



ESTRUCTURAS METÁLICAS

INGENIERÍA CIVIL

CURSO 2012/2013

Clasificación de secciones

(Texto original de Mariano Mompeán)

PLANTEAMIENTO

El CTE clasifica las secciones solicitadas a flexión en 4 clases, según la tabla 5.1.; y a su vez define para cada una de ellas la posibilidad de cálculo de solicitaciones y resistencias:

Tabla 5.1 Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

Tabla 5.2 Métodos de cálculo

Clase de sección	Método para la determinación de las solicitaciones	Método para la determinación de la resistencia de las secciones
Plástica	Plástico o Elástico	Plástico o Elástico
Compacta	Elástico	Plástico o Elástico
Semicompacta	Elástico	Elástico
Esbelta	Elástico con posible reducción de rigidez	Elástico con resistencia reducida

La clasificación se realiza según la **esbeltez** de los elementos planos comprimidos de la sección, y la sección se clasifica conforme a la **mayor clase** de cualquiera de sus elementos (Tablas 5.3 y 5.4).

Tabla 5.3 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos

Geometría		Límite de esbeltez: c/t máximo		
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		33ε	38 ε	42 ε
Flexión simple		72 ε	83 ε	124 ε
Flexocompresión		$\frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$	$\frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$	$\frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$
Flexotracción ¹⁾		$\frac{36\epsilon}{\alpha}$	$\frac{415\epsilon}{\alpha}$	$62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$
Caso especial: sección tubular	Compresión Flexión simple Flexocompresión	$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$
Factor de reducción $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$				

1) $\psi \leq -1$ es aplicable a los casos con deformaciones unitarias que superen las correspondientes al límite elástico

Tabla 5.4 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en un borde y libre el otro, total o parcialmente comprimidos.

Geometría		Límite de esbeltez: c/t máximo		
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Compresión		9ε	10 ε	14 ε
Flexocompresión; borde libre comprimido		$\frac{9\epsilon}{\alpha}$	$\frac{10\epsilon}{\alpha}$	$21\epsilon\sqrt{k_{\sigma_1}}$
Flexocompresión; borde libre traccionado		$\frac{9\epsilon}{\alpha^{1,5}}$	$\frac{10\epsilon}{\alpha^{1,5}}$	$21\epsilon\sqrt{k_{\sigma_2}}$
Coeficientes de abolladura k_{σ_1} y k_{σ_2} en función de ψ , siendo ψ la relación de las tensiones en los bordes (compresión positiva):				
$k_{\sigma_1} = 0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$ para $1 \geq \psi \geq -3$				
$k_{\sigma_2} = 0,578 / (0,34 + \psi)$ para $1 \geq \psi \geq 0$				
$k_{\sigma_2} = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$ para $0 \geq \psi \geq -1$				
Factor de reducción $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$				

El cálculo plástico de la sección conduce a un mayor momento de agotamiento de la sección (medido por el factor de forma ψ).

Para poder considerar cálculo plástico:

- Es necesaria una capacidad de rotación plástica adecuada.
- No deben darse fenómenos de inestabilidad local o abolladura.

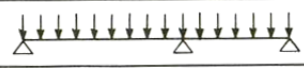
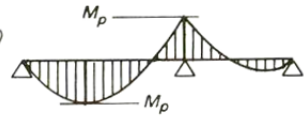
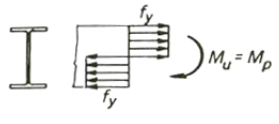
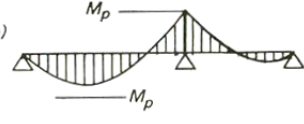
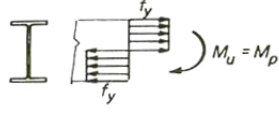
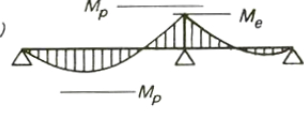

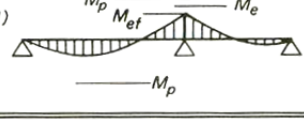
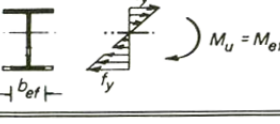
CLASE DE SECCIÓN		MOMENTO ÚLTIMO, M_u
1 (Plástica)	a) 	 $M_u = M_p$
2 (Compacta)	b) 	 $M_u = M_p$
3 (Semicompacta)	c) 	 $M_u = M_e$
4 (Esbelta)	d) 	 $M_u = M_{ef}$

Figura 6.19. Clases de secciones y su comportamiento

En secciones de **clase 4** se producen fenómenos de **inestabilidad local** y se define una **sección eficaz** con tensiones uniformes.

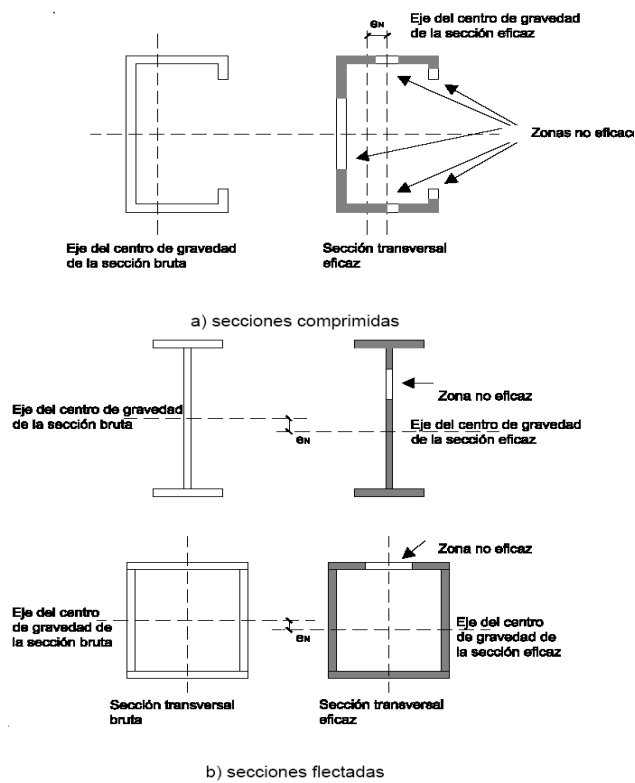


Tabla 5.6 Ancho eficaz de elementos planos total o parcialmente comprimidos.

Condiciones de apoyo y sollicitación	Sección eficaz del elemento plano	Relación de tensiones	Ancho comprimido	Coefficiente de abolladura
Compresión + Tracción -		ψ	b_c	k_G
		1	b	4
		$1 > \psi \geq 0$	b	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$
		$0 > \psi > -1$ $-1 \geq \psi > -3$	$\frac{b}{1 - \psi}$	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$ $5,98(1 - \psi)^2$
		$1 \geq \psi \geq 0$	b	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
		$0 > \psi \geq -3$	$\frac{b}{1 - \psi}$	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
		$1 \geq \psi \geq 0$	b	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$
		$0 > \psi \geq -1$	$\frac{b}{1 - \psi}$	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$

$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ relación de las tensiones en los bordes del elemento plano (compresión positiva).

b_c ancho comprimido.

b_t ancho traccionado.

Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0

⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.

EJERCICIOS

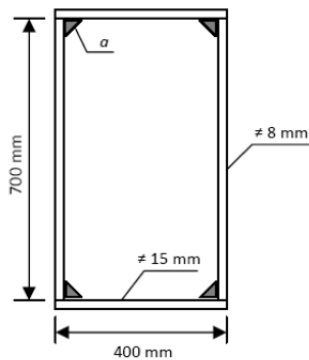
1. Clasifica la siguiente sección de acero S275 sometida a una flexión simple (*JUN 2008*).



SOLUCIÓN:

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
ALMA: CLASE 3
SECCIÓN: CLASE 3

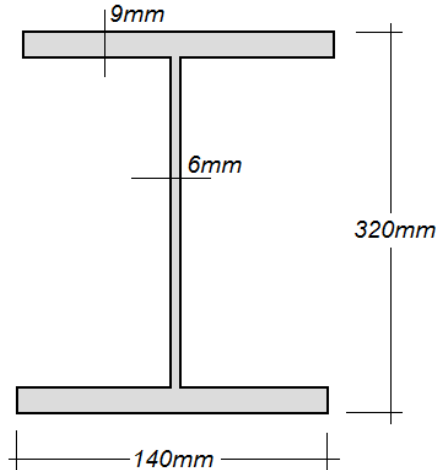
2. Determinar la clase resistente de la siguiente sección de acero S275 JR sometida a una flexión simple (*SEPT 2008*).



SOLUCIÓN:

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
ALMA: CLASE 3
SECCIÓN: CLASE 3

3. Dado el siguiente perfil, realiza su clasificación bajo las siguientes solicitaciones:
- compresión simple
 - flexión simple respecto del eje Y-Y
 - flexión compuesta respecto del eje Y-Y con N [KN, compresión]= $10 \cdot M$ [KNm]
 - flexión compuesta respecto del eje Y-Y con N [KN, tracción]= $2 \cdot M$ [KNm]
 - repetir el caso (b) respecto del eje Z-Z



SOLUCIÓN:

- a) compresión simple

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
 ALMA: CLASE 4
SECCIÓN: CLASE 4

- b) flexión simple respecto del eje Y-Y

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
 ALMA: CLASE 1
SECCIÓN: CLASE 1

- c) flexión compuesta respecto del eje Y-Y con N [KN, compresión]= $10 \cdot M$ [KNm]

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
 ALMA: CLASE 3
SECCIÓN: CLASE 3

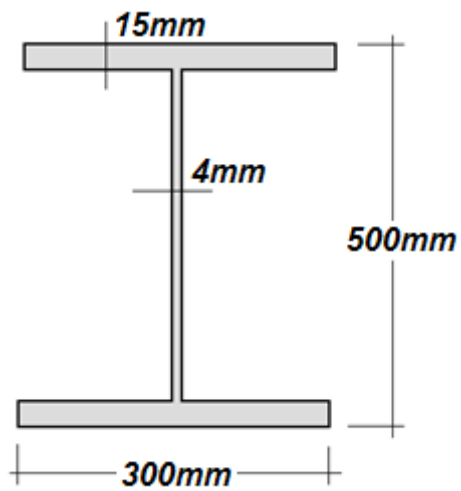
- d) flexión compuesta respecto del eje Y-Y con N [KN, tracción]= $2 \cdot M$ [KNm]

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
 ALMA: CLASE 1
SECCIÓN: CLASE 1

- e) repetir el caso (b) respecto del eje Z-Z

ALA COMPRIMIDA: CLASE 1
 ALMA: (SE DESPRECIA)
SECCIÓN: CLASE 1

4. Clasifica la siguiente sección de acero S-275 y calcula su sección eficaz si es necesario.



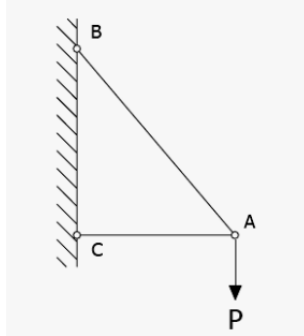
SOLUCIÓN:

ALA COMPRIMIDA: CLASE 3
ALMA: CLASE 4
SECCIÓN: CLASE 4

$b_{\text{eff}} = 226 \text{ mm}$
 $y_g = 249,5 \text{ mm}$

5. (Diciembre 2009)

En la estructura articulada de la figura adjunta, sometida a una acción variable P, se pide:



Datos:

- Distancia AC = 2 m.
- Distancia AB = 3 m.
- Acero S 275 J0

a) Considerando las barras de sección tubular $\varnothing 45.4$ y de acero laminado en caliente:
a.1) Clasificar la sección

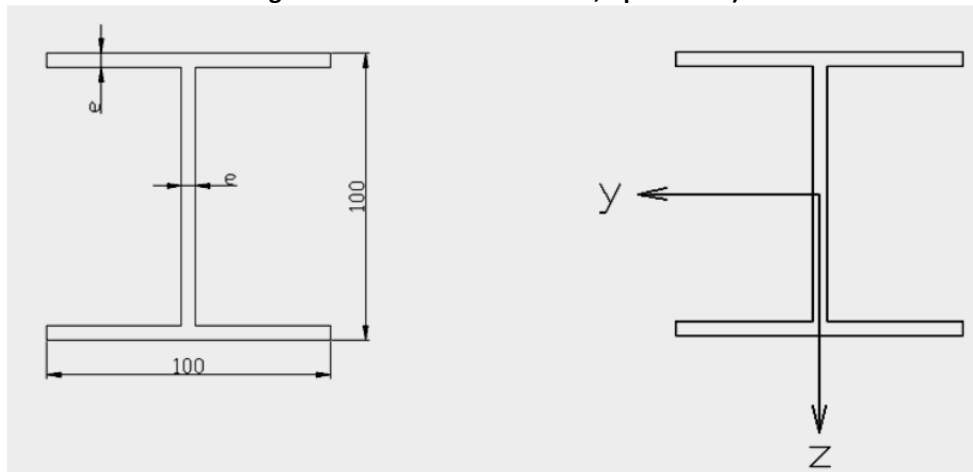
b) Considerando las barras como la sección indicada en la figura correspondiente (Fig. 2):
b.1) Clasificar la sección en función de su espesor "e"

Fig. 1 - Parámetros sección hueca circular, Apartado a)

u = Perímetro
 A = Área de la sección
 S = Momento estático de media sección, respecto a un eje baricéntrico
 I = Momento de inercia de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 $W = 2I : d$ = Módulo resistente de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 $i = \sqrt{I : A}$ = Radio de giro de la sección, respecto a un eje baricéntrico
 I_t = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones			Términos de sección						Peso ρ kp/m	
	d mm	e mm	u mm	A cm ²	S cm ³	I cm ⁴	W cm ³	i cm	I_t cm ⁴		
$\varnothing 40.2$	40	2	126	2.39	1.44	4.33	2.16	1.35	8.66	1.88	P
$\varnothing 40.3$	40	3	126	3.49	2.05	6.01	3.00	1.31	12.00	2.74	P
$\varnothing 40.4$	40	4	126	4.52	2.60	7.42	3.71	1.28	14.80	3.55	C
$\varnothing 45.2$	45	2	141	2.70	1.85	6.26	2.78	1.52	12.50	2.12	P
$\varnothing 45.3$	45	3	141	3.96	2.65	8.77	3.90	1.49	17.50	3.11	P
$\varnothing 45.4$	45	4	141	5.15	3.37	10.90	4.84	1.45	21.80	4.04	C
$\varnothing 50.2$	50	2	157	3.02	2.30	8.70	3.48	1.69	17.40	2.37	P
$\varnothing 50.3$	50	3	157	4.43	3.31	12.20	4.91	1.66	24.50	3.47	P
$\varnothing 50.4$	50	4	157	5.78	4.23	15.40	6.16	1.63	30.80	4.53	P
$\varnothing 55.2$	55	2	173	3.33	2.81	11.70	4.25	1.87	23.40	2.61	C
$\varnothing 55.3$	55	3	173	4.90	4.06	16.60	6.04	1.84	33.20	3.85	C
$\varnothing 55.4$	55	4	173	6.41	5.21	21.00	7.64	2.01	42.00	5.03	C

Fig. 2 - Geometría de la sección, Apartado b)



SOLUCIÓN:

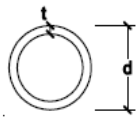
La barra AC está sometida a compresión simple.

a.1)

Tabla 5.3 Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos

Caso especial:

sección tubular



Compresión

Flexión simple

Flexocompresión

$$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$$

$$\frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$$

$$\varepsilon = 0,924$$

$$\frac{d}{t} = \frac{45}{4} = 11,25 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 42,69 \rightarrow \text{CLASE 1}$$

b.1)

ALA COMPRIMIDA

$$\varepsilon = 0,924$$

$$\frac{c}{t} = \frac{50 - 0,5e}{e}$$

Clase 1	Clase 2	Clase 3
9 ε	10 ε	14 ε
(8,32)	(9,24)	(12,94)

$$\text{Clase 1: } \frac{50 - 0,5e}{e} \leq 8,32 \rightarrow e \geq 5,67 \text{ mm}$$

$$\text{Clase 2: } \frac{50 - 0,5e}{e} \leq 9,24 \rightarrow e \geq 5,13 \text{ mm}$$

$$\text{Clase 3: } \frac{50 - 0,5e}{e} \leq 12,94 \rightarrow e \geq 3,72 \text{ mm}$$

$$\text{Clase 4: } e < 3,72 \text{ mm}$$

ALMA

$$\frac{c}{t} = \frac{100-2e}{e}$$

Clase 1	Clase 2	Clase 3
33 ε	38 ε	42 ε
(30,49)	(35,11)	(38,81)

Clase 1: $\frac{100}{e} - 2 \leq 30,49 \rightarrow e \geq 3,08 \text{ mm}$

Clase 2: $\frac{100}{e} - 2 \leq 35,11 \rightarrow e \geq 2,69 \text{ mm}$

Clase 3: $\frac{100}{e} - 2 \leq 38,81 \rightarrow e \geq 2,45 \text{ mm}$

Clase 4: $e < 2,45 \text{ mm}$

Por ejemplo, para que esta sección sea de Clase 1, "e" deberá ser mayor de 5,67 mm

6. (Diciembre 2011)

Para la construcción de un puente, se ha planteado la posibilidad de emplear la sección en cajón que se indica la figura 1. Esta sección está sometida a flexión simple. El eje de la flexión es aquel que pasa por el centro de gravedad de la sección y es paralelo al eje Y representado en la figura 1.

Se pide:

- Clasificar la sección y hallar la sección eficaz en caso que sea necesario.

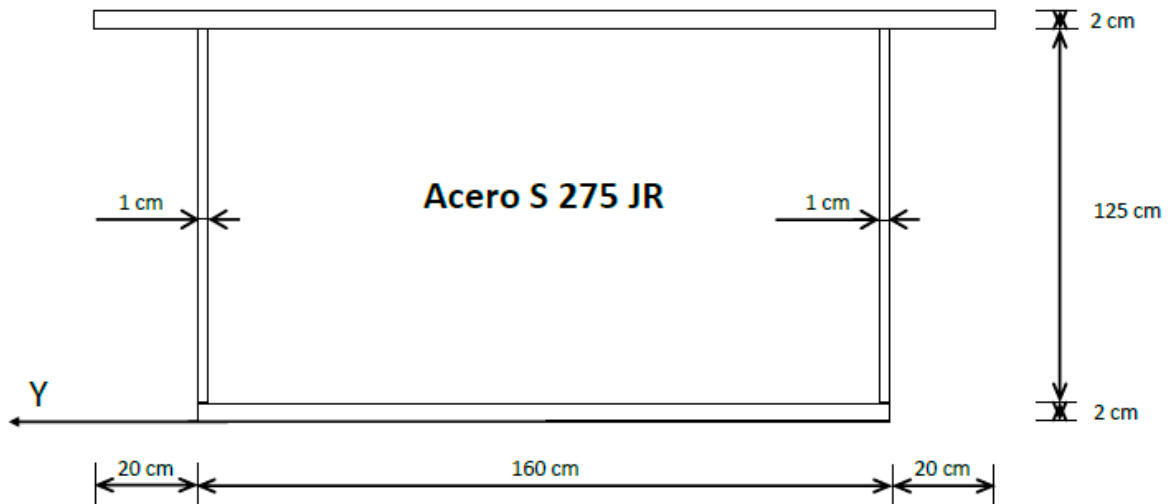


Figura 1: Sección a clasificar y reducir en caso de que sea necesario.

SOLUCIÓN:

Parte 1

Supuesto flexión positiva:

Panel volado ala superior:

$$c = 200 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm} \rightarrow \frac{c}{t} = 10$$

COMPRESIÓN

$$\downarrow$$

$$> 9 \cdot E$$

$$> 10 \cdot E$$

$$< 17 \cdot E = 13,18$$

$$f_y = 265 \text{ pg. } 16 < t < 40$$

$$\rightarrow E = \sqrt{\frac{235}{265}} = 0,942$$

\rightarrow Clase 3

Panel interno ala superior:

$$c = 1600 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 1580 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm.}$$

$$\frac{c}{t} = 79. > 33 E$$

$$> 38 E$$

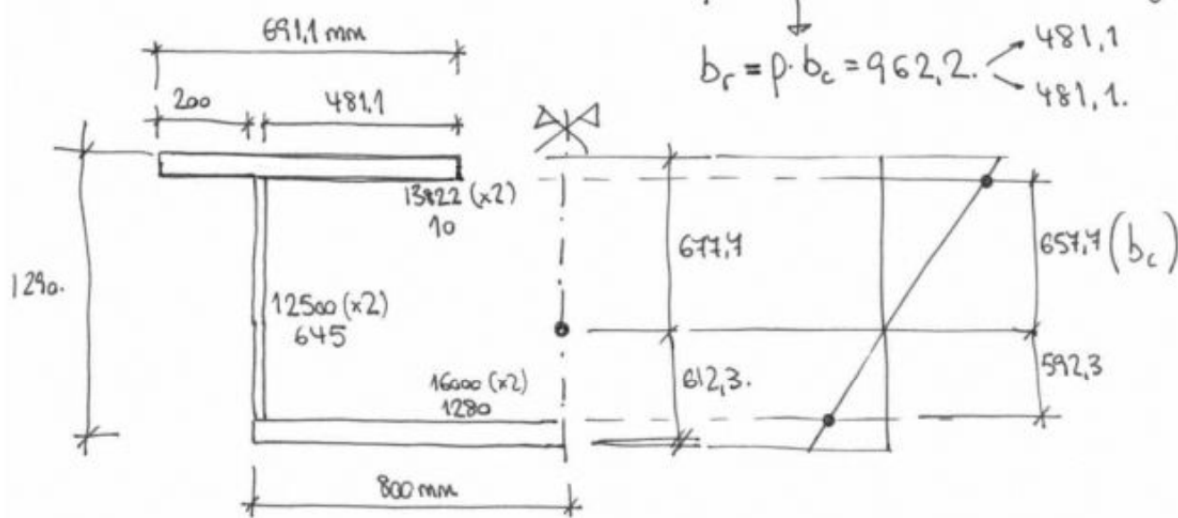
$$> 42 E$$

\rightarrow Clase 4.

$$\bar{\lambda}_p = \frac{79}{28,7 \cdot 0,942 \cdot \sqrt{4}} = 1,476$$

$$\rightarrow \rho = 0,609 \text{ (0,574 en EAF y EC-3)}$$

$$b_r = \rho \cdot b_c = 962,2. < \begin{matrix} 481,1 \\ 481,1. \end{matrix}$$



E limitado a E_y en ala superior

$$\rightarrow E_y = \frac{265 \text{ MPa} / \gamma_{M2}}{210000 \text{ MPa}} =$$

$$z_y = \frac{13822 \cdot 10 + 12500 \cdot 645 + 16000 \cdot 1280}{13822 + 12500 + 16000} = 647,7$$

$$\psi_{alma} = -\frac{592,3}{657,7} = -0,90 \rightarrow > -1$$

$$E = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924.$$

$$\frac{c}{t} = \frac{1250}{10} = 125 < \frac{42 \cdot E}{0,67 + 0,33 \psi} = 104. \rightarrow \underline{\underline{\text{clase 4}}}$$

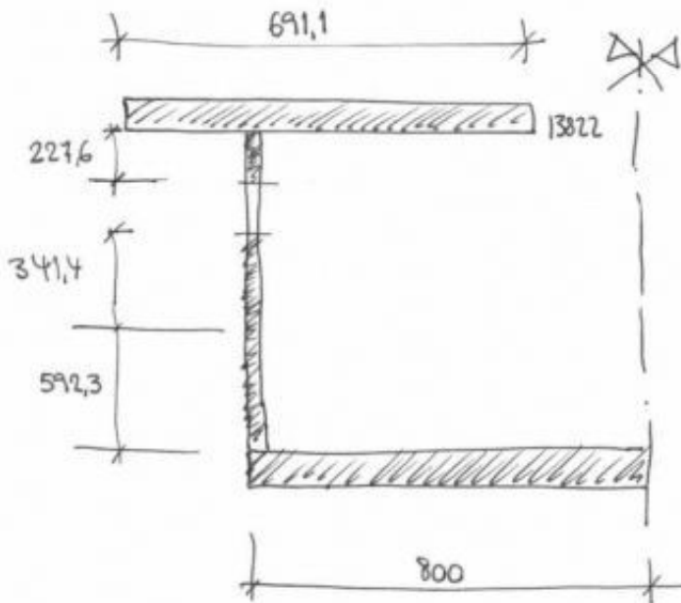
$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \psi^2 = 21,39.$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{125}{28,4 \cdot 0,924 \cdot \sqrt{21,39}} = 1,03$$

$$\rho = 0,8652 \rightarrow b_r = \rho \cdot b_c = 0,8652 \cdot 657,7 \text{ mm} = 569 \text{ mm.}$$

$$0,4 \cdot b_r = 227,6$$

$$0,6 \cdot b_r = 341,4.$$



→ Esta es la sección reducida

A Partir de aquí, habría que hallar el nuevo c.d.g. y, caso de ser necesario para la comprobación de la sección, deberíamos saber hallar su A_{ef} , $I_{ef,y}$, $I_{ef,z}$, etc.