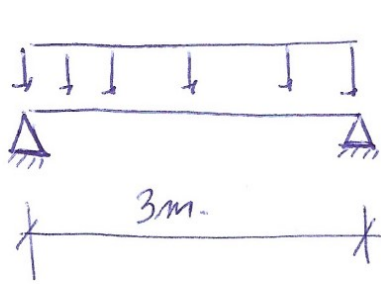
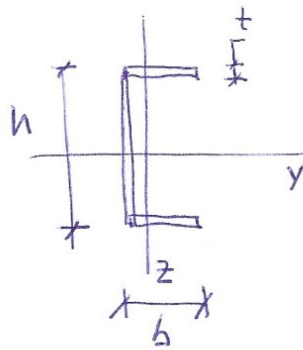
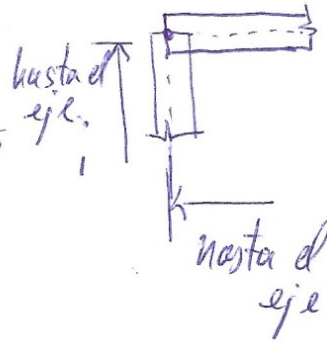
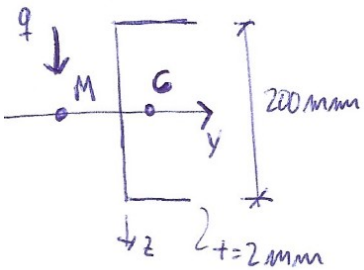


CÁLCULO SECCION CLASE 4 TIPO "U"



Modelo de conexiones y dimensiones



Carga aplicada en el centro de esfuerzos cortantes.

¿Valor máximo carga?

Aceero S235; $\gamma_{M0} = 1.05$

Propiedades

$$A = 200 \cdot 2 + 75 \cdot 2 \cdot 2 = 700 \text{ mm}^2; y_c = \frac{75 \cdot 2 \cdot 75 / 2 \cdot 2}{A} = 1607 \text{ mm}$$

$$I_y = 2 \cdot \left[\frac{75 \cdot 2^3}{12} + 75 \cdot 2 \cdot 100^2 \right] + \frac{200^3 \cdot 2}{12} = 4.333.433'33 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2 \cdot \left[\frac{2 \cdot 75^3}{12} + 75 \cdot 2 \cdot \left(\frac{75}{2} - 1607 \right)^2 \right] + \frac{200 \cdot 2^3}{12} + 200 \cdot 2 \cdot 1607^2 = 381.829'8 \text{ mm}^4$$

$$y_M = \frac{3 \cdot 75^2}{6 \cdot 75 + 200} = 25'961 \text{ mm}; y_M + y_c = 4203 \text{ mm}; J = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot 75 \cdot 2^3 + 200 \cdot 2^3) = 933'33 \text{ mm}^4$$

$$I_{Pc} = I_y + I_z = 4.715.263,13 \text{ mm}^4; I_{PM} = I_{Pc} + (y_M + y_c)^2 \cdot A = 5.952.002'35 \text{ mm}^4$$

$$I_{wM} = \frac{2 \cdot 75^3 \cdot 200^2}{12} \cdot \frac{(3 \cdot 75 + 2 \cdot 200)}{(6 \cdot 75 + 200)} = 2.704.326.923'1 \text{ mm}^6$$

Parámetro viga; $\chi = 1 - \frac{J}{I_{PM}} = 1 - \frac{933'33}{5952002'35} = 0'9998$

(torsion alabeada dominante) $\lambda_T = L \cdot \sqrt{\frac{\chi \cdot G \cdot J}{E \cdot I_{wM}}} = 3000 \cdot \sqrt{\frac{0'9998 \cdot 933'33}{2 \cdot (1 + 0'3) \cdot 2704326923'1}} = 1'093$ (1)

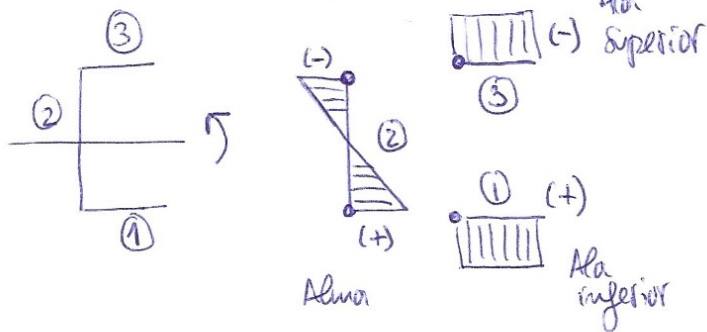
① Suponiendo la sección completamente efectiva el momento que resiste será

$$\frac{235}{105} = \frac{f_y}{\sigma_{Mo}} = \frac{M \cdot y}{I_y} ; \quad \frac{235}{105} = \frac{M \cdot 100}{43334333} ; \quad M = 97 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$q = \frac{862 \text{ KN}}{\text{m}} \quad (862 \text{ kg/ml})$$

② CLASIFICACIÓN DE LA SECCIÓN

Flexión simple



Ala superior. $c/t = 74/2 = 37$

límite clase 1 = $9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9$

límite clase 2 = $10 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 10$

límite clase 3 = $14 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 14$

↓
Ala clase 4

Ala $c/t = 198/2 = 99$

límite clase 1 = $72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72$

límite clase 2 = $83 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 83$

límite clase 3 = $124 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 124$

⇒ Ala clase 3

↓
Sección clase 4

③ CÁLCULO SECCIÓN EFECTIVA (páginas 400, 401, 402, 403 EAE)

Iteración 1

(Ala); $\psi = 1 \rightarrow K_S = 0.43 \rightarrow \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{235}{59.62}} = 1.985$

$$\sigma_{cr} = K_S \cdot \sigma_E = K_S \cdot \pi^2 \cdot 10^5 \cdot 2^2 = \frac{0.43 \cdot 13864}{12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 742} = 59.62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

límite (73.9.3) = ~~0.748~~ 0.748

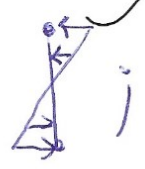
$\bar{\lambda}_p = 1.985 > 0.748 \Rightarrow \rho = \frac{1.985 - 0.188}{1.985^2} = 0.456$

$c_{eff} = 0.456 \cdot 74 = 33.74 \text{ mm}$

Alma

Deberíamos haber obtenido sta nueva distribución de tensiones reduciendo el ala.

En este ejemplo conduce a los mismos resultados porque el alma no reduce.



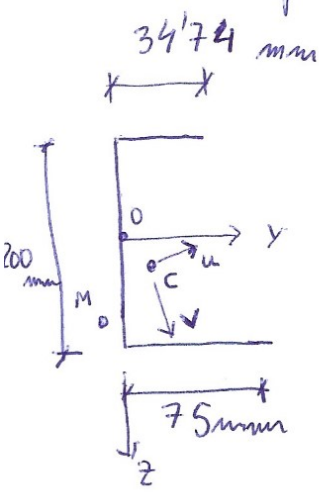
$$\psi = -1; K_s = 23.9 \rightarrow \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = 0.713$$

$$\sigma_{cr} = K_s \cdot \sigma_E = \frac{23.9 \cdot \pi^2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 2^2}{12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 198^2} = 23.9 \cdot 19.37 = 462.83 \text{ MPa}$$

$$\text{limite}(73.9.3) = 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \psi} = 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot (-1)} = 0.8741$$

$$\bar{\lambda}_p < 0.8741 \rightarrow \rho = 1; h = 200 \text{ mm.}$$

Sección para iteración 2



$$A = 619.48 \text{ mm}^2; y_c = 110.3 \text{ mm}; z_c = 13 \text{ mm}$$

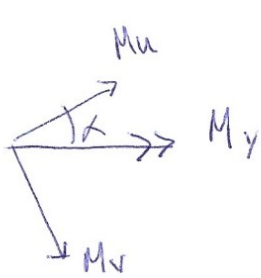
$$\left. \begin{aligned} I_y &= 3.423.550,00 \text{ mm}^4 \\ I_z &= 233.990,00 \text{ mm}^4 \\ I_{yz} &= 353.013,00 \text{ mm}^4 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_u &= 3.462.150,00 \text{ mm}^4 \\ I_v &= 195.386,00 \text{ mm}^4 \\ \alpha &= -6.24^\circ \end{aligned}$$

$$y_{cm} = -109.7 \text{ mm}; z_{cm} = -22 \text{ mm}; J = 822.61 \text{ mm}^4$$

$$I_{pc} = 3.657.540,00 \text{ mm}^4; I_{pm} = 60033340,00 \text{ mm}^4$$

$$I_{wm} = 63.9.796.000 \text{ mm}^6$$

Parámetro rigidez $\left\{ \begin{aligned} h &= 1 \\ I_T &= 2.11 \text{ (torsión elástica dominante)} \end{aligned} \right.$



$$\begin{aligned} M_u &= M_y \cdot \cos \alpha \\ M_v &= M_y \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Pasamos a tener flexión} \\ \text{biaxial.} \end{array} \right.$$

Momento unitario $M_y = 1 \text{ KN}\cdot\text{m}$; $M_v = 0'1087 \text{ KN}\cdot\text{m}$.
 $M_u = 0'9941 \text{ KN}\cdot\text{m}$

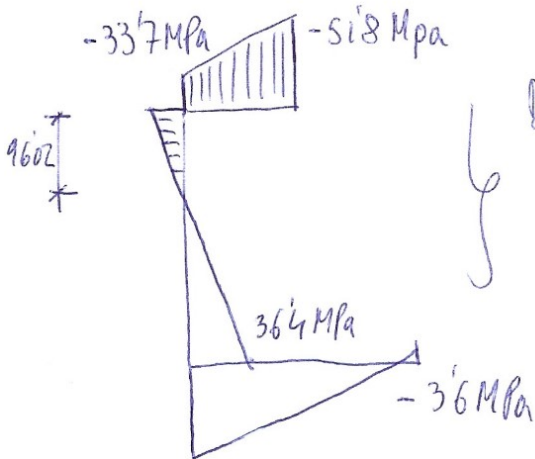


Diagrama tensiones normales para momento unitario M_y

Factor escala $\frac{235}{51'8} = 4'54 = FE$

Ala sup $\psi = \frac{33'7}{51'8} = 0'611 \rightarrow K_\sigma = 0'484 \rightarrow \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = 0'853$

$$\sigma_{cr} = K_\sigma \cdot \sigma_E = \frac{0'484 \cdot \pi^2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 2^2}{12 \cdot (1 - 0'3^2) \cdot 33'74^2} = 322'78 \text{ MPa} = 0'484 \cdot 666'9$$

$\bar{\lambda}_p = 0'853 > 0'748$

$\rho = \frac{0'853 - 0'188}{0'853^2} = 1'07 \Rightarrow \rho = 1$

No hay reducción.

Alma $\psi = -1'08 = \frac{36'4}{-33'7} \Rightarrow K_\sigma = 5'98 \cdot (1 - (-1'08))^2 = 25'87$

$\sigma_{cr} = K_\sigma \cdot \sigma_E = 25'87 \cdot 19'37 = 501'1 \text{ MPa}$; $\bar{\lambda}_p = 0'6848$

En realidad habría que calcular $\bar{\lambda}_{p,red}$ pero si $\bar{\lambda}_p < \bar{\lambda}_{p,limite}$, reducir λ_p no cambia conclusión.

limite = 0'8741; $\bar{\lambda}_p < 0'8741 \rightarrow \rho = 1 \rightarrow h = 200 \text{ mm}$.

iteración definitiva porque la compresión del ala inferior es muy pequeña... Veamos...

Ala inf. $\psi = \frac{3'6}{-36'4} = -0'099 \rightarrow K_\sigma = 2'36 \rightarrow \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = 0'847$

$$\sigma_{cr} = K_\sigma \cdot \sigma_E = \frac{2'36 \cdot \pi^2 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 2^2}{12 \cdot (1 - 0'3^2) \cdot 74^2} = 327'2 \text{ N/mm}^2$$

$\bar{\lambda}_p > 0'748$
 $\Rightarrow \bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \cdot \sqrt{\frac{FE \cdot 3'6}{235}} = 0'85 \cdot \sqrt{\frac{4'54 \cdot 3'6}{235}} = 0'22 < 0'748$ (6)

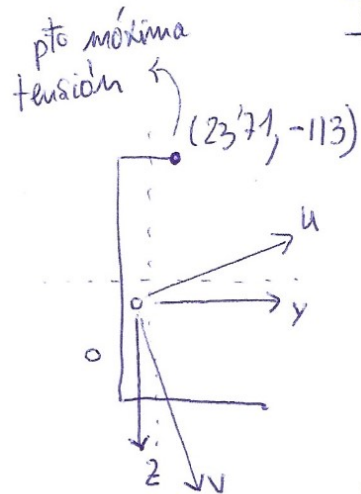
⑦ El momento que agota la sección será aquel que produzca unas tensiones normales a la sección efectiva iguales a

$$f_{yd} = \frac{235}{1.05} = 223.8 \text{ MPa}$$

→ En ejes no ppls de inercia

$$\sigma = \frac{M_y \cdot [I_z \cdot z - I_{yz} \cdot y]}{I_y \cdot I_z - I_{yz}^2}$$

$$\begin{cases} I_z = 233990,00 \text{ mm}^4 \\ I_y = 3.423.550,00 \text{ mm}^4 \\ I_{yz} = 353013,00 \text{ mm}^4 \\ z = -100 + z_{oc} = -113 \text{ mm} \\ y = 34.74 - y_{oc} = 23.71 \text{ mm} \end{cases}$$

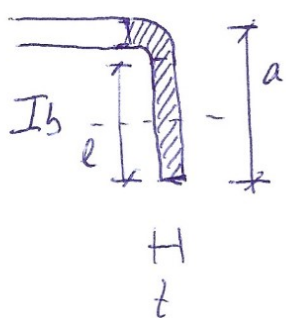


$$\frac{235}{1.05} = \frac{M_y \cdot [233990 \cdot (-113) - 353013 \cdot (23.71)]}{[3423550 \cdot 233990 - 353013^2]} \Rightarrow$$

$$|M_y = 4.32 \text{ kN} \cdot \text{m}| \rightarrow q = 3.84 \frac{\text{KN}}{\text{m}} (384 \text{ kg/ml})$$

ratio = $\frac{\text{resistencia bruta}}{\text{resistencia efectiva}} \Rightarrow \frac{9.7}{4.32} = 2.24$; ~~Reduce un~~ Reduce un 55.5% la resistencia.

Se recomienda rigidizar las alas con unos flejes para reducir este efecto y aprovechar mejor el material. En la EA-95 se daban recomendaciones para dimensionar estos rigidizadores de borde. En este caso; $c/t = 74/2 = 37 \Rightarrow$ tabla 4.1.5.1 (EA-95)



$$a > 9.2 \cdot t = 18.4 \text{ mm}$$

$$l=19 \rightarrow \frac{19 \cdot 2}{12} = 1143.2 \text{ mm}^2$$

$$I_b > x_b \cdot t^4 > 65 \cdot 2^4 = 1040$$

$$x_b = 1.83 \cdot \sqrt{\left(\frac{c}{t}\right)^2 - 117} \cdot \frac{24}{36} \approx 65 < 5$$

$$\rightarrow f_u (\text{kpl/cm}^2)$$