

EJEMPLO DE APLICACIÓN

ESTRUCTURAS CON BARRAS DE SECCIÓN CIRCULAR MACIZA

Para simplificar el análisis estructural en la Estructura de la Figura 1 se verificarán elementos estructurales afectados por la acción del viento en dirección transversal (dirección indicada en planta). Se verificarán :

- (A.1) La Correa C_{o1} de Sección **Te**.
- (A.2) La Correas C_{o2} de sección **rectangular** actuando en conjunto con la Correa C_{o1} .
- (A.3) La Correa C_{o3} de sección **triangular** actuando sola.
- (B) El Arco **A** del Pórtico P_3 de sección **rectangular** con cordones de sección circular maciza.
- (C) La Columna **C** del Pórtico P_3 de sección **rectangular** con cordones de perfil ángulo.
- (D) El Tensor **T**
- (E) La Viga **V** de sección **rectangular** que recibe un aparato para levantar carga.

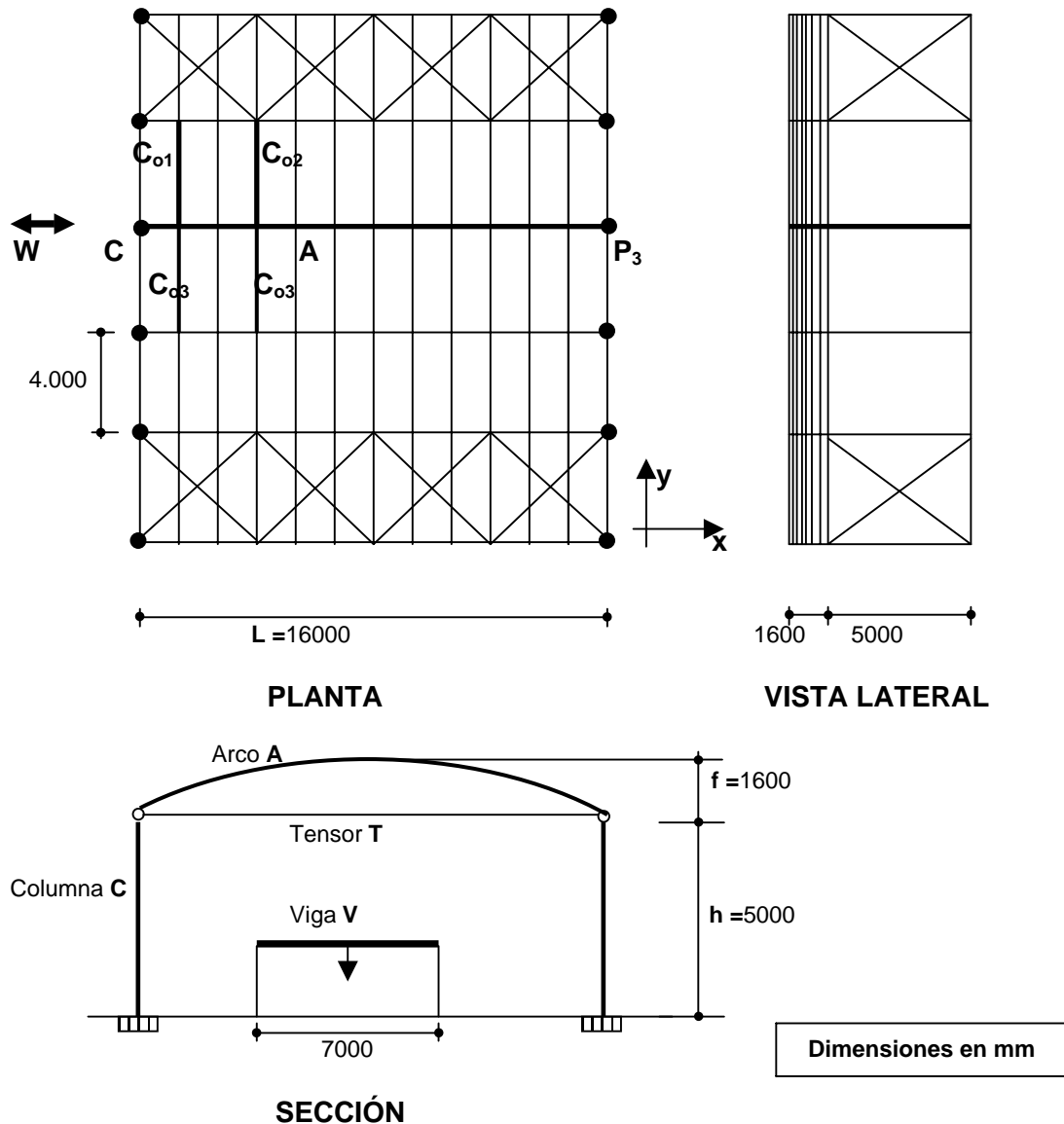


Figura 1

Relación luz-flecha del arco (Sección 2.3.(c)) $L/f = 16/1,60 = 10$

(Verifica)

(1) Geometría del arco (Comentarios, Sección 3.1.3.)

$$R = (f^2 + L^2/4) / 2 \cdot f = (1,6^2 + 16^2/4) / 2 \times 1,6 = 20,8 \text{ m}$$

$$y_x = f - R + \sqrt{R^2 - ((L/2) - x)^2}$$

$$\cos \phi_o = (R - f) / R = (20,8 - 1,6) / 20,8 = 0,923$$

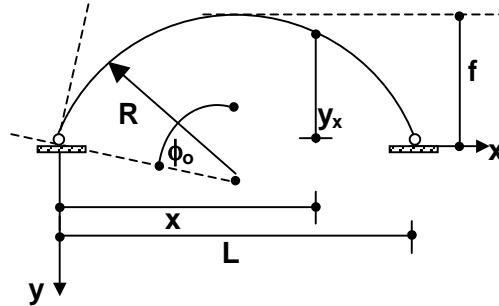
$$\phi_o = 22,62^\circ$$

R = radio de la directriz (cm)

f = flecha. (cm)

ϕ_o = semiángulo central($^\circ$)

L = luz del arco. (cm)



Desarrollo del arco en eje = $(22,62^\circ \times 2 / 360^\circ) \times 2 \cdot \pi \cdot (20,8) = 16,42 \text{ m}$

Desarrollo del arco exterior : R_1 (radio exterior) = $R + h_{\text{arco}}/2 = 20,8 + 0,35/2 = 20,975 \text{ m}$

Desarrollo exterior $(22,62^\circ \times 2 / 360^\circ) \times 2 \cdot \pi \cdot (20,975) = 16,56 \text{ m}$

Distancia entre ejes de correas en exterior del arco $I_1 = 16,56 / 12 \text{ espacios} = 1,38 \text{ m}$

(2) Acciones

• Carga permanente (D)

Peso chapas de cubierta y fijaciones: **0,07 kN/m²**

Peso correas, arco y columnas (ver en cada caso)

• Sobrecarga de techo (L_r) (Según CIRSOC 101/2005)

$L_r = 0,96 R_1 R_2$ (kN/m² de proyección horizontal) $0,58 \leq L_r \leq 0,96$

Para **correas** Área tributaria = $1,38 \times 4 = 5,52 \text{ m}^2 < 19 \text{ m}^2$ $R_1 = 1$; $R_2 = 1 \Rightarrow L_r = 0,96 \text{ kN/m}^2$

Montaje = 1kN concentrada

Para **arco** Área tributaria = $16 \times 4 = 64 \text{ m}^2 > 56 \text{ m}^2 \Rightarrow R_1 = 0,6$;

$F = (1,60/16) \times 32 = 3,2 < 4 \Rightarrow R_2 = 1 \Rightarrow L_r = 0,96 \times 0,6 \times 1 = 0,58 \text{ kN/m}^2$

• Viento (Según CIRSOC 102/2005)

Capítulo 4. Método 1- Procedimiento simplificado

El edificio cumple condiciones Sección 4.1.

Velocidad básica de Viento: Córdoba **V = 41 m/s**

Edificio cerrado; Exposición **B**; Categoría II: Factor de Importancia **I = 1,0**

Para Sistema principal (pórtico)

Área tributaria = $64 \text{ m}^2 \Rightarrow$ factor de reducción Tabla 2 = 0,85

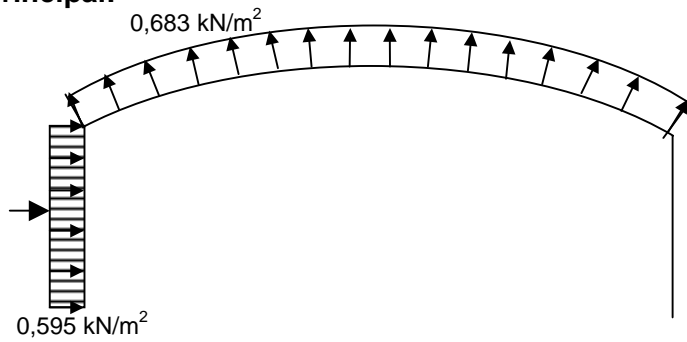
Valores de Tabla 2

Para componentes (correas)

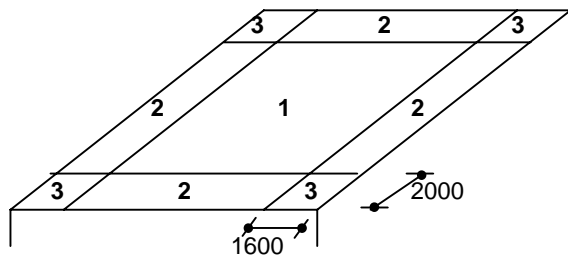
Ancho efectivo $1,38 > 4/3 = 1,33 \text{ m} \Rightarrow$ Área efectiva: $1,38 \times 4 = 5,52 \text{ m}^2$

Valores de Tabla 3

Sistema principal:



Componentes (correas)

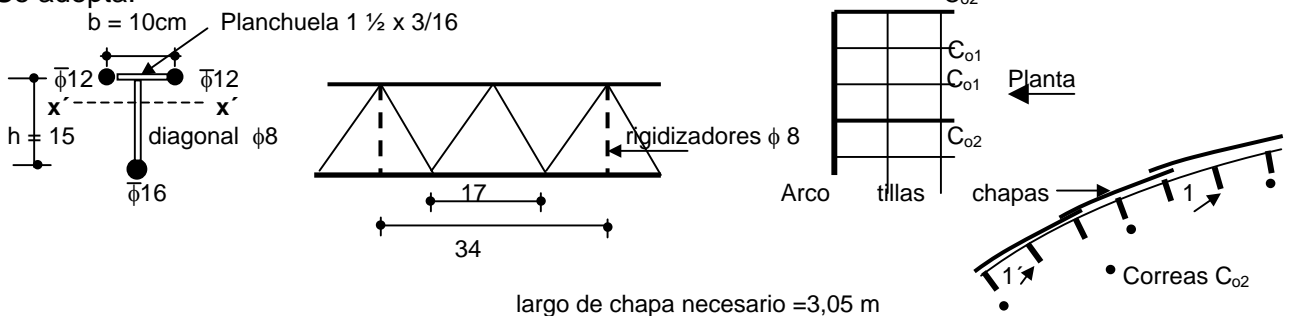


Zona 1	presión: + 0,479 kN/m ² succión: - 0,684 kN/m ²
Zona 2	presión: + 0,479 kN/m ² succión: - 0,967 kN/m ²
Zona 3	presión: + 0,479 kN/m ² succión: - 1,194 kN/m ²

(A.1.) CORREA TE (C_{o1})

Se adopta sección Te para correas intermedias (C_{o1}) y se combinan con correas rectangulares (C_{o2}). Las correas Te quedan sometidas a flexión simple por la componente de carga según el radio del arco. La componente tangente al arco se transmite a las correas rectangulares a través de las **chapas de cubierta** y de **dos tillas intermedias**.

Se adopta:



- **Materiales:** Cordones ADN 420 **S** ($F_y = 400$ MPa) (Sección 1.3.5.)
Diagonales y rigidizadores AL 220 ($F_y = 220$ MPa)
Planchuela F24 ($F_y = 235$ MPa)
- Verificación especificaciones para rigidizadores (Sección 2.4.1.)
Diámetro del rigidizador $d_r = 8$ mm = $d_D = 8$ mm :diámetro diagonal **(Verifica)**
Separación rigidizadores 34 cm < 40 $d_i = 40 \times 1,6 = 64$ cm **(Verifica)**
- **D** (carga permanente) cubierta $1,38 \times 0,07 = 0,10$
Peso correa = $0,05$
D = 0,15 kN/m
 $M_D = (0,15 \times 4^2) / 8 = 0,30$ kNm $V_D = (4 \times 0,15) / 2 = 0,30$ kN
- **L_r** Se analizan la correa 1 (mas alta) y la 1' (mas baja)
Correa 1 $1,37 \times 0,96 = 1,31$ kN/m $M_{Lr} = 2,62$ kNm $V_{Lr} = 2,62$ kN
Correa 1' $1,31 \times 0,96 = 1,25$ kN/m $M_{Lr} = 2,50$ kNm $V_{Lr} = 2,50$ kN

La carga de montaje de **1 kN** en el centro de la luz y en el extremo produce momentos flectores y esfuerzos de corte menores

- **W**

Para correa 1 se adopta presión promedio zonas **1 y 2** (Página 3)

Presión: + 0,479 kN/m² Succión: -(0,684 + 0,967)/2 = - 0,825 kN/m²
 $M_{w1} (+) = (0,479 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 1,322 \text{ kNm}$ $V_{w1} (+) = (0,479 \times 1,38) \times 4 / 2 = 1,322 \text{ kN}$
 $M_{w1} (-) = (0,825 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 2,277 \text{ kNm}$ $V_{w1} (-) = (0,825 \times 1,38) \times 4 / 2 = 2,277 \text{ kN}$

Para correa 1' se adopta presión promedio zonas **2 y 3** (Página 3)

Presión: + 0,479 kN/m² Succión: -(1,194 + 0,967)/2 = - 1,08 kN/m²
 $M_{w1} (+) = (0,479 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 1,322 \text{ kNm}$ $V_{w1} (+) = (0,479 \times 1,38) \times 4 / 2 = 1,322 \text{ kN}$
 $M_{w1} (-) = (1,08 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 2,98 \text{ kNm}$ $V_{w1} (-) = (1,08 \times 1,38) \times 4 / 2 = 2,98 \text{ kN}$

- Mayor **Momento flector positivo** $M_{ux'}$ en correa:

Para correa 1 con combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W

ángulo $\phi_1 = 3,77^\circ$ $\cos \phi_1 = 0,998$ $\sin \phi_1 = 0,066$

$M_{ux'} (+) = 1,2 \times (0,30 \times 0,998) + 1,6 \times (2,62 \times 0,998) + 0,8 \times 1,322 = 5,6 \text{ kNm}$
 $V_{ux'} (+) = 1,2 \times (0,30 \times 0,998) + 1,6 \times (2,62 \times 0,998) + 0,8 \times 1,322 = 5,6 \text{ kN}$

- Mayor **Momento flector negativo** $M_{ux'}$ en correa:

Para correa 1' con combinación 0,9 D - 1,5 W

ángulo $\phi_1 = 3,77^\circ \times 5 = 18,85^\circ$ $\cos \phi_1 = 0,946$ $\sin \phi_1 = 0,323$

$M_{ux'} (-) = 0,9 \times (0,30 \times 0,946) - 1,5 \times 2,98 = - 4,21 \text{ kNm}$
 $V_{ux'} (-) = 0,9 \times (0,30 \times 0,946) - 1,5 \times 2,98 = - 4,21 \text{ kN}$

- **Verificación de los cordones** (Acero ADN 420 S)

- El Estado límite de pandeo lateral no es aplicable pues las chapas y las tillas impiden el pandeo lateral

- Estado límite de **pandeo local de cordón comprimido** para momento flector **positivo** (Sección 6.2.1.)

$$M_{dcx'} = \phi_c \cdot h \cdot n_1 \cdot A_{gc1} \cdot F_{cr} \cdot (10)^{-3} \quad (6.2-1a)$$

$\phi_c = 0,80$ (Sección 5.2.) (Acero ADN 420 S) $k \cdot L = 1 \cdot s = 1 \times 17 = 17 \text{ cm}$ (Sección 3.2.3.)

$\lambda = 17 \times 4 / 1,2 = 56,7$ $c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{400}{200000}} = 70,25$ $\lambda_c = \lambda / c_\lambda = 56,7 / 70,25 = 0,81$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,656$

$M_{dcx'} = 0,80 \times 15 \times 2 \times 1,13 \times 0,656 \times 400 \times 0,001 = 7,12 \text{ kNm} > M_{ux'} (+) = 5,6 \text{ kNm}$ (verifica)

- Estado límite de **pandeo local de cordón comprimido** para momento flector **negativo** (Sección 6.2.1.)

$$M_{dcx'} = \phi_c \cdot h \cdot n_1 \cdot A_{gc1} \cdot F_{cr} \cdot (10)^{-3} \quad (6.2-1a)$$

$\phi_c = 0,80$ (Sección 5.2.) (Acero ADN 420 S) $kL = 34 \text{ cm}$ (Sección 3.2.3.)

$\lambda = 34 \times 4 / 1,6 = 85$ $c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{400}{200000}} = 70,25$ $\lambda_c = \lambda / c_\lambda = 85 / 70,25 = 1,20$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,434$

$$M_{dcx} = 0,80 \times 15 \times 1 \times 2,01 \times 0,434 \times 400 \times 0,001 = 4,20 \text{ kNm} \cong M_{ux} (-) = 4,21 \text{ kNm} \quad (\text{verifica})$$

- Estado límite de **fluencia del cordón traccionado** para momento flector **positivo** (Sección 6.3.)
Es necesario verificarlo porque la sección no es simétrica.

$$M_{dtx} = \phi_t \cdot h \cdot n_2 \cdot A_{gt1} \cdot F_y \cdot (10)^{-3} \quad (6.3-1a)$$

$$M_{dtx} = 0,9 \times 15 \times 1 \times 2,01 \times 400 \times (10)^{-3} = 10,85 \text{ kNm} > M_{ux} (+) = 5,6 \text{ kNm} \quad (\text{verifica})$$

Para los cordones resulta crítico el estado límite de pandeo local del cordón inferior comprimido para momento flector negativo.

- **Verificación de las diagonales de la celosía** (Acero AL220 (liso))

La mayor sollicitación es para Correa 1 con momento flector positivo $V_{ux} (+) = 5,60 \text{ kN}$

Estado límite de pandeo local (Sección 6.2.2.)

$$V_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot \text{sen } \alpha \cdot (10)^{-1} \quad (6.2-5)$$

$\phi_c = 0,85$ (Acero AL 220)

$$L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{17^2}{4} + 15^2} = 17,2 \text{ cm} \quad k L_D = 0,85. L_D = 0,85 \times 17,2 = 14,65 \text{ cm}$$

$$\lambda = 14,65 \times 4 / 0,8 = 73,2 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 73,2 / 94,72 = 0,77$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,681$

$$V_{dD} = 0,85 \times 0,681 \times 220 \times 0,5 \times (15/17,2) \times 0,1 = 5,56 \text{ kN} \cong V_{ux} (+) = 5,60 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Verificación de la planchuela** (Sección 2.4.3.) (Acero F24)

$V_{ux} = 5,60 \text{ kN}$

Se debe verificar
$$\frac{33,3 V_u \cdot b}{F_{yp}} \cdot \left[\frac{1}{\text{tg} \alpha \cdot b_p^2 \cdot e_p} + \frac{s}{L \cdot e_p^2 \cdot b_p} \right] \leq 1 \quad (2.4-4)$$

$b_p = 1,5$ pulgadas = 3,81 cm $e_p = 3/16$ pulgada = 0,476 cm $F_{yp} = 235 \text{ MPa}$ **peso** = 1,42 Kg/m

$$\frac{33,3 \times 5,60 \times 10}{235} \cdot \left[\frac{1}{(15/8,5) \times 3,81^2 \times 0,476} + \frac{17}{400 \times 0,476^2 \times 3,81} \right] = 1,04 \cong 1 \quad (\text{verifica})$$

Si se usara un travesaño de sección circular maciza resultaría de un diámetro (Sección 2.4.2):

$$d_t = 4,00 \sqrt[3]{(V_u \cdot b) / (F_y \cdot \text{tg} \alpha)} \geq d_c \quad (2.4-3)$$

$$d_t = d_t = 4,00 \sqrt[3]{(5,60 \times 10) / (220 \times (15/8,5))} = 2,09 \text{ cm} \cong 2 \text{ cm} (\phi 20) \quad \text{peso} = 2,47 \text{ Kg/m}$$

(mayor consumo de acero)

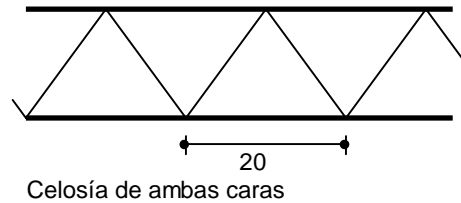
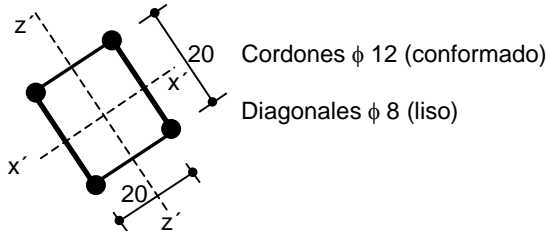
(A.2.) CORREA RECTANGULAR (C₀₂)

Se plantean las Correas rectangulares C₀₂ trabajando conjuntamente con las Correas Te C₀₁. Deben tomar las cargas de su zona de influencia y también las componentes tangentes al arco de las Correas C₀₁ que le corresponden.

La Correa C₀₂ mas solicitada en la indicada en planta en la Página 1.

Tiene un ángulo $\phi_1 = 3 \times 3,77^\circ = 11,31^\circ$ $\cos \phi_1 = 0,981$ $\sin \phi_1 = 0,196$

Se adopta



La Correa está sometida a **flexión disimétrica**

- Materiales: Cordones ADN 420 **S** ($F_y = 400$ MPa) (Sección 1.3.5.)
Diagonales AL 220 ($F_y = 220$ MPa)
- **D** (carga permanente)

De Área tributaria propia cubierta $1,38 \times 0,07 = 0,10$
 Peso correa $= 0,07$
D = 0,17 kN/m

Proyección sobre los ejes:

$D_{x'x'} = 0,17 \times 0,981 = 0,167$ kN/m
 $D_{z'z'}$ (Propia) $= 0,17 \times 0,196 = 0,034$ kN/m
 $D_{z'z'}$ (de Correas Te) $= 0,15 \times 0,196 \times 2 = 0,059$ kN/m
 $D_{z'z'}$ Total = 0,093 kN/m

Con L = 4 m. resultan:

$M_{Dx'x'} = 0,167 \times 4^2 / 8 = 0,334$ kNm
 $M_{Dz'z'} = 0,093 \times 4^2 / 8 = 0,186$ kNm
 $V_{Dx'x'} = 0,167 \times 4 / 2 = 0,334$ kN
 $V_{Dz'z'} = 0,093 \times 4 / 2 = 0,186$ kN

- **L_r** (sobrecarga)

Ancho en proyección para Correa analizada: : 1,35 m $L_r = 1,35 \times 0,96 = 1,29$ kN/m

Proyección sobre ejes :

$L_{rx'x'} = 1,29 \times 0,981 = 1,265$ kN/m
 $L_{rz'z'}$ (Propia) $= 1,29 \times 0,196 = 0,255$ kN/m
 $L_{rz'z'}$ (de Correas Te) $= 1,29 \times 0,196 \times 2 = 0,505$ kN/m
 $L_{rz'z'}$ Total = 0,760 kN/m

Con L = 4 m. resultan:

$M_{Lrx'x'} = 1,265 \times 4^2 / 8 = 2,53$ kNm
 $M_{Lrz'z'} = 0,760 \times 4^2 / 8 = 1,52$ kNm
 $V_{Lrx'x'} = 1,265 \times 4 / 2 = 2,53$ kN
 $V_{Lrz'z'} = 0,760 \times 4 / 2 = 1,52$ kN

- **W**

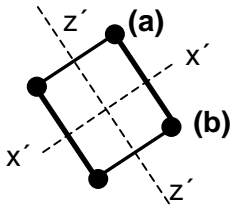
Se adopta presión promedio zonas 1 y 2 (Página 3)

Presión: + 0,479 kN/m² Succión: - (0,684 + 0,967) / 2 = - 0,825 kN/m²

$M_{wx'x'}$ (+) $= (0,479 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 1,322$ kNm
 $M_{wz'z'}$ (+) $= 0$
 $V_{wx'x'}$ (+) $= (0,479 \times 1,38) \times 4 / 2 = 1,322$ kN
 $V_{wz'z'}$ (+) $= 0$

$M_{w1x'x'}$ (-) $= (0,825 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 2,277$ kNm
 $M_{wz'z'}$ (-) $= 0$
 $V_{wx'x'}$ (-) $= (0,825 \times 1,38) \times 4 / 2 = 2,277$ kN
 $V_{wz'z'}$ (-) $= 0$

- **Máximas solicitaciones en los cordones.** (Sección 7.4.1.)



Por la flexión disimétrica resulta crítico el cordón comprimido
 - Máxima compresión en **(a)** Combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W

$$M_{ux'x'} = 1,2 \times 0,334 + 1,6 \times 2,53 + 0,8 \times 1,322 = \mathbf{5,51 \text{ kNm}}$$

$$M_{uz'z'} = 1,2 \times 0,186 + 1,6 \times 1,52 + 0,8 \times 0 = \mathbf{2,66 \text{ kNm}}$$

La compresión en el cordón resulta de:

$$P_{u1} = -\left(\frac{M_{ux'x'}}{n_1 \cdot h}\right) \cdot (10^2) + \frac{M_{uz'z'}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2) \quad (7.4-2)$$

$$P_{u1} = -\left(\frac{5,51}{2 \times 20}\right) \cdot (10^2) + \frac{2,66}{2 \times 20} \cdot (10^2) = \mathbf{20,42 \text{ kN}}$$

- Máxima compresión en **(b)** Combinación 0,9 D - 1,5 W

$$M_{ux'x'} = 0,9 \times 0,334 - 1,5 \times 2,277 = \mathbf{3,120 \text{ kNm}}$$

$$M_{uz'z'} = 0,9 \times 0,186 - 1,5 \times 0 = \mathbf{0,167 \text{ kNm}}$$

La compresión en el cordón resulta de:

$$P_{u1} = -\left(\frac{3,12}{2 \times 20}\right) \cdot (10^2) + \frac{0,167}{2 \times 20} \cdot (10^2) = \mathbf{8,22 \text{ kN} < 20,42 \text{ kN}}$$

- **Verificación de los cordones** (Sección 5.2.)

Se debe verificar el cordón con la máxima compresión $P_{u1} = \mathbf{20,42 \text{ kN}}$

$\phi_c = 0,80$ (Acero ADN 420 S) $k \cdot L = 1 \times s = 1 \times 20 = 20 \text{ cm}$ (Sección 3.2.3.)

$$\lambda = 20 \times 4 / 1,2 = 66,7 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{400}{200000}} = 70,25 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 66,7 / 70,25 = 0,95$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,569$

La Resistencia de diseño a la compresión es $P_{d1} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_{g1} \cdot (10)^{-1}$

$$P_{d1} = 0,8 \times 0,569 \times 400 \times 1,13 \times 0,1 = \mathbf{20,6 \text{ kN}} > P_{u1} = 20,42 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Máximas solicitaciones en las diagonales.** (Sección 7.4.2.)

Siendo iguales ambas caras de la celosía las máximas solicitaciones en las diagonales se darán para el mayor esfuerzo de corte que se produce para la flexión alrededor de x'- x' para la combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W

$$V_{ux'x'} = 1,2 \times 0,334 + 1,6 \times 2,53 + 0,8 \times 1,322 = \mathbf{5,51 \text{ kN}}$$

La compresión en la diagonal es: $D_{u2} = \frac{V_{ux'x'}}{2 \cdot \text{sen } \alpha_2} \quad (7.1-7)$

La longitud de la diagonal es: $L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{20^2}{4} + 20^2} = 22,4 \text{ cm}$

$$D_{u2} = \frac{5,51}{2 \times (20 / 22,4)} = \mathbf{3,08 \text{ kN}}$$

- **Verificación de las diagonales**

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal:

$$P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$$

$$\phi_c = 0,85 \text{ (Acero AL 220)}$$

$$k L_D = 0,85, L_D = 0,85 \times 22,4 = 19 \text{ cm}$$

$$\lambda = 19 \times 4 / 0,8 = 95 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 95 / 94,72 = 1,00$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,54$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,54 \times 220 \times 0,5 \times 0,1 = 5,05 \text{ kN} > D_{u2} (+) = 3,08 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Verificación de deformaciones. (Sección 10.1.)**

Se debe determinar el Momento de Inercia modificado I_m con respecto a ambos ejes por estar sometida la barra a flexión disimétrica. Se determina la Esbeltez modificada de la barra armada λ_m con respecto a ambos ejes (Sección 5.4.2.1.)

Para celosías sólo con diagonales
$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 A_g \cdot d^3}{n_o \cdot A_D \cdot s \cdot h^2}}$$

Siendo iguales ambas caras de la celosía $\lambda_{1x'} = \lambda_{1z'}$
$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 1,13 \times 22,4^3}{2 \times 0,50 \times 20 \times 20^2}} = 11,17$$

$$k \cdot L_{x'} = k \cdot L_{z'} = 1 \times 400 = 400 \text{ cm} \quad r_{x'} = (h/2) = r_{z'} = (b/2) = 20/2 = 10 \text{ cm}$$

$$\lambda_{ox'} = (k L_{x'} / r_{x'}) = \lambda_{oz'} = (k L_{z'} / r_{z'}) = 400/10 = 40$$

$$\lambda_{mx'} = \lambda_{mz'} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{40^2 + 11,17^2} = 41,6$$

$$r_{mx'} = r_{mz'} = (k \cdot L_{x'}) / \lambda_{mx'} = 400 / 41,6 = 9,615 \text{ cm}$$

$$I_{mx'} = I_{mz'} = r_{mx'}^2 \times A_g = 9,615^2 \times 4 \times 1,13 = 417,9 \text{ cm}^4$$

Las deformaciones se verifican con las cargas de **servicio**. Las combinaciones de servicio aplicables son: (CIRSOC 301, Sección A-L.1.)

(1) D + L_r

(2) D + 0,7 (L_r + W(+))

Para obtener la flecha total se componen vectorialmente las deformaciones según los ejes $x'-x'$ y $z'-z'$. Para cada eje se calculan las flechas con las fórmulas elásticas de vigas de alma llena.

Combinación (1) $q_{x'x'} = 0,167 + 1,265 = 1,432 \text{ kN/m}$

$q_{z'z'} = 0,093 + 0,76 = 0,853$

$$f_{x'x'}^{\text{máx}} = \frac{5 \cdot q_{x'x'} \cdot L_{x'}^4}{384 \cdot E \cdot I_{mx'}} \cdot (10)^{-1} = \frac{5 \times 1,432 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 417,9} \cdot (10)^{-1} = 0,571 \text{ cm}$$

$$f_{z'z'}^{\text{máx}} = \frac{5 \times 0,853 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 417,9} \cdot (10)^{-1} = 0,34 \text{ cm} \quad f_{\text{máx}} = \sqrt{0,571^2 + 0,34^2} = 0,67 \text{ cm}$$

Combinación (2)

$q_{x'x'} = 0,167 + 0,7 \times (1,265 + 0,479 \times 1,38) = 1,515 \text{ kN/m}$ $q_{z'z'} = 0,093 + 0,7 \times (0,76 + 0) = 0,625$

$$f_{x'x'}^{\text{máx}} = \frac{5 \cdot q_{x'x'} \cdot L_{x'}^4}{384 \cdot E \cdot I_{mx'}} \cdot (10)^{-1} = \frac{5 \times 1,515 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 417,9} \cdot (10)^{-1} = 0,604 \text{ cm}$$

$$f_{z'z'}^{\text{máx}} = \frac{5 \times 0,625 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 417,9} \cdot (10)^{-1} = 0,25 \text{ cm} \quad f_{\text{máx}} = \sqrt{0,604^2 + 0,25^2} = 0,66 \text{ cm}$$

De combinación (1) resulta una flecha $f = 0,67 \text{ cm}$

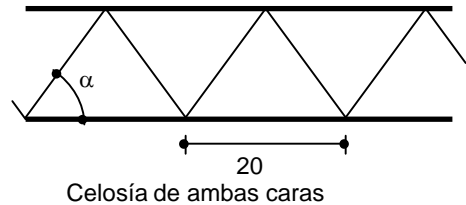
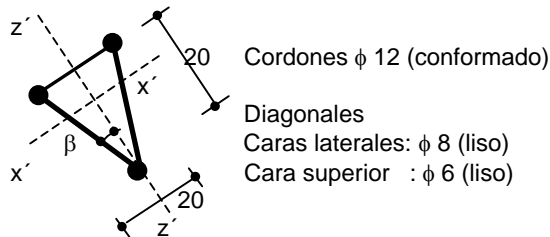
$f/L = 0,66 / 400 = 1/597 < 1/200$

(verifica)

(A.3.) CORREA TRIANGULAR (C₀₃)

Se plantea un esquema con todas correas de sección triangular. Cada una toma las cargas de su zona de influencia. La mas solicitada es la segunda correa contando desde el inicio del arco. Tiene un ángulo $\phi_1 = 5 \times 3,77^\circ = 18,85^\circ$ $\cos \phi_1 = 0,946$ $\sin \phi_1 = 0,323$

Se adopta



Cara superior $\alpha_1 = 63,43^\circ$ Cara lateral $\alpha_2 = 65,9^\circ$ $\beta = 26,56^\circ$ (Ver Figura 6.6-2)

La Correa está sometida a **flexión disimétrica**

- Materiales: Cordones ADN 420 **S** ($F_y = 400$ MPa) (Sección 1.3.5.)
 Diagonales AL 220 ($F_y = 220$ MPa)
- **D** (carga permanente)

$$\begin{aligned} \text{cubierta } 1,38 \times 0,07 &= 0,10 \\ \text{Peso correa} &= 0,06 \\ \hline \mathbf{D} &= \mathbf{0,16 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

Proyección sobre los ejes:

$$\mathbf{D_{x'x'}} = 0,16 \times 0,946 = \mathbf{0,152 \text{ kN/m}} \quad \mathbf{D_{z'z'}} = 0,16 \times 0,323 = \mathbf{0,052 \text{ kN/m}}$$

Con $L = 4$ m. resultan:

$$\begin{aligned} M_{D_{x'x'}} &= 0,152 \times 4^2 / 8 = 0,304 \text{ kNm} & M_{D_{z'z'}} &= 0,052 \times 4^2 / 8 = 0,104 \text{ kNm} \\ V_{D_{x'x'}} &= 0,152 \times 4 / 2 = 0,304 \text{ kN} & V_{D_{z'z'}} &= 0,052 \times 4 / 2 = 0,104 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **L_r** (sobrecarga)

Ancho en proyección para Correa analizada: : 1,31 m $L_r = 1,35 \times 0,96 = 1,257 \text{ kN/m}$

Proyección sobre ejes :

$$\mathbf{L_{rx'x'}} = 1,257 \times 0,946 = \mathbf{1,183 \text{ kN/m}} \quad \mathbf{L_{rz'z'}} = 1,257 \times 0,323 = \mathbf{0,404 \text{ kN/m}}$$

Con $L = 4$ m. resultan:

$$\begin{aligned} M_{L_{rx'x'}} &= 1,183 \times 4^2 / 8 = 2,366 \text{ kNm} & M_{L_{rz'z'}} &= 0,404 \times 4^2 / 8 = 0,808 \text{ kNm} \\ V_{L_{rx'x'}} &= 1,183 \times 4 / 2 = 2,366 \text{ kN} & V_{L_{rz'z'}} &= 0,404 \times 4 / 2 = 0,808 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **W**

Se adopta presión promedio zonas 2 y 3 (Página 3)

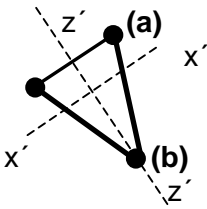
Presión: $+ 0,479 \text{ kN/m}^2$ Succión: $-(0,967 + 1,194) / 2 = - 1,08 \text{ kN/m}^2$

$$\begin{aligned} M_{W_{x'x'}} (+) &= (0,479 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 1,322 \text{ kNm} & M_{W_{z'z'}} (+) &= 0 \\ V_{W_{x'x'}} (+) &= (0,479 \times 1,38) \times 4 / 2 = 1,322 \text{ kN} & V_{W_{z'z'}} (+) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{W_{1x'x'}} (-) &= (1,08 \times 1,38) \times 4^2 / 8 = 2,98 \text{ kNm} & M_{W_{z'z'}} (-) &= 0 \\ V_{W_{1x'x'}} (-) &= (1,08 \times 1,38) \times 4 / 2 = 2,98 \text{ kN} & V_{W_{z'z'}} (-) &= 0 \end{aligned}$$

- **Máximas solicitaciones en los cordones.** (Sección 7.4.1.)

Por la flexión disimétrica resulta crítico el cordón comprimido



- Máxima compresión en **(a)** Combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W

$$M_{ux'x'} = 1,2 \times 0,304 + 1,6 \times 2,366 + 0,8 \times 1,322 = \mathbf{5,208 \text{ kNm}}$$

$$M_{uz'z'} = 1,2 \times 0,104 + 1,6 \times 0,808 + 0,8 \times 0 = \mathbf{1,418 \text{ kNm}}$$

La compresión en el cordón resulta de:

$$P_{u1} = - \left(\frac{M_{ux'x'}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) + \frac{M_{uz'z'}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2) \right) \quad (7.4-2)$$

$$P_{u1} = - \left(\frac{5,208}{2 \times 20} \cdot (10^2) + \frac{1,418}{1 \times 20} \cdot (10^2) \right) = \mathbf{20,11 \text{ kN}}$$

- Máxima tracción en **(b)** Combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W

$$M_{ux'x'} = \mathbf{5,208 \text{ kNm}} \quad M_{uz'z'} = \mathbf{1,418 \text{ kNm}}$$

La tracción en el cordón resulta de:

$$T_{u1} = \frac{M_{ux'x'}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) + \frac{M_{uz'z'}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2) \quad (7.4-1)$$

$$T_{u1} = \frac{5,208}{1 \times 20} \cdot (10^2) = \mathbf{26,04 \text{ kN}}$$

- Máxima compresión en **(b)** Combinación 0,9 D - 1,5 W

$$M_{ux'x'} = 0,9 \times 0,304 - 1,5 \times 2,98 = \mathbf{4,196 \text{ kNm}}$$

$$M_{uz'z'} = 0,9 \times 0,104 - 1,5 \times 0 = \mathbf{0,094 \text{ kNm}}$$

La compresión en el cordón resulta de:

$$P_{u1} = - \left(\frac{4,196}{1 \times 20} \cdot (10^2) \right) = \mathbf{20,98 \text{ kN} > 20,11 \text{ kN}} \quad (\text{crítica compresión})$$

- **Verificación de los cordones**

- verificación del cordón con la máxima compresión $P_{u1} = \mathbf{20,98 \text{ kN}}$ (Sección 5.2.)

$\phi_c = 0,80$ (Acero ADN 420 S) $kL = 1x_s = 1 \times 20 = 20 \text{ cm}$ (Sección 3.2.3.)

$$\lambda = 20 \times 4 / 1,2 = 66,7 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{400}{200000}} = 70,25 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 66,7 / 70,25 = 0,95$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,569$

La Resistencia de diseño a la compresión es $P_{d1} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_{g1} \cdot (10)^{-1}$

$$P_{d1} = 0,8 \times 0,569 \times 400 \times 1,13 \times 0,1 = \mathbf{20,6 \text{ kN}} \cong P_{u1} = 20,98 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- verificación del cordón con la máxima tracción (Sección 4.1.) $T_{u1} = \mathbf{26,04 \text{ kN}}$

$$T_{d1} = \phi_t \cdot F_y \cdot A_{g1} \cdot (10)^{-1} \quad (4.1-1)(4.1-2)$$

$$T_{d1} = 0,9 \times 400 \times 1,13 \times 0,1 = \mathbf{40,68 \text{ kN}} > T_{u1} = 26,04 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Máximas solicitaciones en las diagonales.** (Sección 7.4.2.)

- **Cara lateral:** las máximas solicitaciones en las diagonales se darán para el mayor esfuerzo de corte que se produce para la flexión alrededor de $x' - x'$ que resulta de la combinación:

$$1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W$$

$$V_{ux'x'} = 1,2 \times 0,304 + 1,6 \times 2,366 + 0,8 \times 1,322 = 5,208 \text{ kN}$$

La compresión en la diagonal es: $D_{u2} = \frac{V_{ux'x'}}{2 \cdot \text{sen} \alpha_2 \cdot \text{cos} \beta}$ (7.1-11)

$$D_{u2} = \frac{5,208}{2 \times \text{sen} 65,9^\circ \times \text{cos} 26,56^\circ} = 3,19 \text{ kN}$$

- **Cara superior:** las máximas solicitaciones en las diagonales se darán para el mayor esfuerzo de corte que se produce para la flexión alrededor de $z' - z'$ que resulta de la combinación:

$$1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W$$

$$V_{uz'z'} = 1,2 \times 0,104 + 1,6 \times 0,808 + 0,8 \times 0 = 1,418 \text{ kN}$$

La compresión en la diagonal es: $D_{u2} = \frac{V_{uz'z'}}{\text{sen} \alpha_1}$ (7.1-9)

$$D_{u1} = \frac{1,418}{\text{sen} 63,43^\circ} = 1,59 \text{ kN}$$

- **Verificación de las diagonales**

- **Cara lateral** La longitud de la diagonal es: $L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + \frac{b^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{20^2}{4} + \frac{20^2}{4} + 20^2} = 24,5 \text{ cm}$

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal: $P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$

$\phi_c = 0,85$ (Acero AL 220)

$$k L_D = 0,85. L_D = 0,85 \times 24,5 = 20,83 \text{ cm}$$

$$\lambda = 20,83 \times 4 / 0,8 = 104,3 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 104,3 / 94,72 = 1,10$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,484$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,484 \times 220 \times 0,5 \times 0,1 = 4,52 \text{ kN} > D_{u2} = 3,19 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Cara superior** La longitud de la diagonal es: $L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + b^2} = \sqrt{\frac{20^2}{4} + 20^2} = 22,4 \text{ cm}$

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal: $P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$

$\phi_c = 0,85$ (Acero AL 220)

$$k L_D = 0,85. L_D = 0,85 \times 22,4 = 19 \text{ cm}$$

$$\lambda = 19 \times 4 / 0,6 = 127 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 127 / 94,72 = 1,34$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,372$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,372 \times 220 \times 0,28 \times 0,1 = 1,95 \text{ kN} > D_{u1} = 1,59 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

• **Verificación de deformaciones.** (Sección 10.1.)

Se debe determinar el Momento de Inercia modificado I_m con respecto a ambos ejes por estar sometida la barra a flexión disimétrica. Se determina la Esbeltez modificada de la barra armada λ_m con respecto a ambos ejes (Sección 5.4.2.1.)

Para celosías sólo con diagonales $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 A_g \cdot d^3}{n_o \cdot A_D \cdot s \cdot h^2}}$

Para pandeo alrededor de $x'-x'$ $n_o = 2 \cdot \cos \beta$ Para pandeo alrededor de $z'-z'$ $n_o = 1$

$$\lambda_{1x'} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 3 \times 1,13 \times 24,5^3}{2 \times \cos 26,56^\circ \times 0,50 \times 20 \times 20^2}} = 11,8$$

$$\lambda_{1z'} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 3 \times 1,13 \times 22,4^3}{1 \times 0,28 \times 20 \times 20^2}} = 18,3$$

$$k \cdot L_{x'} = 1 \times 400 = 400 \text{ cm}$$

$$r_{x'} = 0,471 \times 20 = 9,42 \text{ cm}$$

$$\lambda_{ox'} = (k L_{x'} / r_{x'}) = 400 / 9,42 = 42,5$$

$$\lambda_{mx'} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{42,5^2 + 11,8^2} = 44,11$$

$$r_{mx'} = (k \cdot L_{x'}) / \lambda_{mx'} = 400 / 44,11 = 9,07 \text{ cm}$$

$$I_{mx'} = r_{mx'}^2 \times A_g = 9,07^2 \times 3 \times 1,13 = 278,7 \text{ cm}^4$$

$$k \cdot L_{z'} = 1 \times 400 = 400 \text{ cm}$$

$$r_{z'} = 0,408 \times 20 = 8,16 \text{ cm}$$

$$\lambda_{oz'} = (k L_{z'} / r_{z'}) = 400 / 8,16 = 49,1$$

$$\lambda_{mz'} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{49,1^2 + 18,3^2} = 52,4$$

$$r_{mz'} = (k \cdot L_{z'}) / \lambda_{mz'} = 400 / 52,4 = 7,633 \text{ cm}$$

$$I_{mz'} = r_{mz'}^2 \times A_g = 7,633^2 \times 3 \times 1,13 = 197,5 \text{ cm}^4$$

Las deformaciones se verifican con las cargas de **servicio**. Las combinaciones de servicio aplicables son: (CIRSOC 301, Sección A-L.1.)

(1) D + L_r

(2) D + 0,7 (L_r + W(+))

Para obtener la flecha total se componen vectorialmente las deformaciones según los ejes $x'-x'$ y $z'-z'$. Para cada eje se calculan las flechas con las fórmulas elásticas de vigas de alma llena.

Combinación (1)

$$q_{x'x'} = 0,152 + 1,183 = 1,335 \text{ kN/m} \quad q_{z'z'} = 0,052 + 0,404 = 0,456$$

$$f_{x'max} = \frac{5 \cdot q_{x'} \cdot L_{x'}^4}{384 \cdot E \cdot I_{mx}} \cdot (10)^{-1} = \frac{5 \times 1,335 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 278,7} \cdot (10)^{-1} = 0,80 \text{ cm}$$

$$f_{z'max} = \frac{5 \times 0,458 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 197,5} \cdot (10)^{-1} = 0,39 \text{ cm} \quad f_{max} = \sqrt{0,80^2 + 0,39^2} = 0,90 \text{ cm}$$

Combinación (2)

$$q_{x'x'} = 0,152 + 0,7 \times (1,183 + 0,479 \times 1,38) = 1,443 \text{ kN/m} \quad q_{z'z'} = 0,052 + 0,7 \times (0,404 + 0) = 0,335$$

$$f_{x'max} = \frac{5 \cdot q_{x'} \cdot L_{x'}^4}{384 \cdot E \cdot I_{mx}} \cdot (10)^{-1} = \frac{5 \times 1,443 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 278,7} \cdot (10)^{-1} = 0,87 \text{ cm}$$

$$f_{z'max} = \frac{5 \times 0,335 \times 400^4}{384 \times 200000 \times 197,5} \cdot (10)^{-1} = 0,29 \text{ m} \quad f_{max} = \sqrt{0,87^2 + 0,29^2} = 0,92 \text{ cm}$$

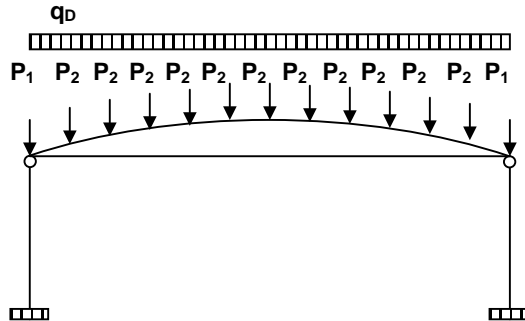
De combinación (2) resulta una flecha $f = 0,92 \text{ m}$

$$f/L = 0,92 / 400 = 1/434 < 1/200$$

(verifica)

(B) (C) (D).- PÓRTICO P₃ : Cargas sobre Pórtico y solicitaciones de sección en Arco A, Columna C y Tensor T

• **Carga permanente y sobrecarga**



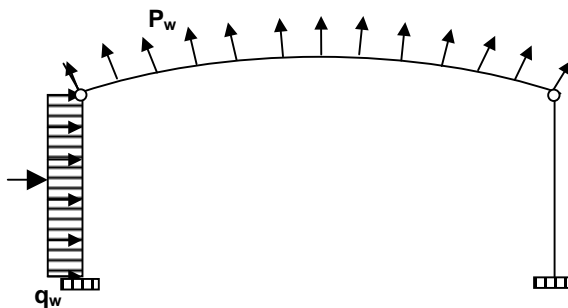
Carga permanente D

Carga repartida Peso del arco $q_D = 0,02 \text{ kN/m}$
 Cargas concentradas $P_1 = 0,16 \times 4/2 + \text{p.p. columna} = 0,32 + 0,23 \times 5 = 1,47 \text{ kN}$
 $P_2 = 0,16 \times 4 = 0,64 \text{ kN}$

Sobrecarga útil L_r

Cargas concentradas $P_1 = 0,58 \times 1,365 \times 4/2 = 1,59 \text{ kN}$
 $P_2 = 0,58 \times 1,365 \times 4 = 3,18 \text{ kN}$

• **Viento**



$q_w = 0,595 \text{ kN/m}^2 \times 4\text{m} = 2,38 \text{ kN/m}$ $P_w = 0,683 \text{ kN/m}^2 \times 1,38 \times 4 = 3,77 \text{ kN}$

Se determinan las solicitaciones máximas de sección para el arco **A**, la Columna **C** y el tensor **T** para las siguientes combinaciones:

- (1) 1,2 D + 1,6 L_r
- (2) 1,2 D + 1,6 (L_r cargando medio arco)
- (3) 0,9D + 1,5 W

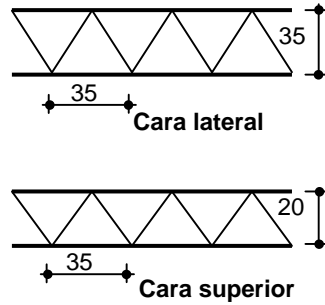
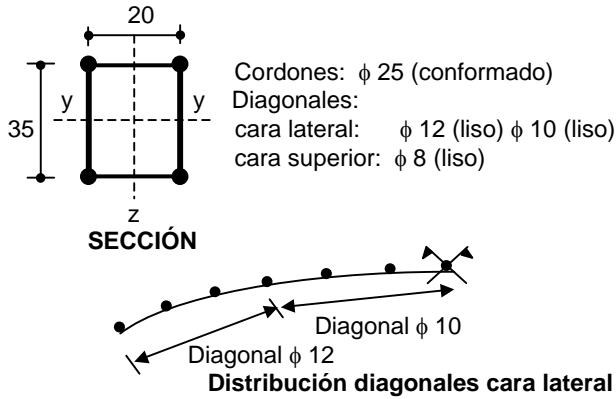
No se considera la combinación 1,2 D + 1,6 L_r + 0,8 W por tener sobre el arco L_r y W efectos opuestos.

Se consideraron los Momentos de Inercia modificados I_m obtenidos del predimensionado de las barras.

Las solicitaciones máximas se indican en las verificaciones de cada elemento estructural.

(B) ARCO A

Se adopta una sección rectangular con cordones de sección circular maciza.



• **Máximas solicitaciones de sección**

Flexo tracción	$M_{uy} = 77,9 \text{ kNm}$	$T_u = + 25,3 \text{ kN}$	Combinación (3)
Flexo compresión	$M_{uy} = 22,3 \text{ kNm}$ $M_{uy} = 16,3 \text{ kNm}$	$N_u = - 58,6 \text{ kN}$ $N_u = - 81,2 \text{ kN}$	Combinación (2) Combinación (1)

Corte

en cuarto inferior del arco	$V_{uy} = 17,4 \text{ kN}$	en flexo tracción	Combinación (3)
en cuarto superior del arco	$V_{uy} = 7,8 \text{ kN}$	en flexocomprensión $N_u = 58,6 \text{ kN}$	Combinación (2)

• **Verificación de los cordones**

• Flexo tracción $T_{u1} = \frac{T_u}{n} + \frac{M_{ux}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) + \frac{M_{uy}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2)$ (7.1-1)

$P_{u1} = \frac{T_u}{n} - \frac{M_{ux}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) - \frac{M_{uy}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2)$ (7.1-2)

$T_{u1} = \frac{25,3}{4} + \frac{77,9}{2 \times 35} \cdot (10^2) = + 117,6 \text{ kN}$

$P_{u1} = \frac{25,3}{4} - \frac{77,9}{2 \times 35} \cdot (10^2) = -104,9 \text{ kN}$

• Flexo compresión

$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{sx}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) + \frac{M_{sy}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2)$ (7.2-1)

(Sección 3.2.2.3.1.)

Longitud de pandeo en el plano del arco: semiarco $s = 1642/2 = 821 \text{ cm}$ $f/L = 0,10 \Rightarrow k_y = 1,02$
 $k_y \cdot L_y = 1,02 \times 821 = 838 \text{ cm}$

Longitud de pandeo fuera del plano del arco (Sección 3.2.2.3.2.):

Distancia entre arriostramientos $L_z = 3 \times 138 = 414 \text{ cm}$ $k_z = 1$ $k_z \cdot L_z = 1 \times 414 = 414 \text{ cm}$

Para celosías sólo con diagonales $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 A_g \cdot d^3}{n_o \cdot A_D \cdot s \cdot h^2}}$

$\lambda_{1y} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 4,91 \times 39,1^3}{2 \times 0,78 \times 35 \times 35^2}} = 18,5$

$\lambda_{1z} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 4,91 \times 26,6^3}{2 \times 0,5 \times 35 \times 20^2}} = 22,9$

$r_y = 35/2 = 17,5 \text{ cm}$

$r_z = 20/2 = 10 \text{ cm}$

$$\lambda_{oy} = (kL_y / r_y) = 838/17,5 = 47,8$$

$$\lambda_{oz} = (kL_z / r_z) = 414/10 = 41,4$$

$$\lambda_{my} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{47,8^2 + 18,5^2} = 51,2 \quad \lambda_{mz} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{41,4^2 + 22,9^2} = 47,3$$

$$e_{oy} = 838/500 = 1,68 \text{ cm}$$

$$e_{oz} = 414/500 = 0,83 \text{ cm}$$

$$P_{c.my} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\lambda_{my}^2} \cdot (10^{-1}) = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot (4 \times 4,91)}{51,2^2} \cdot (10^{-1}) = 1479 \text{ kN} \quad P_{c.mz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot (4 \times 4,91)}{47,3^2} \cdot (10^{-1}) = 1732 \text{ kN}$$

$$M_{sy} = \frac{P_u \cdot e_{oy} \cdot (10)^{-2} + M_{uy}}{1 - \frac{P_u}{P_{c.my}}} = \frac{53 \times 1,68 \cdot (10)^{-2} + 22,3}{1 - \frac{53}{1479}} = 24,05 \text{ kNm} \quad M_{sz} = \frac{53 \times 0,83 \cdot (10)^{-2}}{1 - \frac{53}{1732}} = 0,45 \text{ kNm}$$

$$P_{u1} = \frac{53}{4} + \frac{24,05}{2 \times 35} \cdot (10^2) + \frac{0,45}{2 \times 20} \cdot (10^2) = 48,73 \text{ kN} < 104,9 \text{ kN} \quad (\text{crítica flexotracción})$$

- Se verifica el cordón con la máxima compresión $P_u = 104,9 \text{ kN}$

$\phi_c = 0,80$ (Acero ADN 420 S) $kL = 1x_s = 1 \times 35 = 35 \text{ cm}$ (Sección 3.2.3.)

$$\lambda = 35 \times 4/2,5 = 56 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{400}{200000}} = 70,25 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 56/70,25 = 0,80$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,662$

La Resistencia de diseño a la compresión es $P_{d1} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_{g1} \cdot (10)^{-1}$

$$P_{d1} = 0,8 \times 0,662 \times 400 \times 4,91 \times 0,1 = 104,1 \text{ kN} \cong P_{u1} = 104,9 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- Se verifica el cordón con la máxima tracción (Sección 4.1.) $T_{u1} = 117,6 \text{ kN}$

$$T_{d1} = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g \cdot (10)^{-1} \quad (4.1-1)(4.1-2)$$

$$T_{d1} = 0,9 \times 400 \times 4,91 \times 0,1 = 176,7 \text{ kN} > T_{u1} = 117,6 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

• Verificación de las diagonales

- Diagonal en cuarto inferior del arco ($\phi 12$) $V_{uy} = 17,4 \text{ kN}$ (en flexo tracción) (Sección 7.1.2)

$$\text{La compresión en la diagonal es: } D_{u2} = \frac{V_{uy}}{2 \cdot \text{sen } \alpha_2} \quad (7.1-7)$$

$$\text{La longitud de la diagonal es: } L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{35^2}{4} + 35^2} = 39,1 \text{ cm}$$

$$D_{u2} = \frac{17,4}{2 \times (35/39,1)} = 9,7 \text{ kN}$$

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal: $P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$

$\phi_c = 0,85$ (Acero AL 220) $kL_D = 0,85 \cdot L_D = 0,85 \times 39,1 = 33,3 \text{ cm}$

$$\lambda = 33,3 \times 4/1,2 = 111 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 111/94,72 = 1,17$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,448$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,448 \times 220 \times 1,13 \times 0,1 = 9,5 \text{ kN} \cong D_{u2} = 9,7 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- Diagonal en cuarto superior del arco ($\phi 10$) $V_{uy} = 7,8 \text{ kN}$ (en flexo compresión) (Sección 7.2.2)

$$V_{suy} = V_{uy} + \beta_y \cdot P_u \quad \beta_y = \frac{\pi}{400} \cdot \left[\frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cmy}}} \right] = \beta_y = \frac{\pi}{400} \cdot \left[\frac{1}{1 - \frac{58,6}{1478}} \right] = 0,0082 \quad (7.2-7)$$

$$V_{suy} = 7,8 + 0,0082 \times 58,6 = 8,28 \text{ kN}$$

La compresión en la diagonal es: $D_{u2} = \frac{V_{suy}}{2 \cdot \text{sen } \alpha_2} \quad (7.2-8)$

La longitud de la diagonal = 39,1 cm

$$D_{u2} = \frac{8,28}{2 \times (35/39,1)} = 4,63 \text{ kN}$$

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal: $P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$

$\phi_c = 0,85$ (Acero AL 220)

$$k L_D = 0,85. L_D = 0,85 \times 39,1 = 33,3 \text{ cm}$$

$$\lambda = 33,3 \times 4/1 = 133 \quad c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_\lambda = 133 / 94,72 = 1,41$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,346$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,346 \times 220 \times 0,785 \times 0,1 = 5,08 \text{ kN} > D_{u2} = 4,63 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- La diagonal de la cara superior deberá verificarse con el corte ideal resultante de la compresión máxima.

- **Marco extremo** (Secciones 7.2. y 5.4.3.)

En los extremos del arco se colocará un marco de perfil ángulo. El angular deberá cumplir:

$$\frac{n_p \cdot I_p}{h} \geq \frac{10 \cdot I_1}{s} \quad (5.4-15)$$

$$I_1 = 2 \times (\pi \cdot d_c^4 / 64) = 2 \times \pi \times 2,5^4 / 64 = 3,84 \text{ cm}^4 \quad s = 35 \text{ cm} \quad h = 35 \text{ cm} \quad n_p = 2$$

$$I_{p\text{mín}} = 10 \times 3,84 \times 35 / 2 \times 35 = 19,2 \text{ cm}^4 \Rightarrow \text{ángulo } 2 \text{ } 1/4 \text{''} \times (1/4 \text{''}) \text{ (} I_x = 21,23 \text{ cm}^4 \text{)}$$

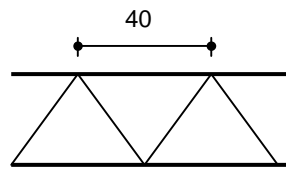
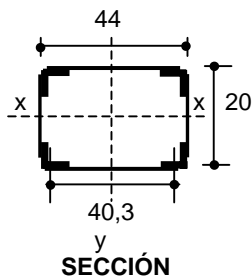
- **Fabricación, transporte y montaje**

Si el arco se fabrica en dos tramos, estos deberán ser unidos en la clave. La unión (Sección 9.3.) deberá transmitir los Momentos flectores, Esfuerzos Normales y Esfuerzos de corte requeridos en la sección de la clave para la o las combinaciones críticas.

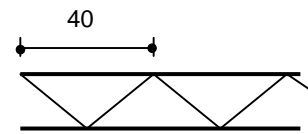
La unión mas convenientes es a través de dos marcos de perfiles ángulos unidos por bulones. Los marcos están soldados a los cordones y diagonales del arco en su extremo. Para el dimensionado de los bulones se tomará en cuenta el efecto palanca.

(C) COLUMNA C

Sometida a flexoaxil. Se adopta una sección rectangular con cordones de perfiles ángulo.



Cara Paralela a x-x



Cara paralela a y-y

Cordones : Perfil ángulo 2 1/2"x1/4"
 Distancia entre ejes de ángulos = 44 - 1,82x2 = 40,3 cm
Diagonales: Cara paralela a **x-x** : ϕ 16 (liso)
 Cara paralela a **y-y** : ϕ 8 (liso)

- **Materiales:** Cordones F24 ($F_y = 235$ MPa)
 Diagonales AL 220 ($F_y = 220$ MPa)

• **Máximas solicitaciones de sección**

Flexo tracción $M_{uy} = 112,2$ kNm $T_u = + 29,7$ kN Combinación (3)

Flexo compresión $M_{uy} = 16,8$ kNm $N_u = - 38,4$ kN Combinación (1)

Corte $V_{uy} = 31,4$ kN en flexo tracción Combinación (3)
 $V_{uy} = 3,84$ kN en flexocompresión $N_u = 38,4$ kN Combinación (1)

• **Verificación de los cordones**

• Flexo tracción $T_{u1} = \frac{T_u}{n} + \frac{M_{ux}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) + \frac{M_{uy}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2)$ (7.1-1)

$P_{u1} = \frac{T_u}{n} - \frac{M_{ux}}{n_1 \cdot h} \cdot (10^2) - \frac{M_{uy}}{n_1 \cdot b} \cdot (10^2)$ (7.1-2)

$T_{u1} = \frac{29,7}{4} + \frac{112,2}{2 \times 40,3} \cdot (10^2) = + 146,7$ kN

$P_{u1} = \frac{29,7}{4} - \frac{112,2}{2 \times 40,3} \cdot (10^2) = -131,8$ kN

- Se determina la **resistencia de diseño a compresión del cordón** (Sección 5.3.)

$\phi_c = 0,85$ (Acero F24) $kL = 1x_s = 1 \times 40 = 40$ cm (Sección 3.2.3.)

Perfil ángulo 2 1/2"x1/4 $A_{g1} = 7,66$ cm² $I_x = 29,26$ cm⁴ $r_{min} = 1,25$ cm

$\lambda = 40/1,25 = 32$ $c_\lambda = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235}{200000}} = 91,65$ $\lambda_c = \lambda / c_\lambda = 32/91,65 = 0,35$

La Resistencia de diseño a la compresión es $P_{d1} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_{g1} \cdot (10)^{-1}$

$P_{d1} = 0,85 \times 0,658^{\lambda_c^2} \times 235 \times 7,66 \times 0,1 = 145,4$ kN

- Se determina la resistencia de diseño a tracción del cordón

$$T_{d1} = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g \cdot (10)^{-1}$$

$$T_{d1} = 0,9 \times 235 \times 7,66 \times 0,1 = 162 \text{ kN}$$

- La verificación de los cordones se hace mas adelante pues por la excentricidad de los nudos resultante de la adopción de diagonales de diámetro 16 , resultan sometidos a flexo axil.
- No se realiza la determinación de esfuerzos axiles en los cordones cuando la columna está sometida a flexo compresión (combinación (1)) pues las sollicitaciones de sección son mucho menores a las de flexo tracción

• Verificación de las diagonales

- $V_{uy} = 31,4 \text{ kN}$ (en flexo tracción) (Sección 12.1.13.(2))

La compresión en la diagonal es:
$$D_{u2} = \frac{V_{uy}}{2 \cdot \text{sen } \alpha_2} \quad (7.1-7)$$

La longitud de la diagonal es:
$$L_D = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{40^2}{4} + 40,3^2} = 45 \text{ cm}$$

$$D_{u2} = \frac{31,4}{2 \times (40,3/45)} = 17,6 \text{ kN}$$

La resistencia de diseño a compresión de la diagonal:
$$P_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot (10)^{-1}$$

$$\phi_c = 0,85 \text{ (Acero AL 220)}$$

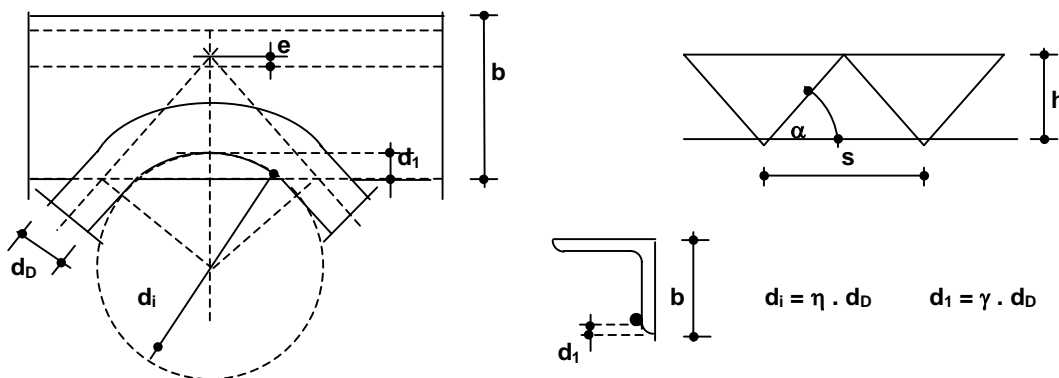
$$k L_D = 0,85 \cdot L_D = 0,85 \times 45 = 38,2 \text{ cm}$$

$$\lambda = 33,3 \times 4 / 1,6 = 95,5 \quad c_{\lambda} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = 1 / \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{220}{200000}} = 94,72 \quad \lambda_c = \lambda / c_{\lambda} = 95,5 / 94,72 = 1,01$$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,534$

$$P_{dD} = 0,85 \times 0,534 \times 220 \times 2,01 \times 0,1 = 20,1 \text{ kN} > D_{u2} = 17,6 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

• Momentos flectores secundarios por excentricidad de nudo



$d_D = 1,6 \text{ cm}$ diámetro interior de doblado mínimo (Sección 3.1.4.1.) = $4 d_D$
 (Sección 3.1.4.3.1) Se adopta $d_i = 0,8 \text{ cm}$ Resultan $\eta = 4$ $\gamma = d_i / d_D = 0,8 / 1,6 = 0,5$ $b = 6,35 \text{ cm}$
 La excentricidad e es:

$$e = \left[\frac{\eta + 1}{2 \cdot \cos \alpha} - \frac{\eta}{2} + \gamma \right] \cdot d_D - 0,7b \quad (3.1-15)$$

$$e = \left[\frac{4 + 1}{2 \cdot (20/45)} - \frac{4}{2} + 0,5 \right] \cdot 1,6 - 0,7 \times 6,35 = 2,1 \text{ cm}$$

Siendo la diagonal externa **no es necesario** satisfacer $e \leq 0,3 b - 2,5 t$

El momento flector secundario en el nudo es: (Sección 3.1.4.4.)

$$M_s = \frac{V_u \cdot s \cdot e}{h} (10)^{-2} \quad (3.1-24)$$

$$M_s = \frac{(31,4/2) \times 40 \times 2,1 \cdot e}{40,3} (10)^{-2} = 0,33 \text{ kNm}$$

En cada cordón el Momento flector secundario $M_c = 0,5 M_s = 0,5 \times 0,33 = 0,165 \text{ kNm}$

- **Verificación de las barras de los cordones** (CIRSOC 301, Sección F.5.)

- Resistencia de diseño a flexión

Módulo elástico perfil $S_c = 6,46 \text{ cm}^3$

Por pandeo local $b/t = 6,35/0,635 = 10 < \frac{240}{\sqrt{F_y}} = \frac{240}{\sqrt{235}} = 15,66$

$$M_n = 1,5 \cdot F_y \cdot S_c \cdot (10)^{-3} = 1,5 \times 6,46 \times 235 \times 0,001 = 2,28 \text{ kNm}$$

Por pandeo lateral

$$M_y = 0,8 \cdot S_c \cdot F_y \cdot (10)^{-3} = 0,8 \times 6,46 \times 235 \times 0,001 = 1,215 \text{ kNm}$$

$$M_{ob} = \frac{132 \cdot b^4 \cdot t \cdot C_b}{L^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 \left(L \cdot t / b^2 \right)^2} - 1 \right]$$

$$M_{ob} = \frac{132 \times 6,35^4 \times 0,635 \times 1}{40^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 \left(40 \times 0,635 / 6,35^2 \right)^2} - 1 \right] = 12,29 \text{ kNm} > M_y = 1,215 \text{ kNm}$$

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \sqrt{M_y / M_{ob}} \right] \cdot M_y \leq 1,50 M_y$$

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \sqrt{1,215 / 12,29} \right] \cdot M_y = 1,55 M_y > 1,50 M_y$$

Luego $M_n = 1,5 M_y = 1,5 \times 1,215 = 1,823 \text{ kNm}$

Resistencia de diseño a flexión $M_d = \phi \cdot M_n = 0,9 \times 1,823 = 1,64 \text{ kNm}$

- Verificación interacción (CIRSOC 301, Sección H.3.)

Flexo tracción $T_u = 146,7 \text{ kN}$ $M_u = 0,165 \text{ kNm}$ $T_d = 162 \text{ kN}$ $M_d = 1,64 \text{ kNm}$

Para $P_u / \phi \cdot P_n = 146,7 / 162 = 0,906 > 0,2$

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0$$

$$\frac{146,7}{162} + \frac{8}{9} \left[\frac{0,165}{1,64} \right] = 0,995 < 1$$

(verifica)

Flexo compresión $P_u = 131,8 \text{ kN}$ $M_u = 0,165 \text{ kNm}$ $P_d = 145,4 \text{ kN}$ $M_d = 1,64 \text{ kNm}$

Para $P_u / \phi \cdot P_n = 131,8 / 145,4 = 0,906 > 0,2$

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0$$

$$\frac{131,8}{145,4} + \frac{8}{9} \left[\frac{0,165}{1,64} \right] = 0,996 < 1$$

(verifica)

- **Marco extremo** (Secciones 7.2. y 5.4.3.)

En los extremos de la columna armada se colocarán presillas. La presilla deberá cumplir:

$$\frac{n_p \cdot I_p}{h} \geq \frac{10 \cdot I_1}{s} \quad (5.4-15)$$

$$I_1 = 2 \times 29,26 = 58,52 \text{ cm}^4 \quad s = 40 \text{ cm} \quad h = 40,3 \text{ cm} \quad n_p = 2$$

$$I_{p\text{mín}} = 10 \times 58,52 \times 40,3 / 2 \times 40 = 295 \text{ cm}^4 \Rightarrow \text{Presilla } 15,2 \times 0,952 \text{ (6" x 3/8")}$$

(D) TENSOR T

La máxima tracción es $T_u = 77,8 \text{ kN}$ en Combinación (1)

Se adopta para el tensor un diámetro $d = 25 \text{ mm}$ (liso). Acero AL 220

Se verifica el tensor con la máxima tracción (Sección 4.1.)

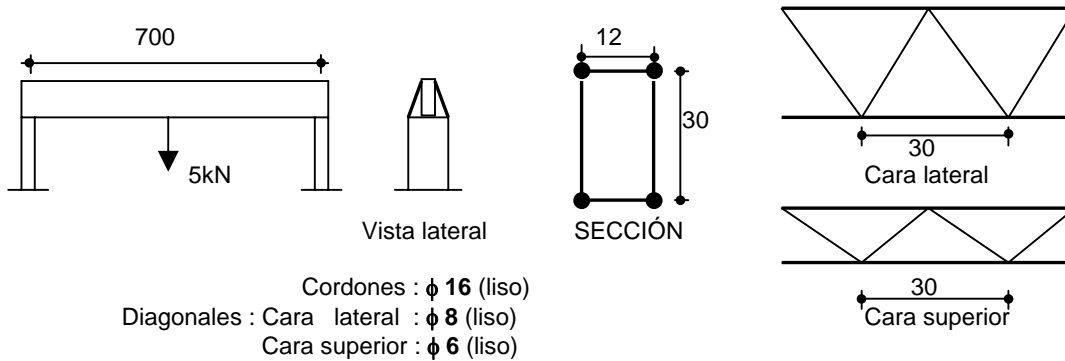
$$T_{d1} = \phi_t \cdot F_y \cdot A_g \cdot (10)^{-1} \quad (4.1-1)(4.1-2)$$

$$T_{d1} = 0,9 \times 220 \times 4,91 \times 0,1 = 97,2 \text{ kN} > T_u = 77,8 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

Para ponerlo en tensión se le coloca un manguito roscado. La barra roscada tendrá un diámetro $d_{br} = 1,2 d = 1,2 \times 25 = 30 \text{ mm}$

(E) VIGA V

Se adopta el siguiente esquema:



Para garantizar el desarrollo de la resistencia a pandeo lateral se debe garantizar en el apoyo la restricción al giro alrededor del eje de la viga (Sección 2.5.). Para ello se adopta la disposición que se muestra en la vista lateral con dos redondos soldados a la viga y unidos a la columna.

La viga no cumple la relación geométrica $b \geq h/2$ pero ello no es necesario si verifica el estado límite a pandeo lateral.

Materiales: Cordones AL 220 ($F_y = 220 \text{ MPa}$)
 Diagonales AL 220 ($F_y = 220 \text{ MPa}$)

- **D** (carga permanente)

Peso de viga : **D = 0,10 kN/m**

- **Sobrecarga L** Carga a levantar con peso de aparato de izaje = **5 kN**
 Mayor sollicitación a flexión y corte con combinación **1,2 D + 1,6 L**

$$M_u = 1,2x(0,1x7^2/8) + 1,6x(5x7/4) = 14,96 \text{ kNm} \quad V_u = 1,2x(0,1x7/2) + 1,6x(5/2) = 4,42, \text{kN}$$

La viga **V** está solicitada a flexión simple y a corte. (Sección 6.1.)

- **Estado límite de pandeo local de barras** (Sección 6.2.)

(1) Pandeo local de las barras del cordón comprimido

Esbeltez del cordón $kL = 1x s = 1x30 = 30 \text{ cm}$ $\lambda = 30x4/1,6 = 75$ $\lambda_c = \lambda/c_\lambda = 75/94,72 = 0,80$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,662$

$$M_{dcx} = \phi_c \cdot h \cdot n_1 \cdot A_{gc1} \cdot F_{cr} \cdot (10)^{-3} \quad (6.2-1a)$$

$$M_{dcx} = 0,85x30x2x2,01x0,662x220x0,1 = 14,93 \text{ kNm} \cong M_u = 14,96 \text{ kNm} \quad (\text{verifica})$$

(2) Pandeo local de las barras de diagonales (Sección 6.2.2.)

Esbeltez de la diagonal $kL = 0,85x l_D = 0,85x33,54 = 28,5 \text{ cm}$ $\lambda = 28,5x4/0,8 = 142,6$

$\lambda_c = \lambda/c_\lambda = 142,6/94,72 = 1,51$

De Tabla 5.2-1 $\chi = 0,311$

$$V_{dD} = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_D \cdot 2 \cdot \text{sen } \alpha \cdot (10)^{-1} \quad (6.2-2)$$

$$V_{dD} = 0,85x0,311x220x0,5x2x(30/33,54)x0,1 = 5,20 \text{ kN} > V_u = 4,42 \text{ kN} \quad (\text{verifica})$$

- **Estado límite de fluencia del cordón traccionado** (Sección 6.3.)

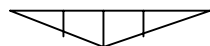
No es necesario verificarlo por ser la sección simétrica con respecto al eje de flexión

- **Estado límite de pandeo lateral torsional** (Sección 6.4.)

Para sección rectangular con celosías sólo con diagonales e igual paso en todas las caras:

$$J_r = \frac{b^2 \cdot h^2 \cdot s}{\frac{d_h^3}{A_{Dh}} + \frac{d_v^3}{A_{Dv}}} \quad (6.4-3)$$

$d_v = 33,54 \text{ cm}$ $d_h = 19,28 \text{ cm}$ $J_r = \frac{12^2 x 30^2 x 30}{\frac{19,28^3}{0,28} + \frac{33,54^3}{0,5}} = 38,58 \text{ cm}^4$



$0,5 \quad 1 \quad 0,5 \Rightarrow C_b = 1,30$

$$L_r = 150 \cdot C_b \cdot \frac{b}{M_{di}} \sqrt{J_r \cdot A_g} \quad (6.4-6)$$

$$L_r = 150 x 1,3 x \frac{12}{14,93} \sqrt{38,58 x 4 x 2,01} = 2760 \text{ cm} > L_b = 700 \text{ cm} \quad (\text{No es crítico pandeo lateral})$$

- **Verificación de deformaciones** (Sección 10.1.)

Se debe determinar el Momento de Inercia modificado I_m con respecto al eje de flexión. Se determina la Esbeltez modificada de la barra armada λ_m con respecto a dicho eje (Sección 5.4.2.1.)

Para celosías sólo con diagonales $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 A_g \cdot d^3}{n_o \cdot A_D \cdot s \cdot h^2}}$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 2,01 \times 33,54^3}{2 \times 0,50 \times 30 \times 30^2}} = 14,9$$

$$k \cdot L_x = 1 \times 700 = 700 \text{ cm} \quad r_x = (h/2) = 30/2 = 15 \text{ cm}$$

$$\lambda_{ox} = (kL_x / r_x) = 700/15 = 46,67 \quad \lambda_{mx} = \sqrt{\left(\frac{k \cdot L}{r}\right)^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{46,67^2 + 14,9^2} = 49$$

$$r_{mx} = (k \cdot L_x) / \lambda_{mx} = 700 / 49 = 14,29 \text{ cm}$$

$$I_{mx} = r_{mx}^2 \times A_g = 14,29^2 \times 4 \times 2,01 = 1641,6 \text{ cm}^4$$

Las deformaciones se verifican con las cargas de **servicio**. La combinación de servicio aplicable es: (CIRSOC 301, Sección **A-L.1.**)

D + L

$$q_x = 0,10 \text{ kN/m} \quad P_x = 5 \text{ kN}$$

$$f_{xm\acute{a}x} = \frac{5 \cdot q_x \cdot L_x^4}{384 \cdot E \cdot I_{mx}} \cdot (10)^{-1} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{mx}} \cdot (10)$$

$$f_{xm\acute{a}x} = \frac{5 \times 0,1 \times 700^4}{384 \times 200000 \times 1641,6} \cdot (10)^{-1} + \frac{5 \times 700^3}{48 \times 200000 \times 1641,6} \cdot (10) = 1,2 \text{ cm}$$

$$f/L = 1,2 / 700 = 1 / 583 < 1 / 200$$

(verifica)