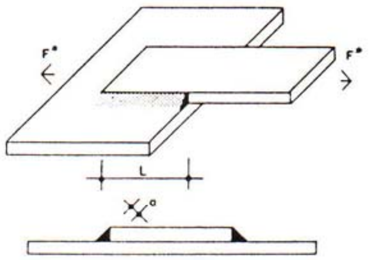
Ejercicios resueltos. Enunciados (NBE EA-95, Anejo 3.A6)

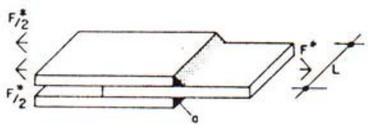
Unión	Expresión práctica

Caso 1. Tracción. Sólo soldaduras laterales



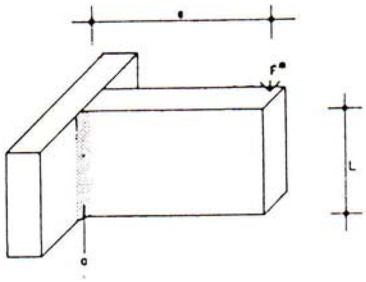
$$\frac{F^*}{0.75\ \Sigma aL} \leqslant \sigma_u$$

Caso 2. Tracción. Sólo soldaduras frontales



$$\frac{F^*}{0.85\ \Sigma aL} \leqslant \sigma_u$$

Caso 8. Flexión simple. Sólo soldaduras frontales longitudinales



Debe cumplirse

$$\sigma_c \leqslant \sqrt{\sigma^2 + 1.8(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leqslant \sigma_u$$

En estas expresiones:

$$\sigma = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^*e}{aL^2}$$

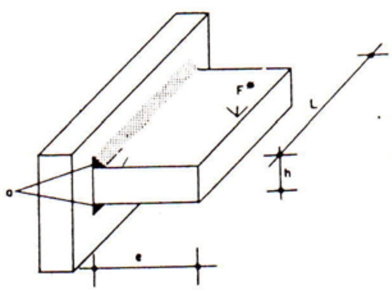
$$\tau_n = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^*e}{aL^2}$$

$$\tau_a = \frac{F^*}{2aL}$$

Para $e \gg L$

$$\sigma_c = 3.55 \frac{F^*e}{aL^2} \leqslant \sigma_u$$

Caso 9. Flexión simple. Sólo soldaduras frontales transversales



$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^*e}{W}$$

$$\tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^*e}{W}$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1.8\tau_n^2} = \frac{F^*e}{W}\sqrt{1.4} \simeq$$

$$\simeq 1.18 \frac{F^*e}{W} \leqslant \sigma_u$$

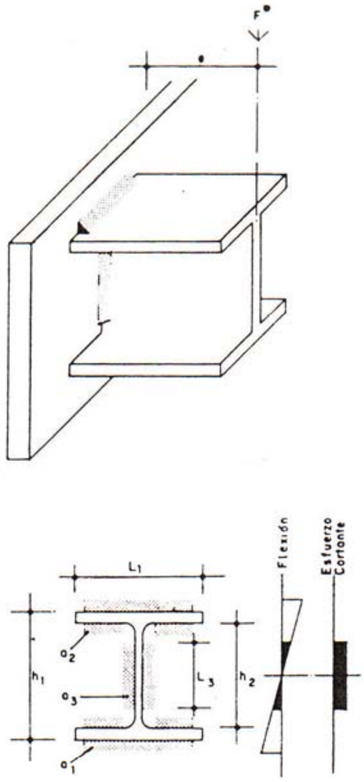
Siendo W el módulo resistente de las solduras.

Para $h \gg a$

$$\sigma_c \simeq 1.18 \frac{F^*e}{Lha} \leqslant \sigma_u$$

Unión	Expresión práctica

Caso 10. Flexión simple. Soldaduras frontales, longitudinales y transversales



Soldaduras a_1:

$$\sigma_c = \sqrt{1.4}\,\frac{F^{*}e}{W} \simeq 1.18\,\frac{F^{*}e}{W} \leqslant \sigma_u$$

Soldaduras a_2:

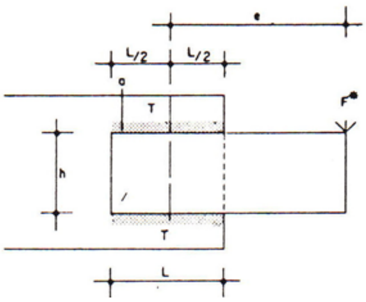
$$\sigma_c \simeq 1.18\,\frac{h_2 - a_2}{h_1 + a_1} \cdot \frac{F^{*}e}{w} \leqslant \sigma_u$$

Soldaduras a_3:

$$\sigma_c = \sqrt{1.4\left(\frac{F^{*}e}{W} \cdot \frac{L_3}{h_1 + a_1}\right)^2 + 1.8\left(\frac{F^{*}}{2L_3a_3}\right)^2} \leqslant \sigma_u$$

Siendo W el módulo resistente de las soldaduras. Puede también considerarse absorbido el momento por las soldaduras a_1 y a_2 y el esfuerzo cortante por las soldaduras a_3.

Caso 11. Torsión y esfuerzo cortante combinados. Sólo soldaduras laterales



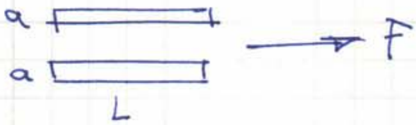
Para $0.5h < L < 2h$

$$\sigma_c = \sqrt{0.35\left(\frac{F^{*}}{La}\right)^2 + 1.8\left(\frac{F^{*}e}{h+a} \cdot \frac{1}{La}\right)^2} =$$

$$= \frac{F^{*}}{La}\sqrt{0.35 + 1.8\left(\frac{e}{h+a}\right)^2} \leqslant \sigma_u$$

① Caso 1 (EA-95). Tracción. Soldaduras laterales.

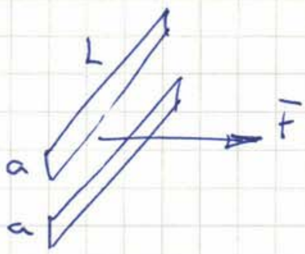
$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{2aL}$$



$$\sqrt{3\,\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3}\cdot\tau_{\parallel} \le \frac{f_u}{\beta_w\,\gamma_{M2}} \; ; \; \boxed{\frac{\sqrt{3}\,F}{2aL} \le \frac{f_u}{\beta_w\,\gamma_{M2}}}$$

$$\Rightarrow \underline{a} \geq \frac{\sqrt{3}\,\gamma_{M2}\,\beta_w}{2 f_u}\cdot\frac{F}{L} \underset{\substack{\uparrow \\ \gamma_{M2}=1'25}}{=} \underline{1'08\,\frac{\beta_w}{f_u}\cdot\frac{F}{L}}$$

② Caso 2 (EA-95). Tracción. Soldaduras frontales.



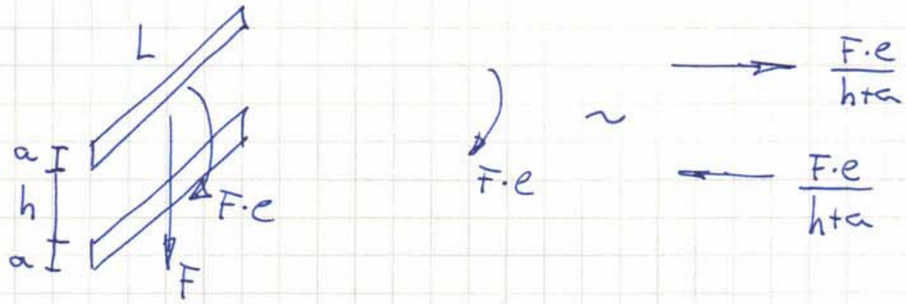
$$n = \frac{F}{2aL} \Rightarrow \begin{cases} \sigma = \dfrac{\sqrt{2}}{2}\,\dfrac{F}{2aL} \\[2ex] \tau_{\perp} = -\dfrac{\sqrt{2}}{2}\,\dfrac{F}{2aL} \end{cases}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\,\tau_{\perp}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\,\frac{F}{2aL}\right)^2 + 3\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\,\frac{F}{2aL}\right)^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2}\,\frac{F}{2aL}\,\sqrt{1+3} = \boxed{\frac{\sqrt{2}\,F}{2aL} \le \frac{f_u}{\beta_w\,\gamma_{M2}}} \rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{a} \geq \frac{\sqrt{2}}{2}\,\gamma_{M2}\,\frac{\beta_w}{f_u}\cdot\frac{F}{L} \underset{\substack{\uparrow \\ \gamma_{M2}=1'25}}{=} \underline{0'88\,\frac{\beta_w}{f_u}\cdot\frac{F}{L}}$$

3 Caso 9 (EA-95). Flex. simple. Soldaduras frontales transversales.



Plano abatido:

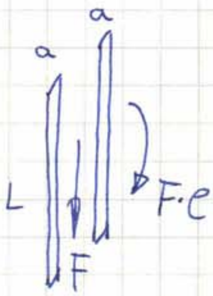
$$n = \frac{F \cdot e}{(h+a)\, L a} \quad ; \quad t_\perp = \frac{F}{2aL}$$

Plano garganta:

$$\begin{cases} \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} n + \frac{\sqrt{2}}{2} t_\perp = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F \cdot e}{(h+a) L a} + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F}{2aL} \\ \tau_\perp = -\frac{\sqrt{2}}{2} n + \frac{\sqrt{2}}{2} t_\perp = -\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F \cdot e}{(h+a) L a} + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F}{2aL} \end{cases}$$

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

(4) Caso 8 (EA-95). Flex. simple. Soldaduras frontales longitudinales.



Plano abatido:

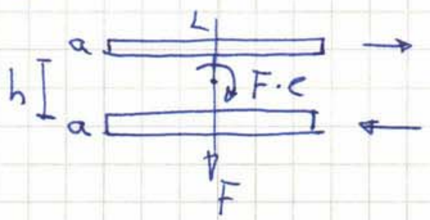
$$n = \frac{M}{I} \cdot \frac{L}{2} = \frac{F \cdot e}{2 \frac{1}{12} a L^3} \cdot \frac{L}{2} = \frac{3Fe}{a L^2}$$

$$t_{\parallel} = \frac{F}{2aL}$$

Plano garganta:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} n + \frac{\sqrt{2}}{2} t_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{3Fe}{aL^2} \\ \tau_{\perp} = -\frac{\sqrt{2}}{2} n + \frac{\sqrt{2}}{2} t_{\perp} = -\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{3Fe}{aL^2} \\ \tau_{\parallel} = t_{\parallel} = \frac{F}{2aL} \end{array} \right\} \quad \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

(5) Caso 11 (EA-95). Torsión y cortante. Soldaduras laterales.



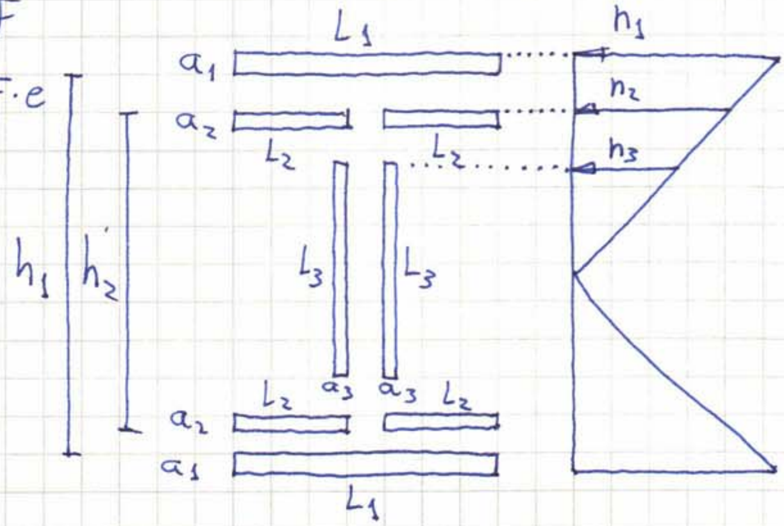
Plano abatido $\left\{ \begin{array}{l} t_{\perp} = \frac{F}{2aL} \\ t_{\parallel} = \frac{F \cdot e}{(h+a) L a} \end{array} \right.$

$$\text{Plano garganta} \left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F}{2aL} \\ \tau_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{F}{2aL} \\ \tau_{\parallel} = \frac{F \cdot e}{(h+a) L a} \end{array} \right\} \quad \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

(6) Caso 10. (EA-95). Flex. simple. Sold. front., longitud. y transv.

Cortante F

Momento $F \cdot e$



$$n_1 = \frac{F \cdot e}{I}\left(\frac{h_1}{2} + a_1\right); \quad n_2 = \frac{F \cdot e}{I} \cdot \frac{h_2}{2}; \quad n_3 = \frac{F \cdot e}{I} \cdot \frac{L_3}{2}$$

$I \equiv$ Inercia de la sección completa de los planos abatidos

Suponemos q. todo el cortante se absorbe por el alma:

$$t_{\parallel_3} = \frac{F}{2 a_3 L_3}$$

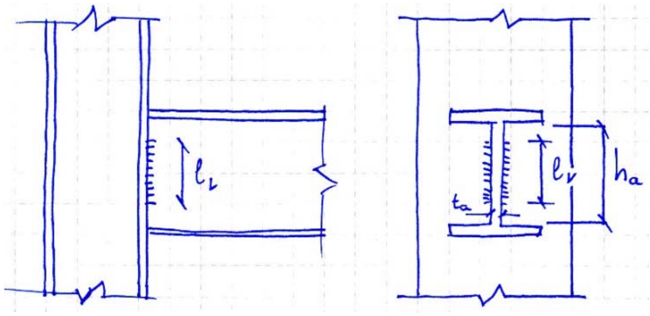
$\boxed{a_1}$ $\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} n_1 \\ \tau_{\perp_1} = -\frac{\sqrt{2}}{2} n_1 \end{cases}$

$\boxed{a_2}$ $\begin{cases} \sigma_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} n_2 \\ \tau_{\perp_2} = -\frac{\sqrt{2}}{2} n_2 \end{cases}$

$\boxed{a_3}$ $\begin{cases} \sigma_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} n_3 \\ \tau_{\perp_3} = -\frac{\sqrt{2}}{2} n_3 \\ \tau_{\parallel_3} = t_{\parallel_3} \end{cases}$

Para cada garganta se aplica la condición de agotamiento.

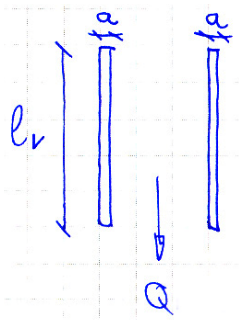
Ejercicio 7



Unión articulada viga-columna mediante cordones de alma

a) Diseño de la unión a resistencia parcial

Una distribución de tensiones en equilibrio con el esfuerzo cortante a transmitir puede ser:



$$\tau_{\|} = t_{\|} = \frac{Q}{2al_v}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_{\|}^2\right)} = \sqrt{3}\tau_{\|} = \frac{\sqrt{3}Q}{2al_v} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

Despejando la garganta:

$$\boxed{a \geq \frac{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_W Q}{2 f_u l_v} = \frac{1{,}08\beta_W Q}{f_u l_v}}$$

Si el cortante Q a transmitir es pequeño, la unión debe dimensionarse mediante un cortante de valor $Q = \max\,[Q, Q_{max}/3]$, siendo Q_{max} el cortante máximo resistente del perfil de la viga.

b) Diseño de la unión a resistencia total

Los cordones de soldadura tienen que dimensionarse frente al cortante máximo que es capaz de resistir el perfil de la viga:

$$Q_{\max} = V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_V \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = ht_w \frac{f_y/1{,}05}{\sqrt{3}}$$

siendo h el canto del perfil y $t_w = t_a$ el espesor del alma

Sustituyendo en la expresión de la garganta:

$$\boxed{a \geq \frac{1{,}08\beta_W Q_{\max}}{f_u l_v} = 0{,}595\frac{\beta_W f_y}{f_u}\frac{ht_w}{l_v}} = 0{,}32ht_w/l_v$$

Para acero S-275
y perfil IPE

Se recomienda un valor de $l_v \in [h/2, 2h/3]$

Si $l_v = h/2$:

$$\boxed{a \geq 0{,}595\frac{\beta_W f_y}{f_u}\frac{ht_w}{l_v} = 1{,}19\frac{\beta_W f_y}{f_u}t_w} = 0{,}65t_w$$

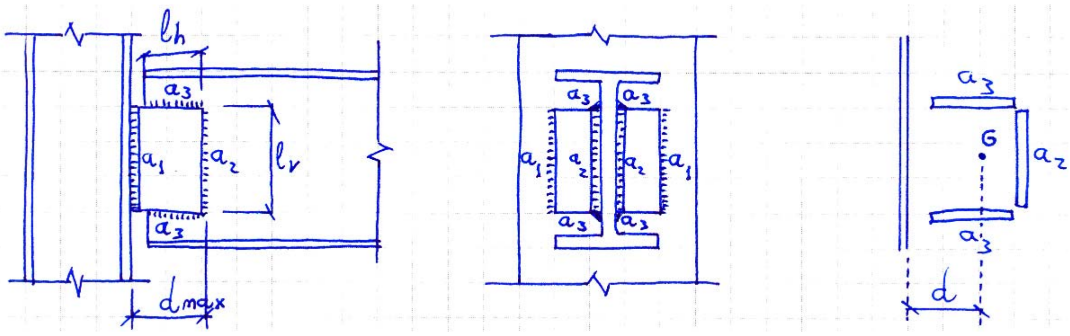
Para acero S-275
y perfil IPE

Si $l_v = 2h/3$:

$$\boxed{a \geq 0{,}595\frac{\beta_W f_y}{f_u}\frac{ht_w}{l_v} = 0{,}893\frac{\beta_W f_y}{f_u}t_w} = 0{,}49t_w$$

Para acero S-275
y perfil IPE

Ejercicio 8 (resolución paramétrica)

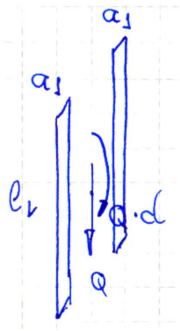


Unión articulada viga-columna mediante angulares

Por la viga se transmite un cortante Q a la columna, existiendo una excentricidad d al c.d.g. de los cordones 2 y 3, por lo que aparece un momento $M = Q\, d$.

1. Cordones a_1

Una distribución de tensiones en equilibrio con Q y con M puede ser:



$$n = \frac{M}{I}\frac{l_v}{2} = \frac{Qd}{2\frac{1}{12}a_1 l_v^3}\frac{l_v}{2} = \frac{3Qd}{a_1 l_v^2}$$

$$t_{\|} = \frac{Q}{2 l_v a_1}$$

Las tensiones en el plano de la garganta resultan:

$$\sigma = \frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_{\perp} = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{Qd}{a_1 l_v^2}$$

$$\tau_{\perp} = -\frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_{\perp} = -\frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{Qd}{a_1 l_v^2}$$

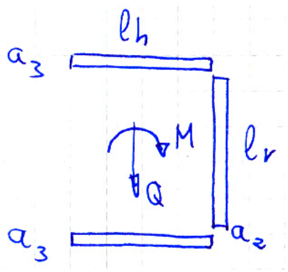
$$\tau_{\|} = t_{\|} = \frac{Q}{2 l_v a_1}$$

Aplicándose, a continuación, el criterio de agotamiento:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\sigma \leq \frac{0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

2. Cordones a_2 y a_3



Podemos suponer que el cortante Q (ahora sería igual a la mitad del cortante total) lo absorbe el cordón vertical

$$t_\parallel = \frac{Q}{l_v a_2}$$

y que el momento M se reparte mediante un par de fuerzas en los cordones horizontales de valor $F \approx M / l_v = Qd / l_v$:

$$t_\parallel = \frac{Qd}{l_v l_h a_3}$$

Por tanto, para a_2 resulta:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2\right)} = \sqrt{3}\tau_\parallel = \frac{\sqrt{3}Q}{l_v a_2} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\boxed{a_2 \geq \frac{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_W Q}{f_u l_v} = \frac{2{,}165\beta_W Q}{f_u l_v}}$$

Y para a_3:

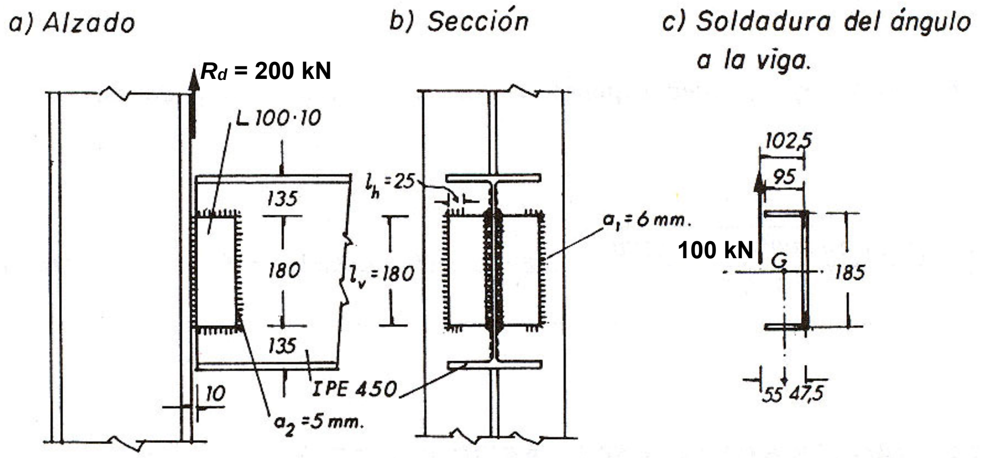
$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2\right)} = \sqrt{3}\tau_\parallel = \frac{\sqrt{3}Qd}{l_v l_h a_3} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\boxed{a_3 \geq \frac{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_W Qd}{f_u l_v l_h} = \frac{2{,}165\beta_W Qd}{f_u l_v l_h}}$$

Ejercicio 8 (aplicación numérica)

Comprobar la unión viga columna articulada de la figura, utilizando casquillos de angular L 100×10, que ha de soportar una reacción de cálculo R_d = 200 kN.

Acero S 275 JR. Cordones: a_1 = 6 mm; a_2 = a_3 = 5 mm.



Fuente: Argüelles R et al, 2001

1. Cordones a_1

Datos: $Q = 2\cdot10^5$ N d = 55 mm a_1 = 6 mm

l_v = 180 mm f_u = 430 MPa β_W = 0,85 γ_{M2} = 1,25

Resultados:

$$\sigma = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{Qd}{a_1 l_v^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{2\cdot10^5\cdot55}{6\cdot180^2} = 120{,}03 \text{ MPa}$$

$$\tau_\perp = -\frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{Qd}{a_1 l_v^2} = -120{,}03 \text{ MPa}$$

$$\tau_\parallel = \frac{Q}{2 l_v a_1} = \frac{2\cdot10^5}{2\cdot180\cdot6} = 92{,}59 \text{ MPa}$$

Al aplicar a continuación el criterio de agotamiento resulta:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} = 288{,}70 \text{ MPa} \le \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} = 404{,}71 \text{ MPa}$$

√

$$\sigma = 120{,}03 \text{ MPa} \le \frac{0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} = 309{,}60 \text{ MPa}$$

2. <u>Cordones a_2 y a_3</u>

Datos: $Q = 10^5$ N $\quad d = 55$ mm $\quad a_2 = a_3 = 5$ mm $\quad l_v = 180$ mm

$l_h = 90$ mm $\quad f_u = 430$ MPa $\quad \beta_W = 0{,}85 \quad \gamma_{M2} = 1{,}25$

Resultados:

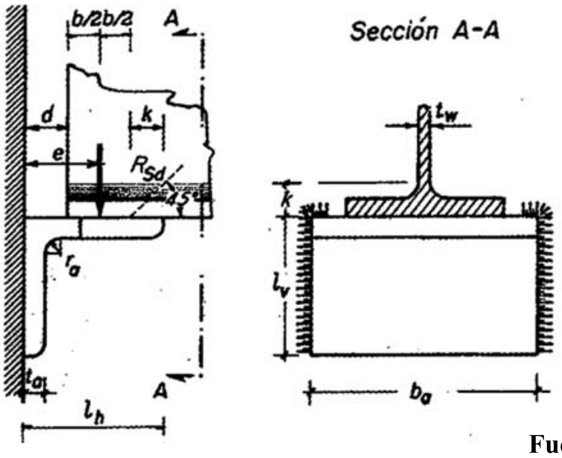
Para a_2:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2\right)} = \sqrt{3}\tau_\parallel = \frac{\sqrt{3}Q}{l_v a_2} = 192{,}45 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} = 404{,}71 \text{ MPa} \qquad \surd$$

Para a_3:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2\right)} = \sqrt{3}\tau_\parallel = \frac{\sqrt{3}Qd}{l_v l_h a_3} = 117{,}61 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} = 404{,}71 \text{ MPa} \qquad \surd$$

Ejercicio 9 (resolución paramétrica)



Fuente: Argüelles R et al, 2007

Unión articulada viga-columna mediante apoyo sobre casquillo no rigidizado

a) Punto de aplicación de la reacción R_{Sd}

a1) Según las especificaciones del AISC, la reacción R_{Sd} se propaga con un ángulo de 45º a través del ala de la viga y hacia la sección del alma donde termina el radio de acuerdo. En esta sección la tensión es uniforme de valor f_y, extendiéndose en una longitud

$$L = b/2+b/2+k = b+k$$

con $k = t_f$ (espesor ala de la viga) + r (radio de acuerdo de la transición ala-alma de la viga).

Por tanto, se debe cumplir que $R_{Sd} = (b + k)\, t_w\, f_y$

Despejando b (ancho de la distribución de tensiones de reacción en el angular) se obtiene

$$b = \frac{R_{Sd}}{t_w f_y} - k$$

Al distribuirse estas tensiones a través del ala de la viga y concentrarse sobre el angular, el punto de aplicación de R_{Sd} se sitúa en

$$e = d + b/2$$

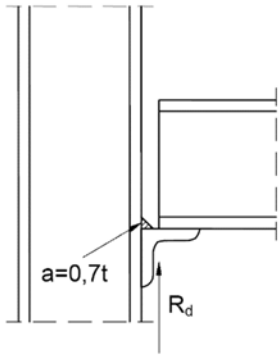
y al sustituir dentro de esta ecuación la expresión de b se obtiene

$$\boxed{e = d + \frac{R_{Sd}}{2 t_w f_y} - \frac{k}{2}}$$

Para evitar que la reacción R_{Sd} provoque una plastificación del alma de la viga bajo tensiones normales, el angular debe contar con un lado mínimo

$$\boxed{l_b \geq d + b = d + \frac{R_{Sd}}{t_w f_y} - k}$$

a2) Según el CTE DB SE-A, el punto de aplicación de R_{Sd} actúa sobre el extremo de la viga



b) <u>Comprobación a flexión del angular</u>

El cortante R_{Sd} transmitido por la viga produce un momento en la sección del angular donde empieza el radio de acuerdo igual a

$$M = R_{Sd}\,(e - t_a - r_a)$$

El módulo resistente de esa sección es

$$W = \frac{I}{t_a/2} = \frac{\frac{1}{12} b_a t_a^3}{t_a/2} = \frac{b_a t_a^2}{6}$$

La comprobación a resistencia será

$$\boxed{\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6R_{Sd}\left(e - t_a - r_a\right)}{b_a t_a^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$$

c) Comprobación a cortante del angular

El cortante transmitido por la viga R_{Sd} produce una tensión tangencial máxima en la sección del angular donde empieza el radio de acuerdo que debe cumplir

$$\boxed{\tau_{\max} = 1{,}5\frac{R_{Sd}}{b_a t_a} \le \frac{\left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}}}$$

d) Comprobación de los cordones de soldadura

d1) Como distribución de tensiones en equilibrio con el cortante R_{Sd} y con el momento $M =$ $= R_{Sd}\,e$ se puede emplear la misma del problema 2 para los cordones a_1:

$$n = \frac{M}{I}\frac{l_v}{2} = \frac{R_{Sd}e}{2\frac{1}{12}al_v^3}\frac{l_v}{2} = \frac{3R_{Sd}e}{al_v^2}$$

$$t_{||} = \frac{R_{Sd}}{2l_v a}$$

Las tensiones en el plano de la garganta resultan

$$\sigma = \frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_{\perp} = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{R_{Sd}e}{al_v^2}$$

$$\tau_{\perp} = -\frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_{\perp} = -\frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{R_{Sd}e}{al_v^2}$$

$$\tau_{||} = t_{||} = \frac{R_{Sd}}{2l_v a}$$

Aplicándose, a continuación, el criterio de agotamiento

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2\right)} \le \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\sigma \le \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

d2) CTE DB SE-A: Se considerará válido el cordón de soldadura si tiene una anchura de garganta de 0,7 veces el espesor del ala del angular.

Caso particular: Diseño de la unión a resistencia total

El cortante máximo $R_{Sd,max}$ transmitido por la viga será el cortante resistente de la sección:

$$R_{Sd,\max} = V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_V \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = ht_w \frac{f_y/1{,}05}{\sqrt{3}} = \frac{ht_w f_y}{1{,}82}$$

siendo h el canto de la sección de la viga y t_w el espesor del alma.

Sustituyendo en las expresiones de comprobación anteriores se tiene:

Ancho de la distribución de tensiones de reacción en el angular $b = \dfrac{R_{Sd,\max}}{t_w f_y} - k = \dfrac{h}{1{,}82} - k$

Punto de aplicación de $R_{Sd,max}$ $\quad e = d + \dfrac{b}{2} = d + \dfrac{h}{3{,}64} - \dfrac{k}{2}$

Lado mínimo del angular $\quad l_b \geq d + b = d + \dfrac{h}{1{,}82} - k$

Comprobación a flexión del angular $\quad 3{,}46ht_w(e - t_a - r_a) \leq b_a t_a^2$

Comprobación a cortante del angular $\quad 1{,}5ht_w \leq b_a t_a$

Comprobación de los cordones de soldadura

$$\sigma = \frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_\perp = 1{,}17\frac{ht_w e}{al_v^2} f_y$$

$$\tau_\perp = -\frac{\sqrt{2}}{2}n + \frac{\sqrt{2}}{2}t_\perp = -1{,}17\frac{ht_w e}{al_v^2} f_y$$

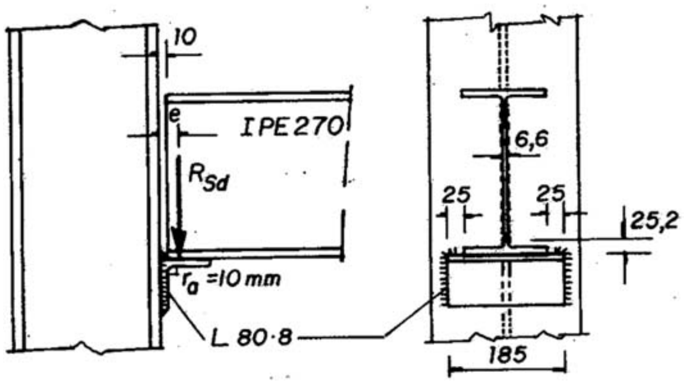
$$\tau_{||} = t_{||} = 0{,}275\frac{ht_w}{l_v a} f_y$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_{||}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Ejercicio 9 (aplicación numérica)

Comprobar el apoyo de una viga IPE 270 sobre un casquillo de angular 80×8 sin rigidizar, que ha de resistir una reacción de cálculo R_{Sd} = 70 kN. Acero S 275 JR. Cordones de soldadura con garganta de 5 mm.



Fuente: Argüelles R et al, 2007

a) Punto de aplicación de la reacción R_{Sd}

Según las especificaciones del AISC, el ancho de la distribución de tensiones de reacción en el angular es

$$b = \frac{R_{Sd}}{t_w f_y} - k = \frac{70000}{6{,}6 \cdot 275} - 25{,}2 = 13{,}37 \text{ mm}$$

El punto de aplicación de R_{Sd} se sitúa en

$$e = d + b/2 = 10 + 13{,}37/2 = 16{,}68 \text{ mm}$$

Para evitar que la reacción R_{Sd} provoque una plastificación del alma de la viga bajo tensiones normales, el angular debe contar con un lado mínimo

$$l_b = 80 \text{ mm} \geq d + b = 10 + 13{,}37 = 23{,}37 \text{ mm}$$

b) Comprobación a flexión del angular

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6R_{Sd}\left(e - t_a - r_a\right)}{b_a t_a^2} = \frac{6 \cdot 70000(16{,}68 - 8 - 10)}{185 \cdot 8^2} = -46{,}82 \text{ MPa} \qquad \surd$$

No es necesaria la comprobación al resultar σ negativa, lo que significa que la sección de comprobación (donde empieza el radio de acuerdo) se sitúa por detrás (a la derecha) de R_{Sd}.

c) <u>Comprobación a cortante del angular</u>

$$\tau_{\max} = 1{,}5\frac{R_{Sd}}{b_a t_a} = 1{,}5\frac{70000}{185\cdot 8} = 70{,}95\,\text{MPa} \le \frac{\left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{\left(275/\sqrt{3}\right)}{1{,}05} = 151{,}21\,\text{MPa} \qquad \surd$$

d) <u>Comprobación de los cordones de soldadura</u>

Las tensiones en el plano de la garganta resultan

$$\sigma = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{R_{Sd}e}{al_v^2} = \frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{70000\cdot 16{,}68}{5\cdot 80^2} = 77{,}40\,\text{MPa}$$

$$\tau_{\perp} = -\frac{3\sqrt{2}}{2}\frac{R_{Sd}e}{al_v^2} = -77{,}40\,\text{MPa}$$

$$\tau_{\|} = t_{\|} = \frac{R_{Sd}}{2l_v a} = \frac{70000}{2\cdot 80\cdot 5} = 87{,}5\,\text{MPa}$$

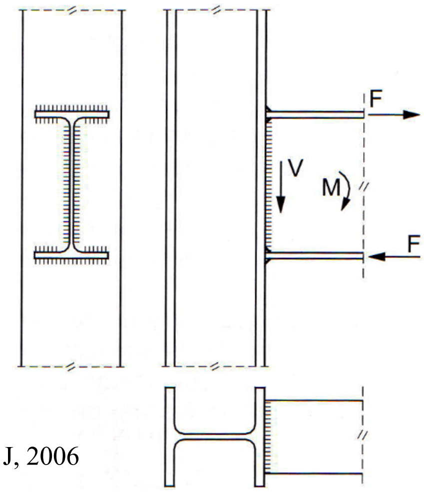
Y al aplicar el criterio de agotamiento se tiene

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\|^2\right)} = \sqrt{77{,}40^2 + 3[(-77{,}40)^2 + 87{,}5^2]} = 216{,}64 \le \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} = 404{,}71\text{ MPa}$$

$$\surd$$

$$\sigma = 77{,}40\text{ MPa} \le \frac{0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} = 309{,}60\text{ MPa}$$

Ejercicio 10 (resolución paramétrica)



Fuente: Monfort J, 2006

Unión rígida no reforzada

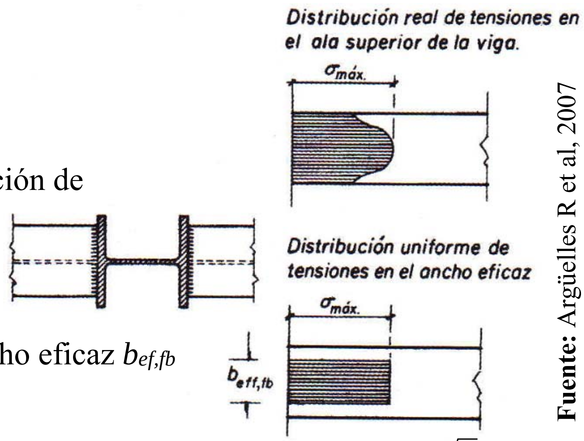
Subíndices:

b	viga
c	pilar
f	ala
w	alma

a) Zona solicitada a tracción

a1) *Comprobación del ala del pilar*

El ala traccionada de la viga presenta una distribución de tensiones no uniforme. Para abordar el problema se considera una distribución uniforme con un ancho eficaz $b_{ef,fb}$



Fuente: Argüelles R et al, 2007

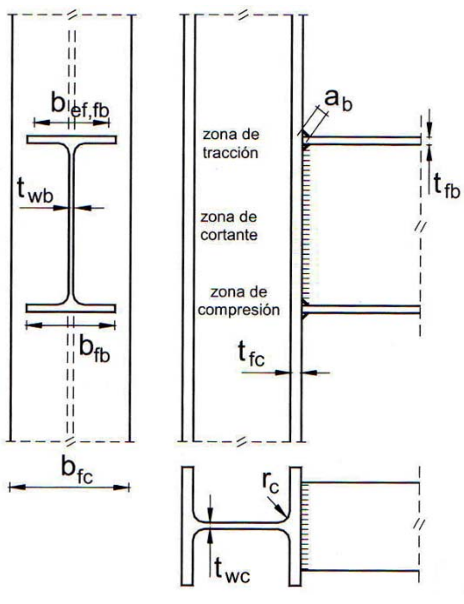
$$b_{ef,fb} = t_{wc} + 2r_c + 7\frac{f_{yc}t_{fc}^2}{f_{yb}t_{fb}} \le t_{wc} + 2r_c + 7t_{fc} \quad \text{(en pilares armados} \Rightarrow r_c = \sqrt{2}a_c\text{)}$$

La resistencia a tracción de cálculo que, como máximo, puede admitir el ala del pilar sin rigidizar, para perfiles laminados, es

$$F_{t,fc,Rd} = \frac{f_{yb}t_{fb}b_{ef,fb}}{\gamma_{M0}}$$

Si $F_{t,fc,Rd} < 0{,}7 f_{yb}t_{fb}b_{fb}/\gamma_{M0}$ (70% de la resistencia completa del ala de la viga), es decir, si

$b_{ef,fb} < 0{,}7b_{fb}$ $\Rightarrow$ La unión debe rigidizarse



Fuente: Monfort J, 2006

a2) *Soldadura unión ala viga-pilar* ⇒ Dimensionarla para la <u>resistencia completa del ala viga</u>

a3) *Comprobación a tracción transversal del alma del pìlar*

La comprobación de resistencia a la tracción transversal del alma del pilar sin rigidizar es

$$\boxed{F_{t,wc,Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}} \geq F_{t,Ed} \cong \frac{M_{b,Ed}}{z_b}}$$

siendo $b_{ef,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + r_c)$ (en pilares armados $\Rightarrow$ $r_c = \sqrt{2}a_c$)

$M_{b,Ed}$ momento de cálculo en la viga

z_b distancia entre centros de las alas de la viga

El alma se puede reforzar mediante una chapa de alma o rigidizadores.

b) <u>Zona solicitada a compresión (aplastamiento plástico del alma del pilar)</u>

La resistencia de cálculo al aplastamiento del alma del pilar sin rigidizar es

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}} \left(1{,}25 - 0{,}5 \frac{\gamma_{M0} \sigma_{n,Ed}}{f_{yc}} \right) \leq \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}}$$

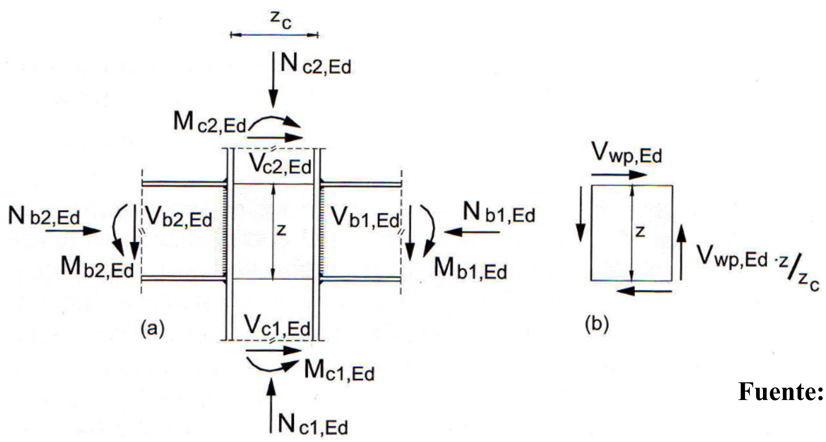
La comprobación de resistencia al aplastamiento del alma del pilar sin rigidizar es

$$\boxed{F_{c,wc,Rd} \geq F_{c,Ed} \cong \frac{M_{b,Ed}}{z_b}}$$

con $\sigma_{n,Ed}$ tensión normal de compresión en el alma del pilar debida a la flexocompresión actuante sobre él

c) <u>Zona solicitada a esfuerzo cortante</u>

La zona de cortante corresponde al recuadro del alma del soporte limitado por las cabezas de las vigas, en cuyos lados actúan las solicitaciones obtenidas al calcular la estructura



Fuente: Monfort J, 2006

c1) *Comprobación a cortante*

Por equilibrio resultan los esf. cortantes de nudo $V_{wp,Ed}$ que, para vigas de igual canto, son

$$\boxed{V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z_b} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2} \leq V_{wp,Rd} = \frac{0{,}9\, f_y A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}}$$

con $V_{wp,Rd}$ resistencia a cortante del alma no rigidizada del pilar

A_{vc} área de cortante del pilar

Si no se cumple la comprobación, puede adosarse una chapa que aumente A_{vc} en el valor $b_s t_{wc}$ (no se contará con más aumento aunque se coloque otra chapa al otro lado del alma).

c2) *Abolladura*

No se producirá abolladura si

$$\frac{d_c}{t_{wc}} < 60\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

d) <u>Interacciones con el esfuerzo cortante</u>

Cuando el cortante de nudo es importante (uniones con viga a un sólo lado, o con diferencia apreciable entre los momentos de las vigas), debe considerarse la interacción entre el cortante y los demás esfuerzos de tracción o compresión sobre el nudo, por medio de un factor ω de reducción de las resistencias $F_{t,wc,Rd}$ y $F_{c,wc,Rd}$, obtenido para cada lado de la unión mediante:

$$\boxed{\begin{array}{rcl} 0{,}5 < \beta < 1 & ; & \omega = \omega_1 + 2(1-\beta)(1-\omega_1) \\ \beta = 1 & ; & \omega = \omega_1 \\ 1 < \beta < 2 & ; & \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1) \\ \beta = 2 & ; & \omega = \omega_2 \end{array}}$$

con

$$\beta_1 = \left|\frac{M_{j,b1,Ed} - M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}}\right| \leq 2, \quad \beta_2 = \left|\frac{M_{j,b2,Ed} - M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}}\right| \leq 2$$

β_1 (lado dcho. del nudo)

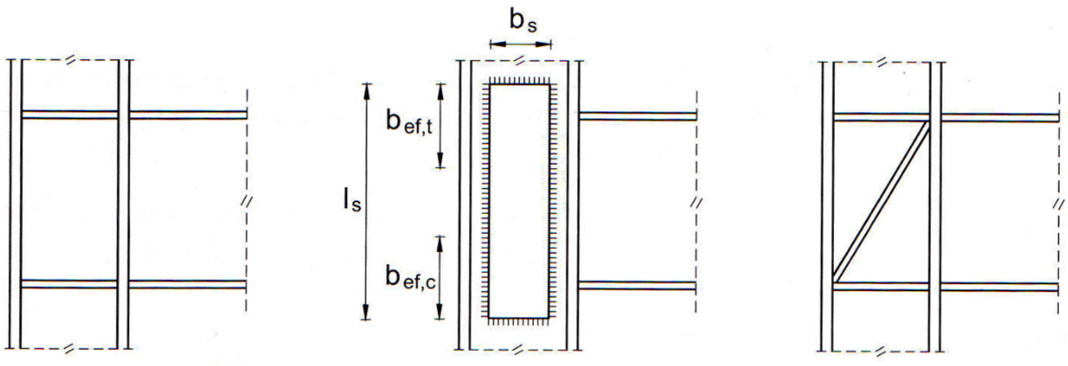
β_2 (lado izqdo. del nudo)

y siendo

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1{,}3\left(b_{ef,wc} t_{wc} / A_{vc}\right)^2}}; \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5{,}2\left(b_{ef,wc} t_{wc} / A_{vc}\right)^2}}$$

Fuente: CTE DB SE-A, 2006

Tipos de refuerzos:



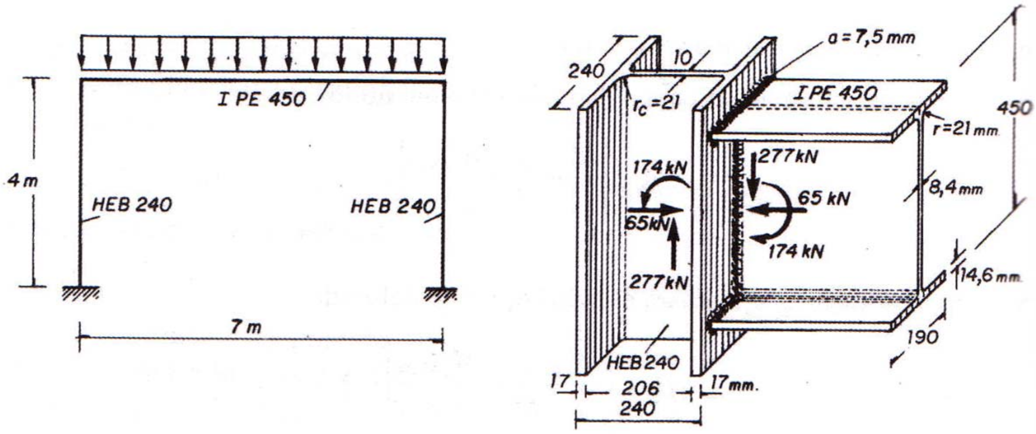
Fuente: Monfort J, 2006

Ejercicio 10 (aplicación numérica)

En el nudo del pórtico representado en la figura se presentan los siguientes esfuerzos:

Viga:	**Pilar:**
$N_{b,Ed}$ **= -65 kN**	$N_{c,Ed}$ **= -277 kN**
$V_{b,Ed}$ **= 277 kN**	$V_{c,Ed}$ **= 65 kN**
$M_{b,Ed}$ **= 174 kNm**	$M_{c,Ed}$ **= 174 kNm**

Se pide estudiar la posibilidad de realizar la unión rígida sin refuerzos. Acero S 275 JR.



Fuente: Argüelles R et al, 2007

a) Zona solicitada a tracción

a1) *Comprobación del ala del pilar*

Ancho eficaz del ala de la viga

$$b_{ef,fb} = t_{wc} + 2r_c + 7\frac{f_{yc}t_{fc}^2}{f_{yb}t_{fb}} = 10 + 2\cdot 21 + 7\frac{275\cdot 17^2}{275\cdot 14{,}6} = 190{,}56 \text{ mm}$$

pero $\qquad b_{ef,fb} \le t_{wc} + 2r_c + 7t_{fc} = 10 + 2\cdot 21 + 7\cdot 17 = 171 \text{ mm}$

luego $\qquad b_{ef,fb} = 171$ mm

Al ser $\qquad b_{ef,fb} = 171 > 0{,}7 b_{fb} = 0{,}7\cdot 190 = 133$ mm $\Rightarrow$ No es necesario rigidizar la unión

a2) *Soldadura unión ala viga-ala pilar*

Se dimensiona para asegurar la resistencia completa del ala de la viga que, por unidad de anchura, es

$$275\cdot 14{,}6/1{,}05 = 3823{,}81 \text{ N/mm}$$

La tensión normal en el plano abatido de la garganta es

$$n = 3823{,}81/2/7{,}5 = 254{,}92 \text{ MPa}$$

Las tensiones en el plano de la garganta resultan

$$\sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} n = 180{,}26 \,\text{MPa}$$
$$\tau_\perp = -\frac{\sqrt{2}}{2} n = -180{,}26 \,\text{MPa}$$
$$\tau_\| = t_\| = 0$$

Y al aplicar el criterio de agotamiento se tiene

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_\|^2\right)} = \sqrt{180{,}26^2 + 3(-180{,}26)^2} = 360{,}51 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} = 404{,}71 \text{ MPa}$$

√

$$\sigma = 180{,}26 \text{ MPa} \leq \frac{0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} = 309{,}60 \text{ MPa}$$

a3) *Comprobación a tracción transversal del alma del pìlar*

La comprobación de resistencia a la tracción transversal del alma del pilar sin rigidizar es

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}} = \frac{275 \cdot 10 \cdot 225{,}81}{1{,}05} = 591{,}41 \,\text{kN} \geq$$

$$\geq F_{t,Ed} \cong \frac{M_{b,Ed}}{z_b} = \frac{174}{(0{,}45 - 0{,}0146)} = 399{,}63 \,\text{kN}$$ √

con $b_{ef,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + r_c) = 14{,}6 + 2\sqrt{2} \cdot 7{,}5 + 5(17 + 21) = 225{,}81 \,\text{mm}$

b) <u>Zona solicitada a compresión (aplastamiento plástico del alma del pilar)</u>

La tensión normal de compresión en el alma del pilar debida a la flexocompresión actuante sobre él es

$$\sigma_{n,Ed} = \frac{N_{c,Ed}}{A} + \frac{M_{c,Ed}}{I_y} y = \frac{277000}{10600} + \frac{174 \cdot 10^6}{113 \cdot 10^6}(120 - 21 - 17) = 26{,}13 + 126{,}27 = 152{,}40 \,\text{MPa}$$

La resistencia de cálculo al aplastamiento del alma del pilar sin rigidizar es

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}} \left(1{,}25 - 0{,}5 \frac{\gamma_{M0} \sigma_{n,Ed}}{f_{yc}}\right) = \frac{275 \cdot 10 \cdot 225{,}81}{1{,}05} \left(1{,}25 - 0{,}5 \frac{1{,}05 \cdot 152{,}40}{275}\right) =$$

$$= 591407 \cdot 0{,}959 = 567{,}16 \text{ kN}$$

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}} \cdot 0{,}959 = 567{,}16 \text{ kN} \leq \frac{f_{yc} t_{wc} b_{ef,wc}}{\gamma_{M0}}$$

La comprobación de resistencia al aplastamiento del alma del pilar sin rigidizar es

$$F_{c,wc,Rd} = 567{,}16 \geq F_{c,Ed} \cong \frac{M_{b,Ed}}{z_b} = 399{,}63 \text{ kN} \qquad \surd$$

c) <u>Zona solicitada a esfuerzo cortante</u>

c1) *Comprobación a cortante*

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b,Ed}}{z_b} = \frac{174}{0{,}45 - 0{,}0146} = 399{,}63 \text{ kN} \leq$$

$$\leq V_{wp,Rd} = \frac{0{,}9 f_y A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} = \frac{0{,}9 \cdot 275 \cdot 3320}{\sqrt{3} \cdot 1{,}05} = 451{,}82 \text{ kN} \qquad \surd$$

con A_{vc} = 3320 mm^2 (HEB 240)

c2) *Abolladura*

No se producirá abolladura si

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = \frac{164}{10} = 16{,}4 < 60\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 60\sqrt{\frac{235}{275}} = 55{,}46$$

d) <u>Interacciones con el esfuerzo cortante</u>

En uniones con viga a un sólo lado debe considerarse la interacción entre el cortante y los demás esfuerzos sobre el nudo, por medio de un factor *w* de reducción de las resistencias:

Al ser $\beta_1 = 1 \;\Rightarrow\; \omega = \omega_1$ $\qquad \omega_1 = \dfrac{1}{\sqrt{1 + 1{,}3\left(b_{ef,wc} t_{wc} / A_{vc}\right)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1 + 1{,}3\left(225{,}81 \cdot 10 / 3320\right)^2}} = 0{,}79$

$$F_{t,wc,Rd} = 0{,}79 \cdot 591{,}41 = 467{,}21 \geq F_{t,Ed} = 399{,}63 \text{ kN}$$

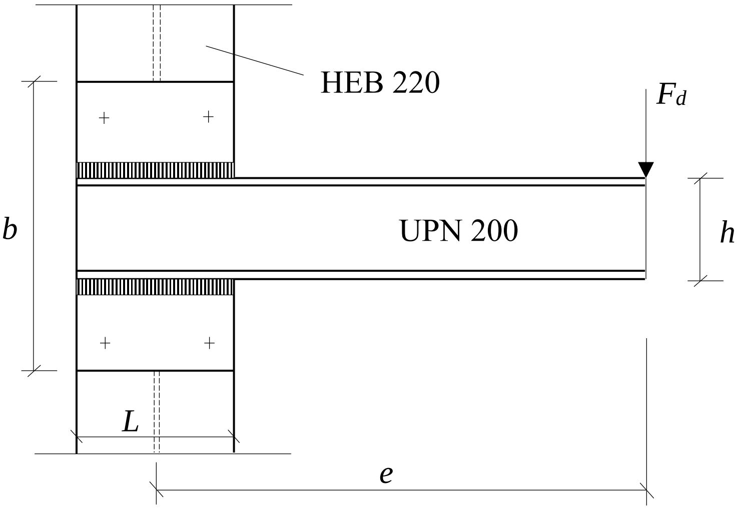
$$\surd$$

$$F_{c,wc,Rd} = 0{,}79 \cdot 567{,}16 = 448{,}06 \geq F_{c,Ed} = 399{,}63 \text{ kN}$$

Uniones soldadas. Ejercicios propuestos

Ejercicio 1

Dimensionar la unión soldada UPN-cartela de la figura.

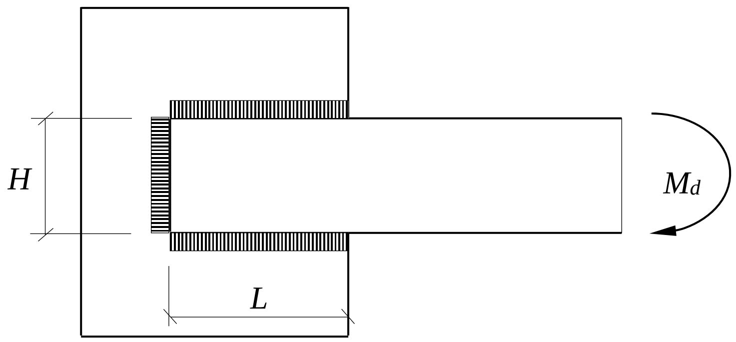


Datos:

- F_d = 50 kN
- e = 0,80 m
- Acero S 275 JR

Ejercicio 2

Dimensionar la unión soldada representada en la figura adjunta, con la condición de que el cordón vertical se encuentre solicitado.

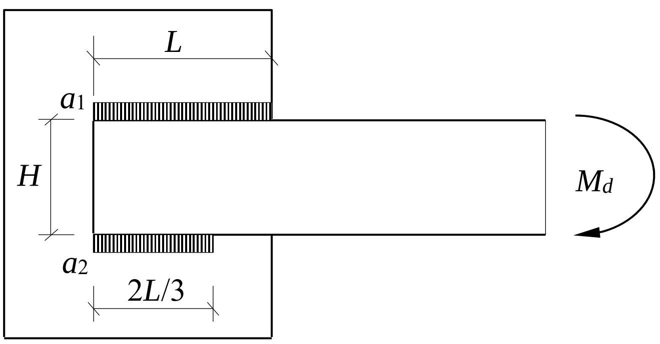


Datos:

- M_d = 50 kNm
- H = 200 mm
- L = 300 mm
- Acero S 275 JR
- Utilizar un único valor de garganta (a)

Ejercicio 3

Dimensionar la unión soldada representada en la figura adjunta.



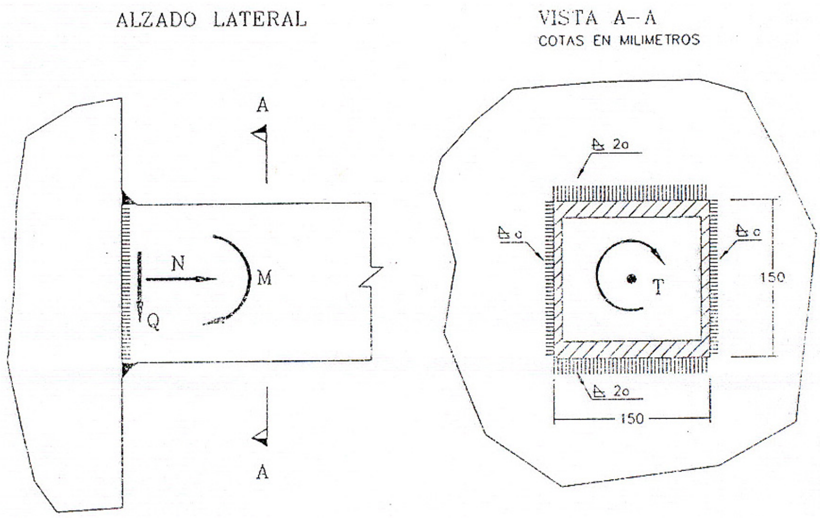
Datos:

- M_d = 50 kNm
- H = 200 mm
- L = 300 mm
- Acero S 275 JR

Ejercicio 4

Obtener una fórmula de dimensionamiento de la unión plana de la figura.

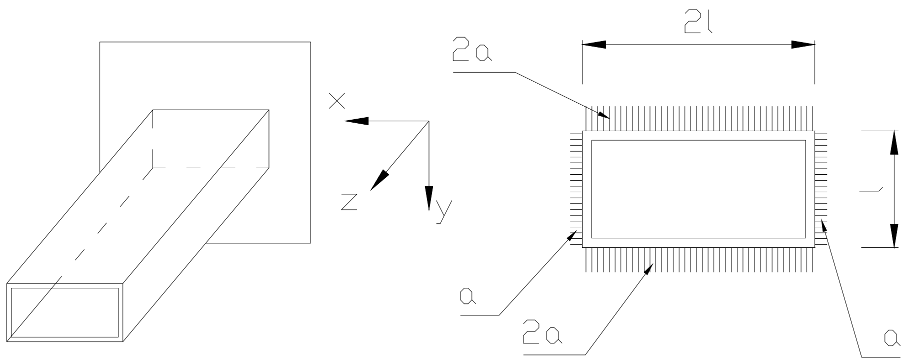
Utilizar acero S 275 JR.



Fuente: Atienza JR, 1994

Ejercicio 5

Deducir la expresión que permite dimensionar *a* para la unión soldada de la figura.



Los esfuerzos de cálculo en la sección de empotramiento son: $N, V_x, V_y, M_x, M_y, M_T$

Utilizar acero S 275 JR.