y $\frac{F_{TR,Rd} Z}{\frac{Z_{CL}}{e} - 1}$	
Compresión a la izquierda Compresión a la derecha $Z = Z_{CL} + Z_{CR}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $0 < e < Z_{CL}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $-Z_{CR} < e \leq 0$
	El menor de: $\frac{-F_{CL,Rd} Z}{\frac{Z_{CR}}{e} + 1}$ y $\frac{-F_{CR,Rd} Z}{\frac{Z_{CL}}{e} - 1}$	

Esfuerzos resistentes máximos

Una vez calculado $M_{j,Rd}$ \longrightarrow $N_{j,Rd} = \frac{M_{j,Rd}}{e}$

La solución del EC3 indica hasta dónde pueden aumentar N_{Ed} y M_{Ed} , ambos en la misma proporción (es decir manteniendo la excentricidad e), bajo la hipótesis hecha de que la zona de compresión está sólo bajo el ala



$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \tan \alpha$$

En un gráfico N/M, los puntos con la misma excentricidad son rectas que forman un ángulo $\alpha = \text{atan}(e)$ con la vertical

El punto de diseño (Ed) y la solución del EC3 están en la misma recta

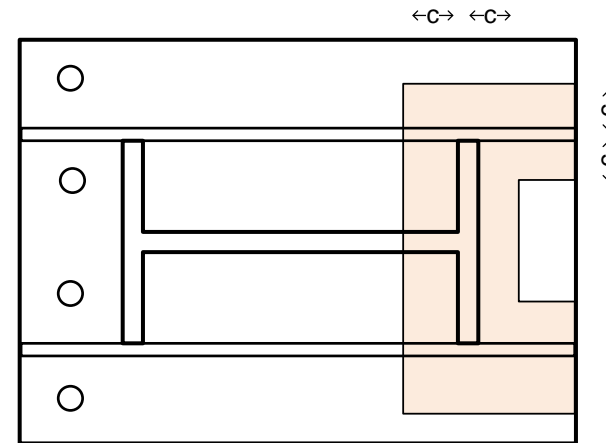
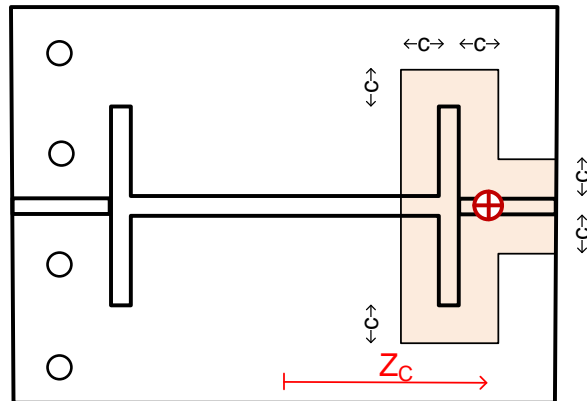
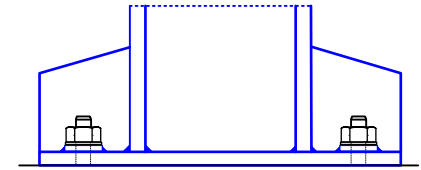
La curva azul se explica más adelante

Bases con rigidizadores

No se incluyen de forma explícita en las normas de diseño

No se conoce a priori la zona sometida a compresión

Estrategia sencilla: suponer que la zona sometida a compresión se extiende a cada lado de los rigidizadores una cantidad c , al igual que bajo el ala.



Calcular área A_{comp} y su c.d.g. Z_C

Resistencia: $F_{C,Rd} = A_{comp} f_{jd}$

Aumenta A_{comp} y aumenta Z_C : mayor momento resistente

Resistencia a tracción: es posible considerar algunos pernos como en rincón, y usar una longitud l_{eff} menor.

Resistencia de adherencia al hormigón de los pernos de anclaje

Perno recto, sin considerar el elemento de distribución inferior (1)

(1) Deben usarse elementos de distribución inferior

Resistencia de adherencia de un perno:

$$F_{t,bond,Rd} = \pi d l_b f_{bd}$$

d : diámetro del perno l_b : longitud de anclaje

f_{bd} : tensión última de adherencia del hormigón

Para pernos corrugados (EN 1992-1-1- §8.4.2, §3.1.6.(2)):

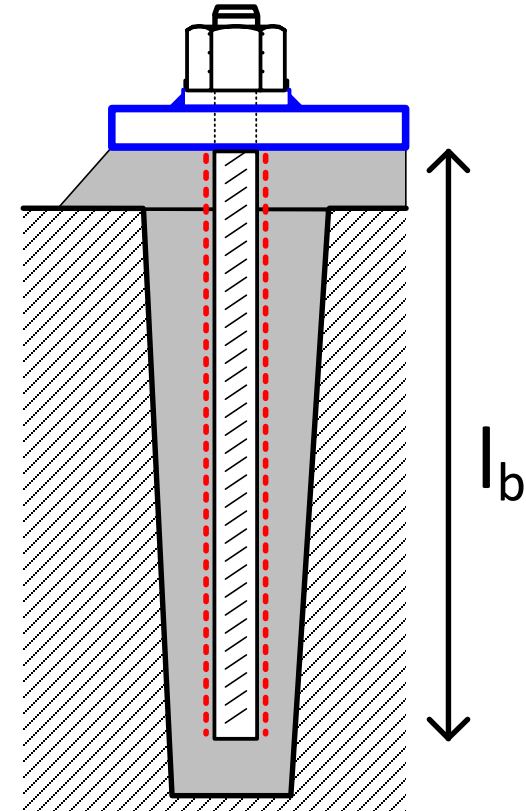
$$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad f_{ctd} = \frac{0.7 \cdot 0.3 (f_{ck})^{2/3}}{\gamma_c}$$

f_{ctd} : resistencia de diseño del hormigón a tracción

$\gamma_c = 1.5$ f_{ck} : resistencia característica del hormigón

$$\begin{cases} \text{Calidad "buena": } \eta_1 = 1 \\ \text{Otro caso: } \eta_1 = 0.7 \end{cases}$$

$$\begin{cases} d \leq 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1 \\ d > 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = \frac{132 - d}{100} \end{cases}$$



Elementos de distribución inferior en pernos

- Perno con gancho inferior

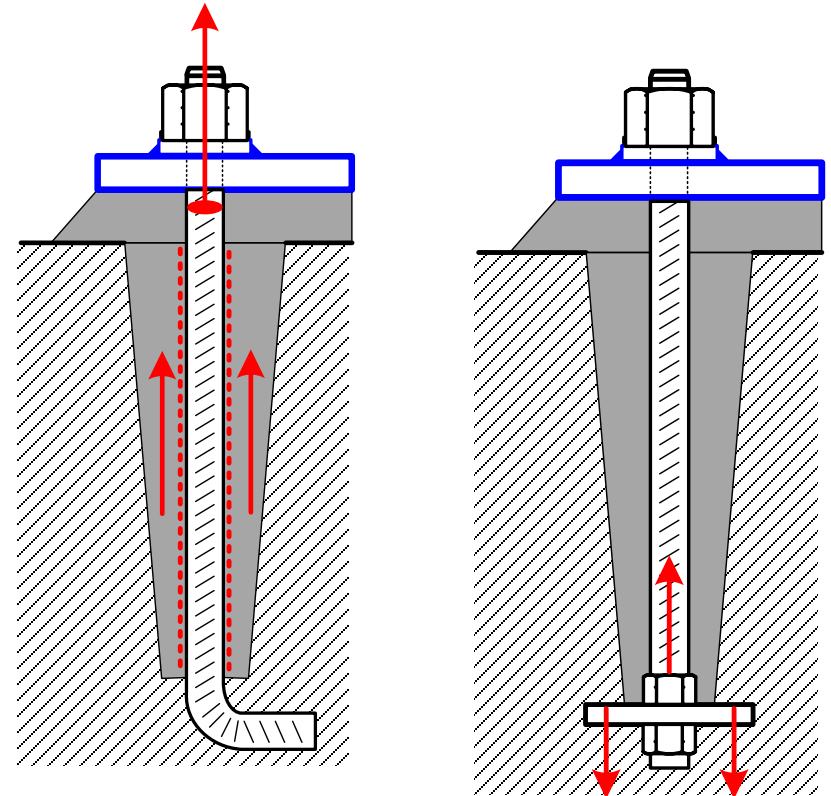
Diseñar con longitud de anclaje l_b tal que se evite el fallo por adherencia antes que por plastificación del perno, para que el fallo sea dúctil

$$F_{t,bond,Rd} \geq F_{t,Rd,perno}$$

- Perno con anclaje por arandela

No considerar la resistencia de adherencia $F_{t,bond,Rd}$

Transmitir la fuerza del perno al hormigón a través de la arandela (cortante)



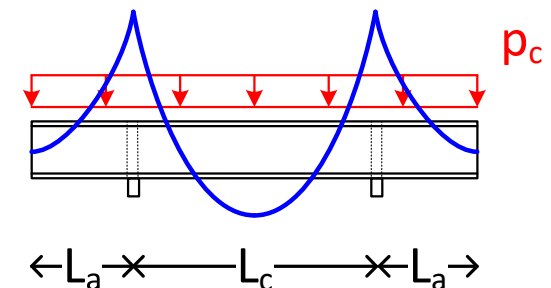
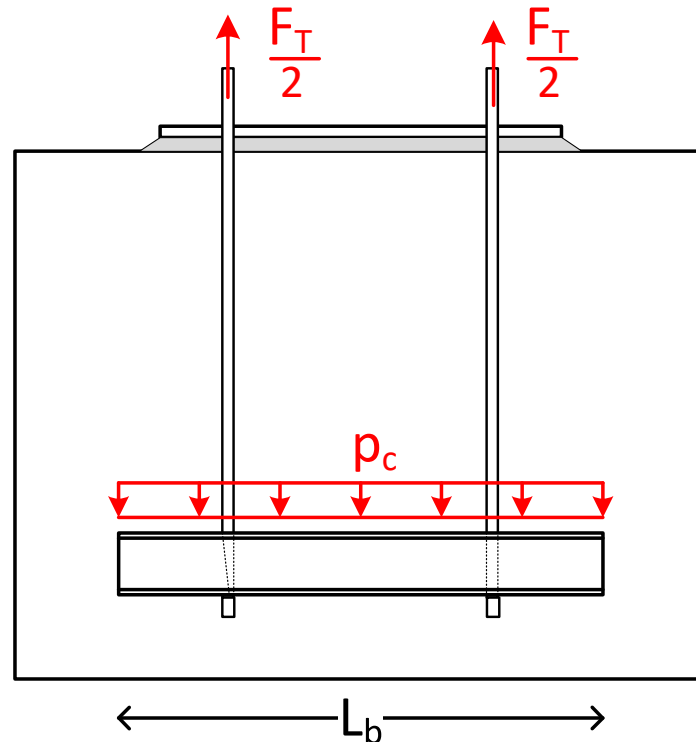
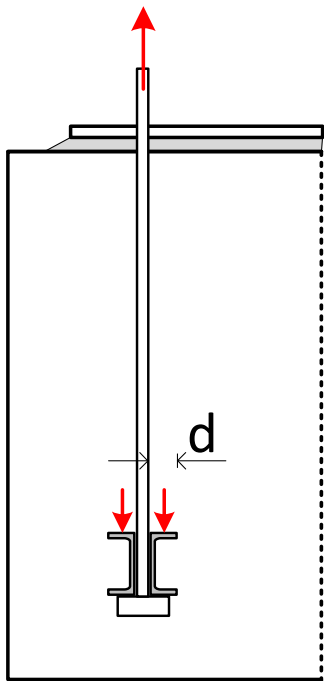
Fijación mediante bastidores embebidos

No se confía ninguna fuerza a la adherencia. Perfiles embebidos (U, H) distribuyen la fuerza de tracción por presión sobre el hormigón p_c

Diseñar los perfiles embebidos como viga apoyada en los pernos y sometida a presión uniforme p_c

$$p_c = \frac{F_T}{2 d L_b}$$

d : ancho de contacto de cada perfil



Comprobación a cortante. Fuerza efectiva en la base

$V_{Ed,ef}$: Valor efectivo de la fuerza cortante

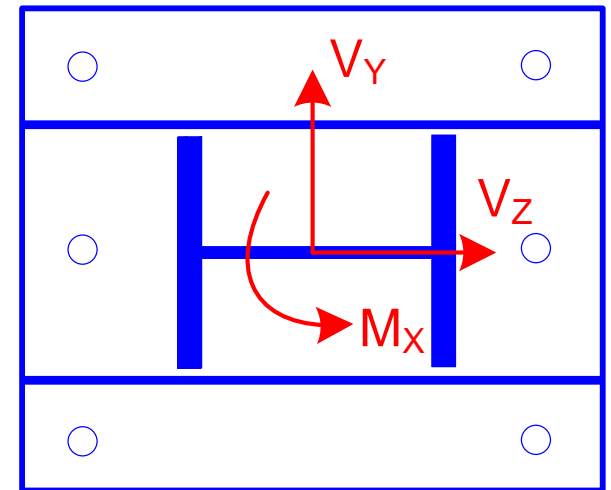
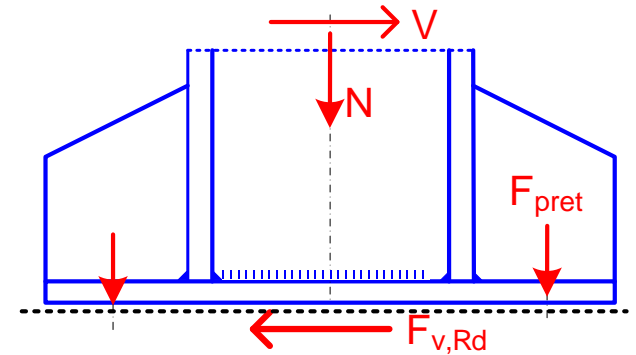
$M_{X,Ed}$: Momento torsor en el poste

$$V_{Ed,ef} = \sqrt{V_{Y,Ed}^2 + V_{Z,Ed}^2} + \frac{M_{X,Ed}}{0.25 b_{min}}$$

Recomendación:
 b_{min} : menor dimensión
 de la placa de base

$$V_{Ed,ef} \leq F_{v,Rd} \quad \text{Comprobación}$$

$F_{v,Rd}$: Resistencia a cortante entre la placa base y el mortero



Resistencia a cortante entre la placa base y el mortero $F_{v,Rd}$

EN 1993-1-8 §6.2.2

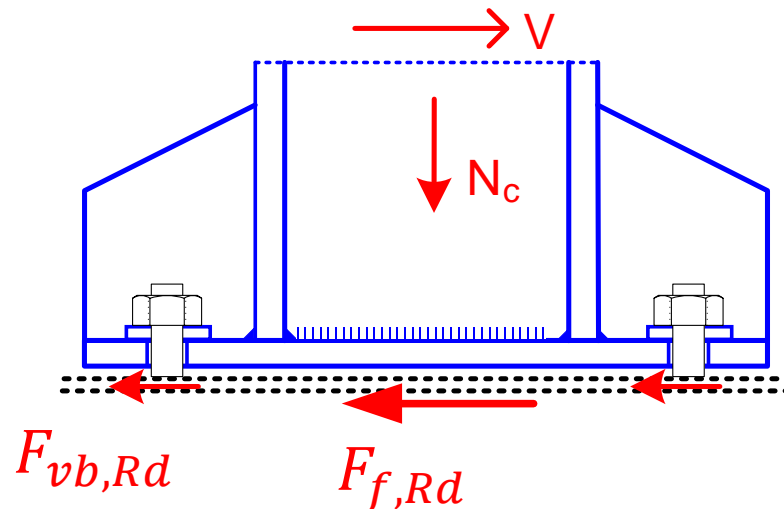
Cortantes pequeños y medianos:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n_{\text{pernos}} F_{vb,Rd}$$

$F_{f,Rd}$: Resistencia por rozamiento placa base / hormigón

$F_{vb,Rd}$: Resistencia a cortante en un perno de anclaje

n_{pernos} : número total de pernos, sin agujeros sobredimensionados

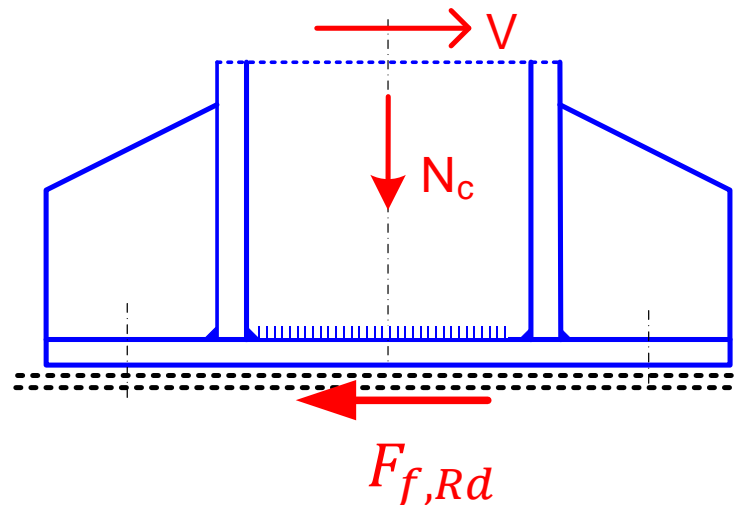


Resistencia por rozamiento placa base - hormigón $F_{f,Rd}$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed}$$

$C_{f,d}$: Coeficiente de rozamiento placa base / hormigón
0.20 para mortero ordinario de cemento y arena.
Otros morteros: determinar mediante ensayos

$N_{c,Ed}$: Valor absoluto del esfuerzo de compresión en el poste
La norma no indica si se puede incluir la pretensión en pernos.



Resistencia a cortante de los pernos de anclaje $F_{vb,Rd}$

Dos límites $F_{vb,Rd} = \min(F_{1,vb,Rd}, F_{2,vb,Rd})$

1. Resistencia **a cortante** como un tornillo, con un plano de corte en zona con rosca. De forma conservadora, para los materiales de pernos corrugados (B 400, B 500):

$$F_{1,vb,Rd} = \frac{0.5 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

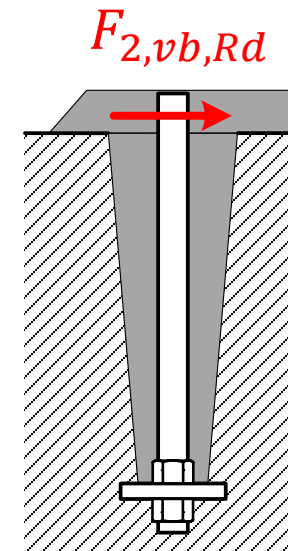
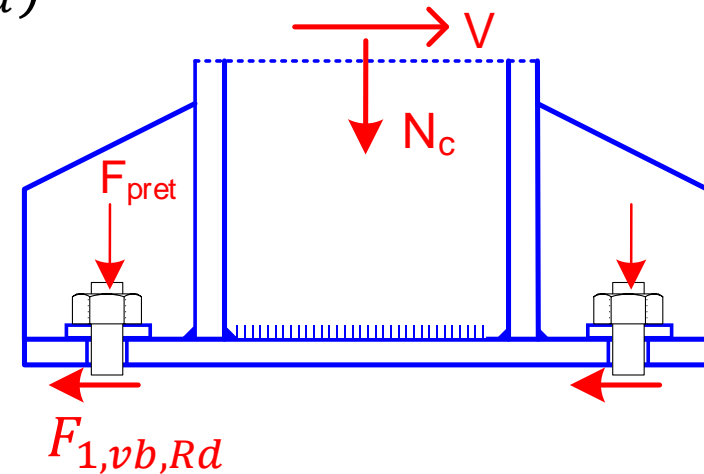
2. Resistencia a cortante de un **perno embebido** en hormigón (normalmente es la limitante, pues $0.25 \leq \alpha_{bc} \leq 0.37$)

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha_{bc} = 0.44 - 0.0003 f_{yb}$$

f_{yb} : límite elástico del perno

$$235 \text{ MPa} \leq f_{yb} \leq 640 \text{ MPa}$$



Resistencia a aplastamiento de los pernos contra la placa base

Se debe comprobar que la resistencia a aplastamiento $F_{b,Rd}$ es mayor que la resistencia a cortante $F_{vb,Rd}$:

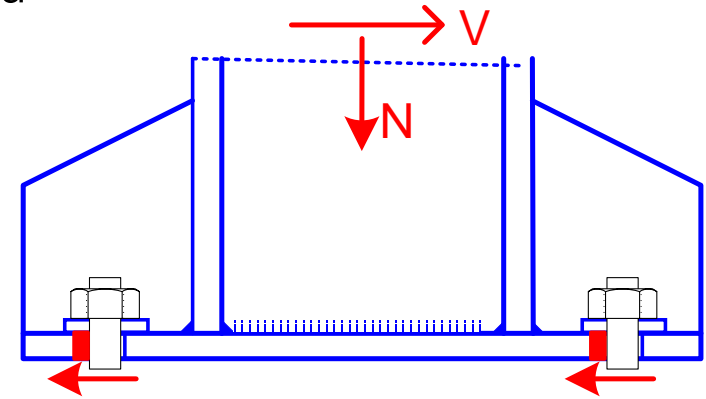
$$F_{vb,Rd} \leq F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_{up} d t_p}{\gamma_{M2}}$$

d Diámetro del perno

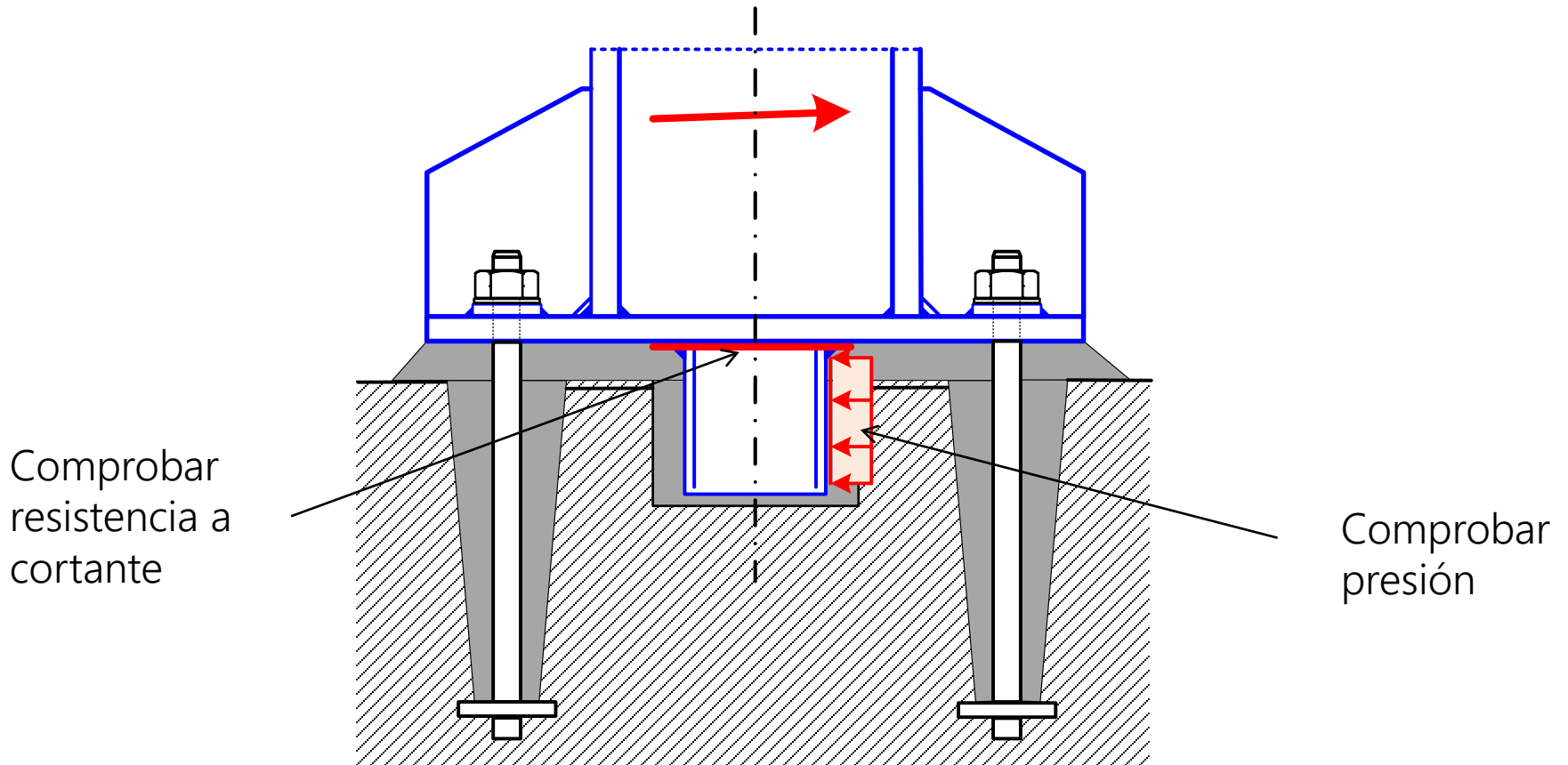
t_p Espesor de la placa base

$\alpha_b k_1$ Según dimensiones geométricas
(resistencia a aplastamiento)

f_{up} Límite de rotura del material de la placa base



Perfil conector para reacción horizontal de gran magnitud



Reacción horizontal soportada por: rozamiento, cortante en pernos y cortante en el conector

Comprobar tensiones cortantes en el perfil conector y resistencia de la soldadura.

Comprobar presión de contacto conector / hormigón.

Soldaduras entre poste y placa base

Comprobar como en la unión rígida soldada viga - poste

Fuerza de diseño a transmitir en cada ala:

$$F_{w,ala} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{h_c - t_{fc}}$$

$h_c - t_{fc}$: distancia entre centros de las alas

Fuerza mínima (recomendado): resistencia del ala

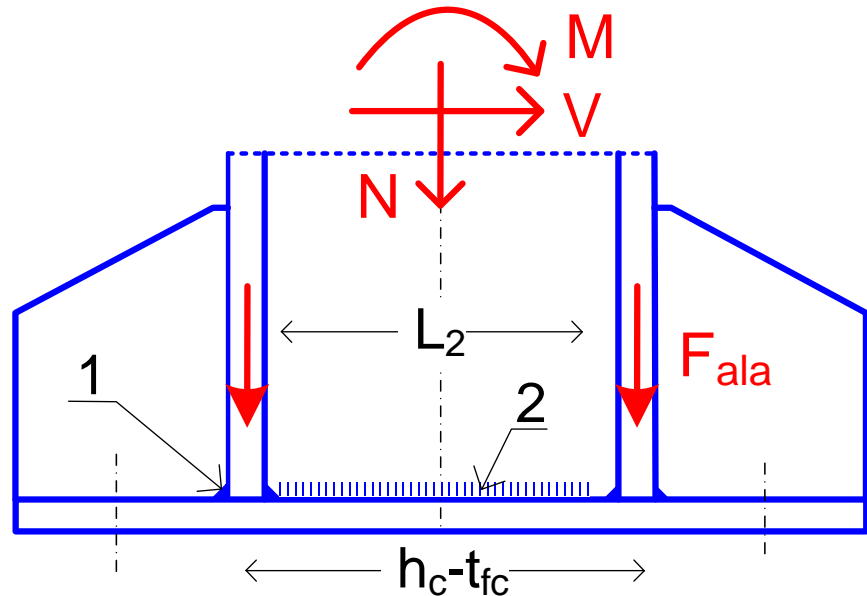
$$F_{w,ala} = A_{ala} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Cordón 1: comprobar como unión plana centrada:

$$\frac{F_{w,ala}}{\sum a_1 L_w} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

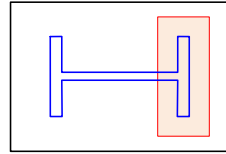
Cordón 2: comprobar a cortante:

$$\frac{V_{Ed}}{2 a_2 L_2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$



Cálculo más preciso del momento resistente (1)

Se ha supuesto, de forma simplista, que la zona a compresión está centrada bajo el ala del poste, con una anchura fija $b_{eff} = t_{fc} + 2c$



Esto es conservador y da lugar a un momento resistente inferior al máximo

Método **más preciso** para hallar el momento resistente, para una fuerza axial dada N_{Ed} (dato): **no fijar a priori la zona a compresión**.

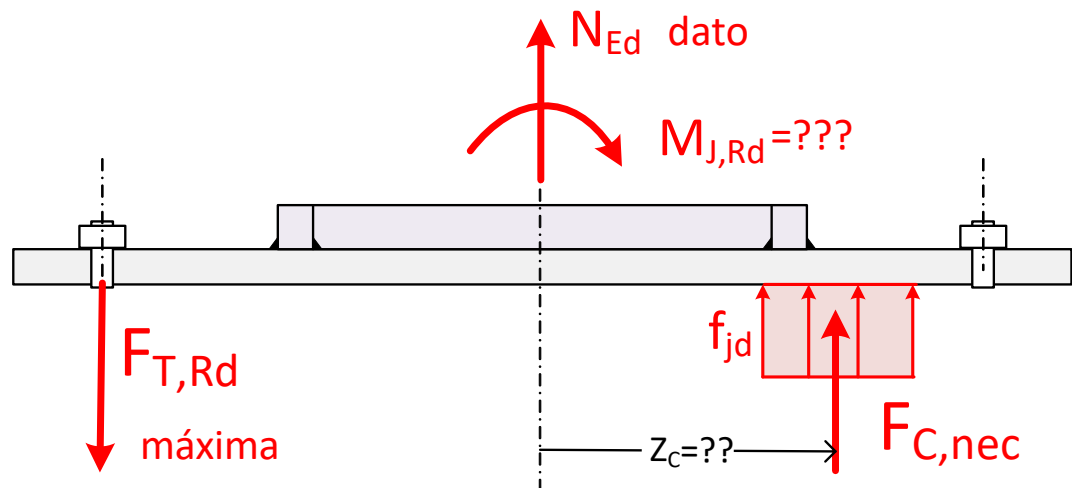
1. Se supone que la fuerza en los pernos es la máxima fuerza a tracción posible

$$F_{TL} \rightarrow F_{T,Rd}$$

2. El equilibrio de fuerzas verticales proporciona la fuerza de compresión necesaria:

$$F_{C,nec} = F_{T,Rd} - N_{Ed}$$

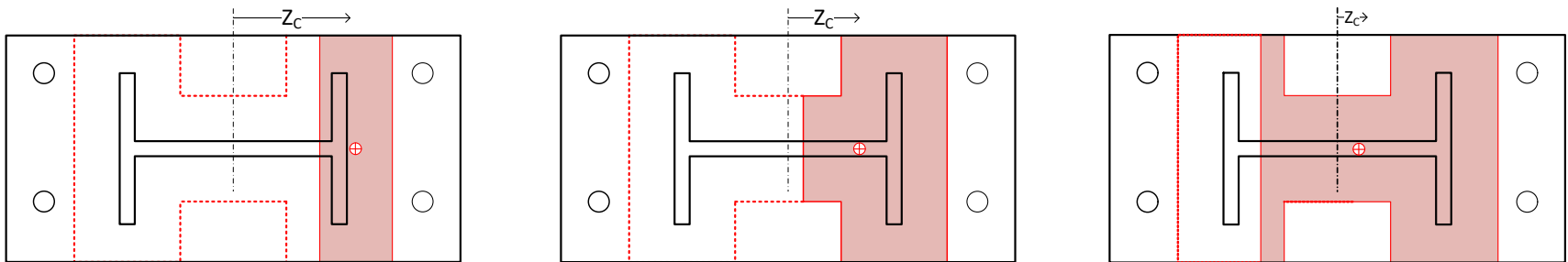
No se sabe dónde está aplicada esta fuerza de compresión (Z_c)



Cálculo más preciso del momento resistente (2)

3. Área a compresión necesaria, por resistencia del hormigón: $A_{C,nec} = \frac{F_{C,nec}}{f_{jd}}$

4. Distribuir el área a compresión necesaria bajo la superficie portante, empezando por el extremo, y progresando hacia el centro, incluyendo el alma:

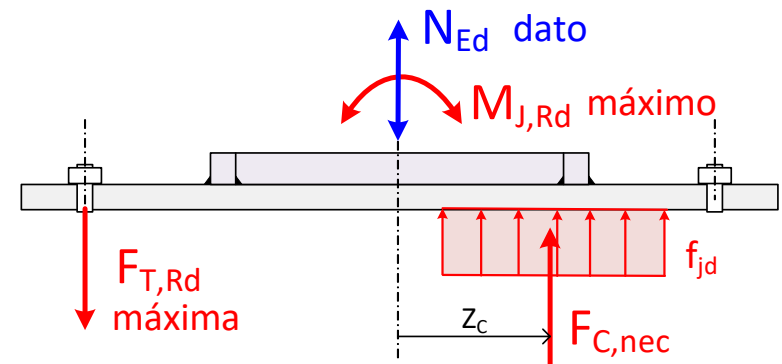


5. Hallar c.d.g. del área a compresión, que define el brazo de palanca a compresión Z_C

6. Momento resistente máximo, para la carga axial dada N_{Ed}

$$M_{j,Rd} = F_{T,Rd} Z_T + F_{C,nec} Z_C$$

Este método proporciona el máximo momento resistente, para una carga axial dada N_{Ed}

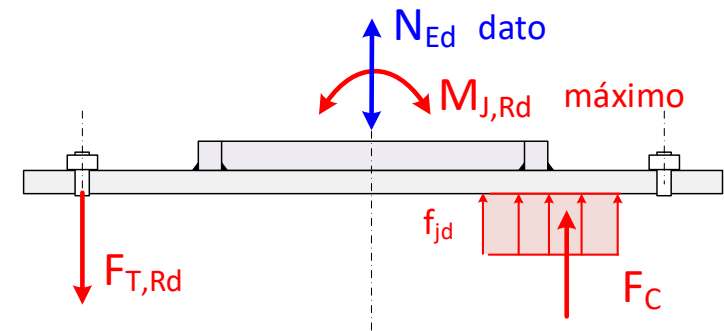
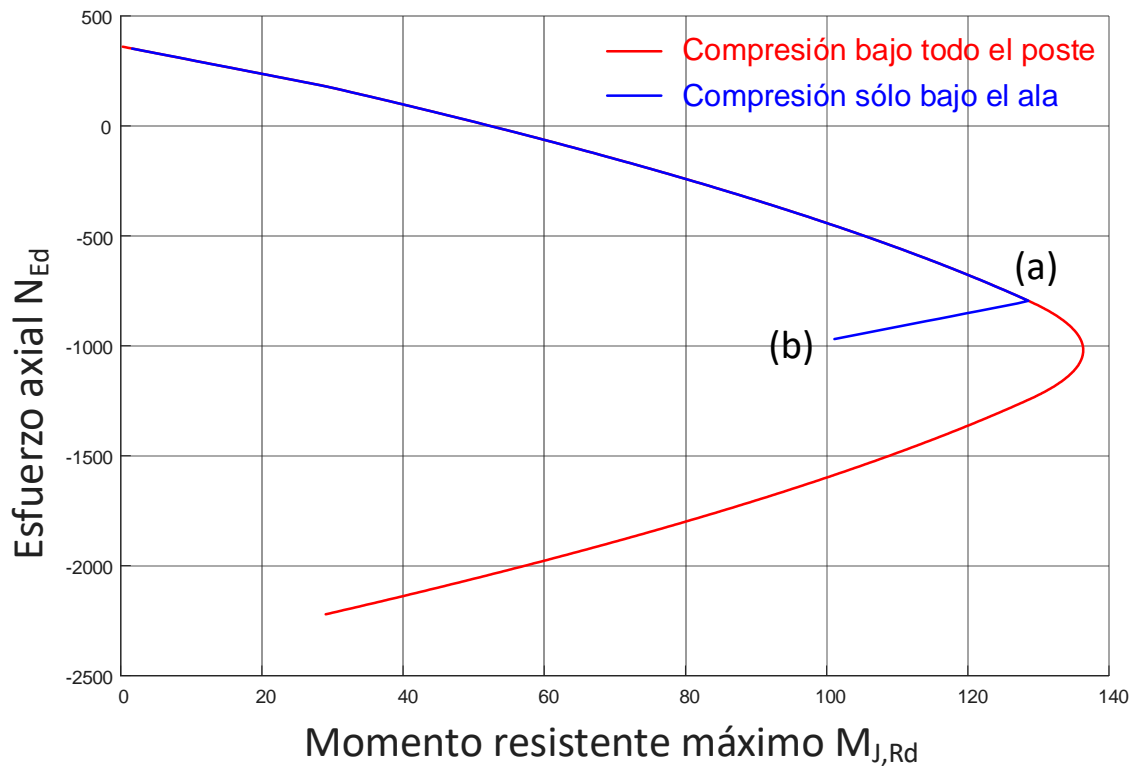


$$M_{j,Rd} = f(N_{Ed})$$

Diagramas de envolvente $M_{j,Rd}$

Repitiendo el proceso en todo el rango de la carga axial N_{Ed}

Se obtiene la zona factible de trabajo de la unión $M_{j,Rd} = f(N_{Ed})$



(a) Se llega a la fuerza máxima de compresión F_C (toda la superficie bajo el ala está ocupada)

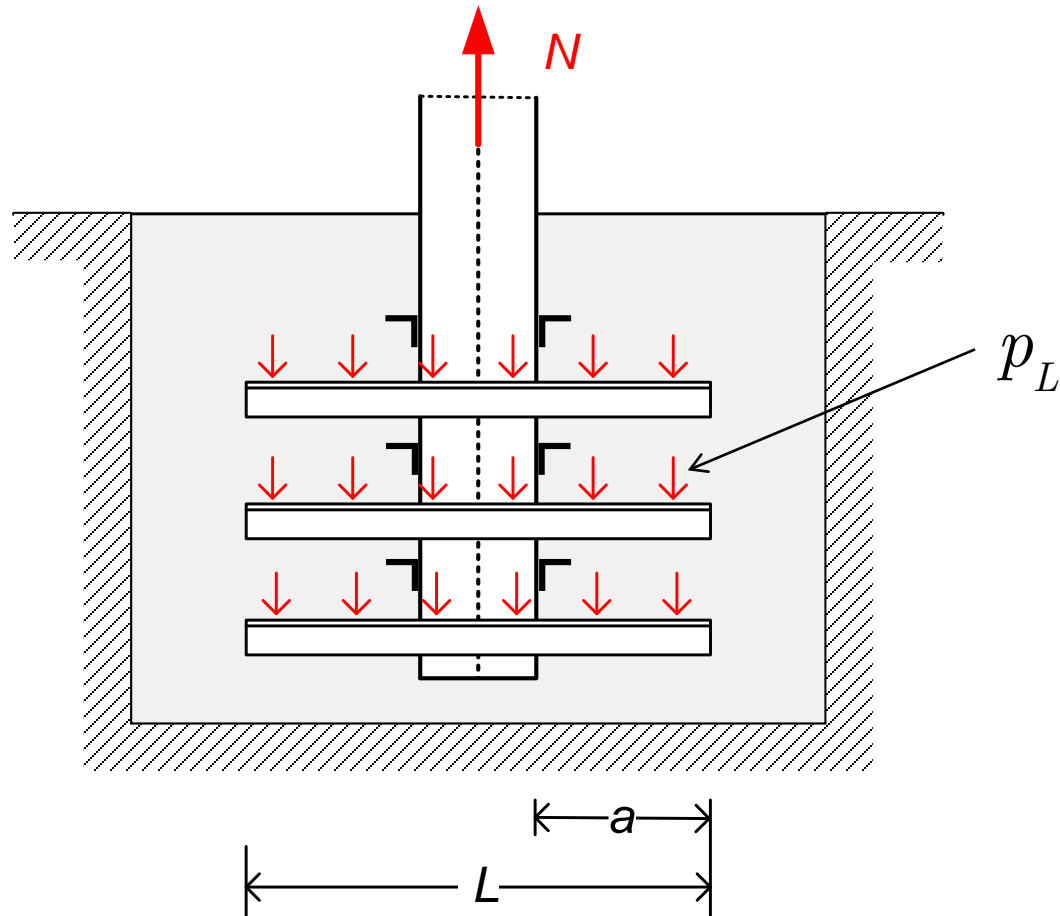
(a-b) F_C está a su valor máximo. Al ser $N < 0$ y aumentar su módulo, debe disminuir F_T pues $F_T = F_C + N$ y por lo tanto disminuye el momento

(b) La fuerza de tracción se anula. No puede aumentar más el $|N|$ pues F_C está a su valor máximo

Postes a tracción. Solución sin placa base

Para grandes esfuerzos de tracción

Solución con angulares L embebidos, soldados en cruz al poste.



Postes a tracción. Solución sin placa base

Para garantizar la estabilidad: $Peso\ Cimentación > 2.5 N_{vert}$

Presión de contacto entre la L y el hormigón:

$$p_L = \frac{N_{Ed}}{n_L L c} \leq f_{jd}$$

n_L : número total de angulares
 c : lado del angular

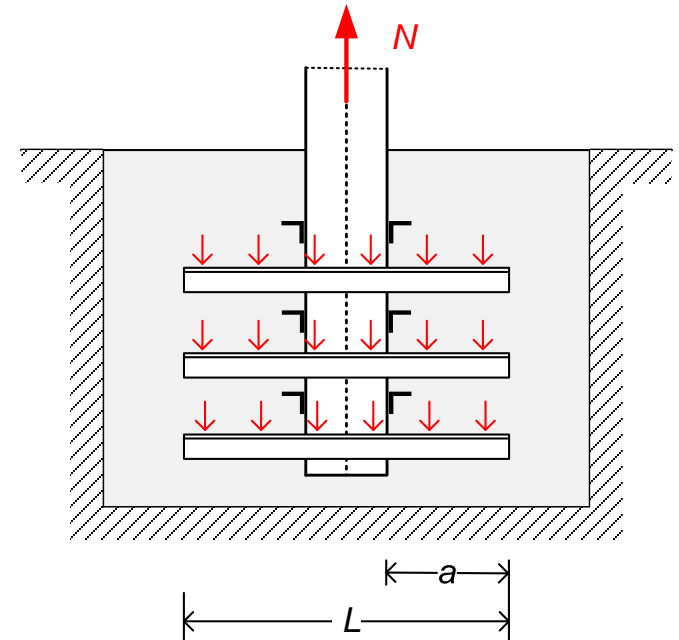
Momento flector en la unión de la L con el poste:

$$M_{L,Ed} = \frac{1}{2} p_L c a^2$$

Resistencia a flexión de cada L: $M_{L,Ed} \leq M_{L,Rd}$

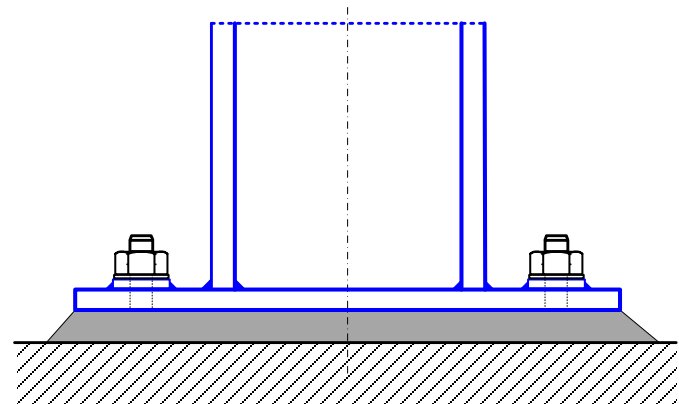
Cortante en la unión de la L con el poste:

$$V_{L,Ed} = p_L c a \leq V_{L,pl,Rd}$$



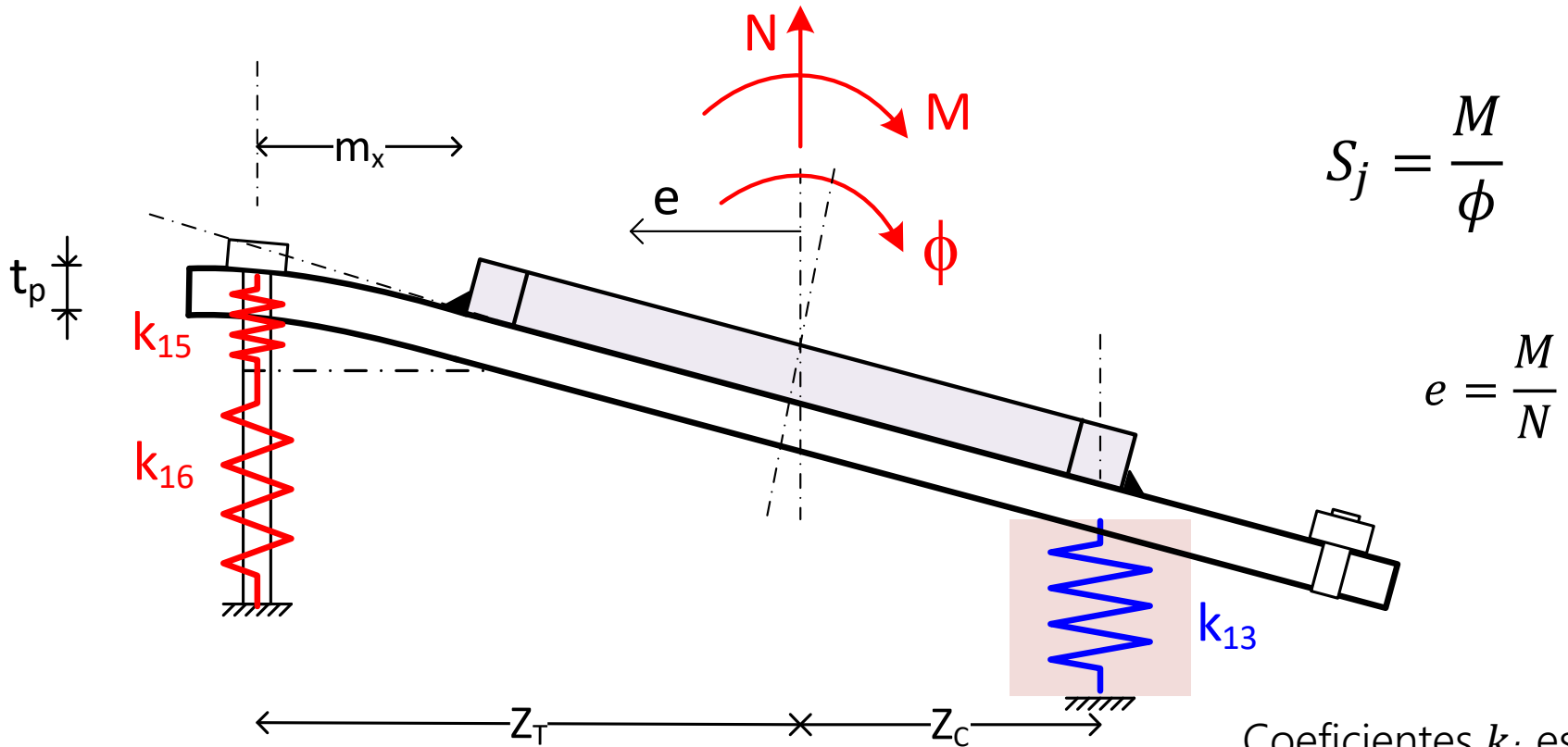
Uniones a la cimentación - Rigidez

Normativa:
EN 1993-1-8 § 6.3
Código Estructural Anejo 26 § 6.3
CTE SE-A § 8.3



Rigidez rotacional de la unión S_j – Modelo de componentes

Se determina a partir de la flexibilidad de sus componentes básicos



k_{16} Rigidez equivalente de la fila de pernos a tracción

k_{15} Rigidez equivalente de la placa a flexión

k_{13} Rigidez equivalente del hormigón a compresión, incluyendo el mortero

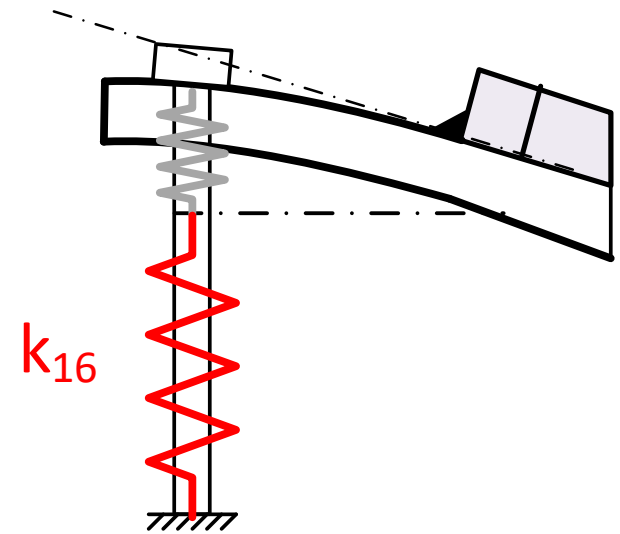
Coeficientes k_i están escalados al módulo de elasticidad E

Rigidez equivalente de una fila de 2 pernos a tracción k_{16}

Sin fuerzas de palanca $k_{16} = 2.0 \frac{A_S}{L_b}$

Con fuerzas de palanca en la placa de apoyo $k_{16} = 1.6 \frac{A_S}{L_b}$

Las fuerzas de palanca hacen que se sobrecargue el perno



A_S Área resistente a tracción del perno

L_b Longitud de alargamiento del perno

$$L_b = 8d + t_{grout} + t_p + l_{wash} + 0.5l_{nut}$$

t_{grout} espesor de la capa de mortero t_p espesor de la placa de apoyo

l_{wash} espesor de la arandela l_{nut} espesor de la tuerca

Existen fuerzas de palanca en la placa base si los pernos son cortos:

Para valores de $l_{eff,12}$ y m_x , ver cálculo de resistencia de la placa base a flexión

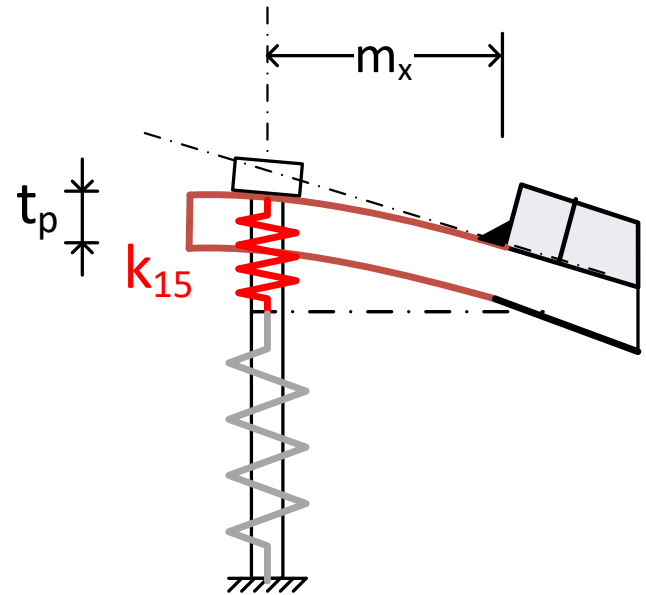
$$L_b \leq \frac{8.8 m_x^3 A_S}{l_{eff,12} t_p^3}$$

Rigidez equivalente de la placa a flexión k_{15}

Para una sola fila de pernos

Sin fuerzas de palanca $k_{15} = 0.425 \frac{l_{eff,12} t_p^3}{m_x^3}$

Con fuerzas de palanca en la placa de apoyo $k_{15} = 0.85 \frac{l_{eff,12} t_p^3}{m_x^3}$

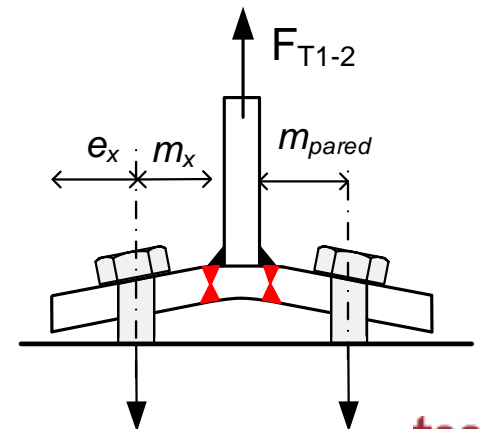


$l_{eff,12}$ Longitud eficaz de la placa base, calculada para su resistencia a flexión

m_x Distancia del tornillo a la línea de formación de la rótula plástica

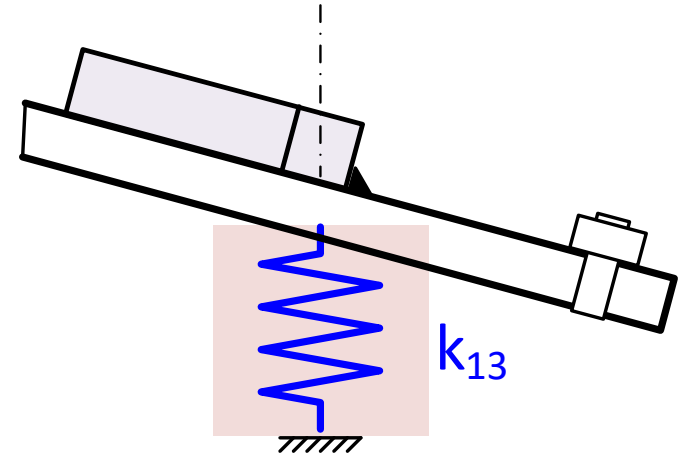
t_p Espesor de la placa de apoyo

Para valores de $l_{eff,12}$ y m_x , ver cálculo de resistencia de la placa base a flexión



Rigidez equivalente del hormigón a compresión k_{13}

$$k_{13} = \frac{E_c \sqrt{b_{eff} l_{eff}}}{1.275 E}$$

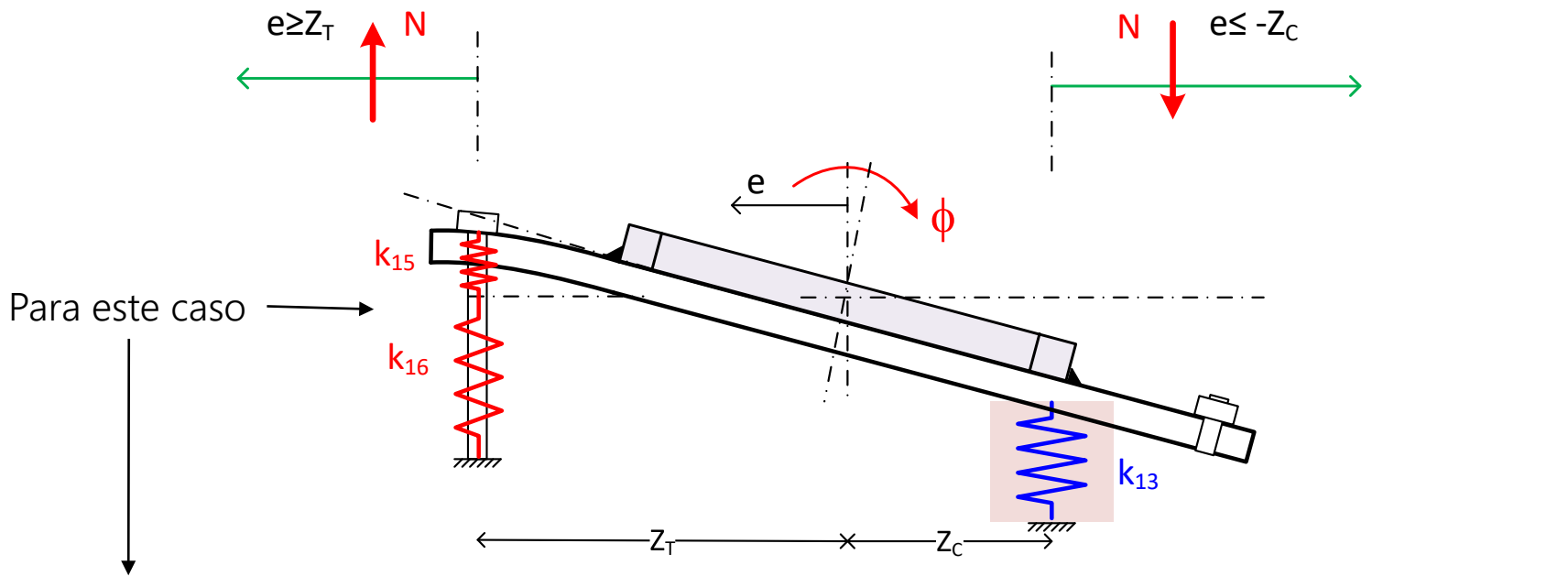


l_{eff} b_{eff} Dimensiones eficaces de la superficie portante del hormigón en la zona comprimida

E_c Módulo de elasticidad del hormigón ($\approx 31000 \text{ N/mm}^2$)

Incluye la rigidez del hormigón y del mortero

Rigidez rotacional de la unión



$$S_j = \frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_T} + \frac{1}{k_C} \right)} \frac{e}{e + e_k}$$

Flexibilidad a tracción

$$\frac{1}{k_T} = \frac{1}{k_{15}} + \frac{1}{k_{16}}$$

Flexibilidad a compresión

$$\frac{1}{k_C} = \frac{1}{k_{13}}$$

$$z = Z_T + Z_C$$

e_k : tiene en cuenta que las distintas k_i están a distancias distintas del punto de giro.

$$e_k = \frac{Z_C k_C - Z_T k_T}{k_T + k_C}$$

Rigidez rotacional de la unión. Coeficiente μ

Coeficiente μ : tiene en cuenta la no linealidad del sistema.

Cuando el momento aplicado M_{Ed} aumenta y se acerca al momento de resistencia de la unión $M_{j,Rd}$, la rigidez disminuye

$$M_{Ed} \leq \frac{2}{3} M_{j,Rd} \quad \mu = 1$$

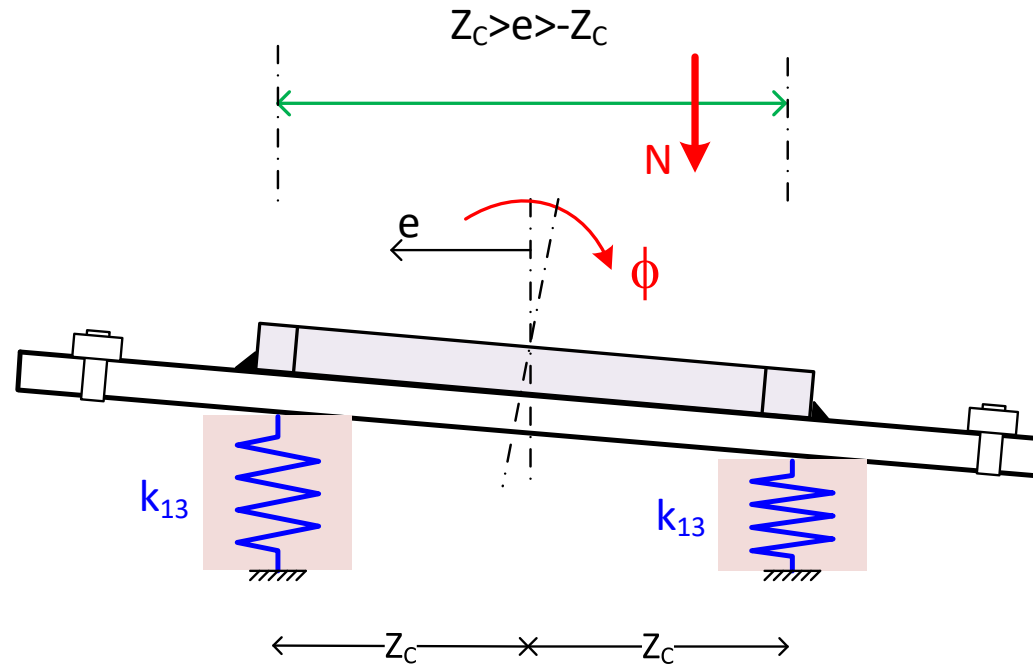
$$\frac{2}{3} M_{j,Rd} < M_{Ed} \leq M_{j,Rd} \quad \mu = \left(1.5 \frac{M_{Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^{2.7}$$

Existen expresiones de la rigidez de la unión S_j para las distintas configuraciones de fuerzas a tracción / compresión en cada lado de la unión (EN 1993-1-8 tabla 6.12)

Rigidez rotacional de la unión

Base a compresión
compuesta

Para este caso



$$S_j = \frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_C} + \frac{1}{k_C} \right)}$$

$$z = Z_c + Z_c$$

Flexibilidad a
compresión

$$\frac{1}{k_C} = \frac{1}{k_{13}}$$

$e_k = 0$ Todas las rigideces están a la misma distancia

Rigidez de uniones a la cimentación. EN 1993-1-8 tabla 6.12

Acciones	Rigidez rotacional $S_{J,ini}$	
Tracción a la izquierda Compresión a la derecha $z = Z_{TL} + Z_{CR}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > Z_{TL}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e \leq -Z_{CR}$
	$\frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_{TL}} + \frac{1}{k_{CR}} \right)} \frac{e}{e+e_k}$ con $e_k = \frac{Z_{CR} k_{CR} - Z_{TL} k_{TL}}{k_{TL} + k_{CR}}$	
Tracción a la izquierda Tracción a la derecha $z = Z_{TL} + Z_{TR}$	$N_{Ed} > 0$ y $0 < e < Z_{TL}$	$N_{Ed} > 0$ y $-Z_{TR} < e \leq 0$
	$\frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_{TL}} + \frac{1}{k_{TR}} \right)} \frac{e}{e+e_k}$ con $e_k = \frac{Z_{TR} k_{TR} - Z_{TL} k_{TL}}{k_{TL} + k_{TR}}$	
Compresión a la izquierda Tracción a la derecha $z = Z_{CL} + Z_{TR}$	$N_{Ed} > 0$ y $e < -Z_{TR}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e > Z_{CL}$
	$\frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_{CL}} + \frac{1}{k_{TR}} \right)} \frac{e}{e+e_k}$ con $e_k = \frac{Z_{TR} k_{TR} - Z_{CL} k_{CL}}{k_{CL} + k_{TR}}$	
Compresión a la izquierda Compresión a la derecha $z = Z_{CL} + Z_{CR}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $0 < e < Z_{CL}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $-Z_{CR} < e \leq 0$
	$\frac{E z^2}{\mu \left(\frac{1}{k_{CL}} + \frac{1}{k_{CR}} \right)} \frac{e}{e+e_k}$ con $e_k = \frac{Z_{CR} k_{CR} - Z_{CL} k_{CL}}{k_{CL} + k_{CR}}$	

Rigidez de la unión: empotramiento

Para poder considerar la unión como empotramiento rígido, la placa base debe cumplir una de las condiciones (EN 1993-1-8, 5.2.2.5):

Estructuras arriostradas
(deformación horizontal
disminuida en el 80%)

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_0 \leq 0.5 \\ 0.5 < \bar{\lambda}_0 < 3.93 \quad \text{y} \quad S_j \geq 7(2\bar{\lambda}_0 - 1) \frac{E I_c}{L_c} \\ \bar{\lambda}_0 \geq 3.93 \quad \text{y} \quad S_j \geq 48 \frac{E I_c}{L_c} \end{array} \right.$$

Estructuras no arriostradas

$$S_j \geq 30 \frac{E I_c}{L_c}$$

$\bar{\lambda}_0$ Esbeltez de la columna con $L_{pandeo} = L_c$

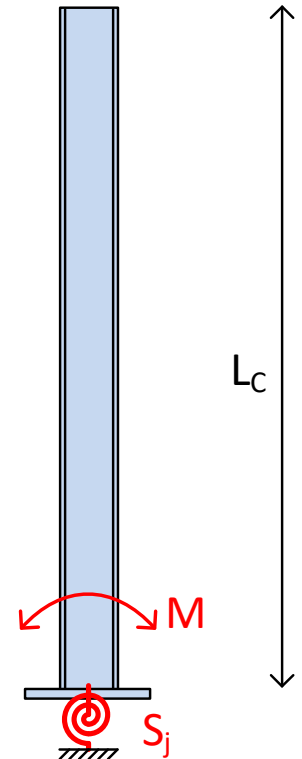
$$\bar{\lambda}_0 = \frac{L_c / i_c}{93.9 \epsilon}$$

$E I_c$ Rigidez a flexión de la columna

i_c Radio de giro de la columna

L_c Altura de la columna

S_j Rigidez rotacional de la unión



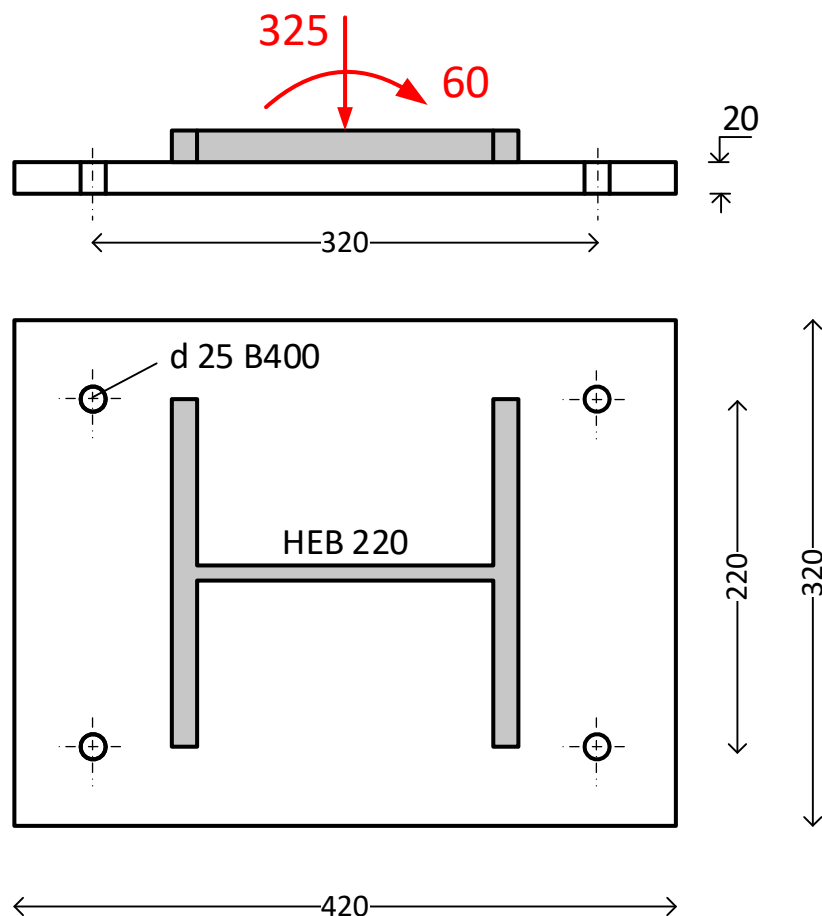


tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingeniería

Uniones a la cimentación

Ejemplos

Poste HEB 220



Poste HEB 220 – S275

$$h_c = 220 \quad b_c = 220 \quad t_{fc} = 16 \quad t_{wc} = 9.5$$

Placa: $420 \times 320 \times 20$ – S275

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Pernos: $2 \times d: 25$ – B 400

Cargas de diseño: $N_{Ed} = -325 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 60 \text{ kNm}$ $e = \frac{60 \cdot 10^3}{-325} = -184.6 \text{ mm}$

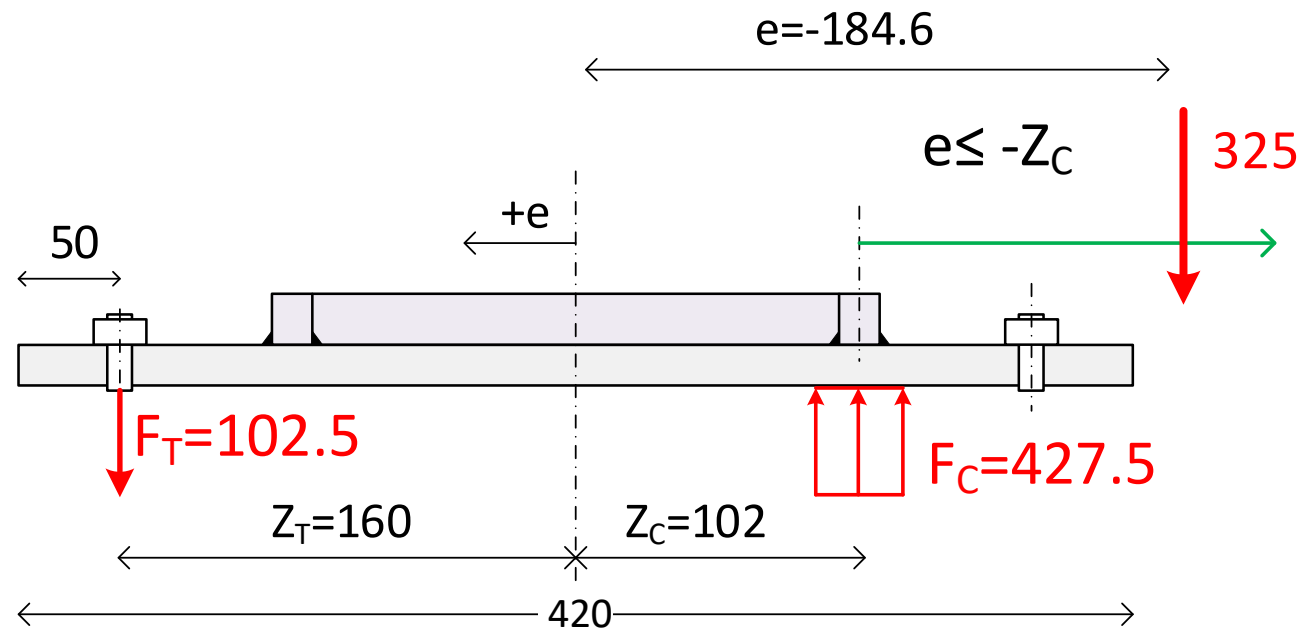
Brazos de palanca $Z_T = 160 \text{ mm}$ $Z_C = 102 \text{ mm}$

Situación de fuerzas: $N < 0$ $e = -184.6 < -Z_C = -102$

Fuerzas:

$$F_T = 102.5 \text{ kN}$$

$$F_C = 427.5 \text{ kN}$$



Poste HEB 220 – S275

$$h_c = 220 \quad b_c = 220 \quad t_{fc} = 16 \quad t_{wc} = 9.5$$

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$f_{jd} = 54 \text{ MPa} \quad c = 25.4 \text{ mm}$$

Placa: 420 × 320 × 20 – S275

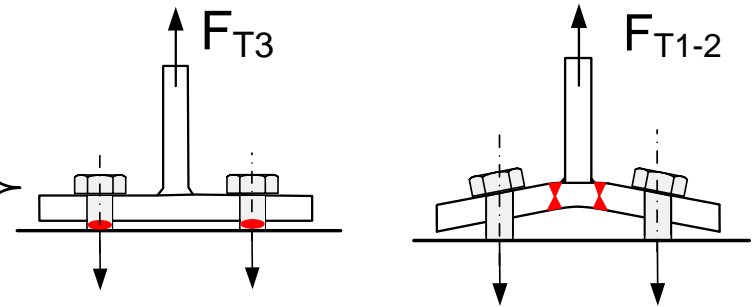
Pernos: 2 × d: 25 – B 400

Resistencias:

Resistencia pernos a tracción: $F_{T3,Rd} = 223.7 \text{ kN}$

Resistencia placa a flexión: $F_{T,1-2,Rd} = 194 \text{ kN}$

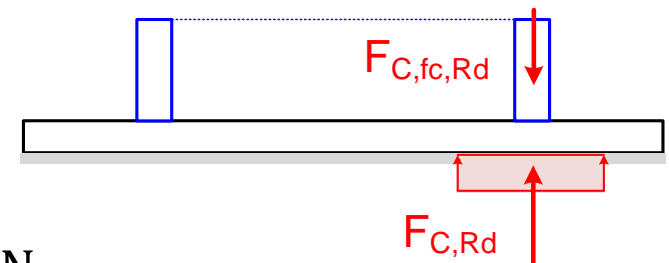
Resistencia alma poste tracción: $F_{t,wc,Rd} = 398$



Resistencia unión tracción: $F_{T,Rd} = 194 \text{ kN}$

Resistencia hormigón bajo ala $F_{C,Rd} = 978$

Resistencia unión compresión: $F_{C,Rd} = 978 \text{ kN}$



Comprobación: Resistencia ala poste compresión $F_{c,fc,Rd} = 1062 > 978$

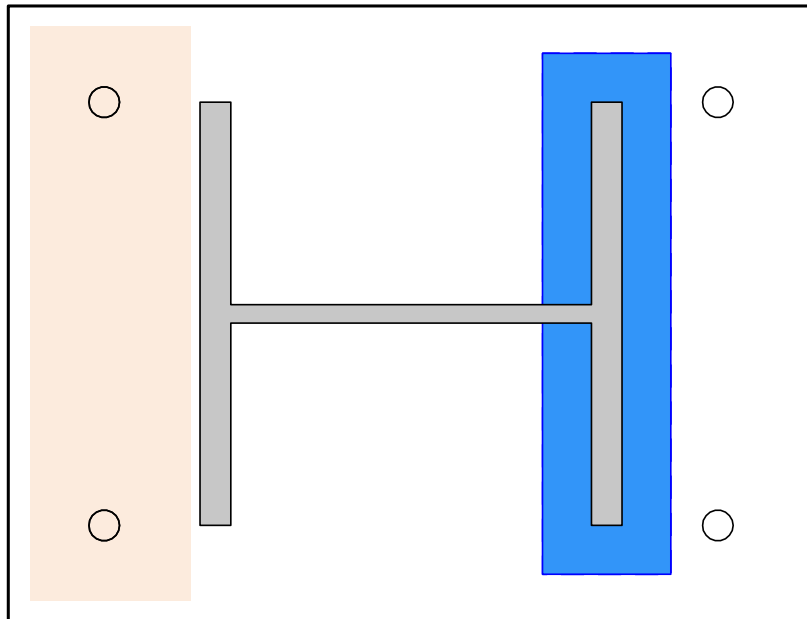
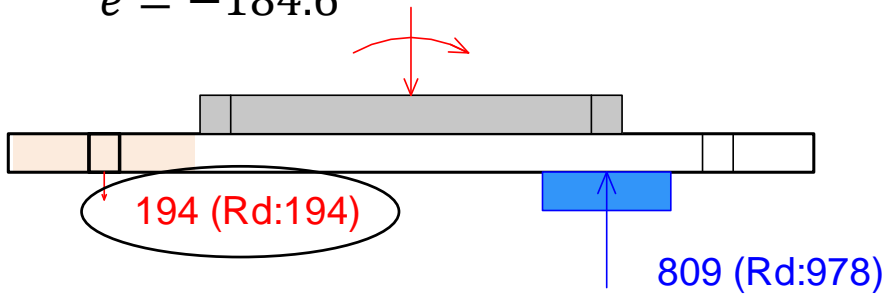
Poste HEB 220 – S275

Cargas de diseño: $N_{Ed} = -325 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 60 \text{ kN m}$ $e = -184.6$

Momento máximo s/ EC3:

$$M_{J,Rd} = 113.5 \quad N_{J,Rd} = -615$$

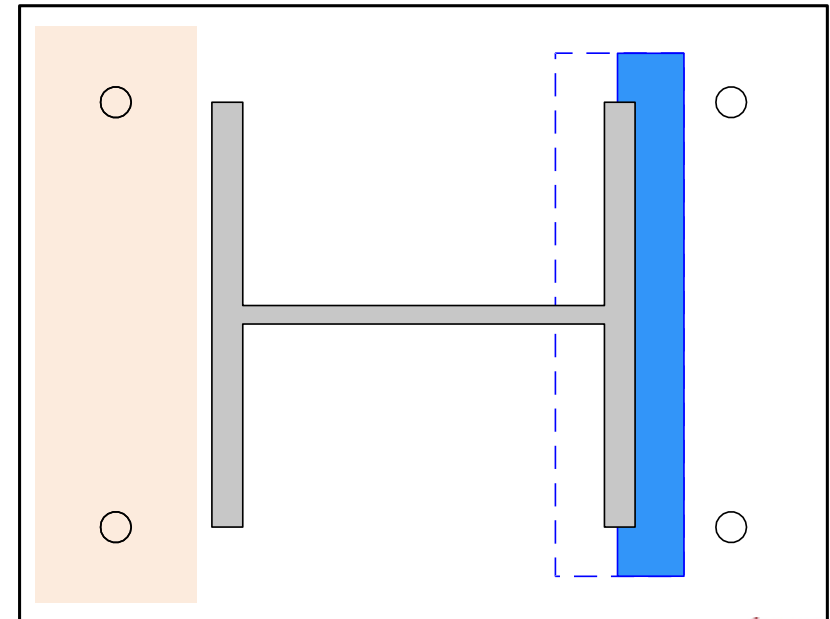
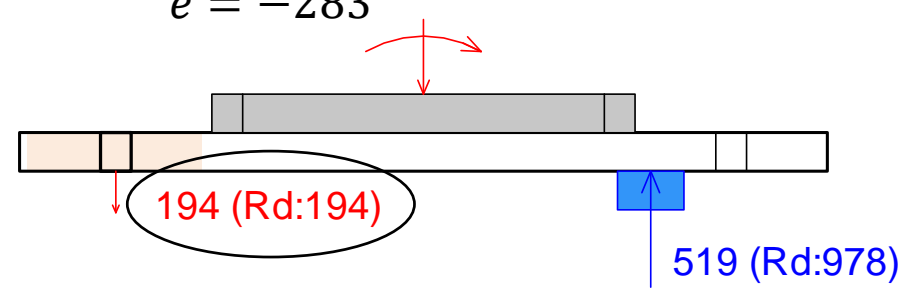
$$e = -184.6$$



Momento máximo con N_{Ed} de diseño:

$$M_{J,Rd} = 92.1 \quad \text{con } N_{Ed} = -325$$

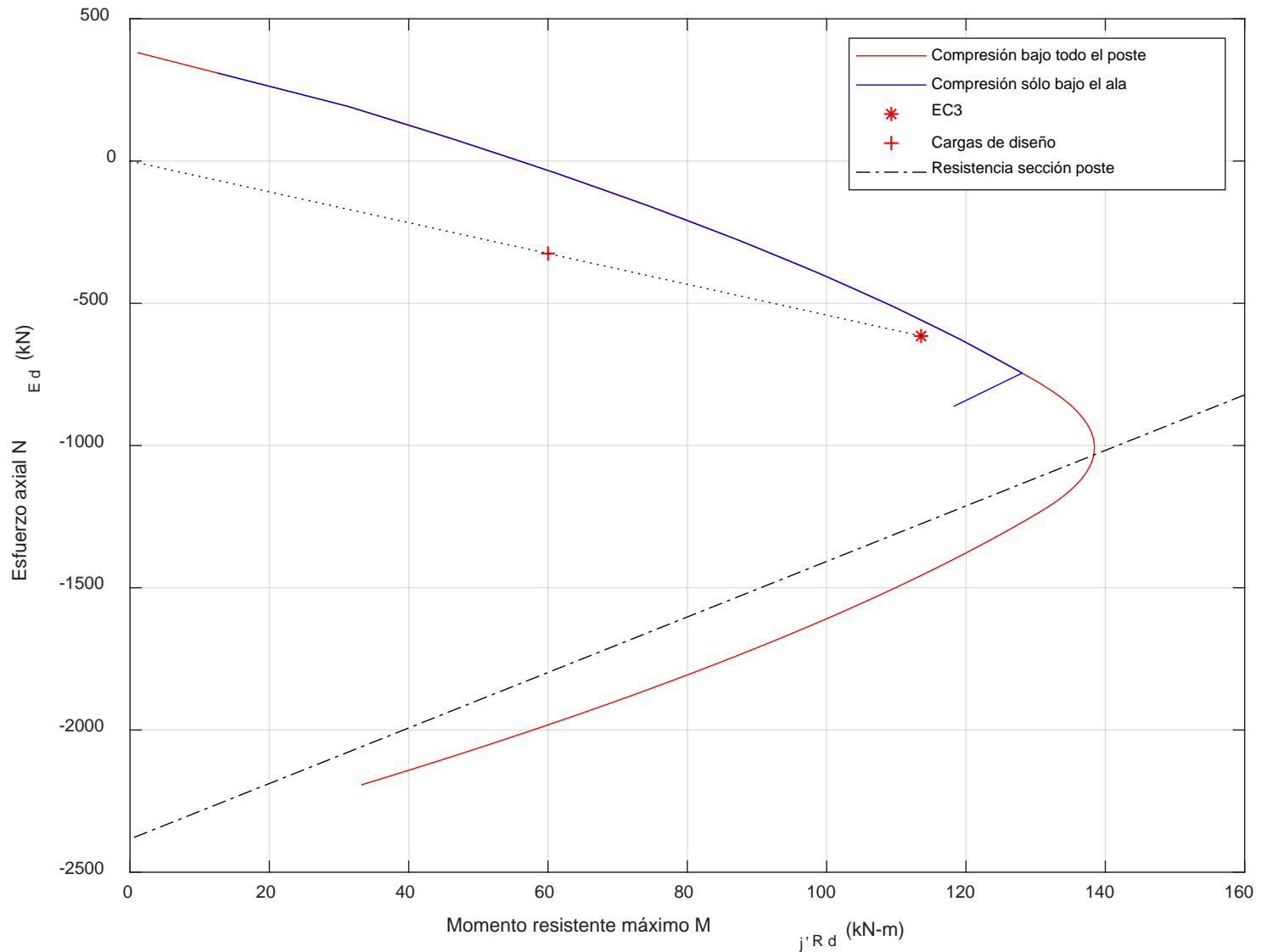
$$e = -283$$



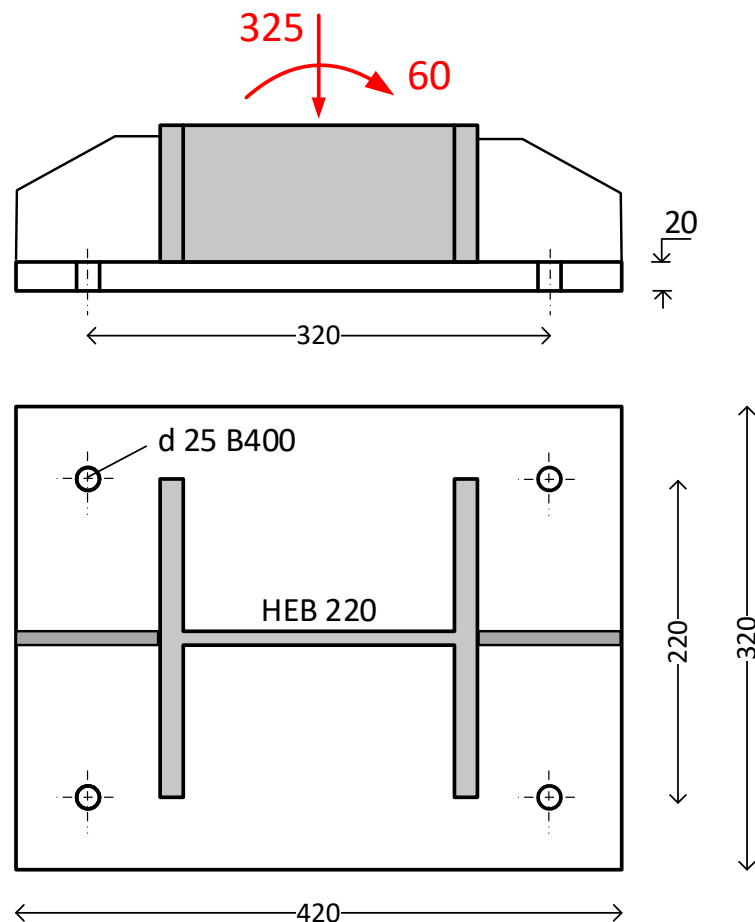
Poste HEB 220 – S275 - Envolvente M_{max}/N_{Ed}

Momento máximo en función del esfuerzo axial

HEB220 420x320x20



Poste HEB 220 - Rigidizado



Poste HEB 220 – S275 - Rigidizado

$$h_c = 220 \quad b_c = 220 \quad t_{fc} = 16 \quad t_{wc} = 9.5$$

Placa: $420 \times 320 \times 20$ – S275

$$\gamma_{M0} = 1.05 \quad f_{jd} = 54 \text{ MPa} \quad t_{st} = 9.5$$

Pernos: $2 \times d: 25$ – B 400

Cargas de diseño: $N_{Ed} = -325 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 60 \text{ kN m}$ $e = -184.6 \text{ mm}$

Brazos de palanca $Z_T = 160 \text{ mm}$ $Z_C = 116 \text{ mm}$ (aumenta)

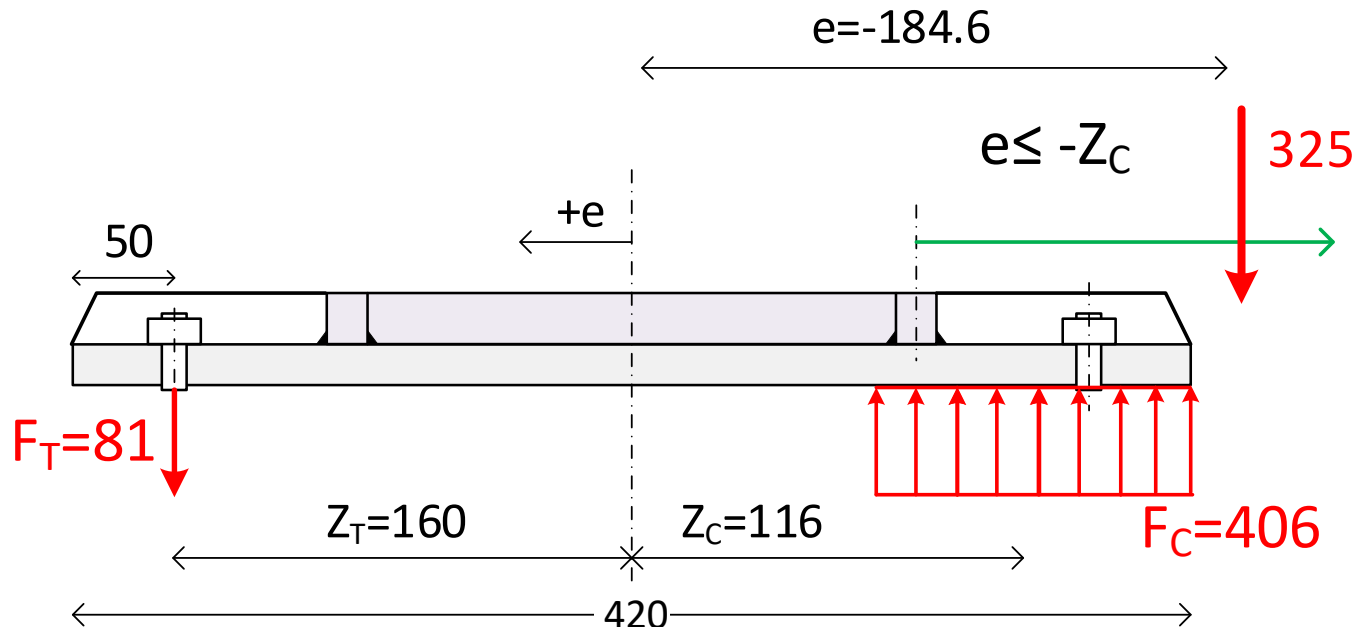
Situación de fuerzas: $N < 0$ $e = -184.6 < -Z_C = -116$

Fuerzas:

$$F_T = 81 \text{ kN}$$

$$F_C = 406 \text{ kN}$$

Disminuyen por el mayor brazo de palanca



Poste HEB 220 – S275 - Rigidizado

$$h_c = 220 \quad b_c = 220 \quad t_{fc} = 16 \quad t_{wc} = 9.5$$

$$\gamma_{M0} = 1.05 \quad f_{jd} = 54 \text{ MPa} \quad t_{st} = 9.5$$

$$c = 25.4 \text{ mm}$$

Placa: $420 \times 320 \times 20$ – S275

Pernos: $2 \times d: 25$ – B 400

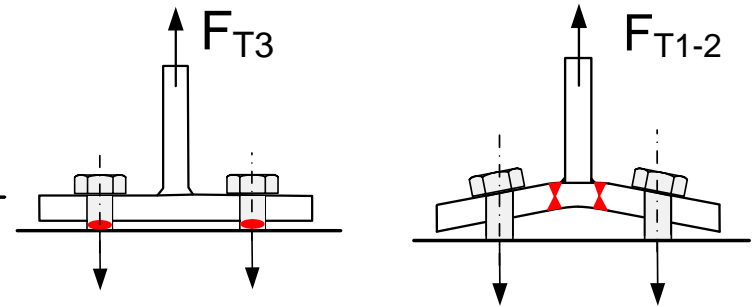
Resistencias:

Resistencia pernos a tracción: $F_{T3,Rd} = 223.7$

Resistencia placa a flexión: $F_{T,1-2,Rd} = 203.4$

Resistencia alma poste tracción: $F_{t,wc,Rd} = 417$

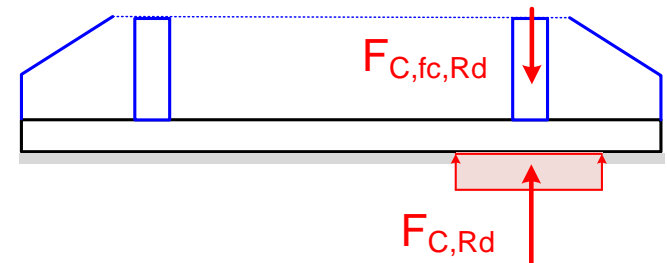
rigidizada



Resistencia unión tracción: $F_{T,Rd} = 203.4 \text{ kN}$

Resistencia hormigón bajo ala $F_{C,Rd} = 1221$

Resistencia unión compresión: $F_{C,Rd} = 1221 \text{ kN}$



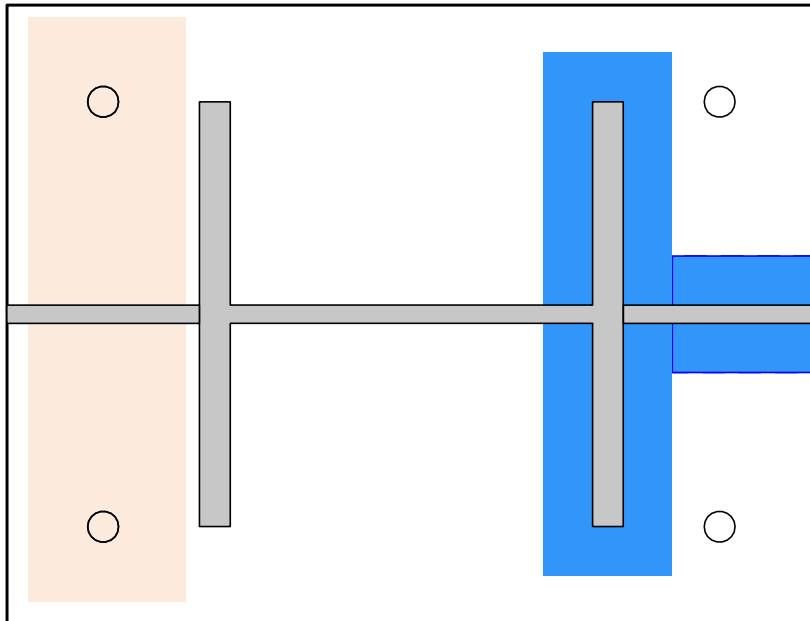
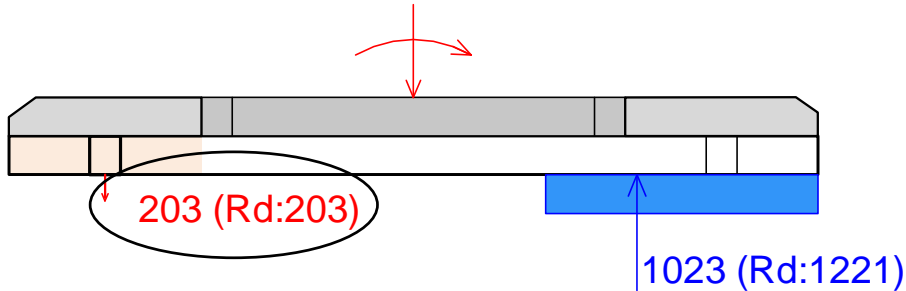
Nota: la resistencia del ala del poste a compresión, sin tener en cuenta el rigidizador, es menor $F_{c,fc,Rd} = 1062$

Poste HEB 220 – S275. Comparación rigidizado – no rigidizado

Cargas de diseño: $N_{Ed} = -325 \text{ kN}$ $M_{Ed} = 60 \text{ kN m}$ $e = -184.6 \text{ mm}$

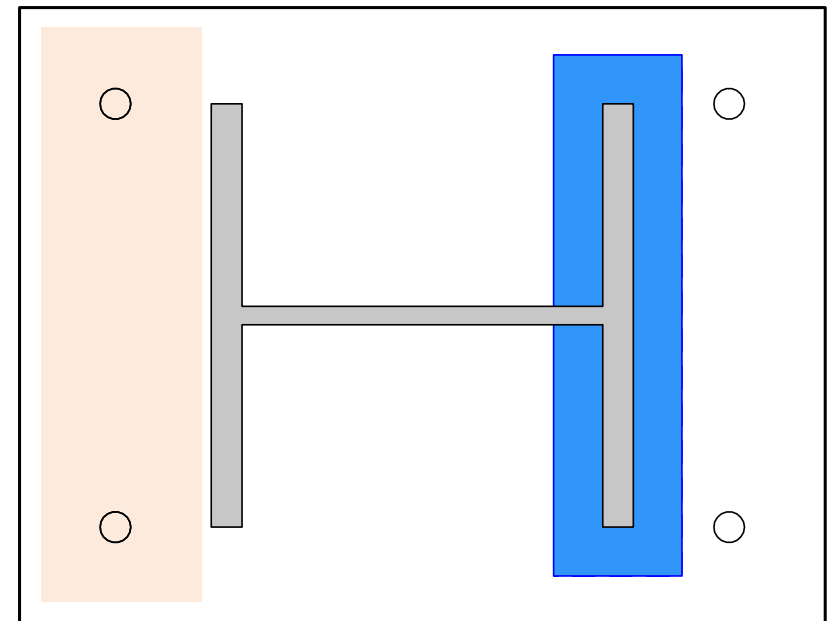
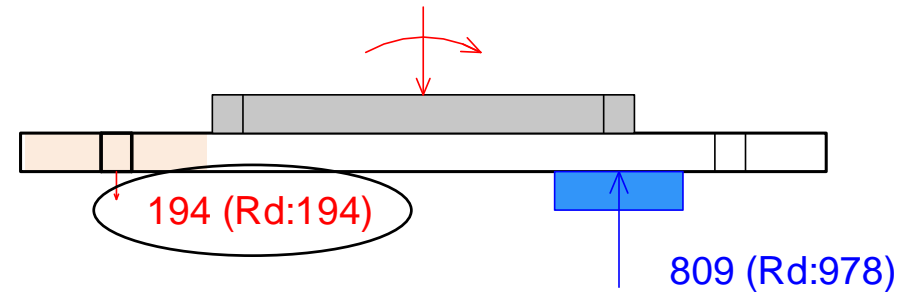
Rigidizado

EC3: $M_{J,Rd} = 151.3$ $N_{J,Rd} = -819$



No rigidizado

EC3: $M_{J,Rd} = 113.5$ $N_{J,Rd} = -615$



Poste HEB 220 – S275. Comparación rigidizado – no rigidizado

Envolventes M_{max}/N_{Ed}

