



INTI
Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

4

- ESTRUCTURAS DE BARRAS DE ACERO
DE SECCION CIRCULAR

**EJEMPLOS DE DIMENSIONAMIENTO
DE ESTRUCTURAS
LIVIANAS DE ACERO
SEGUN LA
RECOMENDACION CIRSOC 303**

MAYO 1988

PROLOGO :

La Recomendación CIRSOC 303 "Estructuras livianas de acero" abarca a las estructuras realizadas con perfiles de chapa doblada y a las construidas con barras de acero de sección circular.

Con la finalidad de mejorar la utilización de la citada Recomendación se prepararon los ejemplos N° 3 relacionados con estructuras de la primer clase y para completar el objetivo propuesto se realizaron los ejemplos N° 4.

En esta oportunidad se adoptó como modelo un edificio industrial construido con barras de acero de sección circular y se indicaron las verificaciones más importantes, incorporándose también algunas referencias relativas a la determinación de las acciones y a los esquemas estructurales adoptados.

En virtud del alcance de esta publicación no se ha pretendido realizar la totalidad de las verificaciones necesarias para un edificio de estas características.

En base a los ejemplos N° 3 y a esta publicación, el CIRSOC ha comenzado la realización de una serie de cursos dirigidos a profesionales, técnicos y empresarios que se realizan en distintas localidades del país a solicitud de Organismos Oficiales y Privados.

Estos ejemplos han sido preparados por los Ingenieros Gustavo Darin y Juan Carlos Steigerwald del CIRSOC y han colaborado con ellos la señorita Mónica Beatriz Krotz en el tipeo de los originales y el señor Juan José Vieiro en la ejecución de los dibujos.

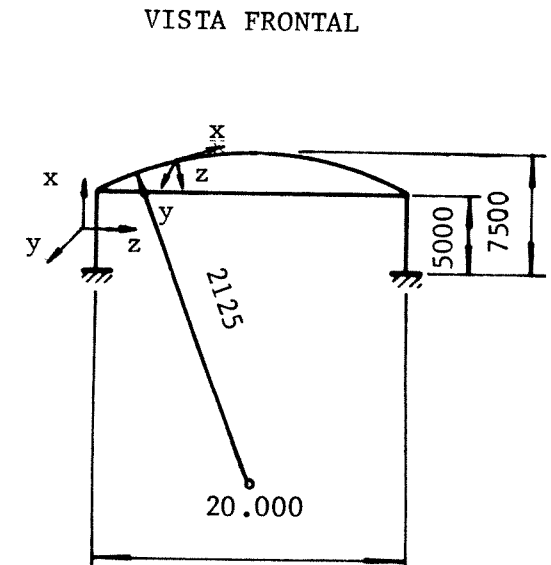
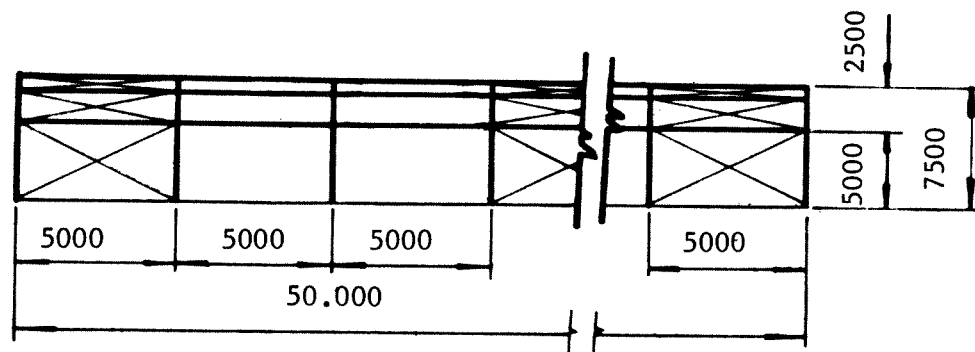
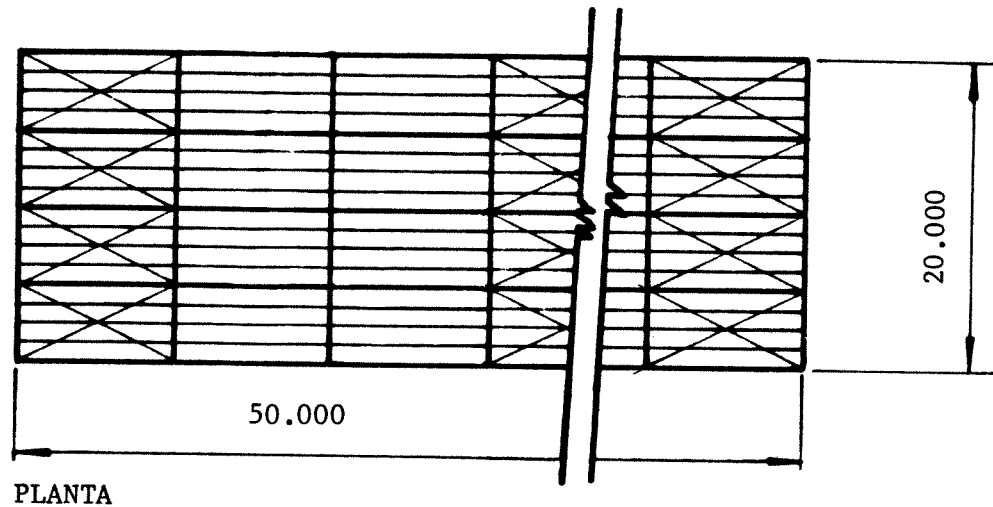
Mayo de 1988

INDICE

1.	ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA NAVE	1
2.	ACCION DEL VIENTO	3
.1.	Coeficiente de reducción por dimensiones c_d	3
.2.	Coeficientes de presión exterior e interior	5
.3.	Coeficientes de presión c	9
3.	ANALISIS DE CARGAS EN PORTICOS	13
.1.	Viento	13
.2.	Carga permanente	14
.3.	Sobrecarga	16
4.	CALCULO DE SOLICITACIONES EN PORTICOS	17
.1.	Superposición de solicitaciones	19
5.	ESQUEMAS ESTRUCTURALES	25
.1.	Arco	25
.2.	Columnas	26
6.	DIMENSIONAMIENTO	27
.1.	Verificación de las relaciones geométricas y esbelteces admisibles de arco y columnas	27
.2.	Acero utilizado - Tensión admisible	28
.3.	Columnas	28
.4.	Arco	38
.5.	Correas	46
	BIBLIOGRAFIA	57

ESTRUCTURA LIVIANA DE ACERO PARA NAVE INDUSTRIAL

1. ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LA NAVE



Separación entre:

- . Correas - 1,30 m
- . Llaves - 5,20 m*

* sobre el desarrollo del arco

2. ACCION DEL VIENTO

Estructura reticulada de hierro redondo para un edificio industrial con bajo factor de ocupación

Ubicación: Provincia de Buenos Aires - $\beta = 27,2$ m/seg (Tabla 1- Reglamento CIRSOC 102)

Coefficiente de velocidad probable: $c_p = 1,45$ (Tabla 2- Reglamento CIRSOC 102)

Rugosidad: Tipo III

$$V_o = c_p \cdot \beta = 1,45 \cdot 27,2 \text{ m/seg} = 39,44 \text{ m/seg}$$

$$q_o = 0,000613 \cdot V_o^2 = 0,000613 (39,44)^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2$$

$$q_z = q_o \cdot c_z \cdot c_d$$

$$c_z = 0,446 \text{ (de tabla 4, Reglamento CIRSOC 102)}$$

2.1. COEFICIENTE DE REDUCCION POR DIMENSIONES c_d (Tabla 5- Reglamento CIRSOC 102)

- Viento transversal

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{V_o} = \frac{7,5}{39,44} = 0,19 \\ \frac{a}{h} = \frac{50}{7,5} = 6,67 \end{array} \right\} c_d = 0,87$$

- Viento longitudinal

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{V_o} = 0,19 \\ \frac{b}{h} = \frac{20}{7,5} = 2,7 \end{array} \right\} c_d = 0,93$$

Para simplificar los cálculos tomaremos $c_d = 0,93$ en ambas direcciones de viento:

$$q_z = 0,95 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,446 \cdot 0,93 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

2.2 COEFICIENTES DE PRESION EXTERIOR E INTERIOR (c_e, c_i)

Viento longitudinal

Factor de forma γ_o

(figura 13- Reglamento CIRSOC 102)

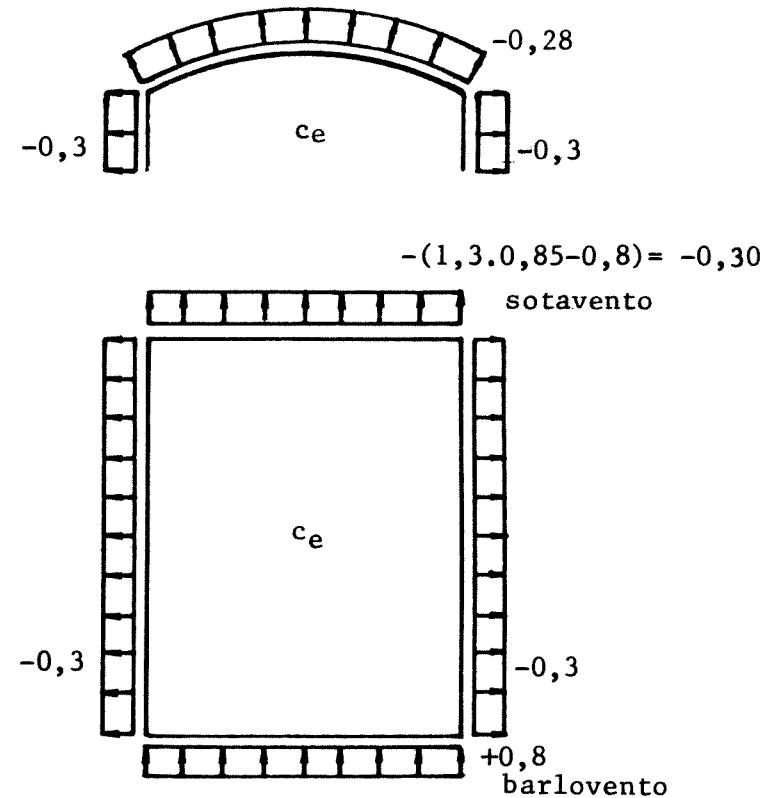
$$\left. \begin{aligned} \lambda_b &= \frac{h}{b} = \frac{7,5}{20} = 0,375 < 1 \\ \lambda_a &= \frac{h}{a} = \frac{7,5}{50} = 0,15 \end{aligned} \right\} \rightarrow \gamma_o = 0,85$$

. Coeficientes de presión exterior c_e :

- paredes : de tabla 6 y figura 16 con $\alpha = 0^\circ$

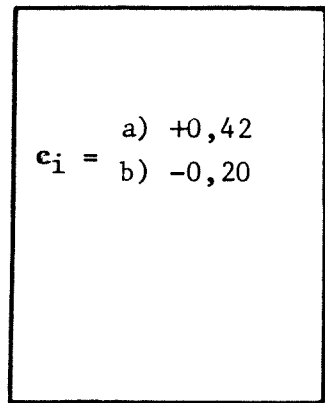
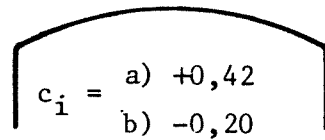
- cubierta: de tabla 7 y figura 17 a) con $\alpha = 0^\circ$ y

$$f = 2,5 < \frac{2}{3} \quad h = 5$$



. Coeficiente de presión interior c_i : de tabla 8. ($|c_i| \geq 0,2$)

Galpón cerrado



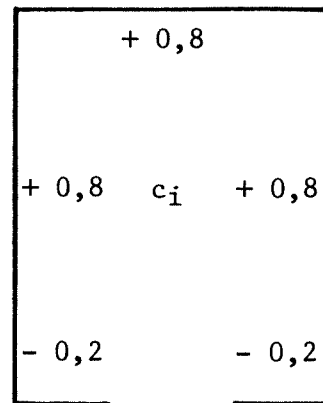
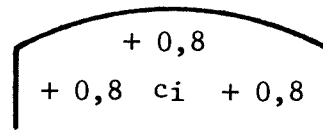
$$+ 0,6 (1,8 - 1,3 \cdot 0,85) = +0,42$$

$$- 0,6 (1,3 \cdot 0,85 - 0,8) = -0,18$$

$$- 0,20$$

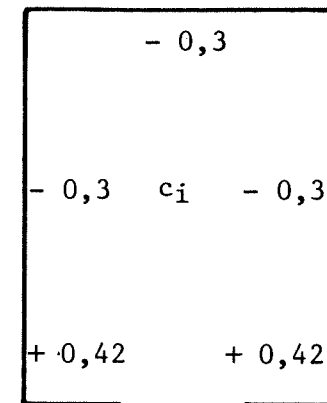
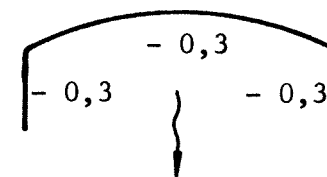
Galpón abierto

c)



$$- 0,6 (1,3 \cdot 0,85 - 0,8) = -0,18$$

d)



$$- (1,3 \cdot 0,85 - 0,8) = -0,3$$

$$- 0,20 + 0,6 (1,8 - 1,3 \cdot 0,85) = +0,42$$

Viento transversal

Factor de forma γ_o .

(figura 13 - Reglamento CIRSOC 102)

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_a = 0,15 < 0,5 \\ \lambda_b = 0,375 \end{array} \right\} \rightarrow \gamma_o = 0,92$$

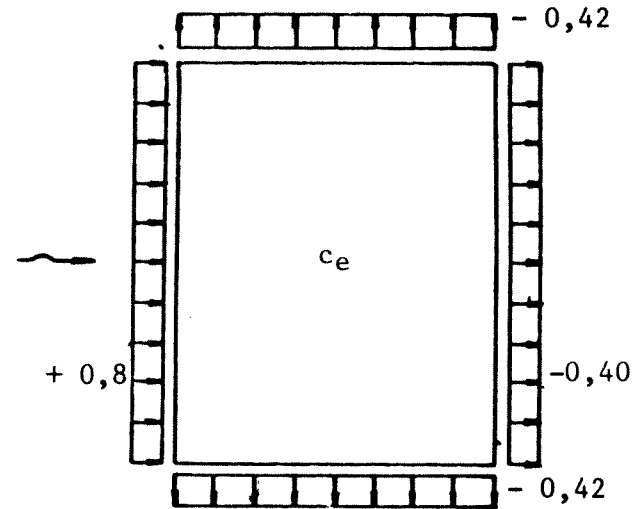
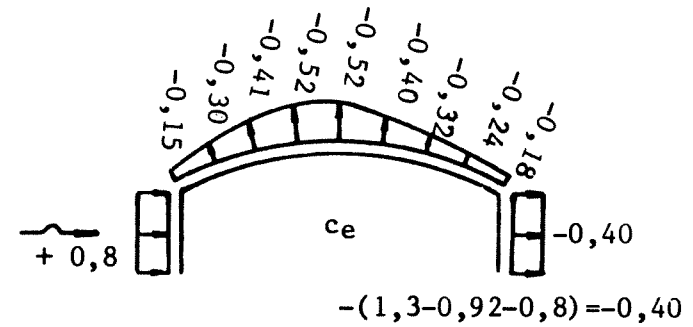
. Coeficientes de presión exterior c_e :

- paredes: de tabla 6 y figura 16 con $\alpha = 0^\circ$

- cubierta: de tabla 7 y figura 18 con α variable y

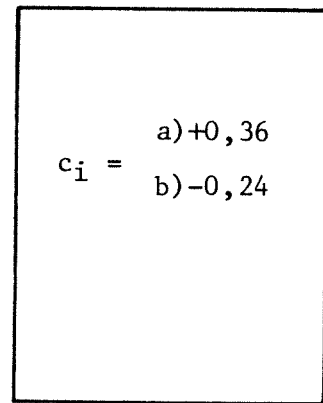
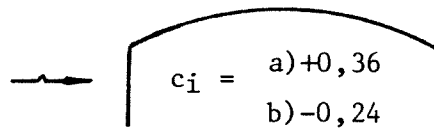
$$f = 2,5 < \frac{2}{3} h = 5$$

$$\frac{b}{10} = 2 < f = 2,5 < \frac{b}{2} = 10$$



. Coeficientes de presión interior c_i : de tabla 8 ($|c_i| \geq 0,2$)

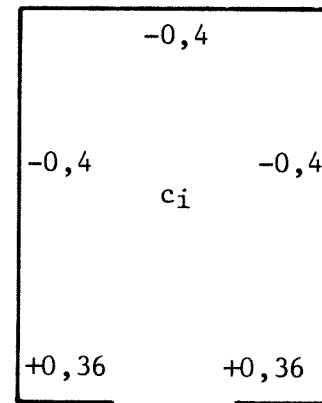
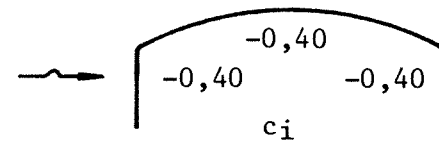
Galpón cerrado



$$+0,6 (1,8 - 1,3 \cdot 0,92) = +0,36$$

$$-0,6 (1,3 \cdot 0,92 - 0,8) = -0,24$$

c) Galpón abierto



$$-(1,3 \cdot 0,92 - 0,8) = -0,40$$

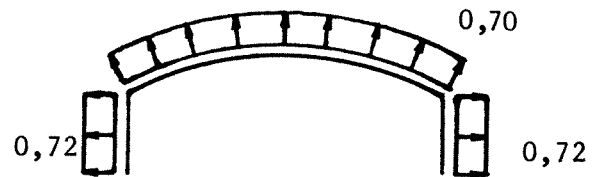
$$+0,6 (1,8 - 1,3 \cdot 0,92) = +0,36$$

2.3 COEFICIENTES DE PRESION c

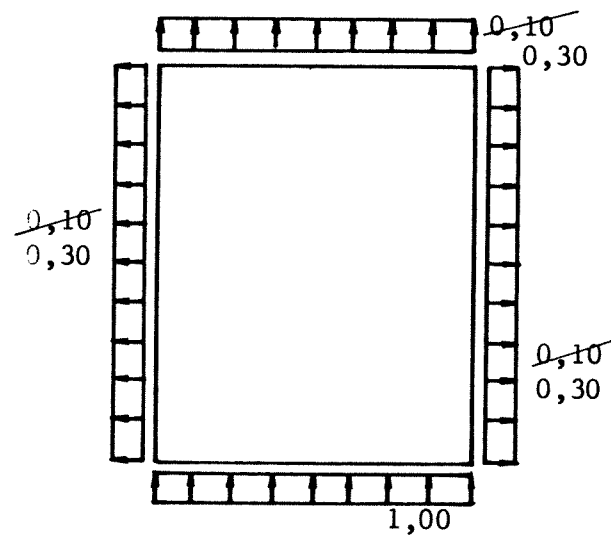
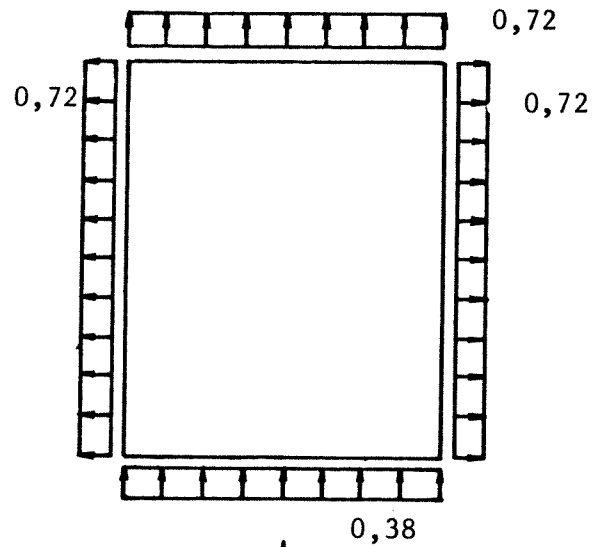
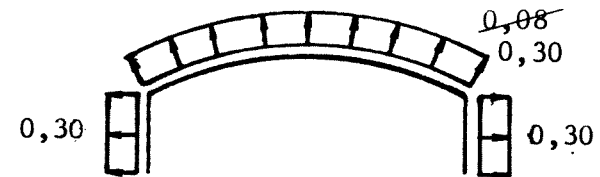
Viento longitudinal

. Coeficientes de presión $c = c_e - c_i$ ($|c| \geq 0,3$)

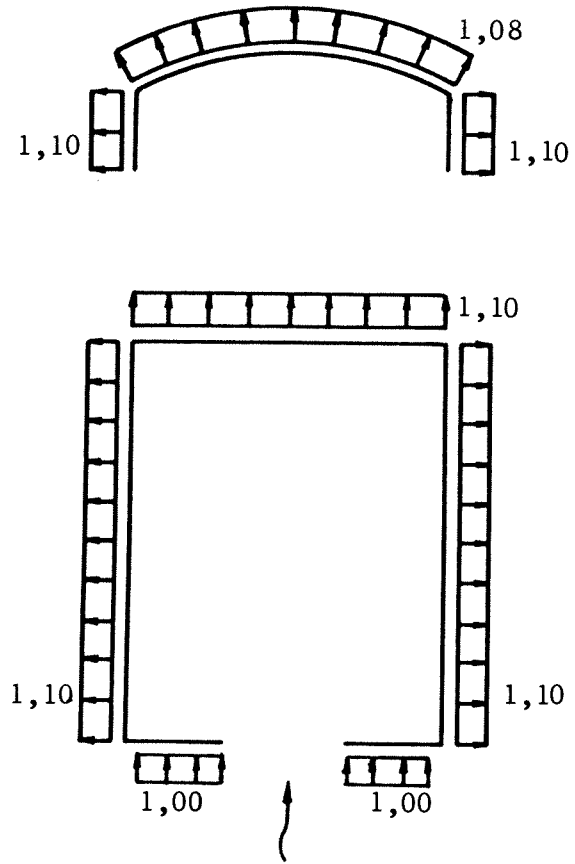
a) Galpón cerrado



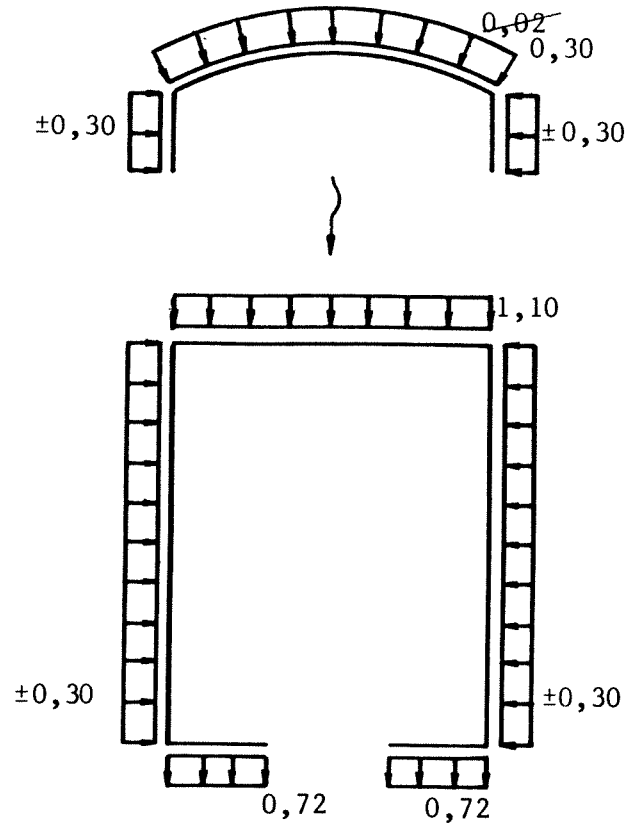
b) Galpón cerrado



c) Galpón abierto



d) Galpón abierto

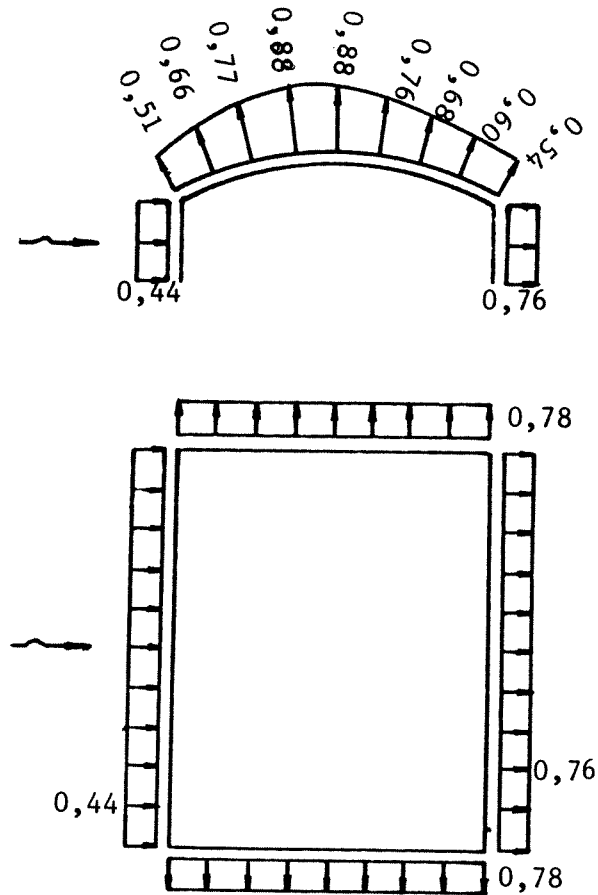


Viento transversal

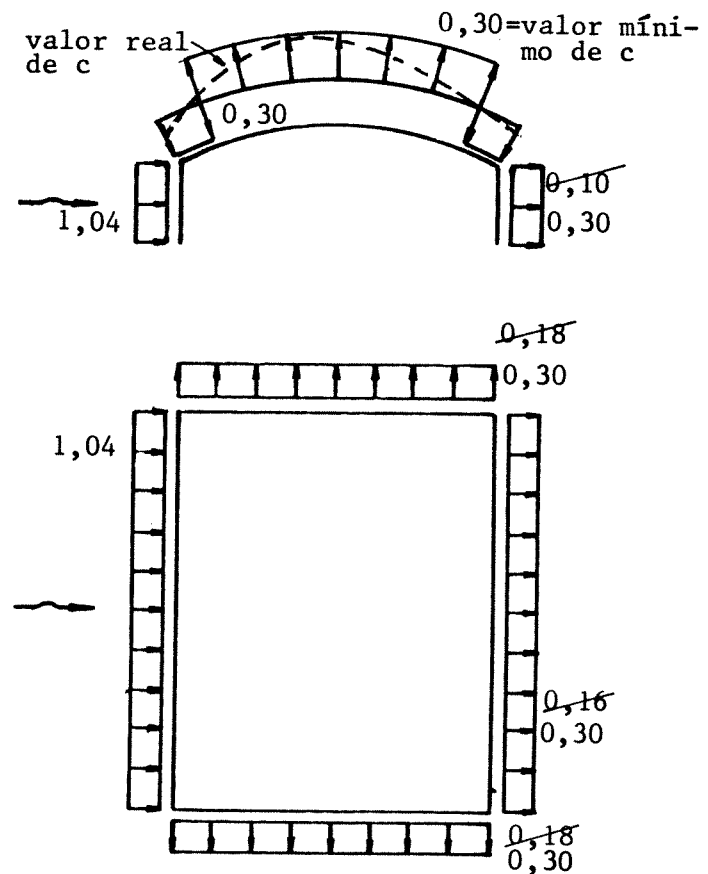
. Coeficientes de presión $c = c_e - c_i$ ($|c| \geq 0,3$)

Galpón cerrado

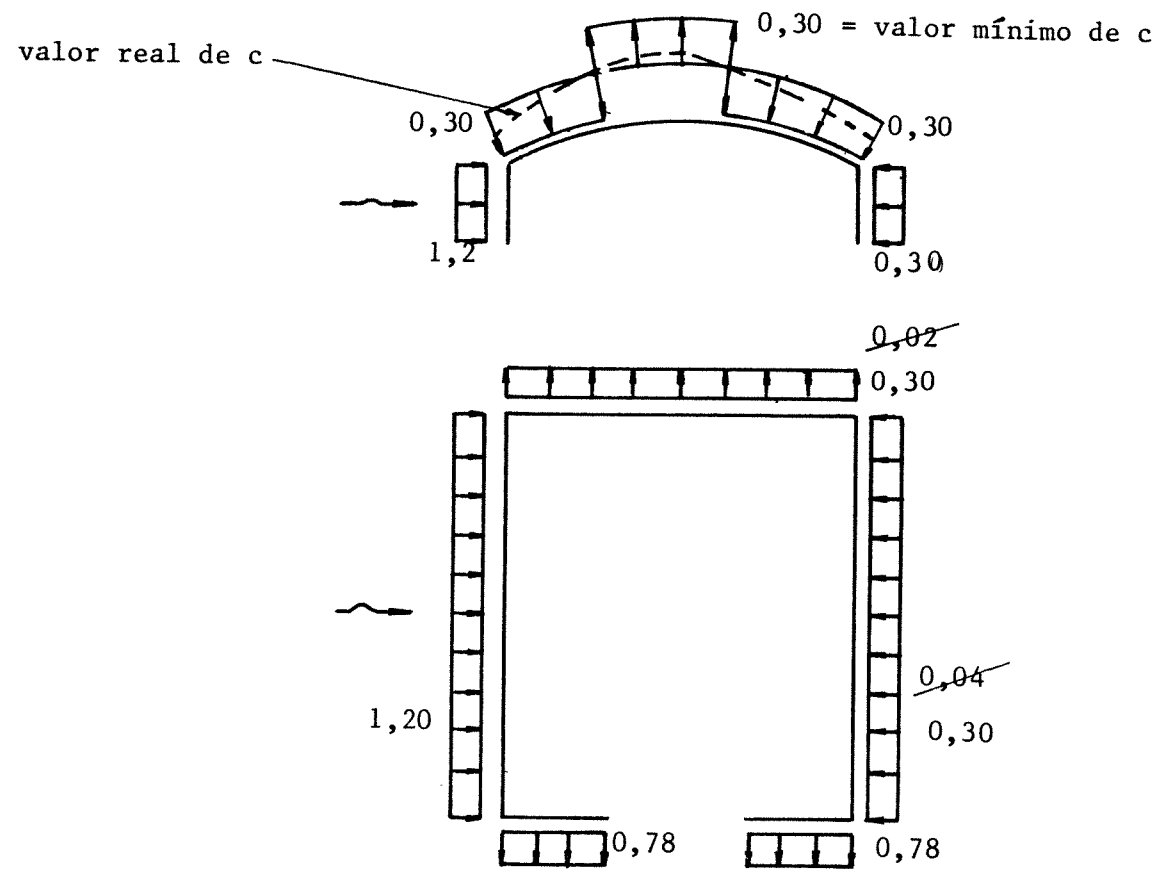
caso a)



caso b)



Galpón abierto - caso c)

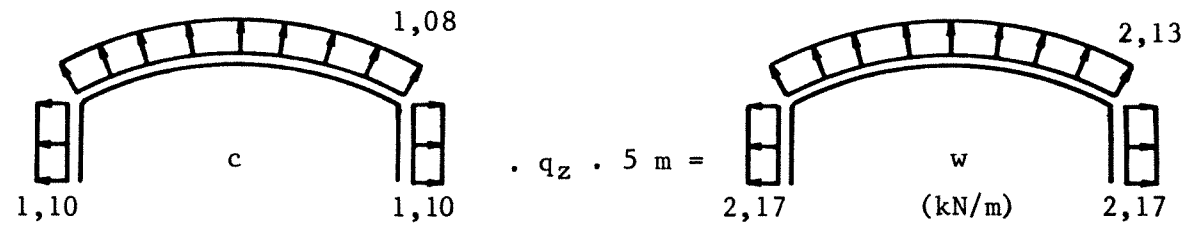


3, ANALISIS DE CARGAS EN PORTICOS

3.1. VIENTO

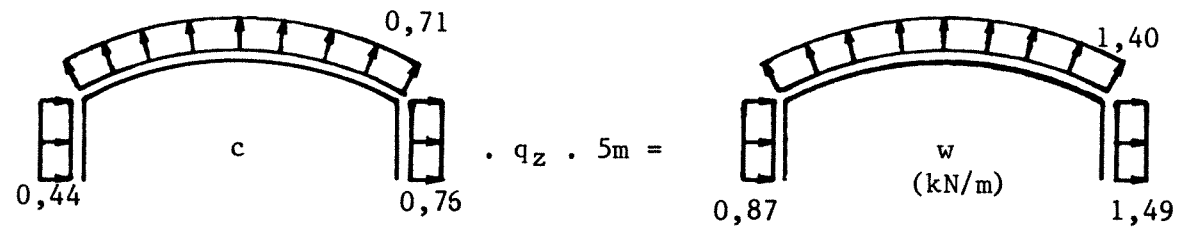
Tomados los estados de viento más desfavorables se simplificaron para adaptarlos a las posibilidades de cálculo manual de los pórticos.

viento longitudinal:

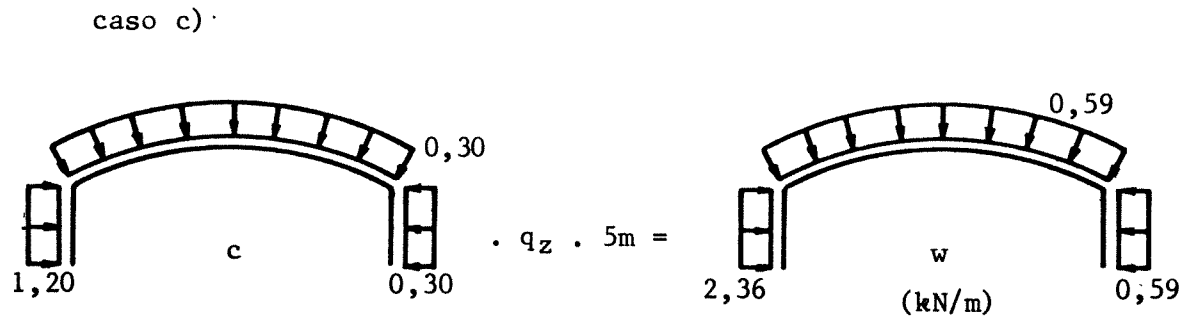


Viento transversal:

caso a)



Viento Transversal:



3.2. CARGA PERMANENTE

. Chapa acanalada 01

(Datos del "Catálogo de Productos Siderúrgicos para la Edificación- Instituto Argentino de Siderurgia- Buenos Aires - 1985).

Cantidad de ondas: $13 \frac{1}{2}$

longitud: 3 m

espesor: 0,40 mm

peso: 0,0420 kN/m

ancho: 1026 mm

peso por unidad de superficie:

$$\frac{0,0420}{1,026} = 0,0409 \text{ kN/m}^2 \approx \underline{\underline{0,05 \text{ kN/m}^2}}$$

peso de la chapa sobre el pórtico:

$$0,05 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 0,25 \text{ kN/m}$$

. Dintel

Estimación del peso propio según
CIRSOC 303, anexos al capítulo 2,
figura A.4

para $H = 45 \text{ cm}$ _____ peso del dintel = $0,21 \text{ kN/m}$

. Correas

longitud del arco = $20,82 \text{ m}$

separación entre correas = $1,30 \text{ m}$ (17 correas)

Estimando el peso propio según figura A.4
de CIRSOC 303, anexos al capítulo 2:

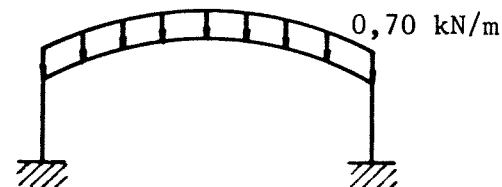
para $h = 20 \text{ cm}$ _____ peso correa = $0,04 \text{ kN/m}$

incidencia de las correas sobre el dintel:

$$\frac{0,04 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 17}{20,82 \text{ m}} = 0,17 \text{ kN/m}$$

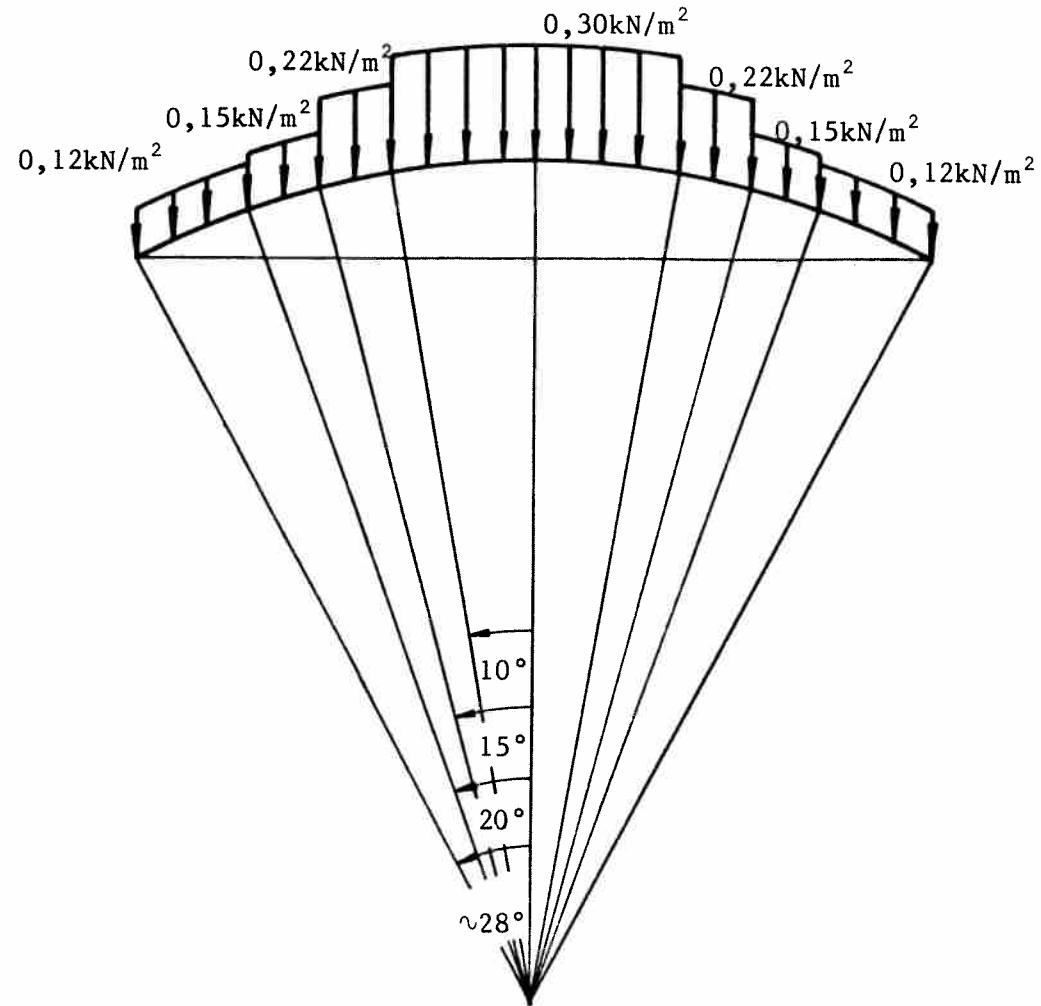
$0,63 \text{ kN/m}$

CARGA PERMANENTE ADOPTADA $0,70 \text{ kN/m}$



3.3. SOBRECARGA

Cubiertas inaccesibles, según artículo 4.1.7 del Reglamento CIRSOC 101



Se adopta para el cálculo una sobrecarga uniforme de $0,22 \text{ kN/m}^2$

Sobrecarga sobre el dintel - $0,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 1,1 \text{ kN/m}$



4. CALCULO DE SOLICITACIONES EN PORTICOS

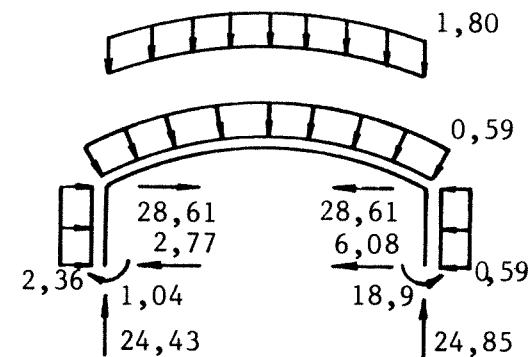
El cálculo de los pórticos se realizó en forma manual, utilizando el método propuesto por C.P. Filipch en la referencia 12.

Las operaciones realizadas para la obtención de las solicitaciones sobre los pórticos no se incluyeron por no ser el objeto de este apunte.

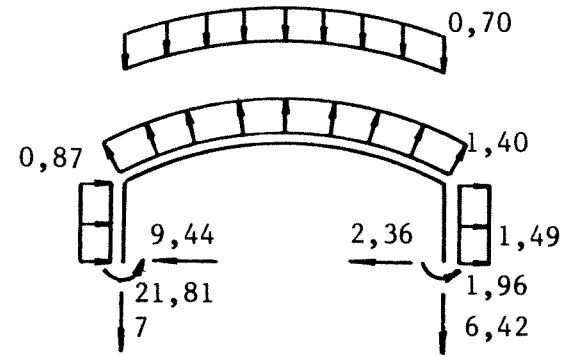
Se dan solamente los valores de las superposiciones más desfavorables.

Valores de esfuerzos en tensores, reacciones y corte en las columnas:

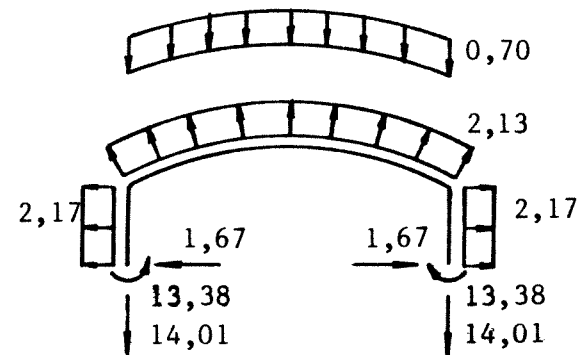
Carga permanente + sobrecarga + viento transversal



carga permanente + viento transversal

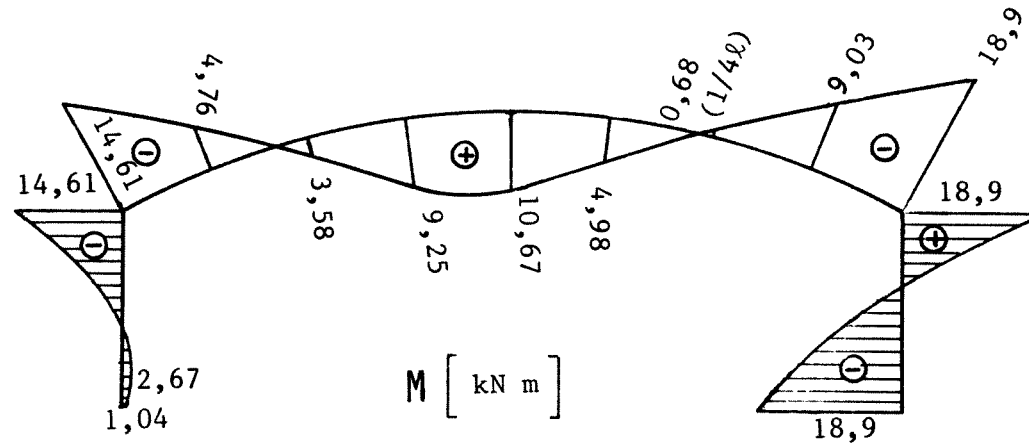


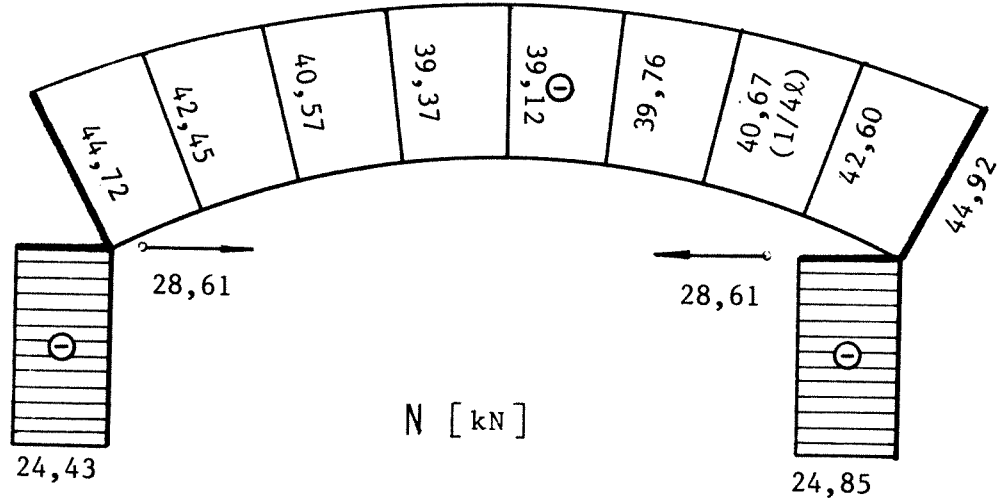
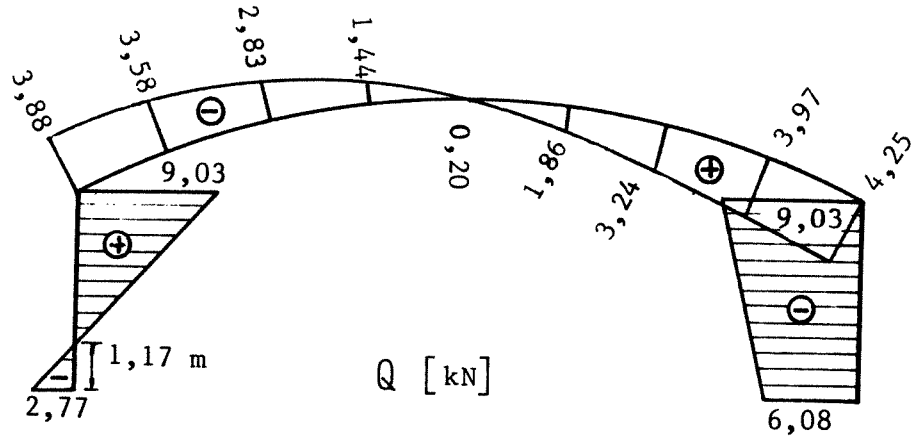
carga permanente + viento longitudinal



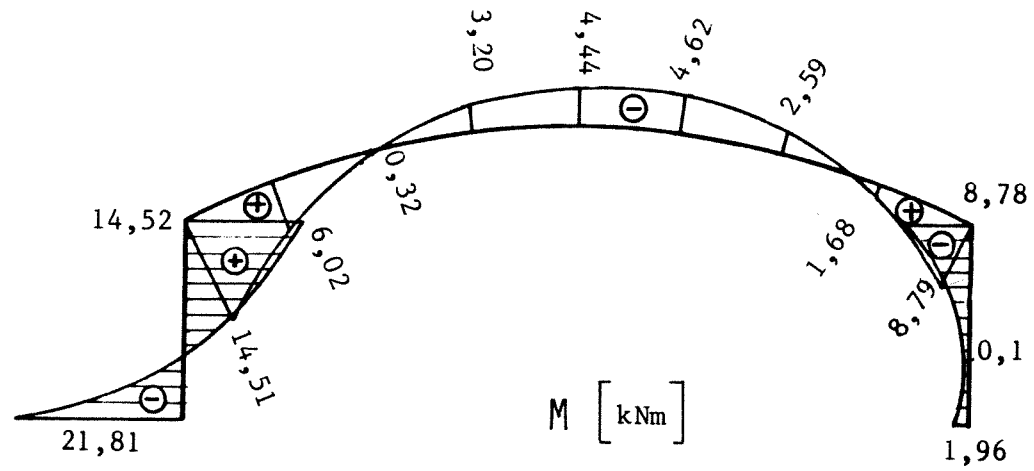
4.1. SUPERPOSICION DE SOLICITACIONES

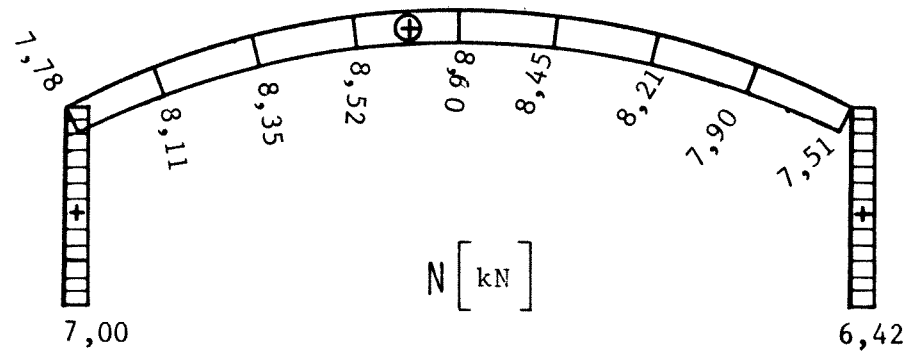
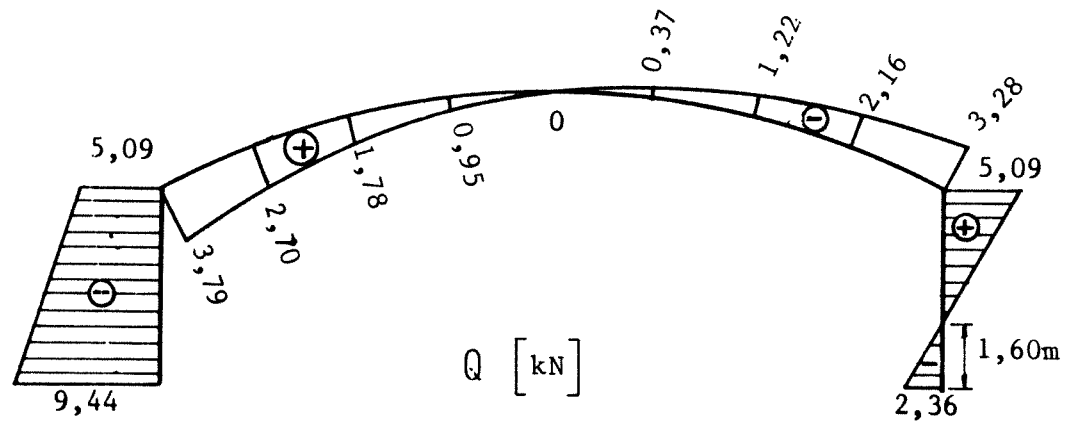
- . Carga permanente + sobrecarga + viento transversal



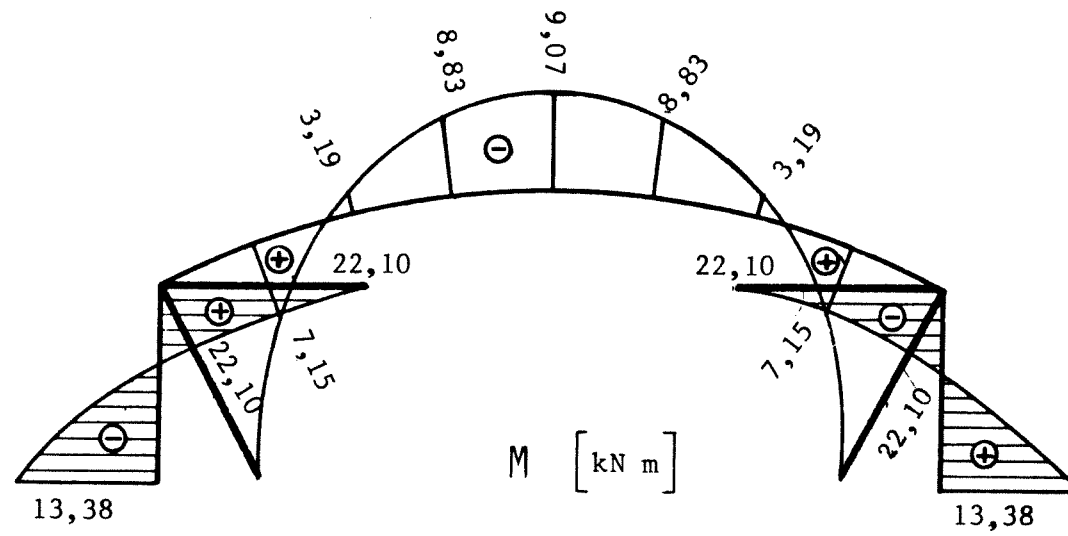


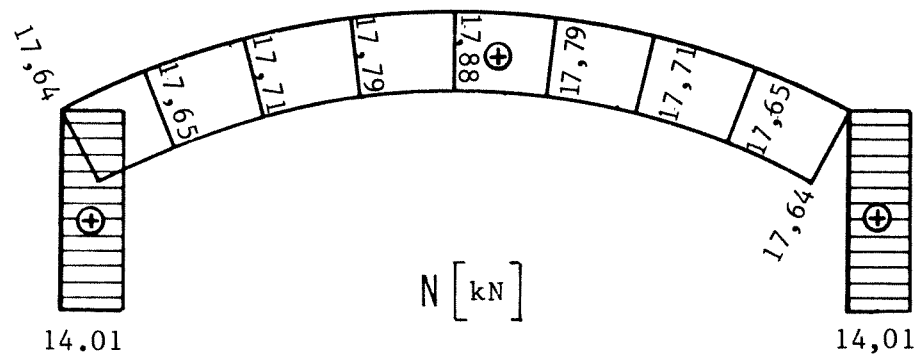
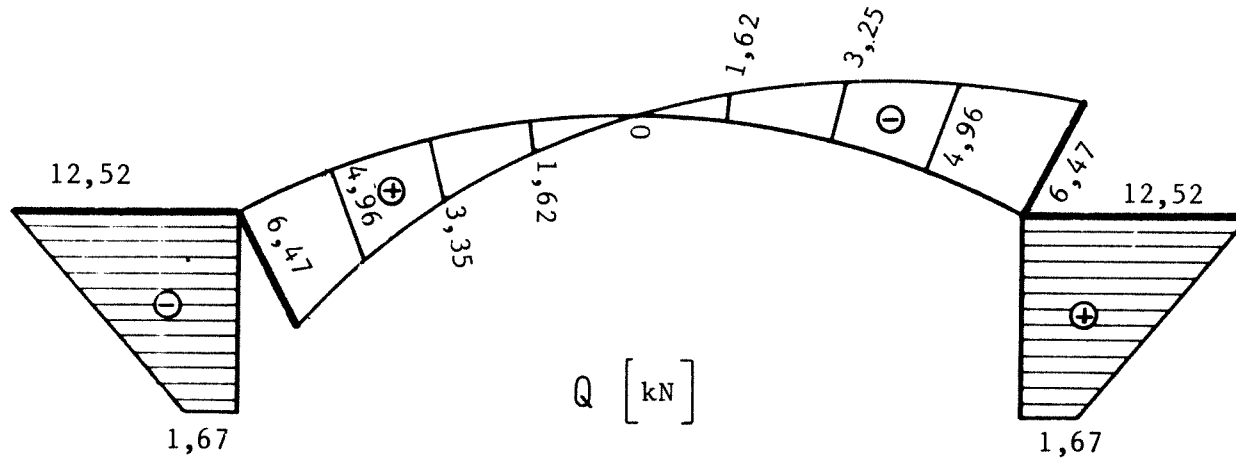
. Carga permanente + viento transversal





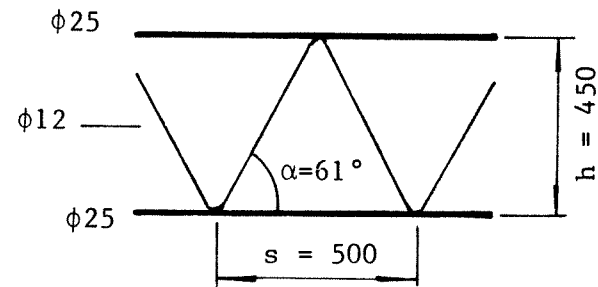
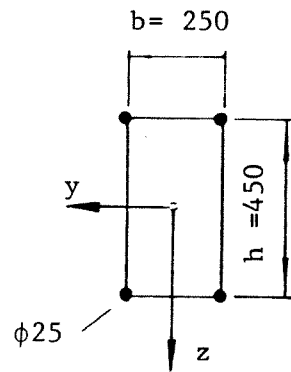
. Carga permanente + viento longitudinal



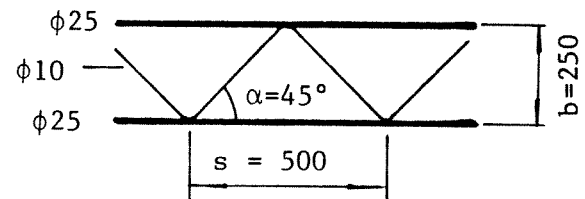


5. ESQUEMAS ESTRUCTURALES

5.1. ARCO



Vista lateral



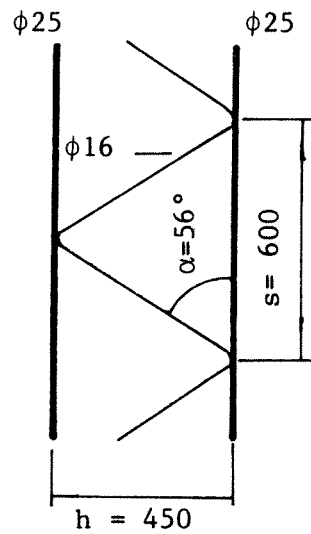
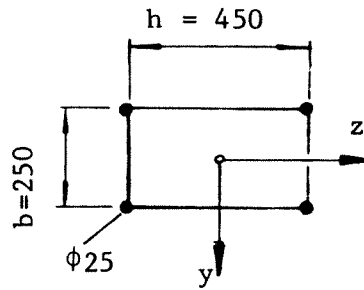
Vista inferior

$$A_T = 19,63 \text{ cm}^2$$

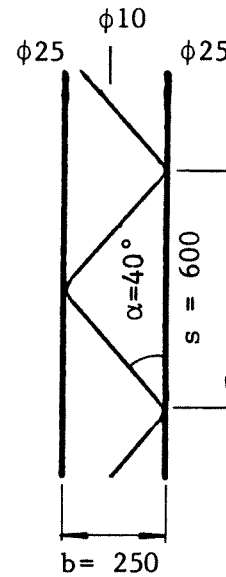
$$A_{\phi 25} = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 12} = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 10} = 0,78 \text{ cm}^2$$

5.2. COLUMNAS

Vista Lateral



Vista Lateral

$$A_T = 19,63 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 25} = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 16} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 10} = 0,78 \text{ cm}^2$$

6. DIMENSIONAMIENTO

6.1. VERIFICACION DE LAS RELACIONES GEOMETRICAS Y ESBELTECES ADMISIBLES SEGUN EL ARTICULO 5.4.4. DE LA RECOMENDACION CIRSOC 303

6.1.1. Arco:

$$\frac{\ell}{h} = \frac{20,00}{0,46} \approx 44 < 55$$

$$\frac{\ell}{f} = \frac{20,00}{2,5} = 8 < 10$$

$$\frac{\ell}{i_y} = \frac{20,00}{0,225} \approx 90 < 110$$

$$b = 25 > \frac{h}{2} = 22,5$$

$$b = 25 > \frac{s}{110} = \frac{20,76/4}{110} = 4,72$$

6.1.2. Columnas:

$$\lambda_i = 31 \leq 150 \quad (\text{ver punto 3.2. por cálculo de } \lambda_i)$$

$$b = 25 \geq \ell/75 = \frac{500}{75} = 6,7$$

6.2. ACERO UTILIZADO- TENSION ADMISIBLE

$$F - 22 (A1 - 220) \quad \sigma_F = 220 \text{ N/mm}^2$$

Coeficiente de seguridad según el capítulo 3 de la Recomendación CIRSOC 303

$$\gamma = 1,6$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{220 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 137,5 \text{ N/mm}^2$$

6.3. COLUMNAS

6.3.1. Verificación del pandeo local en cordones

- Carga permanente + viento longitudinal:

$$M = + 22,10 \text{ kNm}$$

$$N = + 14,01 \text{ kN}$$

según el artículo 5.5.2. de la Recomendación CIRSOC 303

$$N_c = \frac{N \cdot A_j}{A_T} + \frac{M}{h \cdot n_1} \quad n_1 = 2 \text{ (número de barras del cordón)}$$

$$N_c = + 14,01 \cdot \frac{4,91}{19,63} \pm \frac{22,10 \text{ kNm}}{0,45 \cdot 2} = + 14,01/4 \pm 24,56 = \begin{cases} + 28,06 \text{ kN} \\ - 21,06 \text{ kN} \end{cases}$$

Verificación del esfuerzo de tracción

$$\sigma = \frac{N_c}{A_i} = \frac{28060 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} = 57,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{\text{adm}}$$

Verificación del esfuerzo de compresión

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 60 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}} = 96 \quad \left\{ \begin{array}{l} s_K = s = 60 \text{ cm} \\ d = \text{diámetro de la barra} \end{array} \right.$$

de tabla 2, del Reglamento CIRSOC 302

$$- (F-22) \rightarrow \omega = 2,02$$

$$\sigma = \omega \frac{N_c}{A_i} = 2,02 \cdot \frac{21060 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} \rightarrow \sigma = 86,64 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}}$$

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$M = 18,9 \text{ kNm}$$

$$N = -24,85 \text{ kN}$$

$$N_c = \frac{-24,85}{4} - \frac{18,9}{0,45 \cdot 2} = -27,21 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{\omega N_c}{A_i} = 2,02 \cdot \frac{27210 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} = 112 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}}$$

6.3.2. Pandeo generalizado en el plano

De acuerdo con el artículo 5.5.14 de la Recomendación CIRSOC 303), se calcula la longitud de pandeo de la columna del pórtico:

$$\text{rigidez del dintel curvo} \quad \text{---} \quad H_d = \frac{9 \cdot E \cdot I_{yd}}{4 \cdot \ell}$$

$$\text{rigidez de la columna} \quad \text{---} \quad H_c = \frac{E \cdot I_{yc}}{h}$$

$$I_{yd} = I_{yc} \quad \rightarrow \quad \frac{H_d}{H_c} = \frac{9}{4} \cdot \frac{h}{\ell} = \frac{9}{4} \cdot \frac{5 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0,56$$

de la figura 12 se obtiene, para un pórtico empotrado

$$k = 1,3 \quad \rightarrow \quad s_K = k \cdot h = 1,3 \cdot 5 \text{ m} \quad \rightarrow \quad s_K = 6,5 \text{ m}$$

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$N = -24,85 \text{ kN}$$

$$M_x = 18,9 \text{ kNm}$$

Según el artículo 2.2.5.2 del Reglamento CIRSOC 302, debe calcularse:

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$$

con λ_1 de la figura 4 del mismo reglamento.

Para el caso d) de la figura 4:

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{A_d} \cdot \frac{d^3}{s_1 \cdot a^2}}$$

$$A = A_T = 19,63 \text{ cm}^2$$

$$s_1 = 60 \text{ cm}$$

$$A_d = A_{\phi 16} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$a = 45 \text{ cm}$$

$$s_d = d = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + (a)^2} = \sqrt{\left(\frac{60}{2}\right)^2 + (45)^2} = 54 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{19,63 \cdot (54)^3}{2,01 \cdot 60 \cdot (45)^2}} = 11,20$$

$$I_{yc} = k_y \cdot h^2 \cdot \frac{A_1 \cdot A_2}{A_T} = k_y \cdot h^2 \cdot \frac{A_T}{4} = 1 \cdot (45)^2 \cdot 4,91 = 9943 \text{ cm}^4$$

(Reglamento CIRSOC 303,
art. 4.4.5.)

$$i_{yc} = \sqrt{\frac{I_{yc}}{A_{Tc}}} = \sqrt{\frac{9943}{19,63}} = 22,51 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{s_k}{i_y} = \frac{650 \text{ cm}}{22,51 \text{ cm}} = 29$$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{(29)^2 + (11,20)^2} = 31 \rightarrow \boxed{\omega_{yi} = 1,25}$$

$$W_c = \frac{I_{yc}}{h/2} = \frac{99430000}{450/2} = 441900 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \omega_{yi} \frac{N}{A_T} + \frac{M}{W_c} = \frac{1,25 \cdot 24850 \text{ N}}{1963 \text{ mm}^2} + \frac{18900000 \text{ Nmm}}{441900 \text{ mm}^3} = 58,59 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

6.3.3. Verificación de las diagonales contenidas en el plano del pórtico

Según el artículo 5.5.11. deben superponerse los esfuerzos de corte provocados por las cargas Q_z con los producidos por efectos del pandeo Q_{py} (pandeo perpendicular al plano x-y)

$$Q_{py} = \frac{2\pi \cdot I_y}{l \cdot h} \left[\frac{N}{A_T} \cdot (1,125 \omega_{yi} - 1) + \frac{M_y \cdot h}{16 \cdot I_y} \right]$$

El estado de carga considerado será la superposición - Carga permanente + sobrecarga + viento transversal- que produce la máxima compresión sobre la columna.

$$N = -24,85 \text{ kN}$$

$$M = 18,9 \text{ kNm}$$

$$Q_z = 9,03 \text{ kN}$$

h = distancia entre cordones en la dirección z

l = longitud de la pieza entre ejes de apoyo

$$Q_{py} = \frac{2\pi \cdot 9943 \text{ cm}^4}{650 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} \left[\frac{24,85 \text{ kN}}{19,63 \text{ cm}^2} \cdot (1,125 \cdot 1,25 - 1) + \frac{1890 \text{ kNcm} \cdot 45 \text{ cm}}{16 \cdot 9943 \text{ cm}^4} \right] = 2,24 \text{ kN}$$

$$T_z = Q_z + Q_{py} = 9,03 + 2,24 = 11,27 \text{ kN}$$

Este valor es menor que el Q_z producido por la superposición - Carga permanente + viento longitudinal $\rightarrow Q_z = 12,52 \text{ kN}$. Esta superposición produce tracción sobre la columna $\rightarrow Q_{py} = 0$

Según el artículo 5.5.2.2. de la Recomendación CIRSOC 303 el esfuerzo en la diagonal es:

$$N_d = \frac{Q}{n \cdot \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\beta}$$

α : ángulo entre la diagonal y el cordón; $\alpha = 56^\circ \rightarrow \text{sen}\alpha = 0,832$

β : ángulo entre la diagonal y el eje de la sección correspondiente al esfuerzo de corte actuante ;
 $\beta = 0 \rightarrow \text{cos}\beta = 1$

n : 2 (número de planos en que existen diagonales)

$$N_d = \frac{12,52 \text{ kN}}{2 \cdot 0,832} = 7,52 \text{ kN}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{(60)^2}{4} + (45)^2} = 54 \text{ cm}$$

$$s_K = 0,75 s_d = 40,6 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 40,6 \text{ cm}}{1,6 \text{ cm}} = 101 \rightarrow \omega = 2,13$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_d}{A_i} = \frac{2,13 \cdot 7520 \text{ N}}{201 \text{ mm}^2} = 79,73 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

De acuerdo con el artículo 5.5.15 de CIRSOC 303 para lograr el centrado de los ejes de diagonales y cordones, el zig-zag de las diagonales debe curvarse con un diámetro interior $d_i = k d_d$.

k se obtiene de la figura 13 en función de α y $\frac{d_c}{d_d} = \frac{2,5}{1,6} = 1,56 \rightarrow k = 2,5 \rightarrow d_i = 2,5 \cdot 1,6 = 4 \text{ cm}$.

Por otra parte el diámetro mínimo del mandril de doblado según la Tabla 23 del Reglamento CIRSOC 201

$$d_{imín} = 2,5 \cdot d_d = 2,5 \cdot 1,6 = 4 \text{ cm}$$

Por lo tanto la diagonal debe doblarse con ese diámetro interior.

6.3.4. Verificación de las diagonales perpendiculares al plano y pertenecientes al cordón comprimido.

Estas diagonales, en piezas sin ejes materiales, deben verificarse para el esfuerzo de corte ideal según el Reglamento CIRSOC 302, artículo 2.2.5.5.1.

$$Q_{zi} = \frac{\omega_{zi} \cdot N}{80}$$

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal.

$$N = 24,85 \text{ kN}$$

$$M_y = 18,9 \text{ kNm}$$

$$N = \frac{M_y}{h} + \frac{N}{2} = \frac{18,9 \text{ kNm}}{0,45 \text{ m}} + \frac{24,85 \text{ kN}}{2} = 54,42 \text{ kN}$$

$$I_z = k_z \cdot b^2 \cdot \frac{A_T}{4} = 1 \cdot (25)^2 \cdot 4,91 = 30,69 \text{ cm}^4 \rightarrow i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_T}} = \sqrt{\frac{3069}{19,63}} = 12,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{h}{i_z} = \frac{500 \text{ cm}}{12,5 \text{ cm}} = 40$$

$$\text{longitud de las diagonales } \phi 10 : d = s_d = \sqrt{\frac{(60)^2}{2} + (25)^2} = 39$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot d^3}{n \cdot A_D \cdot s_1 \cdot a^2}} = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot 19,63 \cdot (39)^3}{2 \cdot 0,78 \cdot 60 \cdot (25)^2}} = 20 \quad (\text{caso b - figura 4, Reglamento CIRSOC 302})$$

$$\lambda_{zi} = \sqrt{(40)^2 + (20)^2} = 45 \rightarrow \boxed{\omega_{zi} = 1,34}$$

$$Q_{zi} = \frac{1,34 \cdot 54,42}{80} = 0,91 \text{ kN}$$

$$N_d = \frac{Q_{zi}}{n \cdot \sin \alpha} = \frac{0,91}{1 \cdot 0,64} = 1,42 \text{ kN}$$

$$\text{para la diagonal } \lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 0,75 \cdot s_d}{d} = \frac{4 \cdot 0,75 \cdot 39}{1,00} = 117 \quad \rightarrow \quad \omega = 2,51$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\omega N_d}{A_i} = \frac{2,51 \cdot 1420 \text{ N}}{78,5 \text{ mm}^2} = 44,5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

Diámetro interior de doblado según la Recomendación CIRSOC 303, artículo 5.5.15

$$\left. \begin{array}{l} d_i = k \cdot d_d \\ \text{de la figura 13, con } \alpha = 40^\circ \\ d_c/d_d = 2,5/1,0 = 2,5 \\ d_i = 10,5 \cdot 1,0 = 10,5 \text{ cm} \end{array} \right\} k = 10,5$$

Diámetro mínimo del mandril de doblado según tabla 23 del Reglamento CIRSOC 201

$$\text{dimín} = 2,5 \cdot d_d = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ cm}$$

Por lo tanto el diámetro de doblado será de 10,5 cm.

6.3.5. Verificación adicional

Según el Reglamento CIRSOC 302, artículo 2.2.5.4., deben verificarse las condiciones:

$$\frac{s_{1y}}{i_1} \leq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{yi} \cdot N}{A_T \cdot \sigma_{adm}} \right)$$

$$\frac{600}{25/4} = 96 < 50 \left(4 - 3 \frac{1,25 \cdot 24,85}{1963 \cdot 137,5} \right) \approx 200$$

$$\frac{s_{1z}}{i_1} \leq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{zi} \cdot N}{A_T \cdot \sigma_{adm}} \right)$$

$$\frac{500}{25/4} = 80 < 50 \left(4 - 3 \frac{1,34 \cdot 24,85}{1963 \cdot 137,5} \right) \approx 200$$

Se verifica solamente para el estado de cargas más desfavorable (carga permanente + sobrecarga + viento transversal)

6.4. ARCO6.4.1. Verificación del pandeo local en cordones.

- Carga permanente + viento longitudinal

$$M = 22,10 \text{ kNm}$$

$$N = 17,64 \text{ kN}$$

Según el artículo 5.5.2. de la Recomendación CIRSOC 303

$$N_c = \frac{N \cdot A_i}{A_t} + \frac{M}{h \cdot n_1}$$

$$n_1 = 2$$

$$N_c = 17,64 \cdot \frac{4,91}{19,63} \text{ kN} \pm \frac{22,10 \text{ kNm}}{0,45 \text{ m} \cdot 2} = + 17,64/4 \pm 24,56 = \begin{cases} + 28,97 \text{ kN} \\ - 20,15 \text{ kN} \end{cases}$$

Verificación del esfuerzo de tracción

$$\sigma = \frac{N_c}{A_i} = \frac{28970 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} = 59,00 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

Verificación del esfuerzo de compresión

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 50 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}} = 80 \quad \text{---} \quad s_K = s = 50 \text{ cm}$$

$$\omega = 1,74 \quad (\text{Tabla 2, Reglamento CIRSOC 302, fig. 22})$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_C}{A_i} = \frac{1,74 \cdot 20150 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} = 71,41 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm} = 137,5 \text{ N/mm}^2$$

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$M = 18,9 \text{ kNm}$$

$$N = -44,92 \text{ kN}$$

$$N_C = \frac{-44,92 \text{ kN}}{4} - \frac{18,9 \text{ kNm}}{0,45 \text{ m} \cdot 2} = -32,23 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = 80 \quad \rightarrow \quad \omega = 1,74$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_C}{A_i} = \frac{1,74 \cdot 32230 \text{ N}}{491 \text{ mm}^2} = 114,22 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ad}$$

6.4.2. Pandeo generalizado en el plano

La verificación no se realiza según el artículo 5.5.13.2. de CIRSOC 303 por no encontrarse el ejemplo entre los estados de carga allí tratados. Por lo tanto, se aplica el capítulo 3 del Reglamento CIRSOC 302.

$$\frac{\omega \cdot N_V}{A_T} + \frac{M_V}{W} \leq \sigma_{adm} \quad \text{con } \lambda = \beta \frac{s}{i_y}$$

- carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$\left. \begin{array}{l} N_V = - 40,67 \text{ kN} \\ M_V = 0,68 \text{ kNm} \end{array} \right\} \text{ valores en el cuarto de la luz del arco}$$

De la tabla 8 del Reglamento CIRSOC 302 Regla- } con $\frac{f}{\ell} = \frac{2,5}{20} = 0,125 \rightarrow \beta = 0,71$ (arco empotrado)

$$I_{yd} = I_{yc} = 9943 \text{ cm}^4 \rightarrow i_{yd} = i_{yc} = 22,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \beta \frac{s}{i_y} = \frac{0,71 \cdot 10,38 \text{ m}}{0,225 \text{ m}} = 33 \quad (\text{s: mitad de la longitud del arco})$$

$$s_d = d = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{(50)^2}{4} + (45)^2} = 51,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A}{A_d} \cdot \frac{d^3}{s_1 a^2}} = \pi \sqrt{\frac{19,63 \cdot (51,5)^3}{1,13 \cdot 50 \cdot (45)^2}} = 15,21 \quad (\text{caso d - figura 4- Reglamento CIRSOC 302})$$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{(33)^2 + (15)^2} = 36 \rightarrow \boxed{\omega_{yi} = 1,28}$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N}{A_T} + \frac{M}{W} \quad W_d = W_c = 441900 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{1,28 \cdot 40670 \text{ N}}{1963 \text{ mm}^2} + \frac{680000 \text{ Nmm}}{441900 \text{ mm}^3} = 23,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{adm}$$

6.4.3. Pandeo generalizado fuera del plano

Los métodos indicados en el Reglamento CIRSOC 302 y en la Recomendación CIRSOC 303 para la verificación del pandeo fuera de su plano de un arco biempotrado, se limitan a unos pocos estados de carga sencillos. Sin embargo, los arcos que soportan cubiertas de naves industriales tienen, en general, impedido el pandeo generalizado fuera de su plano por los arriostramientos longitudinales.

6.4.4. Verificación de las diagonales contenidas en el plano del pórtico

Según el artículo 5.5.11 de CIRSOC 303 se superponen los esfuerzos de corte provocados por las cargas Q_z con los producidos por efecto del pandeo Q_{py} (pandeo perpendicular al plano x-y)

$$Q_{py} = \frac{2\pi \cdot I_y}{l \cdot h} \left[\frac{N}{A_T} \cdot (1,125 \cdot \omega_{yi} - 1) + \frac{M_y \cdot h}{16 \cdot I_y} \right]$$

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$N = -44,92 \text{ kN}$$

$$M = 18,9 \text{ kNm}$$

$$Q = 4,25 \text{ kN}$$

$$Q_{py} = \frac{2\pi \cdot 9943 \text{ cm}^4}{2000 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} \left[\frac{44,92 \text{ kN}}{19,63 \text{ cm}^2} (1,125 \cdot 1,28 - 1) + \frac{1890 \text{ kNcm} \cdot 45 \text{ cm}}{16 \cdot 9943 \text{ cm}^4} \right] = 1,07 \text{ kN}$$

$$T = Q_z + Q_{py} = 4,25 + 1,07 = 5,32 \text{ kN}$$

Este valor es menor que el Q_z producido por la superposición - carga permanente + viento longitudinal-

$$Q_z = 6,47 \text{ kN}$$

El esfuerzo de corte en la diagonal según la Recomendación CIRSOC 303, artículo 5.5.2.2. es:

$$N_d = \frac{Q}{n \cdot \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\beta} \quad \begin{array}{l} \alpha \approx 61^\circ \rightarrow \text{sen}\alpha = 0,875 \\ \beta = 0^\circ \rightarrow \text{cos}\beta = 1 \\ n = 2 \end{array}$$

$$N_d = \frac{6,47 \text{ kN}}{2 \cdot 0,875} = 3,70 \text{ kN}$$

Se adoptan diagonales $\phi 12 \rightarrow A\phi = 1,13 \text{ cm}^2$

$$s_d = \sqrt{\frac{s^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{(50)^2}{4} + (45)^2} = 51,5$$

$$s_K = 0,75 \cdot 51,5 = 38,61 \rightarrow \lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 38,61}{1,2} = 129 \rightarrow \omega = 2,94$$

$$\sigma = \frac{\omega N_d}{A} = \frac{2,94 \cdot 3700 \text{ N}}{113 \text{ mm}^2} = 96 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

El diámetro interior de doblado de las diagonales, según CIRSOC 303, artículo 5.5.15, debe ser:

$$d_i = k \cdot d_d$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{De la figura 13, con } \alpha = 61^\circ \\ d_c/d_d = 2,5/1,2 + 2,1 \end{array} \right\} k = 2,5$$

$$d_i = 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ cm}$$

Diámetro mínimo del mandril de doblado según tabla 23 del Reglamento CIRSOC 201.

$$d_{imín} = 2,5 d_d = 2,5 \cdot 1,2 = 3 \text{ cm}$$

Por lo tanto $d_i = 3$.

6.4.5. Verificación de las diagonales perpendiculares al plano como parte del cordón comprimido del arco

- Carga permanente + sobrecarga + viento transversal

$$M = 18,9 \text{ kNm}$$

$$N = -44,92 \text{ kN}$$

$$N = \frac{M}{h} + \frac{N}{2} = \frac{18,9 \text{ kNm}}{0,45 \text{ m}} + \frac{44,92 \text{ kN}}{2} = 64,46 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \frac{s_K}{i_z} = \frac{500}{12,5} = 40 \quad \left\{ \begin{array}{l} s_K = s \\ i_{zd} = i_{zc} = 12,5 \text{ cm} \end{array} \right.$$

longitud de las diagonales $\phi 10 \rightarrow d = s_d = \sqrt{\frac{(50)^2}{4} + (25)^2} = 35,35 \text{ cm}$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot d^3}{n \cdot A_d \cdot s_1 \cdot a^2}} = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot 19,63 \cdot (35,35)^3}{2 \cdot 0,78 \cdot 50 \cdot (25)^2}} = 19 \quad (\text{caso b - figura 4 Reglamento CIRSOC 302})$$

$$\lambda_{zi} = \sqrt{(40)^2 + (19)^2} = 45 \rightarrow \boxed{\omega_{zi} = 1,35}$$

El esfuerzo de corte ideal, para el que se debe verificar estas diagonales según el Reglamento CIRSOC 302, artículo 2.2.5.5.1. es:

$$Q_{zi} = \frac{\omega_{zi} \cdot N}{80} = \frac{1,35 \cdot 64,46 \text{ kN}}{80} = 1,09 \text{ kN}$$

El esfuerzo en la diagonal

$$N_d = \frac{Q_{zi}}{n \cdot \text{sen} \alpha \cdot \text{cos} \beta} \quad \left\{ \begin{array}{l} n = 1 \\ \alpha = 45^\circ \text{ ————— } \text{sen} \alpha = 0,707 \\ \beta = 0^\circ \text{ ————— } \text{cos} \beta = 1 \end{array} \right.$$

$$N_d = \frac{1,09 \text{ kN}}{1 \cdot 0,707} = 1,54 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 0,75 \cdot s_d}{d} = \frac{4 \cdot 0,75 \cdot 35,35}{1,0} = 106 \rightarrow \omega = 2,24$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_d}{A_d} = \frac{2,24 \cdot 1540 \text{ N}}{78 \text{ mm}^2} = 44 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

6.4.6. Verificación adicional

Deben realizarse las verificaciones indicadas en el Reglamento CIRSOC 302, artículo 2.2.5.4.

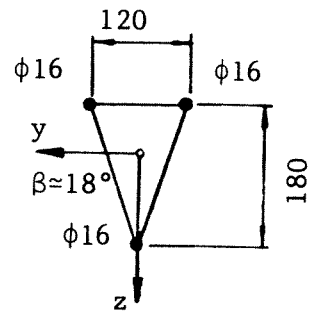
Se verifica solo para el estado de carga más desfavorable (carga permanente + sobrecarga + viento transversal)

$$\frac{s_{1y}}{i_1} \leq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{yi} \cdot N}{A_T \cdot \sigma_{adm}} \right)$$

$$\frac{500}{25/4} = 80 < 50 \left(4 - 3 \frac{1,28 \cdot 44,92}{1963 \cdot 137,5} \right) \approx 200$$

$$\frac{s_{1z}}{i_1} \leq 50 \left(4 - 3 \frac{\omega_{zi} \cdot N}{A_T \cdot \sigma_{adm}} \right)$$

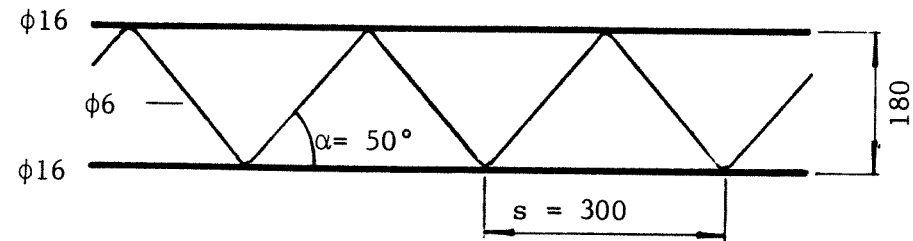
$$\frac{500}{25/4} = 80 < 50 \left(4 - 3 \frac{1,35 \cdot 44,92}{1963 \cdot 137,5} \right) \approx 200$$

6.5. CORREAS6.5.1. Esquema estructural

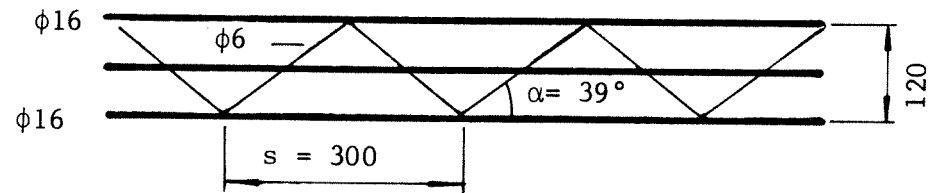
$$A_{\phi 16} = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{\phi 6} = 0,28 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 6,03 \text{ cm}^2$$



Vista Lateral



Vista Superior

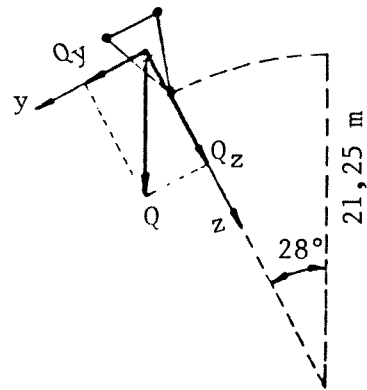
6.5.2. Verificación de las relaciones geométricas y esbelteces admisibles según CIRSOC 303, artículo 5.4.4.

$$\frac{\ell}{h} = \frac{500}{18} = 28 < 35$$

$$b = 12 > \frac{\ell}{75} = \frac{500}{75} = 7$$

6.5.3. Estados de carga

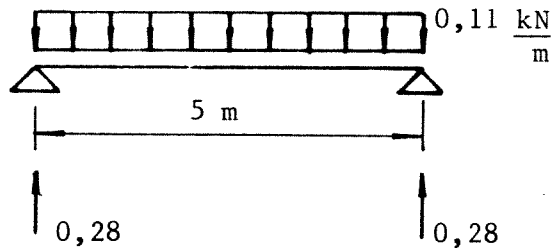
Se analizarán solo para la correa ubicada en extremo del arco y sometida a flexión oblicua.



- Carga permanente

del análisis hecho para los pórticos:

. peso de la chapa —	$0,05 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3 \text{ m}$	$= 0,07 \text{ kN/m}$
. peso propio de las correas		$= 0,04 \text{ kN/m}$
		$= 0,11 \text{ kN/m}$
carga permanente		



$$M = \frac{0,11 \cdot 5^2}{8} = 0,34 \text{ kNm}$$

$$Q_z = Q \cdot \cos 28^\circ = 0,28 \cdot 0,88 = 0,24 \text{ kN}$$

$$M_z = M \cdot \sin 28^\circ = 0,34 \cdot 0,47 = 0,16 \text{ kNm}$$

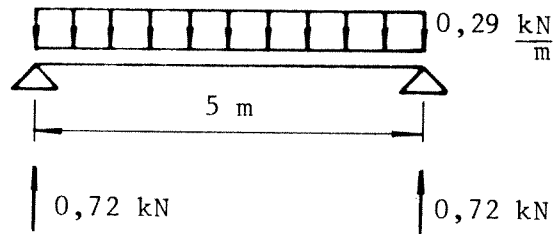
$$Q_y = Q \cdot \sin 28^\circ = 0,28 \cdot 0,47 = 0,13 \text{ kN}$$

$$M_y = M \cdot \cos 28^\circ = 0,34 \cdot 0,88 = 0,30 \text{ kNm}$$

- Sobrecarga

carga útil adoptada ————— $0,22 \text{ kN/m}^2$

carga útil sobre las correas — $0,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3 \text{ m} = 0,29 \text{ kN/m}$



$$M = \frac{0,29 \cdot 5^2}{8} = 0,89 \text{ kNm}$$

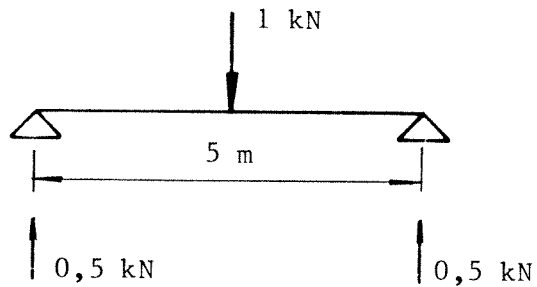
$$Q_z = 0,63 \text{ kN}$$

$$M_z = 0,42 \text{ kNm}$$

$$Q_y = 0,34 \text{ kN}$$

$$M_y = 0,79 \text{ kNm}$$

- Sobrecarga de 1 kN (Reglamento CIRSOC 101, artículo 4.1.7.3)



$$M = \frac{1 \cdot 5}{4} = 1,25 \text{ kNm}$$

$$Q_z = 0,44 \text{ kN}$$

$$M_z = 0,59 \text{ kNm}$$

$$Q_y = 0,24 \text{ kN}$$

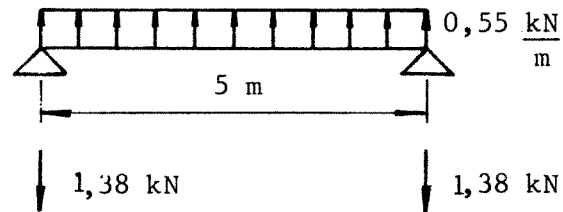
$$M_y = 1,10 \text{ kNm}$$

- Viento

Se consideran como más desfavorables los casos c (succión) y d (presión) de viento longitudinal.
No se consideraron las acciones locales que deben tomarse en cuenta según CIRSOC 102, artículo 6.6.

. Succión

acción sobre una correa : $c \cdot q_z \cdot 1,3 \text{ m} = 1,08 \cdot 0,39 \cdot 1,3 = 0,55 \text{ kN/m}$



$$M = \frac{-0,55 \cdot 5^2}{8} = -1,71 \text{ kNm}$$

la acción es perpendicular a la cubierta

$$Q_z = -1,38 \text{ kN}$$

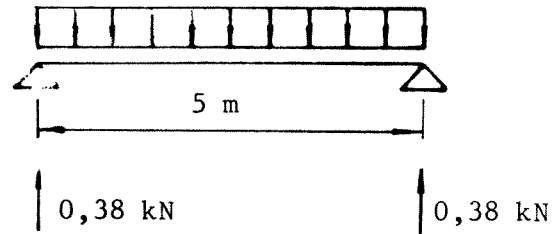
$$M_z = 0$$

$$Q_y = 0$$

$$M_y = -1,71 \text{ kNm}$$

. Presión

acción sobre una correa : $c \cdot q_z \cdot 1,3 \text{ m} = 0,30 \cdot 0,39 \cdot 1,3 = 0,15 \text{ kN/m}$



$$M = \frac{0,15 \cdot 5^2}{8} = 0,48 \text{ kNm}$$

$$Q_z = 0,38 \text{ kN}$$

$$Q_y = 0$$

$$M_z = 0$$

$$M_y = 0,48 \text{ kNm}$$

6.5.3. Verificación de los cordones

$$A_c = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$s = s_K = 30 \text{ cm}$$

para ambos cordones:

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_K}{d} = \frac{4 \cdot 30}{1,6} = 75 \quad \rightarrow \quad \omega = 1,53$$

las superposiciones más desfavorables son:

- Carga permanente + sobrecarga 1 kN + viento presión

$$M_z = 0,16 + 0,59 + 0 = 0,75 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0,30 + 1,10 + 0,48 = 1,88 \text{ kNm}$$

. Cordón superior

$$N_c = \frac{M_y}{2 \cdot h} + \frac{M_z}{b} = \frac{1,88 \text{ kNm}}{2 \cdot 0,18 \text{ m}} + \frac{0,75 \text{ kNm}}{0,12 \text{ m}} = 11,47 \text{ kN (compresión)}$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_c}{A} = \frac{1,53 \cdot 11470 \text{ N}}{201 \text{ mm}^2} \approx 87 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

. Cordón inferior

$$N_c = \frac{M_y}{h} = \frac{1,88 \text{ kNm}}{0,18 \text{ m}} = 10,44 \text{ kN (tracción)}$$

$$\sigma = \frac{N_c}{A} = \frac{10440 \text{ N}}{201 \text{ mm}^2} \approx 52 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

- Carga permanente + viento succión

$$M_z = 0,16 + 0 = 0,16 \text{ kNm}$$

$$M_y = 0,30 - 1,71 = -1,41 \text{ kNm}$$

. Cordon superior

$$N_c = \frac{M_y}{2 \cdot h} + \frac{M_z}{b} = \frac{-1,41 \text{ kNm}}{2 \cdot 0,18 \text{ m}} + \frac{0,16 \text{ kNm}}{0,12 \text{ m}} = 2,58 \text{ kN (tracción)}$$

$$\sigma = \frac{N_c}{A} = \frac{2580 \text{ N}}{201 \text{ mm}^2} \approx 13 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

. Cordon inferior

$$N_c = \frac{M_y}{h} = \frac{1,41 \text{ kNm}}{0,18 \text{ m}} = 7,83 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_c}{A} = \frac{1,53 \cdot 7830 \text{ N}}{201 \text{ mm}^2} \approx 60 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{adm}$$

6.5.4. Verificación de las diagonales laterales

$$A_d = 0,28 \text{ cm}^2 \quad (\phi 6)$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s^2}{4} + \frac{b^2}{4} + h^2} = \sqrt{\frac{(30)^2}{4} + \frac{(12)^2}{4} + (18)^2} = 24,19 \text{ cm}$$

$$s_{Kd} = 0,75 s_d = 0,75 \cdot 24,19 = 18,14 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_{Kd}}{d} = \frac{4 \cdot 18,14}{0,6} \approx 121 \quad \rightarrow \quad \omega = 2,61$$

$$N_d = \frac{Q}{2 \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{cos} \beta}$$

El máximo corte se produce para la superposición

- Carga permanente + sobrecarga + viento presión

$$Q_z = 0,24 + 0,63 + 0,38 = 1,25 \text{ kN}$$

$$N_d = \frac{1250 \text{ N}}{2 \cdot \operatorname{sen} 50^\circ \cdot \operatorname{cos} 18^\circ} \approx 858 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_d}{A_d} = \frac{2,61 \cdot 858 \text{ N}}{28 \text{ mm}^2} \approx 80 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}}$$

6.5.5. Verificación de las diagonales superiores

$$A_d = 0,28 \text{ cm}^2 \quad (\phi 6)$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s^2}{4} + b^2} = \sqrt{\frac{(30)^2}{4} + (12)^2} = 19,21 \text{ cm}$$

$$s_{Kd} = 0,75 \cdot s_d = 0,75 \cdot 19,21 = 14,41 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot s_{Kd}}{d} = \frac{4 \cdot 14,41}{0,6} = 96 \quad \rightarrow \quad \omega = 2,02$$

La máxima sollicitación se produce para - Carga permanente + sobrecarga-

$$Q_y = 0,13 + 0,34 = 0,47 \text{ kN}$$

$$N_d = \frac{Q}{\text{sen}\alpha} = \frac{470 \text{ N}}{\text{sen } 39^\circ} = 747 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{\omega \cdot N_d}{A_d} = \frac{2,02 \cdot 747 \text{ N}}{28 \text{ mm}^2} = 54 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{adm}}$$

BIBLIOGRAFIA

1. Recomendación CIRSOC 303 "Estructuras Livianas de Acero", Buenos Aires, julio 1982, Actualización '84.
2. Reglamento CIRSOC 301 "Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de acero para edificios", Buenos Aires, julio 1982, Actualización '84.
3. Reglamento CIRSOC 302 "Fundamentos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero", Buenos Aires, julio 1982, Actualización '84.
4. Reglamento CIRSOC 101 "Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de las estructuras de edificios", Buenos Aires, julio 1982, Actualización '84.
5. Reglamento CIRSOC 102 "Acción del viento sobre las construcciones", Buenos Aires, julio 1982, Actualización '84.
6. Informe I-82-1 "Estudio experimental de estructuras metálicas livianas construidas con barras de acero de sección circular", Laboratorio de Estructuras, Instituto de Ingeniería Civil, F.C.E.T., U.N.T., Tucumán, 1982.
7. M. SOBOLEOSKY "Estructuras metálicas livianas de hierro redondo". I.M.A.E., U.N.R., Rosario, 1982.
8. E. DEZA "Antecedentes para la reglamentación de estructuras metálicas livianas"
9. ZIGNOLI "Construcciones metálicas", Madrid, 1978.
10. CUDOS SAMBLANCAT "Cálculo de estructuras de acero", Madrid, 1978.
11. C. FILIPICH "Una estructura metálica liviana para cubierta industrial", Dpto. Ing., U.N.S., Bahía Blanca, 1969.
12. C. FILIPICH "Pórticos atensorados de dintel curvo biempotrados", Bahía Blanca, 1981.