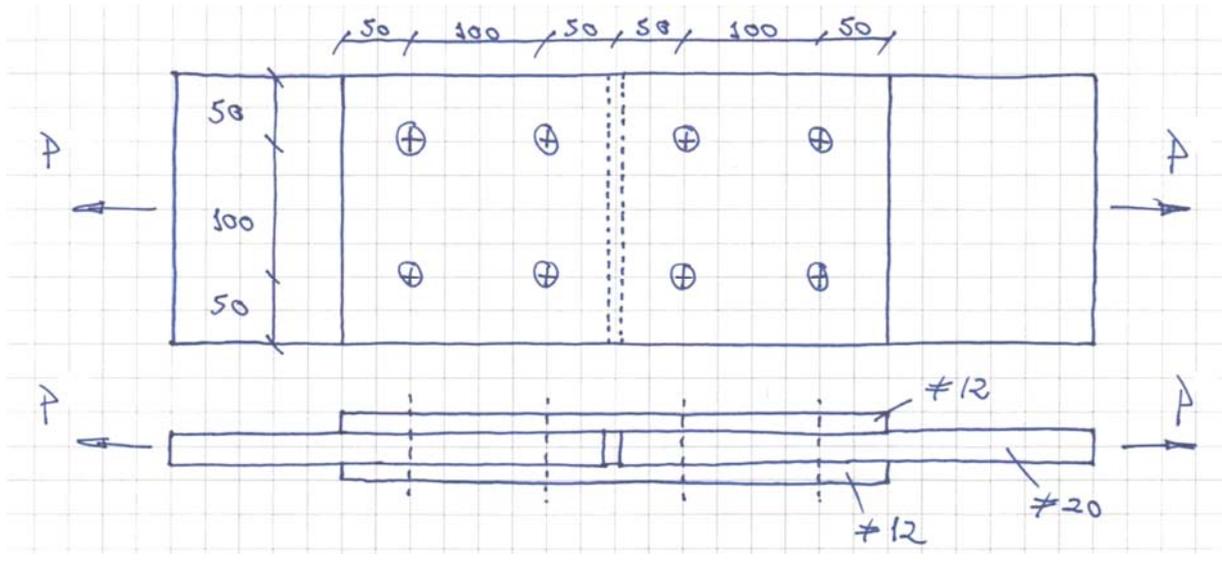


Se pretende empalmar dos chapas de acero S 355 de 20 mm de espesor mediante sendos cubrejuntas de 12 mm de espesor unidos con 8 tornillos ordinarios. Se pide:

1. Propuesta de tipos de tornillos y acero
2. Tracción máxima que puede soportar el empalme
3. Modificaciones en el empalme para que soporte 1100 kN de tracción



1) Propuesta de tipos de tornillos y acero

En el caso de chapas, el diámetro del tornillo puede estimarse de la expresión:

$$d \text{ (cm)} \approx \sqrt{5t_{\min}} - 0,2 = \sqrt{5 \cdot 1,2} - 0,2 = 2,25 \text{ cm} \Rightarrow \text{T 24}$$

Se ha de comprobar si, para este diámetro, se satisfacen las disposiciones constructivas de la figura. Para ello se identifican primero los siguientes valores:

$$e_1 = 50 \text{ mm} \quad e_2 = 50 \text{ mm} \quad p_1 = 100 \text{ mm} \quad p_2 = 100 \text{ mm}$$

Comprobaciones:

$$1,2d_o = 1,2 \cdot 26 = \underline{31,2} \leq e_1, e_2 \leq 4t + 40 = 4 \cdot 12 + 40 = \underline{88} \text{ mm}$$

$$2,2d_o = 2,2 \cdot 26 = \underline{57,2} \leq p_1 \leq \min(14t, 200) = \min(14 \cdot 12, 200) = \underline{168} \text{ mm}$$

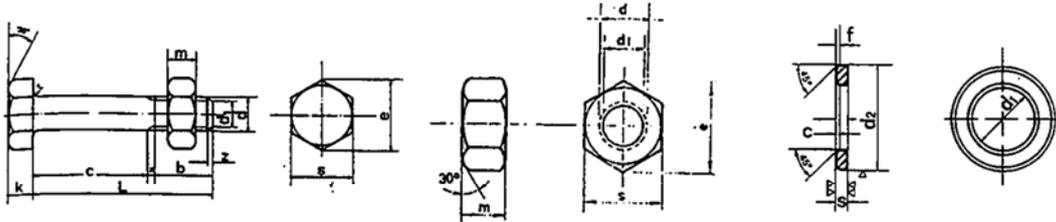
$$2,4d_o = 2,4 \cdot 26 = \underline{62,4} \leq p_2 \leq \min(14t, 200) = \min(14 \cdot 12, 200) = \underline{168} \text{ mm}$$

$$p_{1,0} \leq \min(14t, 200) = \min(14 \cdot 12, 200) = \underline{168} \text{ mm} \quad (\text{elemento a tracción, fila ext.})$$

Longitud de apretadura $f = \Sigma t_i = 12+20+12 = 44 \text{ mm}$

Prontuario CEDEX, tabla apdo. 1.8, long. apretadura 43-47 mm $\rightarrow L = 80 \text{ mm} \rightarrow \underline{\text{T 24} \times 80, 5.6}$

Tornillos ordinarios



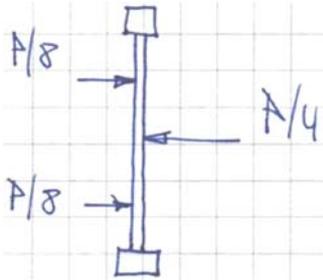
Diámetro nominal		M 10	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36
Tornillo	d	10	12	16	20	22	24	27	30	33	36
	d ₁	8,2	9,9	13,5	16,9	18,9	20,3	23,3	25,7	28,7	31,1
	b	17,5	19,5	23	25	28	29,5	32,5	35	38	40
	x	2,5	2,5	3	4	4	4,5	4,5	5	5	6
	z	1,7	2	2,5	3	3,3	4	4	5	5	6
	k	7	8	10	13	14	15	17	19	21	23
	s	17	19	24	30	32	36	41	46	50	55
	e	19,6	21,9	27,7	34,6	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5
	r	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tuerca	d ₁	8,4	10,1	13,9	17,3	19,3	20,8	23,8	26,2	29,2	31,8
	m	8	10	13	16	18	19	22	24	26	29
	e	19,6	21,9	27,7	34,6	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5
	s	17	19	24	30	32	36	41	46	50	55
Arandela	d ₁	11,5	13,5	17,5	21,5	24	26	29	32	35	38
	d ₂	21	24	30	36	40	44	50	56	60	68
Longitud del tornillo	L	Longitud de apretadura									
	30	6-10	4-8								
	35	11-15	9-13	5-9							
	40	16-20	14-18	10-14	6-10	5-9					
	45	21-25	19-23	15-19	11-15	10-14	8-12				
	50	26-30	24-28	20-24	16-20	15-19	13-17				
	55	31-35	29-33	25-29	21-25	20-24	18-22				
	60	36-40	34-38	30-34	26-30	25-29	23-27	20-24			
	65	41-45	39-43	35-39	31-35	30-34	28-32	25-29			
	70	46-50	44-48	40-44	36-40	35-39	30-37	30-34			
	75	51-55	49-53	45-49	41-45	40-44	38-42	35-39			
	80		54-58	50-54	46-50	45-49	43-47	40-44	38-42		
	85		59-63	55-59	51-55	50-54	48-52	45-49	43-47		
	90		64-68	60-64	56-60	55-59	53-57	50-54	48-52		
	95		69-73	65-69	61-65	60-64	58-62	55-59	53-57		
	100		74-78	70-74	66-70	65-69	63-67	60-64	58-62	55-59	52-56

Fuente: Rodríguez-Bolardo R *et al*, 1999

Escogiendo de esta forma la longitud del tornillo, no habrá ningún plano de corte que atraviese la zona roscada del tornillo.

2) Tracción máxima que puede soportar el empalme

2.1) Esfuerzos en los elementos de la unión



Cortante en el tornillo $F_{v,Ed} = P/4$ (con $n = 2$ planos de corte)

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

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

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

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

2.2) Resistencia de los elementos de la unión

2.2.1) Aplastamiento

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5) = \min(2,8 \cdot 50/26 - 1,7; 1,4 \cdot 100/26 - 1,7; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 1/4; f_{ub}/f_u; 1) = \min[50/(3 \cdot 26); 100/(3 \cdot 26) - 1/4; 500/490; 1] = 0,64$$

Chapa $\neq 20$ $F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,64 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 20 / 1,25 = 301,06 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_{\max} = 4 \cdot 301,06 = \underline{1204,22 \text{ kN}}$$

Chapa $\neq 12$ $F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,64 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 12 / 1,25 = 180,63 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_{\max} = 8 \cdot 180,63 = \underline{1445,07 \text{ kN}}$$

2.2.2) Desgarro en chapas (solo fallo por tracción, no por cortante)

$$A_{nt} = l t_p - n d_o t_p = 200 \cdot 12 - 2 \cdot 26 \cdot 12 = 1776 \text{ mm}^2 \quad (\neq 12)$$

$$= 200 \cdot 20 - 2 \cdot 26 \cdot 20 = 2960 \text{ mm}^2 \quad (\neq 20)$$

$$f_{ud} = f_u / \gamma_{M2} = 490 / 1,25 = 392 \text{ MPa}$$

Resistencia chapa $\neq 12$ $V_{eff,1,Rd} = A_{nt} f_{ud} = 1776 \cdot 392 = 696,19 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_{\max} = 2 \cdot 696,19 = \underline{1392,38 \text{ kN}}$$

Resistencia chapa $\neq 20$ $V_{eff,1,Rd} = A_{nt} f_{ud} = 2960 \cdot 392 = 1160,32 \text{ kN}$

$$\rightarrow P_{\max} = 1 \cdot 1160,32 = \underline{1160,32 \text{ kN}}$$

2.2.3) Agotamiento del tornillo por cortante

$$A = A_d = \pi 24^2/4 = 452,39 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{ub} A n / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 500 \cdot 452,39 \cdot 2 / 1,25 = 217,15 \text{ kN}$$

En uniones largas es necesario reducir $F_{v,Rd}$ si $L_j > 15d$ (CE, apdo. 3.8):

$$L_j = 100 \text{ mm} < 15d = 15 \cdot 24 = 360 \text{ mm} \rightarrow \text{No es necesario reducir } F_{v,Rd}$$

Por tanto, la tracción máxima que puede soportar el empalme resulta:

$$P_{\max} = 4 \cdot 217,15 = \underline{868,60 \text{ kN}}$$

3) Modificaciones en el empalme para que soporte 1100 kN de tracción

Como el fallo del empalme aparecería por la resistencia a cortante del tornillo, puede reducirse el esfuerzo de corte aumentando el número de tornillos. Manteniendo las mismas disposiciones constructivas, habría que aumentar las dimensiones de los cubrejuntas.

El número n de tornillos necesario sería:

$$n T = P / F_{v,Rd} = 1100 / 217,15 = 5,07 \rightarrow \underline{n = 6} \rightarrow P_{\max} = 6 \cdot 217,15 = \underline{1302,90 \text{ kN}}$$

$$L_j = 200 \text{ mm} < 15d = 15 \cdot 24 = 360 \text{ mm} \rightarrow \text{No es necesario reducir } F_{v,Rd}$$

Ahora la tracción máxima que puede soportar el empalme sería la ocasionada por la resistencia de la chapa $\neq 20$ a tracción (1160,32 kN).

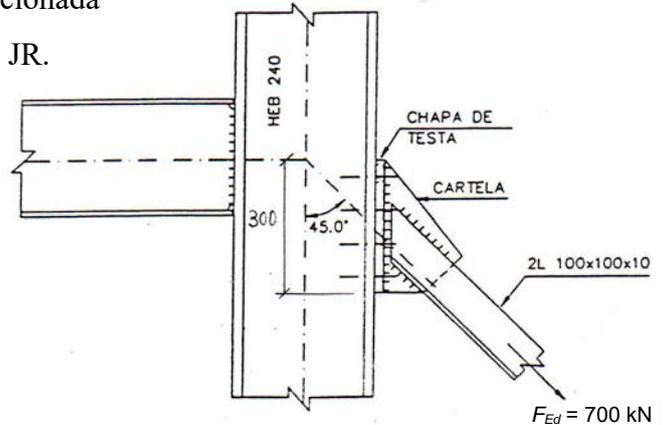
Uniones atornilladas. Ejercicios propuestos

Ejercicio 1 (unión pretensada a tracción centrada y cortante centrado)

En la figura se representa el anclaje de una barra traccionada en un nudo de una estructura aporricada, acero S 275 JR.

Se pide:

- Describir el mecanismo resistente
- Dimensionar la cartela
- Dimensionar la unión pretensada de la chapa de testa al pilar
- Dimensionar la chapa de testa

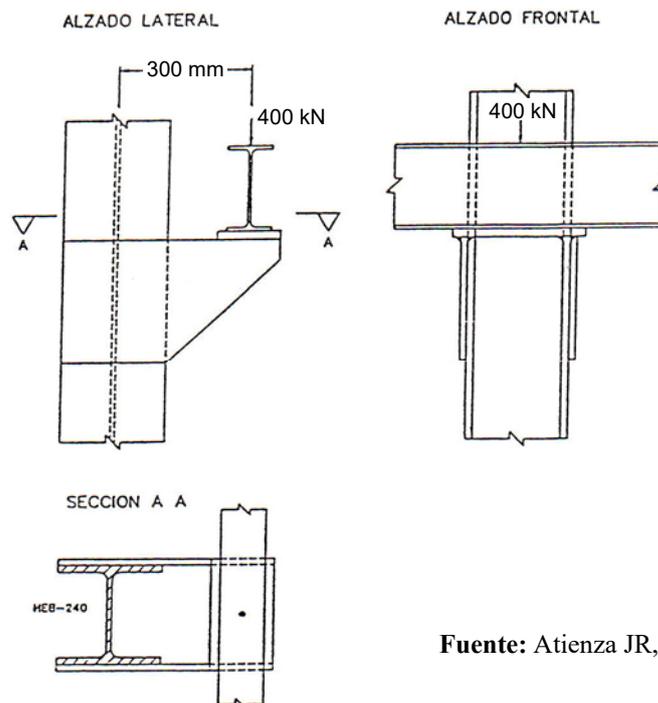


Fuente: Atienza JR, 1992

Ejercicio 2 (unión pretensada a cortante excéntrico)

Dimensionar la conexión atornillada de la figura mediante tornillos pretensados, entre el perfil HEB 240 y las cartelas en acero S 275 JR, de modo que se transmita la acción mayorada indicada. Si hubiera que tratar las superficies de contacto entre chapas, sólo se permite limpiarlas por cepillado o flameo.

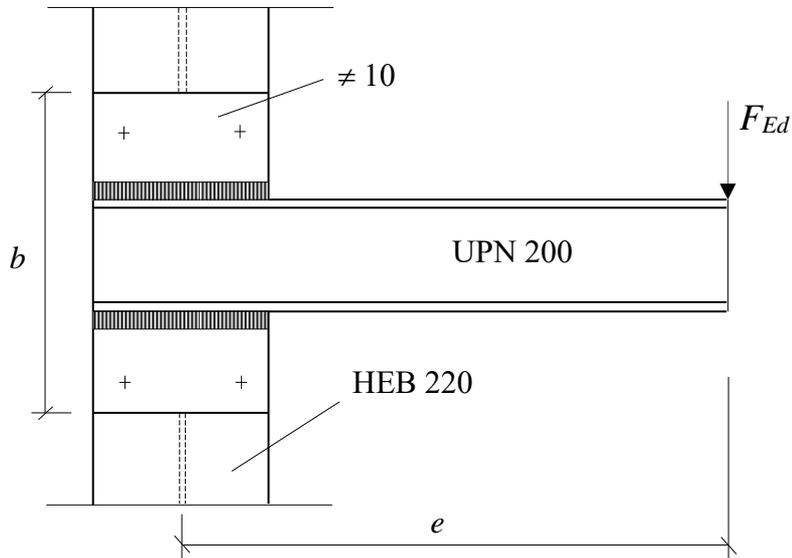
Determinar el diámetro de los tornillos, su ubicación y las dimensiones de las cartelas.



Fuente: Atienza JR, 1991

Ejercicio 3 (unión no pretensada a cortante excéntrico)

Proyectar la unión atornillada cartela-soporte de la figura mediante tornillos ordinarios.



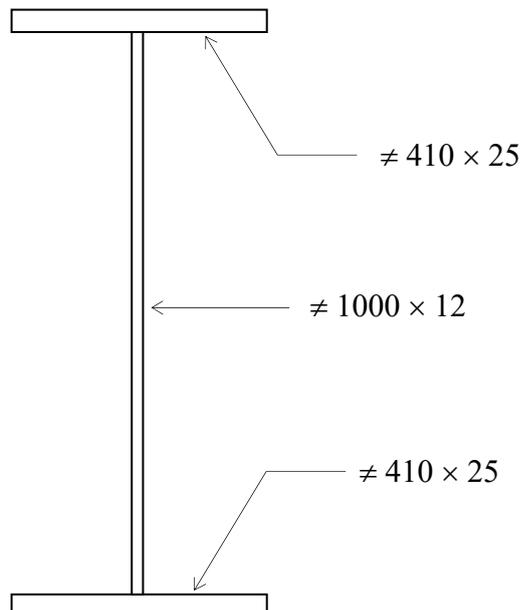
Datos:

- $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$
- $e = 0,80 \text{ m}$
- Acero S 275 JR en chapas y perfiles
- Acero 5.6 en tornillos ordinarios

Ejercicio 4 (empalme no pretensado, momento flector y cortante en la viga)

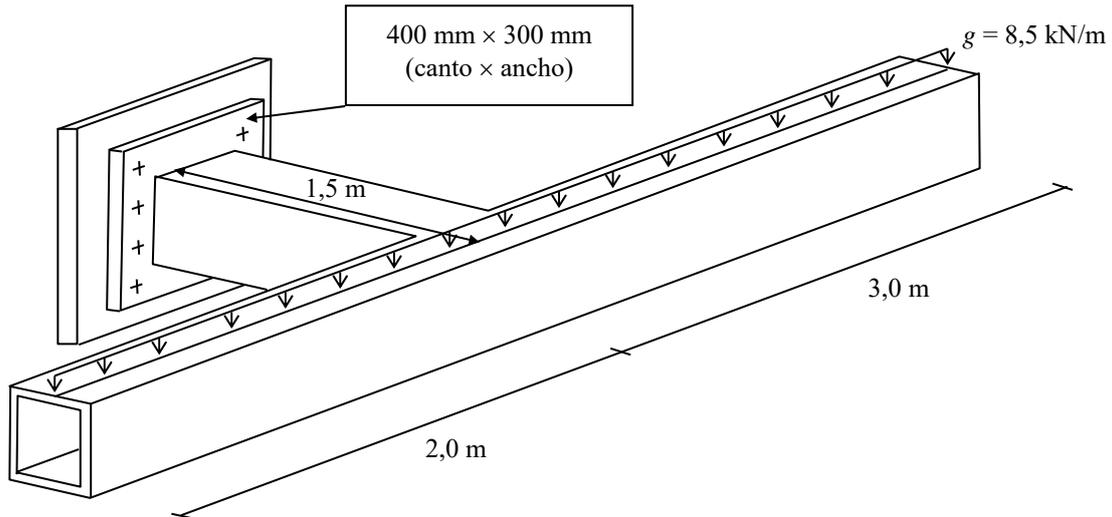
Proyectar el empalme de la viga armada cuya sección se adjunta, empleando tornillos T20 con acero de clase 5.6 y cubrejuntas a ambos lados de cada ala y del alma.

La viga es de acero S 275 JR y la sección de empalme está sometida a un flector de cálculo $M_{Ed} = 0,8M_{el,Rd}$ y a un cortante de cálculo $V_{Ed} = 0,2V_{pl,Rd}$, siendo $M_{el,Rd}$ el momento resistente elástico de la sección y $V_{pl,Rd}$ el cortante resistente plástico de la sección.



Ejercicio 5 (unión pretensada a momento flector y cortante excéntrico)

Diseñar, mediante 8 tornillos pretensados, la unión de la pieza con sección en cajón y planta en T a la placa frontal, teniendo en cuenta las dimensiones y la acción permanente característica indicadas en la figura. Se desea conocer el diámetro y disposición de los tornillos y el espesor de la placa de 400×300 mm.



Se propone la siguiente secuencia en el diseño:

- 1) Obtención de esfuerzos que solicitan la unión
- 2) Propuesta de disposición de los tornillos
- 3) Obtención de los esfuerzos en los elementos de la unión
- 4) Dimensionamiento de los tornillos y del espesor de la placa
- 5) Comprobar las disposiciones constructivas y actuar en consecuencia

Datos:

- Acero S 275 JR en chapas y perfiles
- Acero de clase 10.9 en tornillos
- Coeficiente de rozamiento entre chapas $\mu = 0,50$