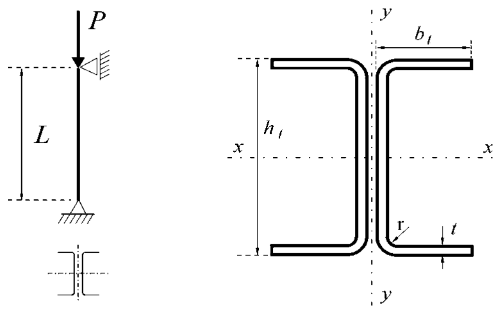
T R A B A J O   P R A C T I C O   Nº 1 .-

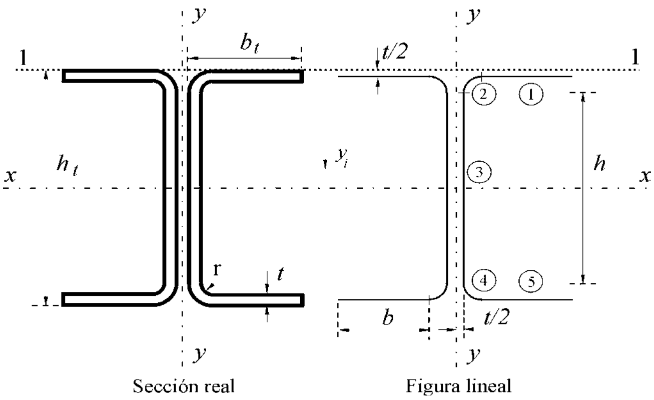
Determinar la carga de compresión P admisible de una columna cuyo pandeo normal al eje y-y se halla impedido impedido por un arriostramiento en toda su longitud y cuyas dimensiones son las siguientes:



h_t =	**50**	**mm**
b_t =	**25**	**mm**
$t = r$ =	**2,5**	**mm**
L =	**3,80**	**m**
Acero tipo F-24 =	**2.400,00**	**Kg/cm²**

S/CIRSOC 301, Cap. 2.

1.- CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA SECCION



$$h = h_t - 4 \cdot t = \quad \mathbf{4{,}00} \quad \mathbf{cm}$$

$$b = b_t - 2 \cdot t = \quad \mathbf{2{,}00} \quad \mathbf{cm}$$

$$l = 1{,}57 \cdot 1{,}50 \cdot r = \quad \mathbf{0{,}59} \quad \mathbf{cm}$$

Para el cálculo se empleará el método lineal. *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.8.*

Elementos Nº	***l*** cm	***n***	***l.n*** cm	***y*** *i* cm	***l.n.y*** *i* ² cm³	***I*** *e* cm³
1	2,00	2	4,00	0,13	0,06	0,00
2	0,59	2	1,18	0,26	0,08	0,00
3	4,00	2	8,00	2,50	50,00	10,67
4	0,59	2	1,18	4,74	26,44	0,00
5	2,00	2	4,00	4,88	95,06	0,00
Σ	**-**	**-**	**18,36**	**-**	**171,65**	**10,67**

1.1.- Area del perfil:

$$A = \sum (l \cdot n) \cdot t = 18{,}36 \cdot 0{,}25 = 4{,}59 \ \text{cm}^2$$

1.2.- Momento de inercia baricéntrico:

Como la pieza es simétrica tenemos que $y_g = 2{,}50$ cm

$$I_x = \left(\sum l \cdot n \cdot y_i^{\,2} + \sum I_{ex} - y_g^{\,2} \cdot \sum l \cdot n \right) \cdot t =$$

$$= \left(171{,}65 + 10{,}67 - 2{,}50^2 \cdot 18{,}36\right) \cdot 0{,}25 = 16{,}89 \ \text{cm}^4$$

1.3.- Radio de giro:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{16{,}89}{4{,}59}} = 1{,}92 \text{ cm}$$

2.- MAXIMA ESBELTEZ DE LOS ELEMENTOS COMPRIMIDOS

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{s_k}{i_{\text{mín}}} = \frac{s_{kx}}{i_x} = \frac{380}{1{,}92} = 197{,}92 \quad < \quad \lambda_{\text{lím}} = 200{,}00 \quad \Rightarrow \quad \text{B. C.}$$ *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.5.*

$\lambda_{máx}$ es la mayor esbeltez respecto a los ejes x e y.

3.- COEFICIENTE DE PANDEO LOCAL

$$Q = q_m \cdot Q_a$$ *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.14.*

q_m es el mínimo coeficiente de minoración de tenciones
Q_a es el factor de área

3.1.- Coeficiente de minoración de tensiones q_m *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.13.*

Elemento 1 y 5

El ancho de cálculo será: *S/CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$b = b_t - 2 \cdot t = 2{,}50 - 2 \cdot 0{,}25 = 2{,}00 \text{ cm}$$

La relación del ancho de cálculo será: *S/CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$B = \frac{b}{t} = \frac{2{,}00}{0{,}25} = 8{,}00 \quad < \quad 60 = B_{\text{máx}} \quad \Rightarrow \quad \text{B. C.}$$ *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.6.*

La función característica de tensión de fluencia será: *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.7.*

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2.100.000}{2.400}} = 29{,}58$$

Para elementos no rigidizados: *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.13.*

$$B = 8{,}00 \quad \leq \quad 0{,}37 \cdot g_F = 0{,}37 \cdot 29{,}58 = 10{,}94$$

$$\Rightarrow \qquad q = 1{,}00$$

Elemento 3

El ancho de cálculo será: *S/CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$h = h_t - 4 \cdot t = 5{,}00 - 4 \cdot 0{,}25 = 4{,}00 \text{ cm}$$

La relación del ancho de cálculo será: *S/CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$H = \frac{h}{t} = \frac{4{,}00}{0{,}25} = 16{,}00 \quad < \quad 500 = H_{\text{máx}} \quad \Rightarrow \quad \text{B. C.}$$ *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.6.*

Para elementos completamente rigidizados: *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.13.*

$$q = 1{,}00$$

El mínimo coeficiente de minoración de tensiones será:

$$q_{\text{mín}} = 1{,}00$$

3.2.- Factor de área Q_a *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.14.*

$$Q_a = \frac{\sum B_\sigma \cdot t^2 + A_p}{A} = \frac{A - \sum (B - B_\sigma) \cdot t^2}{A}$$

Elemento 1 y 5

Para elementos no rigidizados:

$$B_\sigma = B = 8{,}00$$

Elemento 3

Para elementos rigidizados:

$$B_\sigma = \frac{1{,}64 \cdot g_{Fd}}{\sqrt{q_m}} - R = \frac{1{,}64 \cdot 29{,}58}{\sqrt{1{,}00}} - 0 = 48{,}51 \quad > \quad B = 16{,}00$$

$$\Rightarrow \quad B_\sigma = B = 16{,}00$$

$g_{Fd} = g_F$, se tomó este valor de la función característica de tensiones de fluencia, porque no se tiene en cuenta la modificación de la tensión de fluencia por efecto del plegado en frio.
$R = 0$, por ser la relación del ancho de cálculo < 60 y por ser un elemento rigidizado en ambos bordes.

El factor de área será:

$$Q_a = \frac{\sum B_\sigma \cdot t^2 + A_p}{A} = \frac{2 \cdot (2 \cdot 8{,}00 + 16{,}00) \cdot 0{,}25^2 + 4 \cdot 0{,}59 \cdot 0{,}25}{4{,}59} = 1{,}00$$

3.3.- El coeficiente de pandeo local será:

$$Q = q_{\text{mín}} \cdot Q_a = 1{,}00 \cdot 1{,}00 = 1{,}00$$

Al ser $Q = 1$ se podría aprovechar el aumento de la tensión de fluencia (σ_{Fd})debido al plegado en frío, ya que la sección es totalmente efectiva, de acuerdo al CIRSOC 303, Anexo al Cap. 1, Art. 1.3.2.

4.- CALCULO DE LA TENSION BASICA DE DISEÑO

S/CIRSOC 303, Cap. 4.5.2.

$$\sigma_{db} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{2.400{,}00}{1{,}60} = 1.500{,}00 \quad \text{Kg/cm}^2$$

γ es el mínimo coeficiente de seguridad.

S/CIRSOC 303, Cap. 3.

5.- CALCULO DE LA TENSION DE COMPRESION ADMISIBLE

S/CIRSOC 303, Cap. 4.5.6.

$$\text{Si} \quad \sigma_P \leq \sigma_0 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{c\,adm} = \sigma_P \quad \text{ó}$$

$$\text{Si} \quad \sigma_P > \sigma_0 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{c\,adm} = 2 \cdot \sigma_0 - \frac{\sigma_0^{\,2}}{\sigma_P}$$

$$\sigma_0 = 0{,}50 \cdot Q \cdot \sigma_{db} = 0{,}50 \cdot 1{,}00 \cdot 1.500{,}00 = 750{,}00 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_P = \sigma_e = \frac{5{,}12 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{5{,}12 \cdot 2.100.000}{197{,}92^2} = 274{,}48 \quad \text{Kg/cm}^2$$

S/CIRSOC 303, Cap. 4.5.6.1.

λ es la mayor de las esbelteces respecto a los eje *x ó y*

$$\sigma_P = 274{,}48 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \leq \quad \sigma_0 = 750{,}00 \quad \text{Kg/cm}^2$$

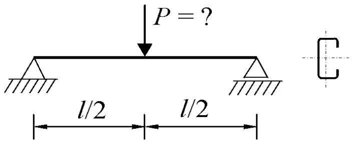
$$\Rightarrow \quad \sigma_{cadm} = \sigma_P = 274{,}48 \quad \text{Kg/cm}^2$$

7.- CALCULO DE LA CARGA ADMISIBLE

$$\boxed{P_{adm} = A \cdot \sigma_{cadm} = 4{,}59 \cdot 274{,}48 = 1.259{,}86 \quad \text{Kg}}$$

TRABAJO PRACTICO Nº 2.-

Determinar la carga P admisible de una viga que se encuentra arriostrada en el centro y en los cuarto de la luz.
Los datos de la viga y del perfil son los siguientes:

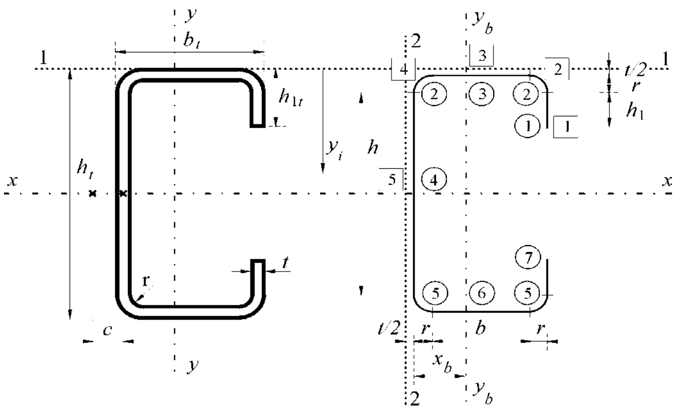


h_t =	**180**	**mm**	h_{1t} =	**20**	**mm**
b_t =	**80**	**mm**	$t = r$ =	**2**	**mm**
l =	**6,00**	**m**			

Acero tipo F-24 = 2.400,00 Kg/cm² *S/CIRSOC 301, Cap. 2.*

$$f = l/200 = 3,00 \ \text{cm}$$ *S/CIRSOC 301, Cap. 6.6.*

Para el cálculo se empleará el método lineal. *S/CIRSOC 303, Cap. 4.4.8.*



Sección real Figura lineal

$$h = h_t - 4 \cdot t = 18,00 - 4 \cdot 0,20 = 17,20 \ \text{cm}$$

$$b = b_t - 4 \cdot t = 8,00 - 4 \cdot 0,20 = 7,20 \ \text{cm}$$

$$h_1 = h_{1t} - 2 \cdot t = 2,00 - 2 \cdot 0,20 = 1,60 \ \text{cm}$$

$$\frac{t}{2} = \frac{0,20}{2} = 0,10 \ \text{cm}$$

1.- CALCULO DE LA TENSION BASICA DE DISEÑO

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.2.

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{2.400,00}{1,60} = 1.500,00 \ \text{Kg/cm}^2$$

γ en el mínimo coeficiente de seguridad. *S/ CIRSOC 303, Cap. 3.*

2.- CALCULO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.3.

Se deberá calcular la tensión admisible para cada uno de los elementos que componen la sección.

Elemento 3

$$\sigma_{adm} = q \cdot \sigma_{bd} = 1,00 \cdot 1.500,00 = 1.500,00 \ \text{Kg/cm}^2$$

$$q = 1,00$$ *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.13.*

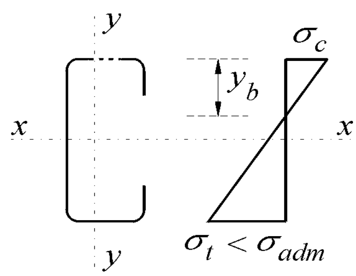
El ancho de cálculo será: *S/ CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$b = b_t - 4 \cdot t = 8,00 - 4 \cdot 0,20 = 7,20 \ \text{cm}$$

La relación del ancho de cálculo será: *S/ CIRSOC 303, Cap. 1.4.1.*

$$B = \frac{b}{t} = \frac{7{,}20}{0{,}20} = 36{,}00 \quad < \quad 60 = B_{\text{máx}}$$ *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.6.1.*

La función característica de tensiones será: *S/ CIRSOC 303, Cap 4.4.7.*



El ala (superior) está comprimida y completamente rigidizada. Supongamos que debido a la abolladura el tramo central no aporta resistencia, o sea, la longitud efectiva del ala es menor que la real, esta longitud efectiva depende de la tensión actuante en el ala. Por lo tanto, siendo menor la sección del ala comprimida que la sección del ala traccionada, la máxima tensión de compresión se dá en la primera. Asimismo debe verificarse que la tensión del ala traccionada sea menor que la tensión admisible.

Supongamos que se alcanza la tensión admisible en el ala comprimida tendremos que:

$$\sigma_c = \sigma_{adm} = 1.500{,}00 \ \ \mathrm{Kg/cm^2}$$

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_c}} = \sqrt{\frac{2.100.00{,}00}{1.500{,}00}} = 37{,}42$$

El ancho efectivo de cáculo será: *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.9.*

$$B_e = 1{,}30 \cdot g - R = 1{,}30 \cdot 37{,}42 - 0 = 48{,}65$$

Se deberá adoptar $R = 0$ cuando $B \leq 60$ o si el elemento está rigidizado en ambos bordes por un ala o un alma.

$$B_e = 48{,}65 \quad > \quad B = 36{,}00 \quad \Rightarrow \quad B_e = B \quad \therefore \quad b_e = b = 7{,}20 \ \ \mathrm{cm}$$

Conclusión: tenemos un sección simétrica, totalmente efectiva y como trabaja a flexión simple el eje neutro es coincidente con el eje de simetría.

Elemento 1

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.11.

$$h_{1t} \ > \left\{ \begin{array}{r} (24 \cdot B_{Ala} - 156)^{1/3} \cdot t = (24 \cdot 36 - 156)^{1/3} \cdot 0{,}20 = 1{,}78 \ \ \mathrm{cm} \\ 5 \cdot t = 5 \cdot 0{,}20 = 1{,}00 \ \ \mathrm{cm} \end{array} \right\} \ h_{1t} = 2{,}00 \ \ \mathrm{cm} \ \Rightarrow \ \mathrm{B.C.}$$

$$B = \frac{h_1}{t} = \frac{1{,}60}{0{,}20} = 8{,}00 \quad < \quad 60 = B_{\text{máx}} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{B.C.}$$ *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.6.1.*

La función característica de tensión de fluencia será: *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.7.*

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2.100.000}{2.400}} = 29{,}58$$

Para elementos no rigidizados: *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.13.*

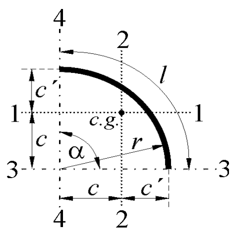
$$B = 8{,}00 \quad \leq \quad 0{,}37 \cdot g_F = 0{,}37 \cdot 29{,}58 = 10{,}94$$

$$\Rightarrow \quad q = 1{,}00$$

$$\sigma_{adm} = q \cdot \sigma_{bd} = 1{,}00 \cdot 1.500{,}00 = 1.500{,}00 \ \ \mathrm{Kg/cm^2}$$

El labio está sometido a una tensión menor que el de la fibra extrema y como las tensiones admisible de los elementos **1** y **3** son iguales, tenemos que no es necesaria una verificación en el elemento **1** o rigidizador.

Elemento 2 y 5



$$r = 1{,}50 \cdot t = 1{,}50 \cdot 0{,}20 = 0{,}30 \ \ \mathrm{cm}$$
$$l = 1{,}57 \cdot r = 1{,}57 \cdot 0{,}30 = 0{,}47 \ \ \mathrm{cm}$$
$$c' = 0{,}363 \cdot r = 0{,}363 \cdot 0{,}30 = 0{,}11 \ \ \mathrm{cm}$$
$$c = 0{,}637 \cdot r = 0{,}637 \cdot 0{,}30 = 0{,}19 \ \ \mathrm{cm}$$

Elemento 4

$$H = \frac{h_t - 4 \cdot t}{t} = \frac{18{,}00 - 4 \cdot 020}{0{,}20} = 86{,}00 \quad < \quad 150 = H_{\text{máx}} \quad \Rightarrow \ \mathrm{B.C.}$$ *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.4.6.2.*

3.- CARACTERISTICA GEOMETRICA DE LA SECCION

Nº	***l*** cm	***n***	***l.n*** cm	***y i*** cm	***l.n.y i*** cm^2	***l.n.y i 2*** cm^3	***I ex*** cm^3
1	1,60	1	1,60	1,20	1,92	2,30	0,34
2	0,47	2	0,94	0,21	0,20	0,04	0,00
3	7,20	1	7,20	0,10	0,72	0,07	0,00
4	17,20	1	17,20	9,00	154,80	1.393,20	424,04
5	0,47	2	0,94	17,79	16,76	298,16	0,00
6	7,20	1	7,20	17,90	128,88	2.306,95	0,00
7	1,60	1	1,60	16,80	26,88	451,58	0,34
Σ	-	-	**36,68**	-	**330,16**	**4.452,32**	**424,72**

$$A = \left(\sum l \cdot n\right) \cdot t = 36{,}68 \cdot 0{,}20 = 7{,}34 \ \ \mathrm{cm}$$

$$y_x = \frac{\sum l \cdot n \cdot y_i}{\sum l \cdot n} = \frac{330{,}16}{36{,}68} = 9{,}00 \ \ \mathrm{cm}$$

$$I_x = \left(\sum l \cdot n \cdot y_i^{\,2} + \sum I_{ex} - y_x^{\,2} \cdot \sum l \cdot n\right) \cdot t =$$
$$= \left(4.452{,}32 + 424{,}72 - 9{,}00^2 \cdot 36{,}68\right) \cdot 0{,}20 = 381{,}19 \ \ \mathrm{cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{y_x} = \frac{381{,}19}{9{,}00} = 42{,}35 \ \ \mathrm{cm}^3$$

4.- CARGA MAXIMA POR FLEXION

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{P \cdot l/4}{W_x} \leq \sigma_{adm} \quad \Rightarrow \quad P \leq \frac{4 \cdot W_x \cdot \sigma_{adm}}{l} = \frac{4 \cdot 42{,}35 \cdot 1.500{,}00}{600{,}00} = 423{,}50 \;\; \text{Kg}$$

5.- CARGA MAXIMA POR DEFORMACION

$$f = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad \Rightarrow \quad P \leq \frac{48 \cdot f \cdot E \cdot I}{l^3} = \frac{48 \cdot 3{,}00 \cdot 2.100.000 \cdot 381{,}19}{600{,}00^3} = 533{,}67 \;\; \text{Kg}$$

6.- PANDEO LATERAL

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.4.

$$\sigma'_{c\,adm} \quad \leq \quad \sigma_{adm} = 1.500{,}00 \;\; \text{Kg/cm}^2$$

Si $\sigma_{be} > 0{,}5 \cdot (\sigma_{bd} - \sigma_t) \quad \Rightarrow \quad \sigma'_{c\,adm} = \sigma_{bd} - \dfrac{0{,}25 \cdot (\sigma_{bd} - \sigma_t)^2}{\sigma_{be}}$

Si $\sigma_{be} \leq 0{,}5 \cdot (\sigma_{bd} - \sigma_t) \quad \Rightarrow \quad \sigma'_{c\,adm} = \sigma_{be} + \sigma_t$

Nº	***l*** cm	***n***	***l.n*** cm	***x*** $_i$ cm	***l.n.x*** $_i$ cm^2	***x*** $_g$ (*) cm	***l.n.x*** $_g^2$ cm^3	***I*** $_{ey}$ cm^3
1	1,60	1	1,60	7,90	12,64	5,39	46,46	0,00
2	0,47	1	0,47	7,79	3,67	5,28	13,13	0,00
3	7,20	1	7,20	4,00	28,80	1,49	15,95	31,10
4	0,47	1	0,47	0,21	0,10	-2,30	2,50	0,00
5	8,60	1	8,60	0,10	0,86	-2,41	50,02	0,00
$\sum$	-	-	**18,34**	-	**46,07**	-	**128,05**	**31,10**

(*) $x_g = x_i - x_b$

$$A_c = \frac{A}{2} = \left(\sum l \cdot n\right) \cdot t = 18{,}34 \cdot 0{,}20 = 3{,}67 \;\; \text{cm}^2$$

$$x_b = \frac{\sum l \cdot n \cdot x_i}{\sum l \cdot n} = \frac{46{,}07}{18{,}34} = 2{,}51 \;\; \text{cm}$$

$$I_{yc} = \left(\sum l \cdot n \cdot x_g^{\;2} + \sum I_{ey}\right) \cdot t = (128{,}05 + 31{,}10) \cdot 0{,}20 = 31{,}83 \;\; \text{cm}^4$$

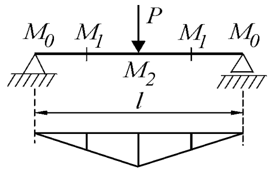
Calcularemos las tensiones siguientes σ_{be} y σ_t.

$$\sigma_{be} = \frac{5{,}12 \cdot E \cdot h \cdot I_{yc} \cdot c_b}{l^2 \cdot W_x}$$

h es la altura total de la viga

l es la longitud no arriostrada de la viga. *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.6.6.1.*

I_{yc} que es el momento de inercia de la parte comprimida de la sección respecto a un eje que pasa por el centro de gravedad y es paralelo al alma de la viga.



C_b es el coeficiente de flexión en el centro de la viga.

M_1 y M_2, es el menor y mayor momento actuante entre los extremos opuesto de la longitud no arriostrada, en el plano de la sección considerada.

Cálculo del coeficiente de flexión C_b.

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{P \cdot l/8}{P \cdot l/4} = 0{,}50$$

Las relaciones de momento es negativa cuando la curvatura es simple.

$$C_b = 1{,}75 + 1{,}05 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0{,}30 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 =$$
$$= 1{,}75 + 1{,}05 \cdot (-0{,}50) + 0{,}30 \cdot (-0{,}50)^2 = 1{,}30 \quad \leq \quad 2{,}30 \quad \text{B.C.}$$

$$\sigma_{be} = \frac{5{,}12 \cdot 2.100.000{,}00 \cdot 18{,}00 \cdot 31{,}83 \cdot 1{,}30}{150{,}00^2 \cdot 42{,}35} = 8.404{,}38 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{0{,}174 \cdot G \cdot A \cdot t^2 \cdot C_b}{h_t \cdot W_x} = \frac{0{,}174 \cdot 810.000{,}00 \cdot 7{,}34 \cdot 0{,}20^2 \cdot 1{,}30}{18{,}00 \cdot 42{,}35} = 70{,}57 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{be} = 8.404{,}38 \ \ \text{Kg/cm}^2 \quad > \quad 0{,}50 \cdot (\sigma_{bd} - \sigma_t) = 0{,}50 \cdot (1.500{,}00 - 70{,}57) = 714{,}72 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma'_{c\,adm} = \sigma_{bd} - \frac{0{,}25 \cdot (\sigma_{bd} - \sigma_t)^2}{\sigma_{be}} = 1.500{,}00 - \frac{0{,}25 \cdot (1.500{,}00 - 70{,}57)^2}{8.404{,}38} = 1.439{,}22 \ \ \text{Kg/cm}^2$$
$$< \quad \sigma_{adm} = 1.500{,}00 \ \ \text{Kg/cm}^2 \quad \text{B.C.}$$

La carga máxima que admite la viga por pandeo lateral es de:

$$P \leq \frac{4 \cdot W_x \cdot \sigma_{adm}}{l} = \frac{4 \cdot 42{,}35 \cdot 1.439{,}22}{600{,}00} = 406{,}34 \ \ \text{Kg}$$

7.- RIGIDIZACION

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.6.

El arriostramiento central deberá soportar como mínimo un fuerza de: *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.6.2.1.*

$$F_{\text{mín}} = 2\% \cdot F_c = 2\% \cdot A_c \cdot \sigma'_{c\,adm} = 0{,}02 \cdot 3{,}67 \cdot 1.439{,}22 = 105{,}64 \ \ \text{Kg}$$

F_c es la máxima fuerza de compresión de la pieza en el punto arriostrado.

El arriostramiento del ala superior para inpedir la torsión de la viga con carga concentrada tendrá un valor de: *S/ CIRSOC 303, Cap. 4.6.6.2.*

$$F = \alpha \cdot P \qquad \text{donde} \qquad \alpha = \frac{c}{h_t}$$

c es la distancia desde el centro de esfuerzos cortante al plano medio del alma. S/ CIRSOC 303, Cap. 4.7.7.2.1.

$$c = \frac{b_t \cdot h_t \cdot t}{4 \cdot I_x} \cdot \left[b_t \cdot h_t + 2 \cdot h_{1t} \cdot \left(h_t - \frac{4 \cdot h_{1t}^{\ 2}}{3 \cdot h_t} \right) \right] =$$

$$= \frac{8{,}00 \cdot 18{,}00 \cdot 0{,}20}{4 \cdot 381{,}19} \cdot \left[8{,}00 \cdot 18{,}00 + 2 \cdot 2{,}00 \cdot \left(18{,}00 - \frac{4 \cdot 2{,}00^2}{3 \cdot 18{,}00} \right) \right] = 4{,}06 \ \ \text{cm}$$

La carga máxima que admite la viga en el arriostramiento central es de:

$$P \leq \frac{F}{\alpha} = \frac{h_t \cdot F_{\text{mín}}}{c} = \frac{18{,}00 \cdot 105{,}64}{4{,}06} = 468{,}35 \ \ \text{Kg}$$

8.- TENSIONES ADMISIBLE EN EL ALMA

8.1.- Tensión de corte

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.5.1.

La máxima tensión promedio de corte será:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_F}{2{,}50} = \frac{2.400{,}00}{2{,}50} = 960{,}00 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

pero no excederá de:

$$H = 86{,}00 \quad \leq \quad 3{,}20 \cdot g_F = 3{,}20 \cdot 29{,}58 = 94{,}66$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{0{,}88 \cdot E}{H \cdot g_F} = \frac{0{,}88 \cdot 2.100.00{,}00}{86{,}00 \cdot 29{,}58} = 726{,}45 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

La carga máxima que admite la viga en el alma por corte es de:

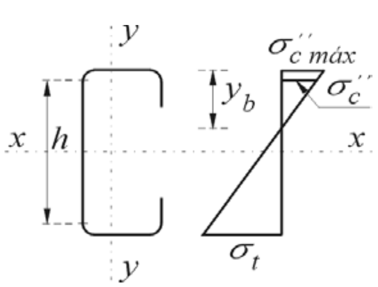
$$\tau_{med} = \frac{Q}{h \cdot t} = \frac{P/2}{h \cdot t}$$

$$P \leq 2 \cdot h \cdot t \cdot \tau_{med} = 2 \cdot 17{,}20 \cdot 0{,}20 \cdot 726{,}45 = 4.997{,}98 \ \ \text{Kg}$$

8.2.- Tensión de flexión

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.5.2.

La tensión de compresión en el ala superior por flexión es de:



$$\sigma''_{c\,\text{máx}} = \sigma''_{c\,adm} = 1.500{,}00 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = 1.500{,}00 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$y_b = h_t \cdot \frac{\sigma''_{c\,\text{máx}}}{\sigma''_{c\,\text{máx}} + \sigma_t} = 18{,}00 \cdot \frac{1500{,}00}{1500{,}00 + 1500{,}00} = 9{,}00 \ \ \text{cm}$$

La tensión de compresión en el alma será:

$$\sigma''_c = \frac{y_b - 2 \cdot t}{y_b} \cdot \sigma''_{c\,\text{máx}} = \frac{9{,}00 - 2 \cdot 0{,}20}{9{,}00} \cdot 1.500{,}00 = 1.433{,}33 \ \ \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma''_c \quad < \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma''_{c\,adm} \leq \sigma_{bd} = 1.500{,}00 \ \ \text{Kg/cm}^2 \\ \sigma''_{c\,adm} \leq 17{,}60 \cdot \dfrac{E}{H^2} = 17{,}60 \cdot \dfrac{2.100.000{,}00}{86{,}00^2} = 4.997{,}30 \ \ \text{Kg/cm}^2 \end{array} \right\} \ \ \text{B. C.}$$

La carga máxima que admite la viga por flexión en el alma es de:

$$P \leq \frac{4 \cdot W_x \cdot \sigma''_c}{l} = \frac{4 \cdot 42{,}35 \cdot 1.433{,}33}{600{,}00} = 404{,}68 \ \ \text{Kg}$$

8.3.- Tensión combinada de corte y flexión

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.5.3.

$$\left(\frac{\sigma''}{\sigma''_{cadm}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{adm}} \right)^2 \leq 1$$

Calcularemos la carga P para $x = 150$ cm

$$P \leq 2 \cdot \sqrt{\frac{{\sigma''_{cadm}}^2 \cdot {\tau_{adm}}^2}{\dfrac{{\tau_{adm}}^2 \cdot x^2}{{W_x}^2} + \dfrac{{\sigma''_{cadm}}^2}{h^2 \cdot t^2}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1.500{,}00^2 \cdot 726{,}45^2}{\dfrac{726{,}45^2 \cdot 150^2}{42{,}35^2} + \dfrac{1.500{,}00^2}{17{,}20^2 \cdot 0{,}20^2}}} = 835{,}09 \ \ \text{Kg}$$

8.4.- Tensión de abolladura

S/ CIRSOC 303, Cap. 4.5.5.4.

Adoptaremos una longitud de apoyo de la viga de: $l_a = 10{,}00$ cm
Previamente calcularemos:

$$A^* = \frac{l_a}{t} = \frac{10{,}00}{0{,}20} = 50{,}00 \quad < \quad H = 86{,}00 \quad \Rightarrow \quad A^* = 50{,}00$$

$$k = \left(\frac{29{,}90}{g_F} \right)^2 = \left(\frac{29{,}90}{29{,}58} \right)^2 = 1{,}02$$

$$n = \frac{r}{t} = \frac{0{,}20}{0{,}20} = 1{,}00$$

El $P_{máx}$ estará dado por:

$$\begin{aligned} P_{\text{máx}} &= 0{,}01 \cdot t^2 \cdot \sigma_F \cdot \left(98{,}00 + 4{,}20 \cdot A^* - 0{,}022 \cdot A^* \cdot H - 0{,}011 \cdot H\right) \cdot \left(1{,}15 - 0{,}15 \cdot n\right) \cdot \left(4 - k\right) = \\ &= 0{,}01 \cdot 0{,}20^2 \cdot 2.400{,}00 \cdot \left(98{,}00 + 4{,}20 \cdot 50{,}00 - 0{,}022 \cdot 50{,}00 \cdot 86{,}00 - 0{,}011 \cdot 86{,}00\right) \cdot \\ &\quad \cdot \left(1{,}15 - 0{,}15 \cdot 1{,}00\right) \cdot \left(4 - 1{,}02\right) = 607{,}79 \ \ \text{Kg} \end{aligned}$$

La carga máxima que admite la viga por abolladura en el alma es de:

$$R_A = \frac{P}{2} \quad \text{donde} \quad R_A = P_{\text{máx}} \quad \therefore \quad P = 2 \cdot P_{\text{máx}} = 2 \cdot 607{,}79 = 1.215{,}58 \;\; \text{Kg}$$

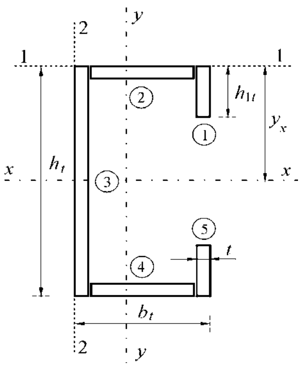
9.- CONCLUSION

La carga admisible que admite la viga está dada por la tensión de flexión en el alma:

$$\boxed{P_{adm} = 404{,}68 \;\; \text{Kg}}$$

10.- DETERMINACIÓN DEL ERROR POR REDONDEO DE LAS ESQUINAS

Calcularemos el valor del P_{adm} sin tener en cuenta los redendeos de las esquinas y partiremos de la carga máxima obtenida por la tensión de flexión en el alma, ya que esta, es la carga admisible.



$$\sigma''_c = 1.500{,}00 \;\; \text{Kg}/\text{cm}^2$$

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_c}} = \sqrt{\frac{2.100.00{,}00}{1.500{,}00}} = 37{,}42$$

$$B_e = 1{,}30 \cdot g - R = 1{,}30 \cdot 37{,}42 - 0 = 48{,}65$$

$$B_e = 48{,}65 \quad > \quad B = 36{,}00 \quad \Rightarrow B_e = B \quad \therefore \quad b_e = b = 8{,}00 - 2 \cdot 0{,}20 = 7{,}60 \;\; \text{cm}$$

Nº	***l*** cm	***n***	***l.n*** cm	***y i*** cm	***l.n.y i*** cm²	***l.n.y i ²*** cm³	***I ex*** cm³
1	2,00	1	2,00	1,00	2,00	2,00	0,67
2	7,60	1	7,60	0,10	0,76	0,08	0,00
3	18,00	1	18,00	9,00	162,00	1.458,00	486,00
4	7,60	1	7,60	17,90	136,04	2.435,12	0,00
5	2,00	1	2,00	17,00	34,00	578,00	0,67
Σ	-	-	**37,20**	-	**334,80**	**4.473,19**	**487,33**

$$A = \left(\sum l \cdot n\right) \cdot t = 37{,}20 \cdot 0{,}20 = 7{,}44 \;\; \text{cm}$$

$$y_x = \frac{\sum l \cdot n \cdot y_i}{\sum l \cdot n} = \frac{334{,}80}{37{,}20} = 9{,}00 \;\; \text{cm}$$

$$I_x = \left(\sum l \cdot n \cdot y_i^{\,2} + \sum I_{ex} - y_x^{\,2} \cdot \sum l \cdot n\right) \cdot t =$$
$$= \left(4.473{,}19 + 487{,}32 - 9{,}00^2 \cdot 37{,}20\right) \cdot 0{,}20 = 389{,}46 \;\; \text{cm}^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{y_x} = \frac{389{,}46}{9{,}00} = 43{,}27 \;\; \text{cm}^3$$

Las tensiomes no se modifican y serán igual a las obtenidas en el punto 8.2.- Tensión de flexión.

$$\therefore \quad \sigma''_{c\,\text{máx}} = \sigma''_{c\,adm} = 1.500{,}00 \ \ \mathrm{Kg/cm^2}$$

$$\sigma_t = 1.500{,}00 \ \ \mathrm{Kg/cm^2}$$

$$\sigma''_c = \frac{y_b - 2 \cdot t}{y_b} \cdot \sigma''_{c\,\text{máx}} = \frac{9{,}00 - 2 \cdot 0{,}20}{9{,}00} \cdot 1.500{,}00 = 1.433{,}33 \ \ \mathrm{Kg/cm^2}$$

La carga máxima que admite la viga por flexión en el alma es de:

$$P \leq \frac{4 \cdot W_x \cdot \sigma''}{l} = \frac{4 \cdot 43{,}27 \cdot 1.433{,}33}{600} = 413{,}47 \ \ \mathrm{Kg}$$

El error por no considerar el redondeo será de:

$$\varepsilon = \frac{P_{recto} - P_{curvo}}{P_{curvo}} \cdot 100 = \frac{413{,}47 - 404{,}68}{404{,}68} \cdot 100 = 2{,}17 \ \ \%$$

Error despreciable.