

EJEMPLO Nº 5

Viga reticulada "multiplano" de tubos circulares con costura. Uniones directas de barras de alma a cordones.

Aplicación Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9.

Enunciado

Dimensionar la viga V_1 de la estructura indicada en la Figura **Ej.5-1**. Las vigas V_1 soportan un piso de losetas de H^o A^o prefabricadas que es rígido en su plano. El destino del entrepiso es oficinas.

Acero del tubo circular:

s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 **TE 22** $F_y = 216 \text{ MPa}$ $F_u = 363 \text{ MPa}$

(A) ANÁLISIS DE CARGA

- **Carga permanente** (por m^2):

loseta	$0,04 \times 1 \times 1 \times 24 \text{ kN/m}^3 =$	$0,96 \text{ kN}$
mortero	$0,02 \times 1 \times 1 \times 21 \text{ kN/m}^3 =$	$0,42 \text{ kN}$
piso linóleo =	<u>$0,05 \text{ kN}$</u>
total	g	= $1,43 \text{ kN/ m}^2$

por viga	de g	$1,43 \text{ kN/m}^2 \times 1,40 \text{ m} =$	$2,00 \text{ kN/m}$
peso propio viga			<u>$0,35 \text{ kN/m}$</u>
	D		= $2,35 \text{ kN/m}$

Carga por nudo en vista $D_2 = 0,80 \text{ m} \times 2,35 \text{ kN/m} = 1,88 \text{ kN}$ $D_1 = D_2/2 = 0,94 \text{ kN}$

- **Sobrecarga:**

de oficina = $2,5 \text{ kN/m}^2$

por viga **L** = $2,5 \times 1,40 = 3,5 \text{ kN/m}$

Carga por nudo en vista $L_2 = 0,80 \text{ m} \times 3,5 \text{ kN/m} = 2,8 \text{ kN}$
 $L_1 = L_2/2 = 1,40 \text{ kN}$

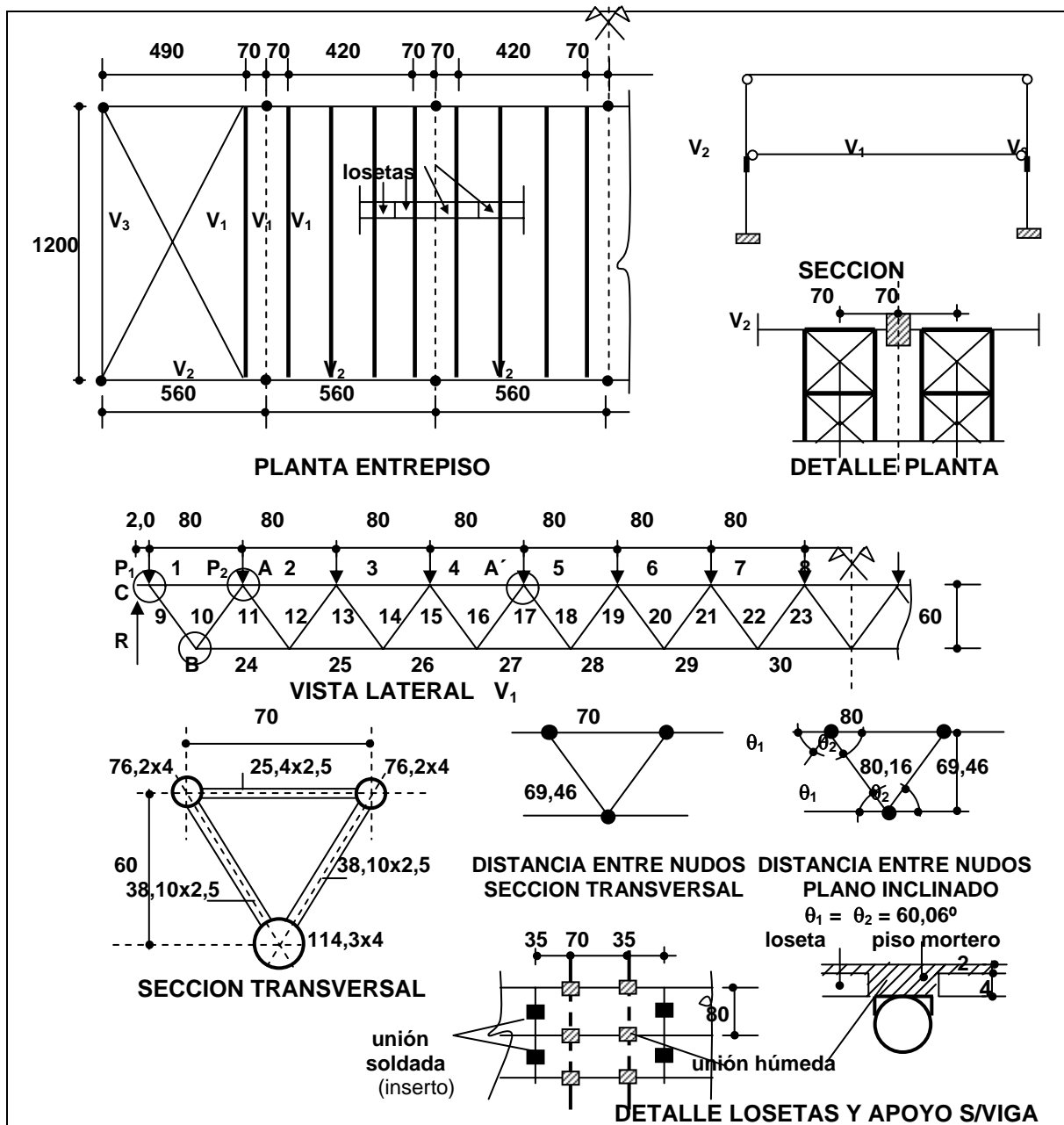


Figura Ej. 5-1. Viga reticulada "multiplano" de tubos circulares con costura.

(B) COMBINACIÓN DE ACCIONES

Combinación crítica: $1,2 D + 1,6 L$

Carga última por nudo en vista: $P_{u2} = 1,2 \times 1,88 + 1,6 \times 2,8 = 6,736 \text{ kN}$

$$P_{u1} = P_{u2} / 2 = 3,368 \text{ kN}$$

Carga última por nudo en cordón superior:

$$P'_{u2} = 6,736/2 = 3,368 \text{ kN}$$

$$P'_{u1} = P'_{u2}/2 = 1,684 \text{ kN}$$

Carga última distribuida en cordón superior = $P'_{u2}/0,80 = 3,368/0,8 = 4,21 \text{ kN/m}$

(C) SOLICITACIONES REQUERIDAS

$$R_u = 50,52 \text{ kN}$$

$$R_u/\text{cordon sup} = R_u/2 = 25,26 \text{ kN}$$

Solicitaciones requeridas en barras

Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN	Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN	Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN
1	-15,72	0,51 / 0,41	2,84	24	+ 62,9	-	-	9-10	± 31,5	-	-
2	-44,91	0,41 / 0,18	1,96	25	+116,8	-	-	11-12	± 27,0	-	-
3	-69,61	0,18 / 0,24	1,76	26	+161,7	-	-	13-14	± 22,5	-	-
4	-89,81	0,24 / 0,23	1,70	27	+197,6	-	-	15-16	± 18,0	-	-
5	-105,6	0,23 / 0,23	1,684	28	+224,6	-	-	17-18	± 13,5	-	-
6	-116,8	0,23 / 0,23	1,684	29	+242,5	-	-	19-20	± 9	-	-
7	-123,5	0,23 / 0,23	1,684	30	+251,5	-	-	21-22	± 4,5	-	-
8	-125,8	0,23 / 0,23	1,684					23	0,0	-	-

(D) DIMENSIONADO CORDÓN INFERIOR

Barras traccionadas (Sección 3.1.)

Barra 30 $P_u = + 251,5 \text{ kN}$

Por ser cordón continuo el estado límite determinante es la fluencia en la sección bruta

De expresión (3.1-1):

$$A_{gnec} = 10 P_u / \phi_t F_y = 10 \times 251,5 / 0,9 \times 216 = 12,94 \text{ cm}^2$$

Se adopta:

$$\phi 114,3 \times 4$$

$$A_g = 13,86 \text{ cm}^2 > 12,94 \text{ cm}^2 = A_{gnec}$$

$$r = 3,902 \text{ cm}$$

(E) DIMENSIONADO CORDÓN SUPERIOR

- Barra más solicitada:

Barra 8

$$P_u = -125,8 \text{ kN (compresión)} \quad M_u = 0,23 \text{ kNm} \quad V_u = 1,684 \text{ kN}$$

Se adopta:

$$\begin{aligned} \phi &= 76,2 \times 4 \\ A_g &= 9,073 \text{ cm}^2 \\ r &= 2,557 \text{ cm} \\ S &= 15,565 \text{ cm}^3 \\ Z &= 20,873 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Resistencia de diseño a compresión (Sección 4.2.)

En el plano: $L = 80 \text{ cm}$ $k = 1$ $\lambda = 80/2,557 = 31,3$

$$\lambda_c = \frac{31,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{31,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{216}{200000}} = 0,33 \quad (\text{Exp. 4.2-4})$$

Esbeltez local (Caso 1a, Tabla 2.2-1)

$$\lambda = D/t = 7,62/0,4 = 19,05 < \lambda_r = 0,114(E/F_y) = 0,114(200000/216) = 105,6 \Rightarrow Q = 1$$

$$\text{Para: } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,33^2}) \times 216 = 206,3 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$$

$$R_d = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,85 \times 206,3 \times 9,073 \times 0,1 = 159,1 \text{ kN}$$

- Resistencia de diseño a flexión (Sección 5.1.)

Pandeo local (Caso 1b, Tabla 2.2-1):

$$\lambda = D/t = 7,62/0,4 = 19,05 < \lambda_p = 0,071(E/F_y) = 0,071(200000/216) = 65,74$$

Luego: aplicable sólo estado límite de plastificación

$$M_d = \phi_b M_p = \phi_b F_y Z (10)^{-3} = 0,9 \times 216 \times 20,873 \times 0,001 = 4,058 \text{ kNm}$$

- Interacción axil y flexión (Sección 7.1.)

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} = \frac{125,8}{159,1} = 0,79 > 0,2$$

Luego
$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp.7.1.-1})$$

$$\frac{125,8}{159,1} + \frac{8}{9} \left[\frac{0,23}{4,058} \right] = 0,84 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

• **Verificación en apoyo:**

$$M_u = 0,02 \times R_{uc, sup} = 0,02 \times 25,26 \text{ kN} = \mathbf{0,51 \text{ kNm}} \quad V_u = \mathbf{25,26 \text{ kN}}$$

- a flexión $M_d = \mathbf{4,058 \text{ kNm}} > M_u = 0,51 \text{ kNm} \quad \text{VERIFICA}$

- a corte (Sección 5.2.)

Por ser voladizo se adopta $L = 2L_v \ 2 \times 2 = 4 \text{ cm}$

$$L/D = 4/7,62 = 0,52 < \frac{3,2(E/F_y)^2}{(D/t)^{2,5}} = \frac{3,2(200000/216)^2}{(7,62/0,4)^{2,5}} = 1732$$

$$\lambda = 19,05 \leq \lambda_r = 287$$

$$V_d = \phi_v \ 0,3 F_y A_g (10)^{-1} \quad \phi_v = 0,9 \quad (\text{Exp. 5.2-2})$$

$$V_d = 0,9 \times 0,3 \times 216 \times 9,073 \times 0,1 = \mathbf{52,91 \text{ kN}} > V_u = 25,26 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(F) DIAGONALES

Barra 10 $P_u = - \mathbf{31,50 \text{ kN}}$ (compresión)

Se adopta $\phi \mathbf{38,10 \times 2,5} \quad A_g = \mathbf{2,796 \text{ cm}^2} \quad r = \mathbf{1,262 \text{ cm}}$

- **Resistencia de diseño a compresión (Sección 4.2.)**

En el plano $L = 80,16 \text{ cm} \quad k = 0,75 \quad \lambda = 0,75 \times 80,16 / 1,262 = 47,7$

$$\lambda_c = \frac{47,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{47,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{216}{200000}} = 0,50 \quad (\text{Exp. 4.2-4})$$

Esbeltez local (Caso 1a, Tabla 2.2-1)

$$\lambda = D/t = 3,81/0,25 = 15,24 < \lambda_r = 0,114(E/F_y) = 0,114(200000/216) = 105,6 \Rightarrow \mathbf{Q = 1}$$

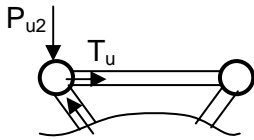
Para:

$$\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q/\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,50^2}) \times 216 = 194,5 \text{ MPa} \quad (\text{Exp.4.2-2})$$

$$R_d = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,85 \times 194,5 \times 2,796 \times 0,1 = 46,22 \text{ kN} > 31,50 \text{ kN}$$

VERIFICA

(G) MONTANTE HORIZONTAL



$$\text{Tracción } T_u = P_{u2} \cdot (35/60) = 3,368 \times (35/60) = + 1,97 \text{ kN}$$

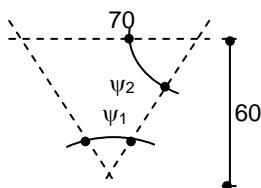
Se adopta ϕ 25,4x2,5 $A_g = 1,799 \text{ cm}^2$

Barra traccionada. (Sección 3.1.)

$$R_d = \phi_t F_y A_g (10)^{-1} = 0,9 \times 216 \times 1,799 \times 0,1 = 34,97 \text{ kN} > 1,97 \text{ kN} = T_u \quad \text{VERIFICA}$$

(H) NUDOS SOLDADOS . RESISTENCIAS DE DISEÑO

- Verificación campo de validez nudos multiplano (Tabla 9.4-5, Nudo K-K, Nudo T)



$$\psi_1 = [\text{arc tg } (35/60)] \times 2 = 60,51^\circ > 60^\circ$$

VERIFICA

$$\psi_2 = [\text{arc tg } (60/35)] = 59,75^\circ \cong 60^\circ$$

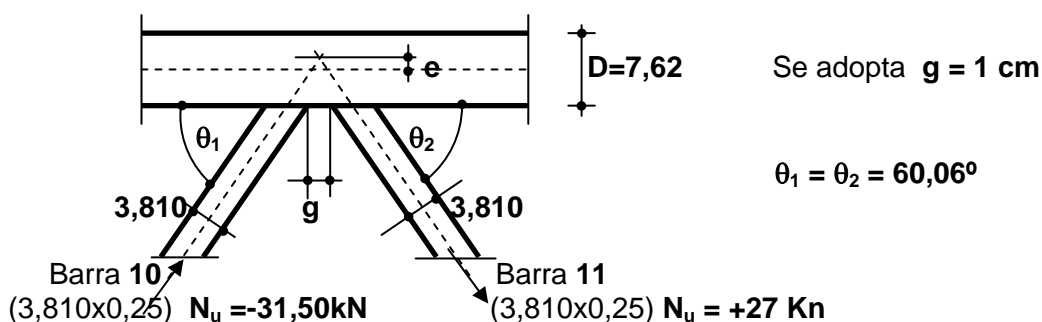
VERIFICA

(H.1.) NUDO A - NUDO A' (Sección 9.4-2)

(1) Cordón superior con diagonales (Plano inclinado)

Se adopta nudo K con espaciamento:

$$g_{\min} = t_{b1} + t_{b2} = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ cm}$$



La excentricidad e es:

$$e = \left(\frac{D_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{D_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{D}{2}$$

$$e = \left(\frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + \frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + 1,0 \right) \frac{\text{sen}^2 60,06}{\text{sen}(2 \times 60,06)} - \frac{7,62}{2} = \mathbf{0,875 \text{ cm}} \text{ (positiva)}$$

Se verifica $-0,55 \leq \frac{e}{D} \leq 0,25$ $-0,55 < 0,875/7,62 = 0,115 < 0,25$ **VERIFICA**

Por la excentricidad se genera un momento en el nudo $M_n = (P_o - P_{op}) e$ (ver la Figura 9.4-2).

Lo mismo ocurre en todos los nudos del cordón superior. Según la Sección 9.3.4. (Tabla 9.3-1) se pueden distribuir entre las barras concurrentes y deberán ser considerados para el dimensionado de los cordones comprimidos. Dado la mayor rigidez del cordón con respecto a las diagonales se puede distribuir el Momento M_n entre las dos barras del cordón en partes iguales. Se debería verificar la barra 8 con el incremento de momento flexor generado por la excentricidad. Del análisis estructural para las barras 7 y 8:

$$P_o = 123,5 \text{ kN} \quad P_{op} = 125,8 \text{ kN} \quad M_n = (125,8 - 123,5) \times 0,00875 = 0,02 \text{ kNm}$$

En cada barra del cordón comprimido $M_{ad} = M_n/2 = 0,02/2 = 0,01 \text{ kNm}$ (**despreciable**)

- **Verificación de otras especificaciones generales** para el nudo. (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 60,06^\circ > 30^\circ \quad \text{ángulo entre barras adyacentes} = 59,88^\circ > 30^\circ$$

$$g = 1,0 \text{ cm} > 0,25 + 0,25 = 0,50 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2} \quad \mathbf{VERIFICAN}$$

- **Verificación del campo de validez** (Tabla 9.4-1, nudo K con espaciamiento)

$$\beta_1 = \beta_2 = D_{b1}/D = 3,81/7,62 = 0,50 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,50 < 1,0 \quad \mathbf{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 t_{b1} = 3,81/2 \times 0,25 = 7,62 \quad 5 < D_{b1}/2 t_{b1} = 7,62 < 25 \quad \mathbf{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 7,62 / 2 \times 0,4 = 9,525 \quad 5 < \gamma = 9,525 < 25 \quad \mathbf{VERIFICA}$$

- **Resistencia de diseño axil de nudo** (Tabla 9.4-2, nudo K con espaciamiento)

Precompresión de barra en Nudo A:

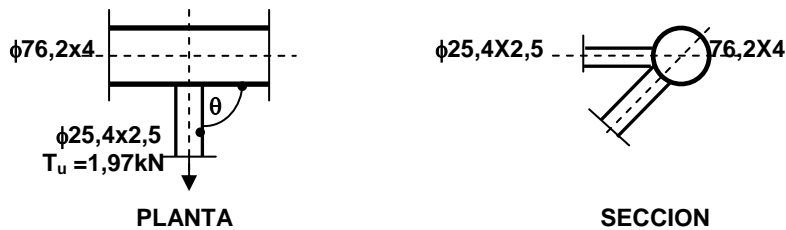
$$P_{op} = 15,72 \text{ kN} \quad M_o = 0,41 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 \cdot M_o / S_o) = 10 \times 15,72 / 9,073 + 1000 \times 0,41 / 15,565 = 43,70 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 43,70 / 216 = 0,21 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,21 (1 + 0,21) = \mathbf{0,924}$$

(2) Cordón superior con montante (Plano horizontal)

Nudo T



• Verificación de las especificaciones generales para el nudo (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 90^\circ > 30^\circ \quad \text{VERIFICAN}$$

• Verificación del campo de validez (Tabla 9.4-1, nudo T)

$$\beta_1 = D_{b1}/D = 2,54/7,62 = 0,33 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,33 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 t_{b1} = 2,54/2 \times 0,25 = 5,08 \quad 5 < D_{b1}/2 t_{b1} = 5,08 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 7,62 / 2 \times 0,4 = 9,525 \quad 5 < \gamma = 9,525 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

• Resistencia de diseño axil de nudo (Tabla 9.4-2, nudo T)

Precompresión: La mayor se da en el nudo entre barras 7 y 8

$$P_{op} = 123,5 \text{ kN} \quad M_o = 0,23 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o) = 10 \times 123,5 / 9,073 + 1000 \times 0,23 / 15,565 = 150,89 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 150,89 / 216 = 0,70 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,70 (1 + 0,70) = 0,643$$

- Estado límite de plastificación del cordón

$$P_{dn1} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (2,66 + 13,49 \beta^2) \cdot \gamma^{0,2} \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-4})$$

$$\text{Nudo Plano} \quad P_{dn1} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 90^\circ} \cdot (2,66 + 13,49 \times 0,33^2) \times 9,525^{0,2} \times 0,643 = 14,40 \text{ kN}$$

- Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 2,54 \text{ m} < D - 2 t = 7,62 - 2 \times 0,4 = 6,82 \text{ cm}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-9})$$

Para nudo **Plano** $P_{dni} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \times \pi \times 2,54 \times \left[\frac{1 + \sin 90^\circ}{2 \sin^2 90^\circ} \right] = 39,30 \text{ kN}$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

Resistencia de diseño axil de nudo Plano $P_{dn1} = 14,40 \text{ kN}$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (14,40 kN < 34,97 kN)

(3) Nudos multiplano (Tabla 9.4-5)

Los nudos del **Cordón superior** son nudos multiplanos donde en un plano es nudo **K con espaciamiento** (diagonales y cordón) y en el otro nudo **T** (montante horizontal y cordón).

Conservadoramente se adopta el factor de corrección C_{dm} correspondiente a los dos planos con nudos **K**.

Las resistencias de diseño de nudo para los nudos multiplano resultan:

$$P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d1} \quad \text{con} \quad C_{mp} = 0,9$$

- Nudos **A** y **A'** (diagonal)

Para nudo A $P_{d1m} = 0,9 \times 44,99 = 40,49 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 10)} = - 31,5 \text{ kN}$ **VERIFICA**

Para nudo A' $P_{d1m} = 0,9 \times 36,80 = 33,12 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 16)} = - 18,0 \text{ kN}$ **VERIFICA**

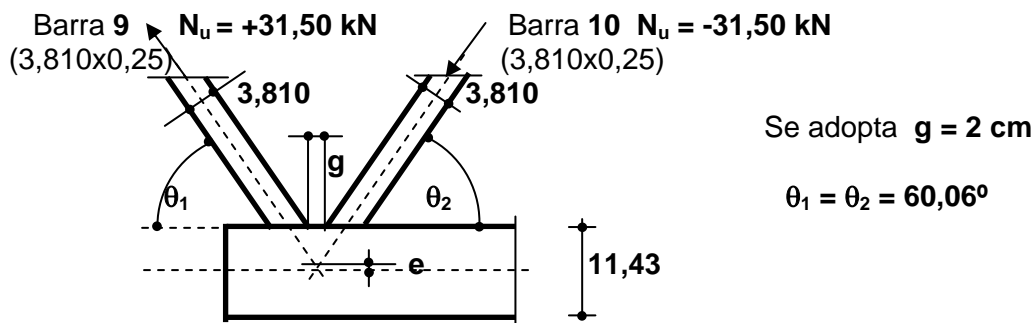
- Para todos los nudos para el **montante**

$P_{d1m} = 0,9 \times 14,40 = 12,96 \text{ kN} > P_u \text{ (montante)} = +1,97 \text{ k}$ **VERIFICA**

(H.2.) NUDO B (Cordón inferior con diagonales) (Sección 9.4-2)

En ambos planos se adopta nudo **K con espaciamiento**:

$$g_{min} = t_{b1} + t_{b2} = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ cm}$$



La excentricidad e es:

$$e = \left(\frac{D_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{D_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{D}{2}$$

$$e = \left(\frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + \frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + 2,0 \right) \frac{\text{sen}^2 60,06}{\text{sen}(2 \times 60,06)} - \frac{11,43}{2} = -0,16 \text{ cm (negativa)}$$

Se verifica:

$$-0,55 \leq \frac{e}{D} \leq 0,25$$

$$-0,55 < -0,16/11,43 = -0,014 < 0,25 \quad \text{VERIFICA}$$

Según la Sección 9.3.4. (Tabla 9.3-1) no es necesario considerar el momento para el dimensionado del cordón traccionado.

• **Verificación de otras especificaciones generales para el nudo** (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 60,06^\circ > 30^\circ \quad \text{ángulo entre barras adyacentes} = 59,88^\circ > 30^\circ$$

$$g = 2,0 \text{ cm} > 0,25 + 0,25 = 0,50 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2} \quad \text{VERIFICAN}$$

• **Verificación del campo de validez** (Tabla 9.4-1, nudo K con espaciamento)

$$\beta_1 = \beta_2 = D_{b1}/D = 3,81/11,43 = 0,333 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,333 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 \cdot t_{b1} = 3,81/2 \times 0,25 = 7,62 \quad 5 < D_{b1}/2 \cdot t_{b1} = 7,62 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 11,43 / 2 \times 0,4 = 14,2875 \quad 5 < \gamma = 14,2875 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

• **Resistencia de diseño axil de nudo** (Tabla 9.4-2, nudo K con espaciamento)

- Estado límite de plastificación del cordón:

$k_p = 1$ (Cordón traccionado)

$$k_g = \gamma^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{e^{(0,5g/t-1,33)} + 1} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-11})$$

$$k_g = 14,2875^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \times 14,2875^{1,2}}{e^{(0,5 \times 2/0,4-1,33)} + 1} \right] = 1,9374$$

$$P_{dn2} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (1,71 + 9,69 \frac{D_{b1}}{D}) \cdot k_g \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-7})$$

Nudo **B (Plano)** $P_{dn2} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 60,06^\circ} \cdot (1,71 + 9,69 \frac{3,81}{11,43}) \times 1,9374 \times 1,0 = 38,17 \text{ kN}$

- Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante:

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 3,81 \text{ cm} < D - 2t = 11,43 - 2 \times 0,4 = 10,63 \text{ cm}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-9})$$

Para nudo Plano $P_{dni} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \cdot \pi \times 3,81 \left[\frac{1 + \text{sen } 60,06^\circ}{2 \text{sen}^2 60,06^\circ} \right] = 73,26 \text{ kN}$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

Resistencia de diseño de nudo B multiplano (Tabla 9.4-5)

$$C_{mp} = 0,9 \quad P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d2}$$

$$P_{d2m} = 0,9 \times 38,17 = 34,35 \text{ kN} > P_u (\text{barra 10}) = - 31,5 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (- 34,35 kN < - 46,22 kN)

(H.3.) NUDO C (Cordón superior con diagonal en apoyo) (Sección 9.4-2)

(1) Cordón superior con diagonal (Plano inclinado)

Se trata de un nudo Y

El cumplimiento de los parámetros geométricos del nudo dentro del campo de validez de la Sección 9.4.1. y de la Tabla 9.4-1 ya ha sido chequeado en los nudos anteriormente analizados.

En la Figura Ej. 5-2 se grafica el nudo y el apoyo en la Viga V₂ de borde (Ver Planta en Figura Ej.5-1).

La excentricidad del nudo es $e = 0$

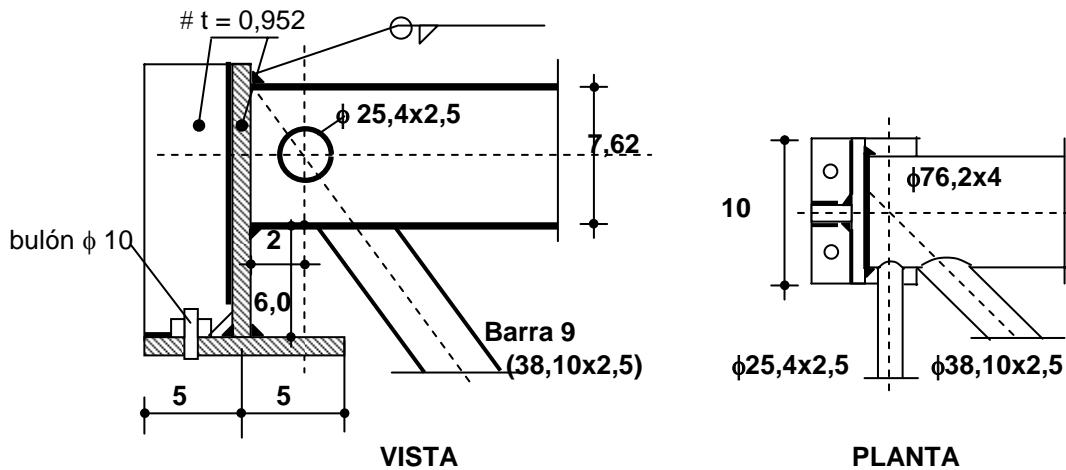


Figura Ej. 5-2.

- **Resistencia de diseño axil de nudo.** (Tabla 9.4-2, nudo Y)

$$\beta = D_b/D = 3,81/7,62 = 0,50$$

Precompresión de barra en Nudo C

$$P_{op} = 0 \text{ kN} \quad M_o = R_{uc.sup} \times 0,02 = 25,26 \times 0,02 = 0,51 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o) = 1000 \times 0,51 / 15,565 = 32,70 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 32,70 / 216 = 0,15 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,15 (1 + 0,15) = \mathbf{0,948}$$

- **Estado límite de plastificación del cordón**

$$P_{dn1} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (2,66 + 13,49 \beta^2) \cdot \gamma^{0,2} \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-4})$$

$$\text{Nudo Plano } P_{dn1} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 60,06^\circ} \cdot (2,66 + 13,49 \times 0,50^2) \times 9,525^{0,2} \times 0,948 = \mathbf{35,80 \text{ kN}}$$

- **Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante**

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 3,81 \text{ cm} < D - 2t = 7,62 - 2 \times 0,4 = \mathbf{6,82 \text{ cm}}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp.9.4-9})$$

$$\text{Para nudo Plano } P_{dn1} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \times \pi \times 3,81 \times \left[\frac{1 + \sin 60,06^\circ}{2 \sin^2 60,06^\circ} \right] = 73,26 \text{ kN}$$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

$$\text{Resistencia de diseño axil de nudo Plano } P_{dn1} = 35,80 \text{ kN}$$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (- 35,80 kN < 46,22 kN)

(2) Cordón superior con montante (Plano horizontal)

Nudo T . Ya determinada la Resistencia de diseño en Nudos A y A´

Nudo Plano: Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

$$\text{Resistencia de diseño axil de nudo Plano } P_{dn1} = 14,40 \text{ kN}$$

(3) Nudo multiplano (Tabla 9.4-5)

El nudo C es un nudo multiplano donde en un plano es nudo Y (diagonal y cordón) y en el otro nudo T (montante horizontal y cordón).

Se adopta como factor de corrección C_{dm} en los dos planos el de nudo T.

Las resistencias de diseño de nudo para el nudo multiplano resultan

$$P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d1} \quad \text{con } C_{mp} = 1,0$$

Para diagonal: $P_{d1m} = 1 \times 35,8 = 35,80 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 9)} = + 31,5 \text{ kN}$ VERIFICA

Para montante: $P_{d1m} = 1 \times 14,40 = 14,40 \text{ kN} > P_u \text{ (montante)} = + 1,97 \text{ kN}$ VERIFICA

(I) UNIONES SOLDADAS

(I.1.) Diagonales a cordones

Las diagonales se unen a los cordones con soldadura de filete continua alrededor del perímetro de la diagonal. (Sección 9.2.4.):

$$P_u \text{ diagonal} = 31,5 \text{ kN}$$

- Resistencia de diseño para carga transversal:

$$R_d = \phi t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

Espesor de pared cordón $t_1 = 0,4 \text{ cm}$

Espesor de pared diagonal $t_2 = 0,25 \text{ cm}$ menor espesor $t = 0,25 \text{ cm}$

$L = \text{perímetro de la diagonal} = \pi \cdot D_{b1} = \pi \times 3,81 = 11,97 \text{ cm}$

$$R_d = 0,55 \times 0,25 \times 11,97 \times 363 \times 0,1 = 59,74 \text{ kN}$$

- Adicionalmente al ser $t_1 = 4 \text{ mm} > 3,2 \text{ mm}$

$$R_d = \phi_1 \cdot 0,60 t_w \cdot L \cdot F_{EXX} \cdot (10)^{-1} \quad \phi_1 = 0,60 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

Con $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$ Se adopta $d_w = 0,4 \text{ cm}$ (Tabla **J.2-4**, Reglamento CIRSOC 301-2005)

$$t_w = 0,707 \times 0,4 = 0,28 \text{ cm} \quad R_d = 0,60 \times 0,60 \times 0,28 \times 11,97 \times 480 \times 0,1 = 57,91 \text{ kN}$$

Resulta $R_d = 57,91 \text{ kN} > P_u = 31,5 \text{ kN}$ **VERIFICA**

(I.2.) Cordón superior a chapa de apoyo (Ver la Figura Ej.5-2)

Se unen con soldadura de filete continua alrededor del perímetro del cordón. (Sección **9.2.4.**)

La unión soldada debe transmitir $V_u = 25,26 \text{ kN}$

- Resistencia de diseño para carga transversal:

$$R_d = \phi t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

Espesor de pared de cordón $t_1 = 0,4 \text{ cm}$

Espesor de chapa de apoyo $t_2 = 0,952 \text{ cm}$ menor espesor $t = 0,4 \text{ cm}$

$L = \text{perímetro del cordón} = \pi D = \pi \times 7,62 = 23,94 \text{ cm}$

$$R_d = 0,55 \times 0,40 \times 23,94 \times 363 \times 0,1 = 191,18 \text{ kN}$$

- Adicionalmente al ser $t_1 = 4 \text{ mm} > 3,2 \text{ mm}$

$$R_d = \phi_1 \cdot 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad \phi_1 = 0,60 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

Con $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$ Se adopta $d_w = 0,5 \text{ cm}$ (Tabla **J.2-4**, Reglamento CIRSOC 301-2005)

$$t_w = 0,707 \times 0,5 = 0,35 \text{ cm} \quad R_d = 0,60 \times 0,60 \times 0,35 \times 23,94 \times 480 \times 0,1 = 144,7 \text{ kN}$$

Resulta $R_d = 144,7 \text{ kN} > V_u = 25,26 \text{ kN}$ **VERIFICA**

(J) VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES (Condición de servicio)

Se deberá verificar la flecha máxima para la combinación de servicio **D + L** considerando la deformación por corte de la viga reticulada y comparando con la flecha admisible dada en la Tabla **A-L.4-1** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

