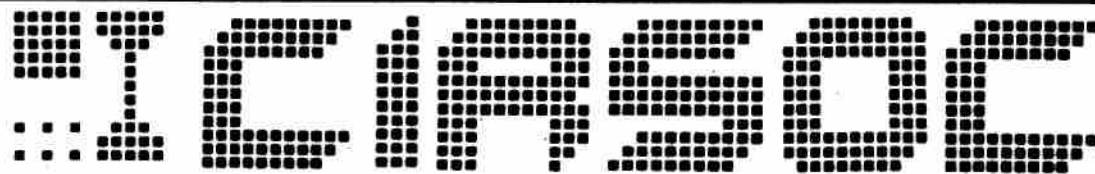




**INTI**  
**Instituto Nacional de**  
**Tecnología Industrial**



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

**3**

- ESTRUCTURAS DE CHAPA DELGADA  
DOBLADA EN FRIO

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

Edición Agosto de 1992

# CIRSOC

Av. de los Inmigrantes 1950 PB. Of. 22/24  
1104 Buenos Aires  
Tel: 311-1768  
Fax: 311-1768  
313-3013  
TELEX: 27128 INTI AR

Primer Director Técnico (+ 1980): Ing. Luis María Machado

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

2da. EDICION

© 1994

Editado por INTI  
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL  
Av. Leandro N. Alem 1067 - 7° piso - Buenos Aires

Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados. Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina  
Printed in Argentina.

## INDICE

## • DISEÑO POR TENSIONES ADMISIBLES

EJEMPLO 1: perfil  $\square$  flexionado

1

- Estimación peso propio según Anexo 1
- Características geométricas de la sección
- Verificaciones: tensiones de flexión
  - corte y flexión
  - abolladura del alma
  - labios rigidizadores

EJEMPLO 2: perfil  $\square$  flexionado

7

- Características geométricas de la sección
- Determinación de la posición de la fibra neutra en una sección con  $b_e < b$

EJEMPLO 3: perfil  $\Gamma$  flexionado

15

- Características geométricas de la sección
- Verificaciones: compresión del alma
  - pandeo lateral

labios rigidizadores  
 tensiones de corte del alma  
 abolladura del alma

EJEMPLO 4: perfil  $\sqcup$  flexionado

23

- Características geométricas de la sección
- Verificaciones: tensiones en el alma
  - tensiones de flexión
  - tensiones de corte
  - abolladura del alma
  - labios rigidizadores
  - pandeo lateral

EJEMPLO 5: perfil  $\sqsubset$  flexionado

35

- Características geométricas de la sección
- Verificaciones: labios rigidizadores
  - pandeo lateral
  - tensiones de corte
  - tensiones de flexión
  - tensiones de corte y flexión
  - abolladura del alma
- Fuerza a soportar por los arriostramientos
- Unión de los perfiles

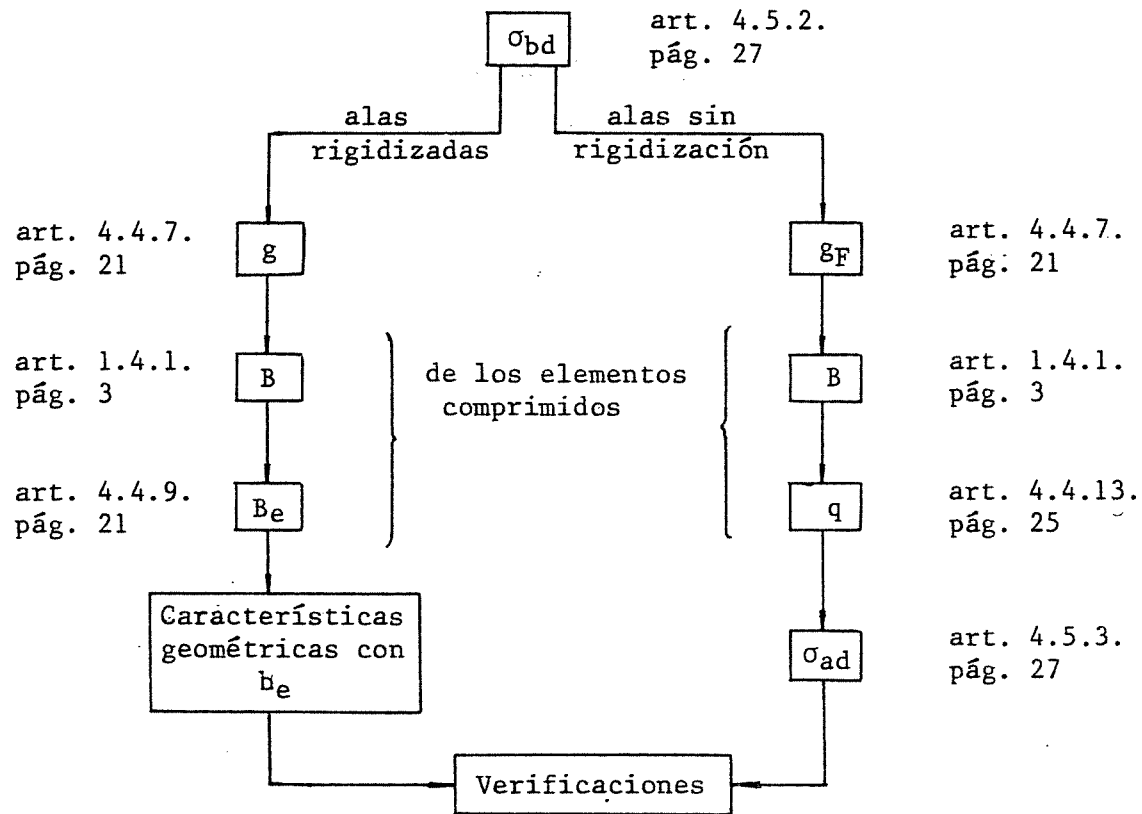
### III

EJEMPLO 6: perfil $\text{J}$ flexionado	45
- Características geométricas de la sección	
- Determinación de la posición de la fibra neutra	
- Carga admisible con y sin rigidizador intermedio	
EJEMPLO 7: perfil $\text{C}$ comprimido	53
- Coeficiente de pandeo local	
- Tensión admisible de compresión axial	
- Constante de torsión con alabeo de la sección	
EJEMPLO 8: perfil $\text{L}$ flexionado y comprimido	61
- Coeficiente de pandeo local	
- Tensión admisible de compresión	
- Flexión	
EJEMPLO 9: perfil $\text{J}$ comprimido	69
- Características geométricas de la sección	
- Características resistentes	
- Coeficiente de pandeo local	
EJEMPLO 10. perfil $\text{I}$ flexocomprimido	75
- Coeficiente de pandeo local	
- Tensión admisible por compresión axial	

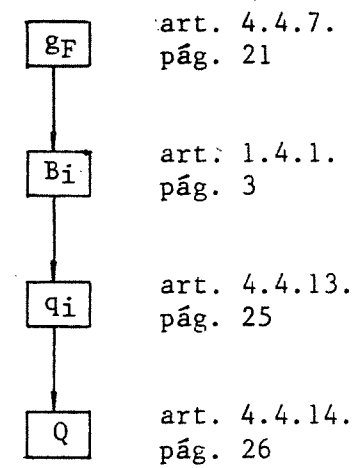


ESTRUCTURAS DE CHAPA DELGADA DOBLADA EN FRIO

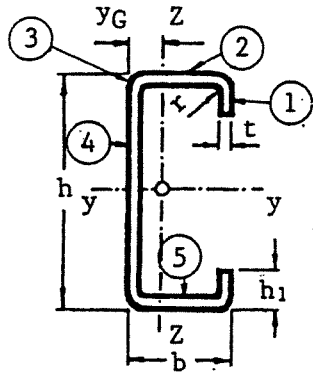
FLEXION



COMPRESION



## EJEMPLO N° 1

PERFIL U CON LABIOS RIGIDIZADORES - FLEXION1. Datos

Luz  $l = 2,10$  m

Acero tipo F-24 ( $\sigma_F = 240$  N/mm<sup>2</sup>)

El perfil se encuentra arriostrado por el ala superior en forma continua en toda su longitud.

El perfil se utiliza como correa

Flecha máxima admisible =  $\frac{l}{200} = 1,05$  cm

CIRSOC 301, artículo 6.6.

2. Análisis de cargas

Peso de la cubierta + Acciones debidas a la ocupación y al uso + Acción del viento + Acción de la nieve + Acción del hielo = 3,66 KN/m

CIRSOC 101, CIRSOC 102, CIRSOC 104

Estimación del peso propio del perfil:

se consideran tramos simplemente apoyados

CIRSOC 303, Anexos al capítulo 2

$$M = \frac{3,66 \text{ KN/m} \cdot (2,10 \text{ m})^2}{8} = 2,02 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Del gráfico de página 12, para  $h = 11$  cm

peso del perfil  $\approx 0,04$  KN/m



Reagrupando las acciones resulta:

Acciones permanentes	$p = 0,25 \text{ kN/m}$
Acciones variables	$g = 3,45 \text{ kN/m}$
Acción total	$q = 3,70 \text{ kN/m}$

### 3. Dimensionamiento

Se adopta un perfil 100-50-20-2,5

$$I_y = 86,63 \text{ cm}^4 \quad W_y = 17,33 \text{ cm}^3$$

$$A = 5,59 \text{ cm}^2 \quad \text{peso} = 4,39 \text{ dN/m}$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \ell^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,70 \text{ kN/m} \cdot (2,1 \text{ m})^4}{2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2 \cdot 86,63 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4} =$$

$$= 0,00515 \text{ m} = 0,515 \text{ cm} < f_{\text{máx}} = 1,05 \text{ cm}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 150 \text{ N/mm}^2$$

Se analizan separadamente los elementos integrantes de la sección.

- Elemento ②

$$q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 150 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 50 \text{ mm} - 4 \cdot 2,5 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

$$B = \frac{b}{t} = \frac{40 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 16$$

Datos obtenidos de tablas

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13, elemento completamente rigidizado

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

$$B_{\text{máx}} = 60 > B = 16$$

Al estar el ala comprimida completamente rigidizada se considera que debido a la abolladura el tramo central no aporta resistencia, o sea, la longitud efectiva del elemento es menor que la real, dependiendo esta longitud efectiva de la tensión actuante en el elemento.

Se concluye que siendo menor la sección efectiva del ala comprimida que la sección del ala traccionada, la máxima tensión se da en la primera; suponiendo que se alcanza la tensión admisible  $\sigma_{ad}$  en el ala comprimida:

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cad}}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{150 \text{ N/mm}^2}} = 37,42$$

$$B_e = 1,30 g - R$$

$$R = 0$$

$$B_e = 1,30 \cdot 37,42 - 0 = 48,65 > B$$

$$\therefore b_e = b = 40 \text{ mm}$$

siendo la sección simétrica, totalmente efectiva y sometida a flexión simple la fibra neutra estará ubicada sobre el eje de simetría.

- Elemento ①

$$h_1 = 20 \text{ mm}$$

$$h_1 = 20 \text{ mm} > (24 B @ -156)^{1/3} \cdot t = (24 \cdot 16 - 156)^{1/3} \cdot 2,5 \text{ mm} = 15,22 \text{ mm}$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.1.

Un borde rigidizado por un alma y el otro por un labio recto simple.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9.

Elemento completamente rigidizado y  $B < 60$

CIRSOC 303, artículo 4.4.11.1

Se toma la altura total del labio.

$$h_1 = 20 \text{ mm} > 5 t = 5 \cdot 2,5 \text{ mm} = 12,5 \text{ mm}$$

$$B = \frac{b}{t} = \frac{15 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 6$$

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} = 29,58$$

$$B = 6 < g_F \cdot 0,37 = 29,58 \cdot 0,37 = 10,94 \Rightarrow q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 150 \text{ N/mm}^2$$

El labio estará sometido a una tensión menor que la de la fibra extrema y siendo la tensión admisible de ambas la misma, se concluye que no es necesaria una verificación del primero.

- Elemento ④

$$h = 100 \text{ mm} - 2(2,5 + 2,5) \text{ mm} = 90 \text{ mm}$$

$$H = \frac{h}{t} = \frac{90 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 36$$

$$H_{\text{máx}} = 150 > H = 36$$

$$\tau = \frac{q \cdot \ell/2}{b \cdot t} = \frac{3700 \text{ N/m} \cdot 2,10/2 \text{ m}}{90 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm}} = 17,27 \text{ N/mm}^2$$

Tensiones de corte admisibles

$$H = 36 < 3,2 \cdot g_F = 3,2 \cdot 29,58 = 94,65$$

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13.

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

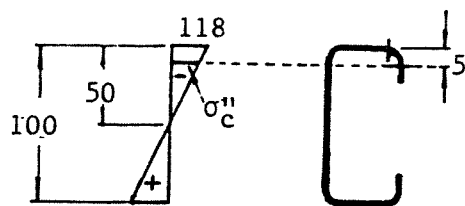
CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.2. secciones típicas

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.1.

$$\tau = 17,27 \text{ N/mm}^2 < \begin{cases} \tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_F}{2,5} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{2,5} = 96 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{\text{máx}} = \frac{0,88 \cdot E}{H \cdot g_F} = \frac{0,88 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{36 \cdot 29,58} = 173,54 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

La máxima tensión en el alma es:



$$\sigma''_c = \frac{50 \text{ mm} - 5 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \cdot 118 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma''_c \approx 106 \text{ N/mm}^2$$

La tensión admisible por flexión en el alma es:

$$\left. \begin{aligned} \sigma''_{\text{cad}} &= 17,6 \frac{E}{H^2} = 17,6 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{36^2} = 2852 \text{ N/mm}^2 \\ \text{ó } \sigma''_{\text{cad}} &= \sigma_{\text{bd}} = 150 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} > \sigma''_c$$

Las tensiones combinadas de corte y flexión deben ser:

$$\left( \frac{\sigma''_c}{\sigma''_{\text{cad}}} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_{\text{ad}}} \right)^2 = \left( \frac{85,40}{150} \right)^2 + \left( \frac{9,05}{96} \right)^2 = 0,33 < 1$$

Verificación de la abolladura del alma

$$R = \frac{q \cdot \ell}{2} = \frac{3700 \text{ N/m} \cdot 2,10 \text{ m}}{2} = 3885 \text{ N}$$

$\tau$  debe ser menor que el menor valor de  $\tau_{\text{máx}}$

$$M_{\text{máx}} = \frac{37(210)^2}{8} = 203963 \text{ N cm}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{W_y} \approx 118 \text{ N/mm}^2$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.2.

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.3.

Se considera una sección ubicada a 50 cm del apoyo:

$$\sigma''_c = 85,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 9,05 \text{ N/mm}^2$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.4.

Reacción de la viga simplemente apoyada

$$R_{\text{máx}} = 0,01 \cdot t^2 \cdot \sigma_F \cdot (98 + 4,2 A^* - 0,022 \cdot A^* \cdot H - 0,011 H) \cdot (1,15 - 0,15 n) \cdot (4 - k)$$

Longitud del apoyo = 10 cm

Espesor = 0,25 cm

$$A^* = \frac{10 \text{ cm}}{0,25 \text{ cm}} = 40 < H$$

$$k = \left( \frac{29,9}{8F} \right)^2 = \left( \frac{29,9}{29,58} \right)^2 = 1,02$$

$$n = \frac{r}{t} = 1$$

$$R_{\text{máx}} = 0,01 \cdot (25 \text{ mm})^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 \cdot (98 + 4,2 \cdot 40 - 0,022 \cdot 40 \cdot 36 - 0,011 \cdot 36) \cdot (1,15 - 0,15 \cdot 1) \cdot (4 - 1,02) = 10\,456,40 > R = 3885 \text{ N}$$

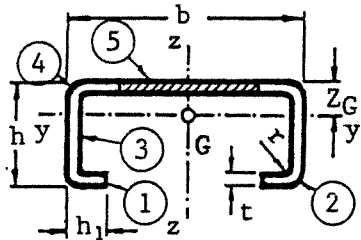
No se verifica el pandeo lateral según el artículo 4.5.4. por estar el perfil completamente arriostrado (ver datos)

Para vigas de alma simple sin reforzar

Relación entre la longitud real del apoyo y el espesor del alma, se toma igual a H cuando sea mayor que éste.

Especificación del fabricante

## EJEMPLO N° 2:

Perfil U con labios rigidizadores - Flexión1. DatosLuz —  $\ell = 2,10 \text{ m}$ Acero — F-24 ( $\sigma_F = 240 \text{ N/mm}^2$ )

Perfil arriostrado en forma continua en la parte superior, se lo utiliza como correa.

Flecha máxima admisible =  $\ell/200 = 1,05 \text{ cm}$ 

CIRSOC 301, artículo 6.6.

2. Análisis de cargasAcción total —  $q = 3,70 \text{ KN/m}$ 3. Dimensionamiento

$$M = \frac{q\ell^2}{8} = \frac{3,70 \text{ KN/m} (2,10 \text{ m})^2}{8} = 2,04 \text{ kN.m}$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \ell^4}{E \cdot I_y} \leq f_{ad} \longrightarrow I_y \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{q \ell^4}{E f_{ad}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{3,70 \text{ KN/m} (210\text{cm})^4}{2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2 \cdot 0,0105 \text{ m}}$$

$$I_y \geq 42,49 \text{ cm}^4$$

Ver Ejemplo N°1

Se adopta un perfil 200-80-25-2,5

$$I_y = 87,43 \text{ cm}^4 \quad \text{peso} = 7,72 \text{ dN/m}$$

$$A = 9,84 \text{ cm}^2 \quad r = t$$

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 150 \text{ N/mm}^2$$

- Elemento ⑤

$$q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 150 \text{ N/mm}^2$$

$$B = \frac{b}{t} = \frac{200 \text{ mm} - 4 \cdot 2,5 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = \frac{190 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 76$$

$$B_{\text{máx}} = 500 > B = 76$$

$$B_e = 1,30 g - R$$

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_c}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{100 \text{ N/mm}^2}} = 45,83$$

Se estima la tensión de compresión  $\sigma_c = 100 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ad} = 150 \text{ N/mm}^2$  por considerarse que la sección efectiva del elemento ⑤ será mayor que la sección de los labios rigidizadores (traccionados), como consecuencia la fibra

Datos obtenidos de Tablas

El peso es mayor que el estimado (ver Ejemplo N°1) pero, se lo adopta sin reajustar la carga.

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13., elemento completamente rigidizado

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9. El elemento comprimido se abolla y sólo aporta resistencia el ancho efectivo  $B_e$ , este depende de la tensión actuante en el elemento.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

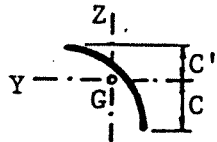
neutra estará más cerca del borde comprimido, desarrollándose, por ello, las mayores tensiones en el borde traccionado (se busca alcanzar allí  $\sigma_{ad}$ )

$$R = 0$$

$$B_e = 1,30 \cdot 45,83 = 59,58$$

$$b_e = B_e \cdot t = 59,58 \cdot 2,5 \text{ mm} = 148,95 \text{ mm} < b = 190 \text{ mm}$$

- Elementos ② y ④



$$r = 2,5 \text{ mm} + \frac{2,5 \text{ mm}}{2} = 3,75 \text{ mm}$$

$$l = \frac{\pi}{2} \cdot r = \frac{\pi}{2} \cdot 3,75 \text{ mm} = 5,89 \text{ mm}$$

$$c = 0,637 \cdot 3,75 \text{ mm} = 2,39 \text{ mm}$$

$$c' = 0,363 \cdot 3,75 \text{ mm} = 1,36 \text{ mm}$$

- Elemento ③ (en este caso actuando como alma)

$$B = \frac{b}{t} = \frac{70 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 28$$

$$B_{\text{máx}} = 150 > B = 28$$

- Elemento ①

$$l = 25 \text{ mm} - 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

El elemento está rigidizado en ambos bordes por alas.

El ancho efectivo es realmente menor que el ancho real para una tensión de  $100 \text{ N/mm}^2$  actuando sobre el elemento

Por propiedades geométricas

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.  
 $b = 80 - 4 \cdot 2,5 = 70$

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.2. Secciones típicas. En este caso las alas del perfil U trabajan como almas



- Ubicación de la fibra neutra

Se procede por tanteos al cálculo de la posición de la fibra neutra.

Se emplea el método lineal

1° TANTEO

Elemento	Longitud $\ell$ mm	Distancia a la fibra superior $z$ mm	$\ell \cdot z$ mm <sup>2</sup>
①	2.20 = 40,00	80 - 2,5/2 = 78,75	3150,00
②	2.5,89 = 11,78	80 - (2,5/2) - 1,36 = 77,39	911,65
③	2.70 = 140,00	80/2 = 40,00	5600,00
④	2.5,89 = 11,78	(2,5/2) + 1,36 = 2,61	30,75
⑤	148,95	2,5/2 = 1,25	186,19
$\Sigma$	352,51	$\Sigma$	9878,59

$$z_n = \frac{\Sigma \ell \cdot z}{\Sigma \ell} = \frac{9878,59 \text{ mm}^2}{352,51 \text{ mm}^2} = 28,02 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_c}{z_n} = \frac{\sigma_{ad}}{b - z_n} \longrightarrow \sigma_c = \frac{z_n}{b - z_n} \cdot \sigma_{ad}$$

$$\sigma_c = \frac{28,02 \text{ mm}}{80 \text{ mm} - 28,02 \text{ mm}} \cdot 150 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 80,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ad} = 150 \text{ N/mm}^2$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.8.

En los labios rigidizadores, por estar traccionados,  $q = 1$  y así  $\sigma_{ad} = 150 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_c$  es menor que la tensión de  $100 \text{ N/mm}^2$  supuesta para esa fibra, por lo tanto se debe realizar en nuevo tanteo adoptado  $\sigma_c = 80,87 \text{ N/mm}^2$ .

- Elemento 5

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_c}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{80,87 \text{ N/mm}^2}} = 50,96$$

$$B_e = 1,30 g - R = 1,30 \cdot 50,96 - 0 = 66,24$$

$$b_e = B_e \cdot t = 66,24 \cdot 2,5 \text{ mm} = 165,61 \text{ mm}$$

El ancho real del elemento es mayor que el efectivo.

$$b = 170 \text{ mm} > b_e = 165,61 \text{ mm}$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9.

## 2° TANTEO

Elemento	Longitud $l$ mm	Distancia a la fibra superior $z$ mm	$l \cdot z$ mm <sup>2</sup>	$l \cdot z^2 \cdot t$ mm <sup>4</sup>
①	2.20 = 40,00	78,75	3150,00	620156,25
②	2.5,89 = 11,78	77,39	911,65	176381,48
③	2.70 = 140,00	40,00	5600,00	560000,00
④	2.5,89 = 11,78	2,61	30,75	200,62
⑤	165,61	1,25	207,01	646,92
$\Sigma$	369,17		$\Sigma$ 9899,41	1357385,29

$$z_n = \frac{9899,41 \text{ mm}^2}{369,17 \text{ mm}} = 26,82 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{z_n}{b - z_n} \sigma_{ad} = \frac{26,82 \text{ mm}}{80 \text{ mm} - 26,82} \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 75,63 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ad}$$

Haciendo un 3° tanteo con  $\sigma_c = 75,63 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene:

$$\begin{aligned} g &= 52,59 & B_e &= 68,50 & b_e &= 171,26 \text{ mm} \\ \Sigma \ell &= 374,82 & \Sigma \ell \cdot z &= 9906,47 & \Sigma \ell \cdot z^2 &= 1357407,29 \\ Z_n &= 26,43 & \sigma_c &= 74,01 & & \end{aligned}$$

- Momento resistente

$$W_y = \frac{I_y}{h - z_n}$$

$$I_{y'} = 2 \cdot \frac{2,5 \text{ mm} (70 \text{ mm})^3}{12} = 142916,67 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma \ell \cdot z^2 \cdot t = 1357407,29 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1500323,96 \text{ mm}^4$$

$$I_{yG} = I_y - A_{ef} \cdot z_n^2 = 1500323,96 - 937,05(26,43)^2 = 845.752 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{845.752 \text{ mm}^4}{80 \text{ mm} - 26,43 \text{ mm}} = 15.788 \text{ mm}^3$$

- Máximo momento flexor admisible

$$M_{yad} = \sigma_{bd} \cdot W_y = 150 \text{ N/mm}^2 \cdot 15.788 \text{ mm}^3 = 2368170 \text{ N.mm}$$

$$M_{yad} \approx 2,37 \text{ KN.m} > M_y = 2,04 \text{ KN.m}$$

- Verificación de las tensiones de corte en las almas

$$\tau = \frac{q \cdot \ell / 2}{A_a} = \frac{3,7 \text{ N/mm} \cdot 2100/2 \text{ mm}}{70 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm}} = 11,1 \text{ N/mm}^2$$

Dada la pequeña diferencia entre los valores obtenidos entre el 2° y 3° tanteo se admiten como definitivos los últimos.

Se calcula  $W_y$  respecto a la fibra inferior para no introducir mayor error en el  $M_{m\acute{a}x}$  admisible utilizando  $\sigma_c$  en su cálculo.

Momento de inercia de las almas respecto de su eje baricéntrico.

Se desprecian los momentos de inercia de los demás elementos respecto de sus ejes baricéntricos.

Aplicación del teorema de Steiner.

Momento de inercia de la sección respecto a la fibra superior.

Momento de inercia baricéntrico.

La sección verifica las tensiones admisibles.

$$H = \frac{h_a}{t} = \frac{70 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 28$$

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} = 29,58$$

$$3,2 g_F = 3,2 \cdot 29,58 = 94,66 > H$$

$$\rightarrow \tau = 22,2 \text{ N/mm}^2 < \begin{cases} \tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_F}{2,5} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{2,5} = 96 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{\text{máx}} = \frac{0,88 \cdot E}{H \cdot g_F} = \frac{0,88 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{28 \cdot 29,58} = \\ = 223,12 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

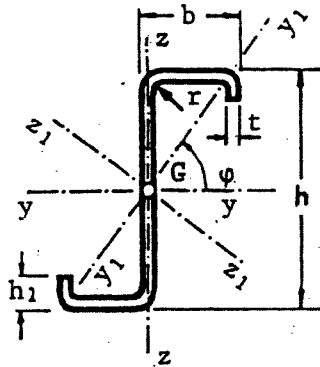
CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.1.



## EJEMPLO Nº 3

Perfil Z con labios rigidizadores - Flexión1. DatosLuz —  $\ell = 2,10 \text{ m}$ Acero — F-24 ( $\sigma_F = 240 \text{ N/mm}^2$ )

Se desea utilizar perfiles Z, ya existentes,  
de dimensiones - 100 - 50 - 15 - 2

$$I_y = 69,25 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 13,85 \text{ cm}^3$$

$$I_{yz} = 32,65 \text{ cm}^4$$

$$A = 4,34 \text{ cm}^2$$

$$r = t$$

$$\text{peso} = 3,41 \text{ dN/m}$$

Datos obtenidos de Tablas.

Se colocan arriostramientos en el centro y cuartos de la luz.

CIRSOC 303, artículo 4.6.6.1. Arriostramiento mínimo.

2. Cálculo de la máxima sollicitación admisible

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 150 \text{ N/mm}^2$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

## a) Máximas tensiones admisibles

- Máxima tensión admisible de compresión en el ala

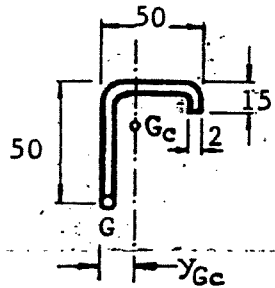
$$q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 150 \text{ N/mm}^2$$

- Máxima tensión admisible para prevenir el pandeo lateral

$$\sigma_{be} = \frac{5,12 \cdot E \cdot h \cdot I_{zc} \cdot C_b}{l^2 \cdot W_{yc}}$$

Cálculo de  $I_{zc}$ :



$$\begin{aligned} (15 \cdot 2) \cdot 49 &= 1470 \text{ mm}^3 \\ (46 \cdot 2) \cdot 25 &= 2300 \text{ mm}^3 \\ (50 \cdot 2) \cdot 1 &= 100 \text{ mm}^3 \\ \hline &3870 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$A_c = \frac{A}{2} = \frac{434 \text{ mm}^2}{2} = 217 \text{ mm}^2$$

$$y_{Gc} = \frac{3870 \text{ mm}^3}{217 \text{ mm}^2} = 17,83 \text{ mm}$$

$$15 \cdot 2 (50 - 17,83 - 1)^2 = 29147,07 \text{ mm}^4$$

$$\frac{2 \cdot (46)^3}{12} + 46 \cdot 2 (25 - 17,83)^2 = 20952,29 \text{ mm}^4$$

$$50 \cdot 2 (17,83 - 1)^2 = 28324,89 \text{ mm}^4$$

$$I_{zc} = 78424,24 \text{ mm}^4$$

$$W_{yc} = \frac{I_y}{z} = \frac{69,23 \text{ cm}^4}{5 \text{ cm}} = 13,85 \text{ cm}^3$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.1.3., elemento completamente rigidizado.

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 4.5.4.1. Solo se aplica a perfiles arriostrados en puntos aislados

Momento de inercia de la parte comprimida de la sección, respecto a un eje que pase por su centro de gravedad y sea paralelo al alma de la viga.

Se desprecian los pliegues.

Momento estático respecto del borde izquierdo.

$$I_{zc} \approx 7,84 \text{ cm}^4$$

Coefficiente de flexión

$$C_b = 1,75 + 1,05 \frac{M_1}{M_2} + 0,3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2$$

Al desconocerse  $M_1$  y  $M_2$  se adopta conservativamente

$$C_b = 1$$

$$\text{Longitud no arriostrada} = \frac{210 \text{ cm}}{3} = 52,5 \text{ cm}$$

$$\therefore \sigma_{be} = \frac{5,12 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 7,84 \text{ cm}^4 \cdot 1}{(52,5 \text{ cm})^2 \cdot 13,85 \text{ cm}^3} = 2\,208,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{0,174 \cdot G \cdot A \cdot t^2 \cdot C_b}{h \cdot W_{yc}} = \frac{0,174 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \cdot 4,34 \text{ cm}^2 \cdot (0,2 \text{ cm})^2 \cdot 1}{10 \text{ cm} \cdot 13,85 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_t = 17,67 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore \sigma_{be} = 2\,208,19 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{bd} - 0,5 \sigma_t = 150 \text{ N/mm}^2 - 0,5 \cdot 17,67 \text{ N/mm}^2 = \\ = 141,17 \text{ N/mm}^2$$

entonces

$$\sigma'_{cad} = \sigma_{bd} - \frac{0,5 (\sigma_{bd} - 0,5 \sigma_t)^2}{\sigma_{be}}$$

$$\sigma'_{cad} = 150 \text{ N/mm}^2 - \frac{0,5 (150 \text{ N/mm}^2 - 0,5 \cdot 17,67 \text{ N/mm}^2)^2}{2\,208,19 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma'_{cad} = 145,49 \text{ N/mm}^2$$



## b) Características de la sección

- Ala comprimida

$$B = \frac{b}{t} = \frac{50 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 25$$

$$B_{\text{máx}} = 60 > B = 25$$

Suponiendo que se alcanzará la máxima tensión admisible

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{145,49 \text{ N/mm}^2}} = 37,99$$

$$B_e = 1,30 g - R \quad R = 0$$

$$B_e = 1,30 \cdot 37,99 = 49,39 > B \quad b_e = b$$

- Rigidizadores - Verificación

$$h_1 \geq (24 \cdot B - 156)^{1/3} \cdot t \quad \text{pero no menor que } 5 t$$

$$h_1 = 15 \text{ mm} \left\{ \begin{array}{l} = (24 \cdot 25 - 156)^{1/3} \cdot 2 \text{ mm} = 15 \text{ mm} \\ > 5 \cdot 2 \text{ mm} = 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.1., un borde rigidizado por un alma y otro por un labio recto simple.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9.

B &lt; 60 y ambos bordes rigidizados

Elemento totalmente efectivo.

CIRSOC 303, artículo 4.4.11.1

B del ala a rigidizar

h<sub>1</sub> es la altura total del labio

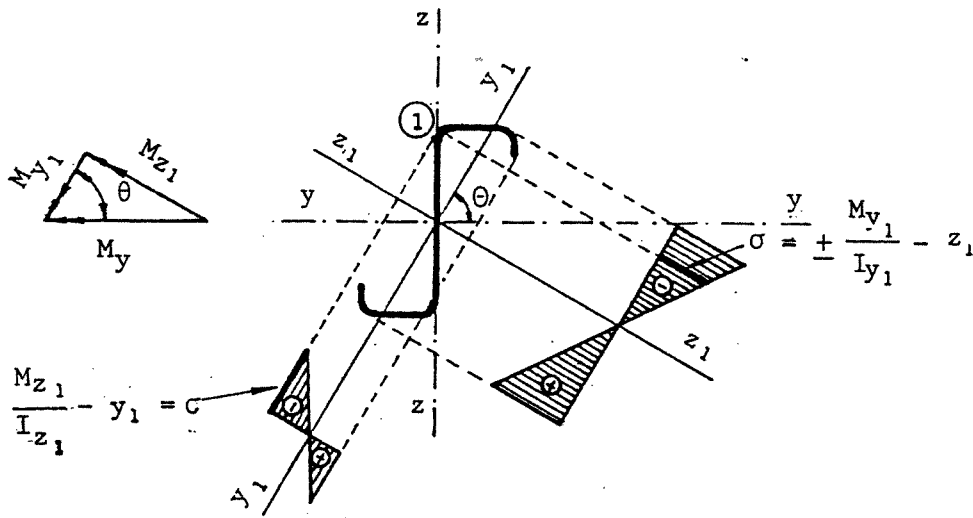
El rigidizador tiene el momento de inercia mínimo necesario para una efectiva rigidización del ala comprimida.

- Alma

$$B_{\text{máx}} = 150 > B = \frac{b}{t} = \frac{100 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 50 \text{ mm}$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.2.

c) Determinación de la máxima sollicitación admisible



$$M_{y1} = M_y \cos \theta$$

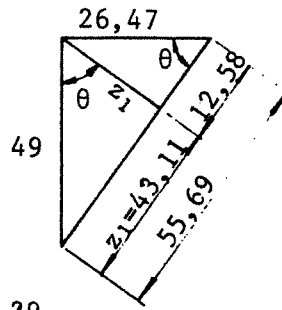
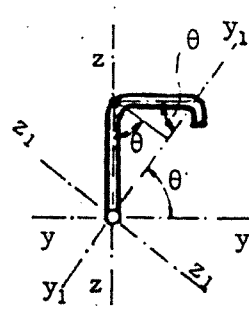
$$M_{z1} = M_y \sin \theta$$

$$J_{z1} = 86,86 \text{ cm}^4$$

$$J_{y1} = 8,86 \text{ cm}^4$$

$$S_{z1} = 7,80 \text{ cm}^3$$

$$S_{y1} = 1,36 \text{ cm}^3$$



$$\theta = 61,62^\circ$$

$$y_1 = z_1 \operatorname{tg} \theta$$

$$M_{z1} = M_{y1} \operatorname{tg} \theta$$

$$\sigma'_{cad} \geq \left| \frac{M_{z1}}{J_{z1}} y_1 \right| + \left| \frac{M_{y1}}{J_{y1}} \cdot z_1 \right|$$

$$\sigma'_{cad} \geq M_{y1} \left( \frac{\operatorname{tg} \theta}{I_{z1}} y_1 + \frac{1}{I_{y1}} \cdot z_1 \right) = M_{y1} \cdot z_1 \left( \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{I_{z1}} + \frac{1}{I_{y1}} \right)$$

$$M_{y1ad} = \frac{\sigma'_{cad}}{z_1 \left( \frac{\operatorname{tg}^2 \theta}{I_{z1}} + \frac{1}{I_{y1}} \right)} = \frac{145,49 \text{ N/mm}^2}{23,29 \text{ mm} \left( \frac{\operatorname{tg}^2 61,62^\circ}{868\,600 \text{ mm}^4} + \frac{1}{88\,600 \text{ mm}^4} \right)}$$

$$M_{y1ad} = 410\,679 \text{ Nmm} \approx 0,41 \text{ KNm}$$

$$M_{z1ad} = 0,41 \text{ KNm} \cdot \operatorname{tg} 61,62^\circ \approx 0,76 \text{ KN.m}$$

$$M_{yad} = \sqrt{M_{y1}^2 + M_{z1}^2} = \sqrt{(0,41 \text{ KN.m})^2 + (0,76 \text{ KN.m})^2}$$

$$M_{yad} = 0,86 \text{ KN.m}$$

$$\text{siendo: } M_y = \frac{q \cdot l^2}{8} \longrightarrow q_{ad} = \frac{8 \cdot M_{yad}}{l^2} = \frac{8 \cdot 0,86 \text{ KN.m}}{(2,10 \text{ m})^2}$$

$$q_{ad} \approx 1,56$$

La máxima tensión de compresión se da en el ángulo ①

d) Verificaciones

$$Q_{zm\acute{a}x} = \frac{q \cdot \ell}{z} = \frac{1,56 \text{ KN/m} \cdot 2,10 \text{ m}}{2} = 1,64 \text{ KN}$$

$$Q_{z1m\acute{a}x} = Q_{zm\acute{a}x} \cdot \cos \theta = 1,64 \text{ KN} \cdot \cos 61,62^\circ \approx 0,78 \text{ KN}$$

$$Q_{y1m\acute{a}x} = Q_{zm\acute{a}x} \cdot \text{sen } \theta = 1,64 \text{ KN} \cdot \text{sen } 61,62^\circ = 1,44 \text{ KN}$$

$$\tau = \frac{Q_{z1m\acute{a}x} \cdot S_{y1}}{I_{y1} \cdot t} + \frac{Q_{y1m\acute{a}x} \cdot S_{z1}}{I_{z1} \cdot t} = \frac{0,78 \text{ KN} \cdot 1,36 \text{ cm}^3}{8,86 \text{ cm}^4 \cdot 0,2 \text{ cm}} + \frac{1,44 \text{ KN} \cdot 7,8 \text{ cm}^3}{86,86 \text{ cm}^4 \cdot 0,2 \text{ cm}}$$

$$\tau = 1,25 \text{ KN/cm}^2 = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} = 9,35$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

- Tensiones de corte en el alma

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.1.

$$H = \frac{h_a}{t} = \frac{92 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 46 > 3,2 g_F = 3,2 \cdot 9,35 = 29,92$$

$$\tau = 12,5 \text{ N/mm}^2 < \begin{cases} \tau_{m\acute{a}x} = \frac{2,82 \cdot E}{H^2} = \frac{2,82 \cdot 2,10 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{46^2} = 279,87 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_F}{2,5} = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{2,5} = 96 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

- Abolladura del alma

$$R = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,56 \text{ KN/m} \cdot 2,10 \text{ m}}{2} = 1,64 \text{ KN}$$

$$R_{\text{m\acute{a}x}} = 0,01 \cdot t^2 \cdot \sigma_F (98 + 4,2 \cdot A^* - 0,022 \cdot A^* \cdot H - 0,011 \cdot H) (1,15 - 0,15 \cdot n) (4 - k) \text{Viga de alma simple sin reforzar, reacci\`on externa (caso a), I)}.$$

Longitud real del apoyo = 50 mm

$$A^* = \frac{50 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 25 < H = 46$$

$$k = \left( \frac{29,9}{g_F} \right)^2 = \left( \frac{29,9}{9,35} \right)^2 = 10,32$$

$$n = \frac{r}{t} = 1$$

$$R_{\text{m\acute{a}x}} = 0,01 (2 \text{ mm})^2 \cdot 240 \text{ N/mm}^2 (98 + 4,2 \cdot 25 - 0,022 \cdot 25 \cdot 46 - 0,011 \cdot 46) (1,15 - 0,15 \cdot 1) (4 - 10,23)$$

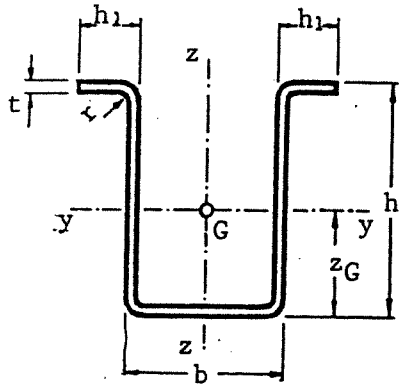
$$R_{\text{m\acute{a}x}} = 10,59 \text{ KN} > R = 1,64 \text{ KN}$$

CIRSOC 303, art\`iculo 4.5.5.4.

No se verifica el art\`iculo 4.5.5.2. por producirse la flexi\`on fuera del plano de la viga.

Ver datos

## EJEMPLO N°4:

Perfil U con labios rigidizadores - Flexión1. DatosLuz —  $l = 3,00 \text{ m}$ Acero — F-30 ( $\sigma_F = 300 \text{ N/mm}^2$ )

Sin arriostramientos laterales

Flecha máxima admisible =  $\frac{l}{500} = 0,6 \text{ cm}$ 2. Análisis de cargaAcción total, sin considerar peso propio del perfil —  $q = 2,00 \text{ KN/m}$ 3. Dimensionamiento

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$M_y = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2 \text{ KN/m} (3 \text{ m})^2}{8} = 2,25 \text{ KN.m}$$

La utilización del perfil en la posición de la figura (altamente desfavorable) se debe a razones constructivas

CIRSOC 301, artículo 6.6.

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

Elemento simplemente apoyado

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E I_y} \longrightarrow I_{ynec} = \frac{5}{385} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot f_{ad}}$$

$$I_{ynec} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2 \text{ KN/m} (3 \text{ m})^4}{2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2 \cdot 0,006 \text{ m}} = 1,6741 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 = 167,41 \text{ cm}^4$$

Se adopta un perfil: 120 - 60 - 25 - 3,2

$$\begin{array}{lll} A = 10,53 \text{ cm}^2 & I_y = 188,53 \text{ cm}^4 & I_z = 87,81 \text{ cm}^4 \\ \text{peso} = 8,26 \text{ dN/m} & W_y = 30,52 \text{ cm}^3 & i_z = 2,89 \\ r = t & & z_G = 5,82 \text{ cm} \end{array}$$

Acción total  $q = 2 \text{ KN/m} + 0,08 \text{ KN/m} = 2,08 \text{ KN/m}$

$$M_y = \frac{2,08 \text{ KN/m} (3 \text{ m})^2}{8} = 2,34 \text{ KN.m}$$

#### 4. Verificaciones

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,34 \text{ KN/m} (3 \text{ m})^4}{2,1 \cdot 10^8 \text{ KN/m}^2 \cdot 188,53 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,6 \text{ cm} = f_{ad}$$

- Almas

$$B = \frac{b}{t} = \frac{120 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 37,50$$

$$B_{\text{máx}} = 150 > B$$

$$q = 1$$

Datos obtenidos de tablas

$z_G$  = distancia del baricentro de la sección al borde inferior

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.2., sección típica

CIRSOC 303, artículo 4.4.13. Elemento completamente soldado

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 187,5 \text{ N/mm}^2 = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{M_y}{I_y} (h - z_G - 2t) = \frac{2,34 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{1,885 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} (120 - 58,1 - 2 \cdot 3,2) \text{ mm} = \\ &= 69,41 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ad} \end{aligned}$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

La máxima tensión se desarrollará en el borde comprimido

Tensiones de corte:

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.1.

$$Q_{\text{máx}} = \frac{q \cdot \ell}{2} = \frac{2080 \text{ N/m} \cdot 3 \text{ m}}{2} = 3120 \text{ N}$$

$$h_a = 120 \text{ mm} - 4 \cdot 3,2 \text{ mm} = 107,20 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad H = \frac{h_a}{t} = \frac{107,20 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 33,50$$

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{300 \text{ N/mm}^2}} = 26,46$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

$$H = 33,50 > 3,2 \quad g_F = 3,2 \cdot 26,46 = 84,67$$

$$\tau = \frac{Q_{\text{máx}}}{2 \cdot h_a \cdot t} = \frac{3120 \text{ N}}{2 \cdot 107,20 \text{ mm} \cdot 3,2 \text{ mm}} = 4,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 4,55 \text{ N/mm}^2 < \begin{cases} \tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_F}{2,5} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{2,5} = 120 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{\text{máx}} = \frac{2,82 \cdot E}{H^2} = \frac{2,82 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{(33,50)^2} \approx 528 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$



Tensiones de flexión:

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.2.

$$\sigma_c = 69,41 \text{ N/mm}^2 < \begin{cases} \sigma''_{cad} = 17,6 \frac{E}{H^2} = 17,6 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{(33,50)^2} \approx 3293 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma''_{cad} = q \cdot \sigma_{bd} = 187,5 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$

Abolladura:

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.4.

$$R_{m\acute{a}x} = 0,01 \cdot t^2 \cdot \sigma_F (98 + 4,2 A^* - 0,022 \cdot A^* \cdot H - 0,011 H) \cdot (1,15 - 0,15 n) \cdot (4 - k)$$

Para reacciones externas

longitud real del apoyo  $l_{ap} = 6 \text{ cm}$ 

$$A^* = \frac{l_{ap}}{t} = \frac{60 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 18,75 < H = 33,50$$

Si  $A^* > H$  se adopta  $A^* = H$ 

$$k = \left( \frac{29,9}{8F} \right)^2 = \left( \frac{29,9}{26,46} \right)^2 = 1,28$$

$$n = \frac{r}{t} = 1$$

Ver datos

$$R_{m\acute{a}x} = 0,01 \cdot (3,2 \text{ mm})^2 \cdot 300 \text{ N/mm}^2 (98 + 4,2 \cdot 18,75 - 0,022 \cdot 18,75 \cdot 33,50 - 0,011 \cdot 33,50) (1,15 - 0,15 \cdot 1) (4 - 1,28) \approx 13\,583 \text{ N} >$$

$$> R = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{2} = \frac{3120 \text{ N}}{2} = 1\,560 \text{ N}$$

Dós almas

- Labios rigidizadores

$$B = \frac{b}{t} = \frac{25 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 7,81 < 0,37 \cdot g_F = 0,37 \cdot 26,46 = 9,79$$

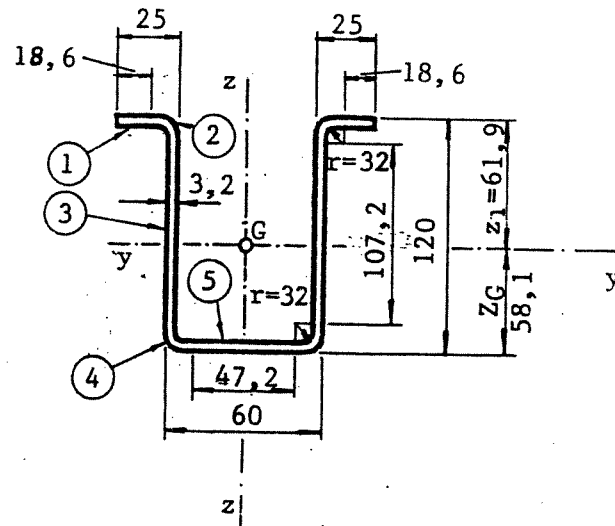
$$\longrightarrow q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = 1 \cdot 187,5 \text{ N/mm}^2 = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{M_y}{I_y} \cdot z_1 = \frac{2,34 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}}{1,885 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot 61,9 \text{ mm} = 76,84 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ad}$$

- Prevención del pandeo lateral

En secciones U con los labios comprimidos se procede como sigue:



CIRSOC 303, artículo 4.4.13., elementos comprimidos no rigidizados.

Al ser los labios elementos no rigidizados no se procede a una reducción del ancho de cálculo a un ancho efectivo, sino a una reducción de la tensión admisible.

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 4.5.4.

CIRSOC 303, Anexo al artículo 4.5.4.2.

## a) Determinación del soporte equivalente

- Características de las esquinas

$$\text{Radio medio } r_m = 3,2 \text{ mm} + \frac{3,2 \text{ mm}}{2} = 4,8 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud del arco } \ell = \frac{\pi}{2} r_m = \frac{\pi}{2} 4,8 \text{ mm} = 7,54 \text{ mm}$$

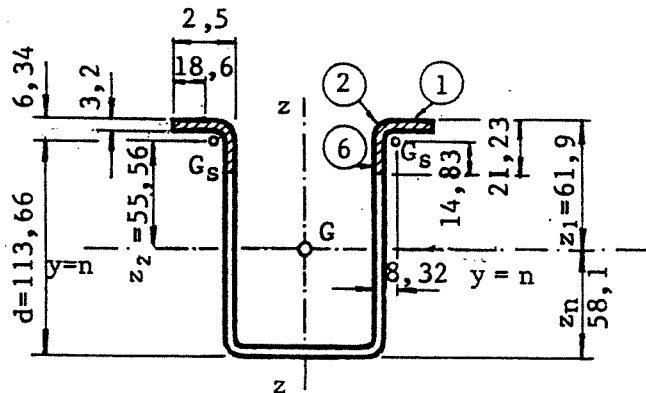
$$c = 0,637 \cdot r_m = 0,637 \cdot 4,8 \text{ mm} = 3,06 \text{ mm}$$

- El eje neutro es baricéntrico  $\longrightarrow z_n = z_G = 58,1 \text{ mm}$ 

- Soporte equivalente

Altura del soporte equivalente:

$$h \cdot \frac{2 \cdot z_1 - z_n}{6 Z_1} = 120 \text{ mm} \cdot \frac{2 \cdot 61,9 \text{ mm} - 58,1 \text{ mm}}{6 \cdot 61,9 \text{ mm}} = 21,23 \text{ mm}$$



Se aplica el método lineal admitido por CIRSOC 303, artículo 4.4.8.

Se desprecian los momentos de inercia de los elementos respecto a sus ejes principales.

Por propiedades geométricas, ver ejemplo N°2

Ver datos

El soporte equivalente es el ángulo rayado en la figura

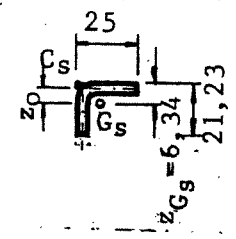
b) Posición del centro de gravedad del soporte equivalente

- Distancia del centro de gravedad del soporte equivalente ( $G_S$ ) a la fibra superior:

Elemento	longitud $l$ mm	Distancia a la fibra superior $z$ mm	$l \cdot z$ mm <sup>2</sup>
①	18,60	1,60	29,76
②	7,54	3,34	25,18
⑥	14,83	13,82	204,88
$\Sigma$	40,97		$\Sigma$ 259,82

$$z_{G_S} = \frac{259,82 \text{ mm}^2}{40,97 \text{ mm}} = 6,34 \text{ mm}$$

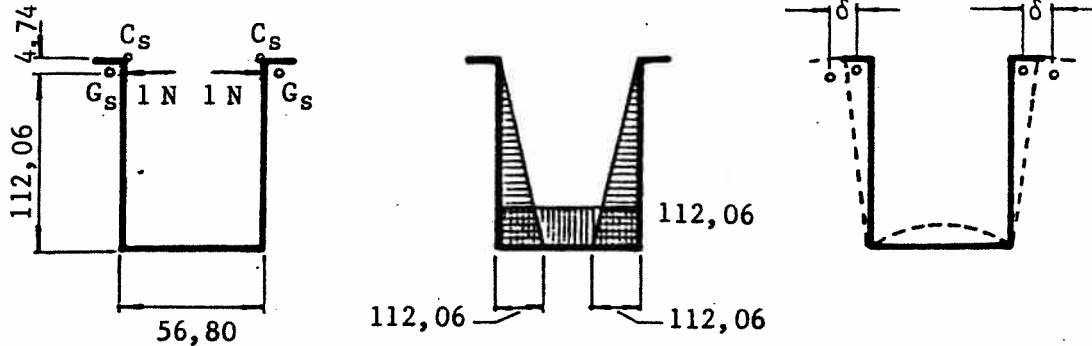
- Distancia del centro de gravedad del soporte equivalente a su centro de corte



$$z_0 = z_{G_S} - \frac{t}{2} = 6,34 \text{ mm} - \frac{3,2 \text{ mm}}{2} = 4,74 \text{ mm}$$

El centro de corte del soporte equivalente está ubicado en la intersección del alma con el ala.

c) Cálculo de la constante de resorte k



$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \left[ \frac{1}{3} (112,06)^3 + \frac{1}{2} (112,06)^2 \cdot 56,80 \right]$$

$$\delta = \frac{825\,693,77}{E \cdot I} \text{ mm/N}$$

$$I = \frac{1 \text{ mm} (3,2 \text{ mm})^3}{12} = 2,73 \text{ mm}^4 \quad \longrightarrow \quad \delta = \frac{825\,693,77}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,73} = 1,44 \text{ mm/N}$$

$$k = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{1,44 \text{ mm/N}} = 0,69 \text{ N/mm}$$

d) Cálculo de  $T_0$

$$T_0 = \frac{d}{d + 3,4 z_0} = \frac{113,66 \text{ mm}}{113,66 \text{ mm} + 3,4 \cdot 4,74 \text{ mm}} = 0,88$$

e) Cálculo de la carga crítica

- Distancia del centro de gravedad del soporte equivalente ( $G_S$ ) a la cara interna del alma y momento de inercia respecto al eje paralelo al alma que pasa por el  $G_S$ .

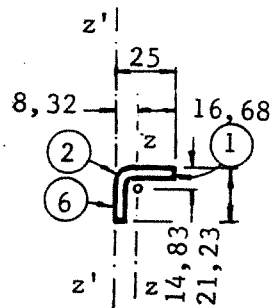
Se aísla un trozo de longitud unitaria y se calcula el desplazamiento lateral  $\delta$  del  $G_S$  debido a una fuerza unitaria aplicada en forma perpendicular al alma y a la altura del  $G_S$ .

Momento de inercia de la sección longitudinal de alma, de longitud unitaria

d es la distancia entre el borde traccionado y el  $G_S$ .

Ver figura de apartado a).

Elemento	Longitud $l$ mm	Distancia a $Z'$ $y$ - mm	$l \cdot y$ mm <sup>2</sup>	$l \cdot y^2$ mm <sup>3</sup>
①	18,60	15,70	292,02	4584,71
②	7,54	3,34	25,18	84,11
⑥	14,83	1,60	23,73	37,96
$\Sigma$	40,97		$\Sigma$ 340,93	4706,79



$$y_{G_S} = \frac{340,93 \text{ mm}^2}{40,97 \text{ mm}} = 8,32 \text{ mm}$$

$$I'_{z'_G} \text{ ①} = \frac{(18,60 \text{ mm})^3}{12} = 536,24 \text{ mm}^3$$

+

$$I'_{z'_G} \text{ ②} = 0,149 \cdot r_m^3 = 0,149 (4,8)^3 = \frac{16,48 \text{ mm}^3}{552,72 \text{ mm}^3}$$

$$\Sigma l \cdot y^2 = 4706,79 \text{ mm}^3$$

$$I'_{z'_G} = 5259,51 \text{ mm}^3$$

Distancia entre el  $G_S$  y la cara interna del alma

Momento de inercia del elemento ① respecto a su eje baricéntrico. Se aplica el método lineal.

Idem del elemento ②

Aplicación del teorema de Steiner respecto al eje  $z'$

Momento de inercia lineal del soporte equivalente respecto al eje  $z'$

$$-(\Sigma \ell) \cdot y^2_{GS} = -40,97 \text{ mm} (8,32 \text{ mm})^2 = \frac{-2\,836,04 \text{ mm}^3}{+ 5\,259,51 \text{ mm}^3}$$

$$I'_{z_S} = 2\,423,47 \text{ mm}^3$$

$$I_{z_S} = I'_{z_S} \cdot t = 2\,423,47 \text{ mm}^3 \cdot 3,2 \text{ mm} = 7\,755,10 \text{ mm}^4$$

$$A_S = (\Sigma \ell) \cdot t = 40,97 \text{ mm} \cdot 3,2 \text{ mm} = 131,10 \text{ mm}^2$$

- Carga crítica para un perfil no arriostrado

$$P_{cr} = T_0 \sqrt{4 k E I_{z_S}} = 0,88 \sqrt{4 \cdot 0,69 \text{ N/mm} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 7\,755,10 \text{ mm}^4}$$

$$P_{cr} \approx 58\,998 \text{ N}$$

f) Esbeltez del soporte equivalente

$$\lambda_S = \frac{4\,110/\sqrt{10}}{\sqrt{P_{cr}/A_S}} = \frac{4\,110/\sqrt{10}}{\sqrt{58\,998/131,10}} = 61,27$$

g) Cálculo de la tensión admisible a compresión del soporte equivalente

$$\sigma_0 = 0,5 \cdot Q \cdot \sigma_{bd}$$

$$Q = q_m \cdot Q_a$$

$$Q_a = 1$$

Aplicación del teorema de Steiner para obtener el momento de inercia respecto al eje z

Momento de inercia lineal del soporte equivalente respecto al eje baricéntrico z

Momento de inercia del soporte equivalente respecto al eje baricéntrico z.

Area del soporte equivalente

Se debe expresar  $P_{cr}$  en N y  $A_S$  en  $\text{mm}^2$ . En caso de expresarlos en kg y  $\text{cm}^2$  respectivamente, se elimina  $\sqrt{10}$  de la fórmula.

CIRSOC 303, artículo 4.5.6.

Sección compuesta por elementos no rigidizados

$$\begin{aligned} \text{elemento } \textcircled{1} - B &= \frac{18,6 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 5,81 < 0,37 g_F = 0,37 \cdot 26,46 = \\ &= 9,79 \longrightarrow q = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{elemento } \textcircled{2} - B &= \frac{14,83 \text{ mm}}{3,2 \text{ mm}} = 4,63 < 0,37 g_F = 0,37 \cdot 26,46 = \\ &= 9,79 \longrightarrow q = 1 \end{aligned}$$

mínimo valor de q  $\longrightarrow q_m = 1$

$$\sigma_0 = 0,5 \cdot 1 \cdot 187,5 \text{ N/mm}^2 = 93,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p = 5,12 \frac{E}{\lambda_s^2} = 5,12 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{(61,27)^2} = 286,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p = 286,41 \text{ N/mm}^2 > \sigma_0 = 93,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{csadm} = 2 \sigma_0 - \frac{\sigma_0^2}{\sigma_p} = 2 \cdot 93,75 \text{ N/mm}^2 - \frac{(93,75 \text{ N/mm}^2)^2}{286,41 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{csadm} = 156,81 \text{ N/m}^2$$

h) Tensión admisible de compresión en flexión

$$\sigma_{cad} = \sigma_{csad} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 156,81 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{61,9 \text{ mm}}{55,56 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{cad} = 174,70 \text{ N/mm}^2$$

Es mayor que la tensión actuante  $\sigma_c = 76,7 \text{ N/mm}^2$

CIRSOC 303, artículo 4.5.6.1.

Tensión admisible en el centro de gravedad del soporte.  
En la sección

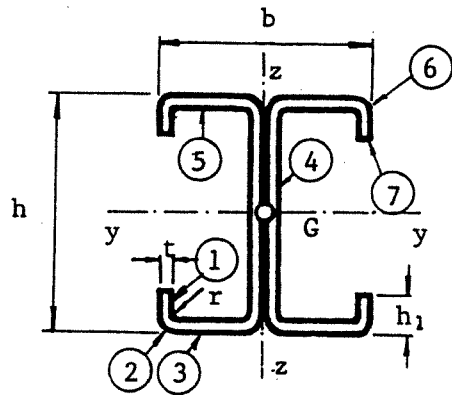
Ver figura de apartado a)  
Tensión admisible en la fibra extrema

Se observa que la tensión admisible se reduce en un 7% (de  $187,50 \text{ N/mm}^2$  a  $174,70 \text{ N/mm}^2$ ) por el hecho de no arriostrar el perfil en forma continua





## EJEMPLO N° 5:

Perfil doble T con labios rigidizadores - Flexión1. DatosLuz \_\_\_\_\_  $l = 4,20 \text{ m}$ Acero \_\_\_\_\_ F-30 ( $\sigma_F = 300 \text{ N/mm}^2$ )

Arriostramientos en el centro y cuartos de la luz

Flecha máxima admisible =  $\frac{l}{500} = 0,84 \text{ cm}$ 

CIRSOC 301, artículo 6.6.

Perfil compuesto por dos U con labios rigidizadores, siendo las características de cada uno:

perfil U \_\_\_\_\_ 140 - 60 - 20 - 2,5

 $A = 7,09 \text{ cm}^2$  $I_y = 215,67 \text{ cm}^4$ 

peso = 5,57 dN/m

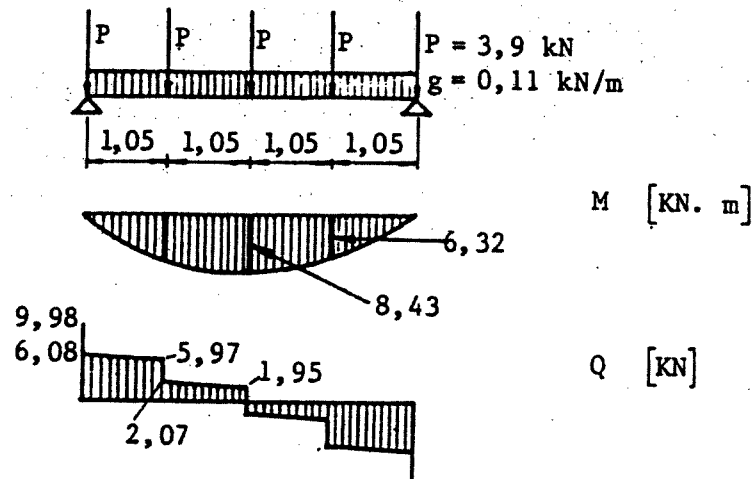
 $W_y = 30,89 \text{ cm}^3$ 

Datos obtenidos de Tablas

2. Cargas y sollicitaciones

El perfil soporta cargas concentradas de 3,9 KN en coincidencia con los arriostramientos y los apoyos.

Esquema:



### 3. Verificaciones

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

#### a) Características geométricas:

- Elementos ② y ⑥

$$\text{radio del eje medio} \quad r_m = r + \frac{t}{2} = \frac{3}{2} t = \frac{3}{2} \cdot 2,5 \text{ mm} = 3,75 \text{ mm}$$

$$\text{longitud del arco} \quad \ell = \frac{\pi}{2} r_m = \frac{\pi}{2} \cdot 3,75 \text{ mm} = 5,89 \text{ mm}$$

$$c = 0,637 \cdot r_m = 0,637 \cdot 3,75 \text{ mm} = 2,39 \text{ mm}$$

$$c' = 0,363 \cdot r_m + \frac{t}{2} = 0,363 \cdot 3,75 \text{ mm} + \frac{2,5 \text{ mm}}{2} = 2,61 \text{ mm}$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

Por propiedades geométricas, ver ejemplo N°2

- Elemento ③

$$b = 60 \text{ mm} - 4 \cdot 2,5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

- Elemento ④

$$h = 140 \text{ mm} - 4 \cdot 2,5 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$$

$$H = \frac{h}{t} = \frac{130 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 52$$

$$H = 52 < H_{\text{máx}} = 150$$

- Elemento ⑤

$$B = \frac{b}{t} = \frac{50 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 20 < B_{\text{máx}} = 60$$

$$q = 1$$

$$\sigma_{\text{cad}} = q \cdot \sigma_{\text{bd}} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

Suponiendo que las alas comprimidas se vieran sometidas a la máxima tensión admisible se tendrá:

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{cad}}}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{187,5 \text{ N/mm}^2}} = 33,47$$

$$B_e = 1,30 g - R$$

$$R = 0$$

CIRSOC 303, artículo 1.4.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.2., sección típica

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.1., un borde rigidizado por un alma y el otro por un labio recto simple.

Elemento completamente rigidizado

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9.

$B < 60$

$$B_e = 1,30 \cdot 33,47 = 43,50 > B = 20 \quad \text{---} \quad b_e = b = 50 \text{ mm}$$

- Elementos ① y ⑦

$$h_1 = 20 \text{ mm}$$

$$h_1 = 20 \text{ mm} > (24 \cdot B_{\ominus} - 156)^{1/3} \cdot t = (24 \cdot 20 - 156)^{1/3} \cdot 2,5 \text{ mm} = 17,17 \text{ mm}$$

$$h_1 = 20 \text{ mm} > 5 \cdot t = 5 \cdot 2,5 \text{ mm} = 12,5 \text{ mm}$$

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{300 \text{ N/mm}^2}} = 26,46$$

$$B_{\text{①}} = \frac{20 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 8 < g_F \cdot 0,37 = 26,46 \cdot 0,37 = 9,79 \quad \text{---} \quad q = 1$$

$$\therefore \sigma'_{cad} = q \cdot \sigma_{bd} = 187,5 \text{ N/mm}$$

Máximo momento admisible

$$M_{yad} = W_y \cdot \sigma'_{cad} = 2 \cdot 30810 \text{ mm}^3 \cdot 187,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 1/10^6 = 11,56 \text{ KN.m} > M_{ym\grave{a}x}$$

b) Prevención del pandeo lateral

$$\sigma_{be} = \frac{5,12 \cdot E \cdot h \cdot I_{zc} \cdot C_b}{l^2 \cdot W_{yc}}$$

El elemento es totalmente efectivo aún actuando a la máxima tensión admisible.

CIRSOC 303, artículo 4.4.11.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13.

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 4.5.4.1.

$$(20 - 2 \cdot 2,5) \cdot 2,5 \cdot (60 - 2,5/2)^2 \cdot 2 = 258867,18 \text{ mm}^4$$

$$(2,5 \cdot 60^3/12 + 2,5(60 - 2 \cdot 2,5)30^2) \cdot 2 = 337500,00 \text{ mm}^4$$

$$(140/2 - 2 \cdot 2,5) \cdot 2,5 \cdot (2,5/2)^2 \cdot 2 = 507,81 \text{ mm}^4$$

$$I_{zc} = 596874,99 \text{ mm}^4 = 59,69 \text{ cm}^4$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left( - \frac{6,32 \text{ KN} \cdot \text{m}}{8,43 \text{ KN} \cdot \text{m}} \right) + 0,3 \left( - \frac{6,32 \text{ KN} \cdot \text{m}}{8,43 \text{ KN} \cdot \text{m}} \right)^2 = 1,13 < 2,3$$

$$W_{yc} = 2 W_y = 2 \cdot 30,81 \text{ cm}^3 = 61,62 \text{ cm}^3$$

$$\therefore \sigma_{be} = \frac{5,12 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot 14 \text{ cm} \cdot 59,69 \text{ cm}^4 \cdot 1,13}{(105 \text{ cm})^2 \cdot 61,62 \text{ cm}^3} = 1494,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{0,174 \cdot G.A \cdot t^2 \cdot C_b}{h \cdot W_{yc}} = \frac{0,174 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \cdot 2 \cdot 7,01 \text{ cm}^2 (0,25 \text{ cm})^2 \cdot 1,13}{14 \text{ cm} \cdot 61,56 \text{ cm}^3} = 16,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{be} = 1494,44 \text{ N/mm}^2 > 0,5 (\sigma_{bd} - \sigma_t) = 0,5 (187,5 - 16,19) \text{ N/mm}^2 = 85,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{cad} &= \sigma_{bd} - \frac{0,25 (\sigma_{bd} - \sigma_t)^2}{\sigma_{be}} = \\ &= 187,5 \text{ N/mm}^2 - \frac{0,25 (187,5 \text{ N/mm}^2 - 16,19 \text{ N/mm}^2)^2}{1494,44 \text{ N/mm}^2} = 182,59 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore M_{yad} = \sigma'_{cad} \cdot W_y = 182,59 \text{ N/mm}^2 \cdot 2 \cdot 30810 \text{ mm}^3 \cdot 10^{-6} = 11,25 \text{ KN} \cdot \text{m} > M_{y\text{m}\acute{a}\text{x}}$$

Momento de inercia de la parte comprimida, respecto del eje que pasa por su baricentro y es paralelo al alma.

c) Tensiones admisibles en el alma

- Tensión de corte

$$\tau = \frac{Q}{h_a \cdot t} = \frac{6080 \text{ N/2}}{130 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm}} = 9,35 \text{ N/mm}^2$$

$$H = \frac{h_a}{t} = \frac{130 \text{ mm}}{2,5 \text{ mm}} = 52 < 3,2 \text{ gF} = 3,2 \cdot 26,46 = 84,67$$

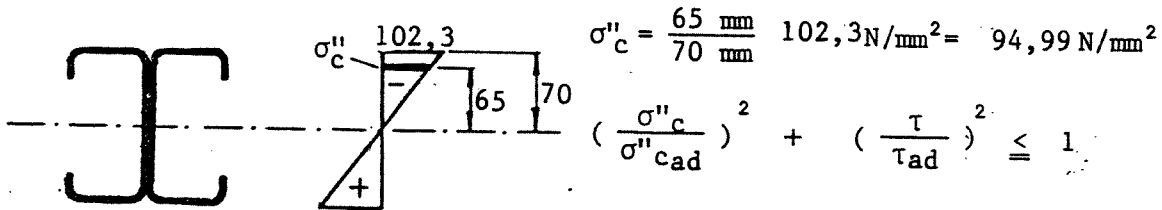
$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\text{máx}} = \frac{0,88 \cdot E}{H \cdot \text{gF}} = \frac{0,88 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{52 \cdot 26,46} = 134,31 \text{ N/mm}^2 \\ \tau_{\text{máx}} \leq \frac{\text{OF}}{2,5} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{2,5} = 120 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

$$\tau_{\text{máx}} = 120 \text{ N/mm}^2 > \tau = 9,35 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión de flexión en el alma

$$\left. \begin{array}{l} \sigma''_{\text{cad}} = 17,6 \frac{E}{H^2} = 17,6 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{52^2} = 1366,86 \text{ N/mm}^2 \\ q \cdot \sigma_{\text{bd}} = 187,5 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} \sigma''_{\text{cad}} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

- Tensiones combinadas de corte y flexión



CIRSOC 303, artículo 4.5.5.

artículo 4.5.5.1.

Tensión en el alma de cada perfil constituyen te de la viga.

artículo 4.5.5.2.

$\sigma''_{\text{cad}}$  evidentemente resulta mayor que la tensión del alma

artículo 4.5.5.3.

Se verifica una sección ubicada a 1,05 m del apoyo:

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{6,32 \cdot 10^6 \text{ N mm}}{2 \cdot 30,89 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 102,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{h_a \cdot t} = \frac{5970 \text{ N/2}}{130 \text{ mm} \cdot 2,5 \text{ mm}} = 9,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\left( \frac{94,99 \text{ N/mm}^2}{187,5 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + \left( \frac{9,18 \text{ N/mm}^2}{120 \text{ N/mm}^2} \right)^2 = 0,26 < 1$$

- Abolladura del alma

$$R_{\text{m\acute{a}x}} = t^2 \cdot \sigma_F (4,44 + 0,588 \sqrt{A^*})$$

$$A^* = \frac{50 \text{ mm}}{2 \cdot 2,5 \text{ mm}} = 10 < H = 52$$

$$R_{\text{m\acute{a}x}} = (2 \cdot 2,5 \text{ mm})^2 \cdot 300 \text{ N/mm}^2 (4,44 + 0,58 \sqrt{10}) \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}} = 47,25 \text{ KN}$$

$$R_{\text{m\acute{a}x}} > R = 9,98 \text{ KN}$$

d) Fuerzas a soportar por los arriostramientos

$$F_c = \frac{M}{I_y} S_c$$

$$(20 - 2 \cdot 2,5) \cdot 2,5 \cdot (140/2 - 2 \cdot 2,5 - 15/2) \cdot 2 = 4312,5 \text{ mm}^3$$

$$(60 \cdot 2,5) \cdot (140/2 - 2,5/2) \cdot 2 = 20625,0 \text{ mm}^3$$

$$(140/2 - 2 \cdot 2,5) \cdot 2,5 \cdot 1/2 (140/2 - 2 \cdot 2,5) \cdot 2 = 10725,0 \text{ mm}^3$$

$$S_c = \frac{4312,5 + 20625,0 + 10725,0}{3} \text{ mm}^3 = 35662,5 \text{ mm}^3 = 356,63 \text{ cm}^3$$

Para la sección central

$$F_c = \frac{0,0843 \text{ KN} \cdot \text{m}}{2 \cdot 215,47 \text{ cm}} \cdot 356,63 \text{ cm}^3 = 0,07 \text{ KN}$$

CIRSOC 303, artículo 4.5.5.4.

Chapa con  $H = 52 < 150$

Longitud real del apoyo: 50 mm

CIRSOC 303, artículo 4.6.2.

Resultante de compresión de la sección

$S_c$  = momento estático de la parte comprimida de la sección respecto al eje neutro

Arriostramiento más exigido, máxima resultante de compresión de la viga.



El arriostramiento central deberá soportar como mínimo:

$$F_{\text{mín}} = 2\% F = 0,02 \cdot 0,07 \text{ KN} = 0,0014 \text{ KN}$$

e) Unión de los perfiles

La separación máxima de los puntos de soldadura en una sección I flexada es la menor de:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\text{máx}} = \frac{l}{6} \\ S_{\text{máx}} = \frac{2 \cdot a \cdot T_s}{C \cdot p} \end{array} \right.$$

$$a \approx h - 2t = 140 \text{ mm} - 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 135 \text{ mm}$$

$$c = \frac{b \cdot h \cdot t}{4 \cdot I_y} \left[ b \cdot h + 2 h_1 \left( h - \frac{4 h^2}{3 h} \right) \right]$$

$$c = \frac{6 \text{ cm} \cdot 14 \text{ cm} \cdot 0,25 \text{ cm}}{4 \cdot 215,67 \text{ cm}} \left[ 6 \text{ cm} \cdot 14 \text{ cm} + 2 \cdot 2 \text{ cm} \left( 14 \text{ cm} - \frac{4 \cdot (2 \text{ cm})^2}{3 \cdot 14 \text{ cm}} \right) \right] =$$

$$= 3,37 \text{ cm}$$

$$p = \frac{R}{\text{long. ap.}} = \frac{9,98 \text{ KN}}{5 \text{ cm}} \approx 2,00 \text{ KN/cm}$$

CIRSOC 303, artículo 4.6.2.1.

Se realiza por soldadura de resistencia

Corresponde aplicar el artículo 4.7.7.2.

Se adopta la distancia entre alas

CIRSOC 303, artículo 4.7.7.2.1.b)

CIRSOC 303, artículo 4.7.7.2.2.

Se desprecia la carga distribuida debida al peso propio del perfil.

Cálculo de  $T_s$

Para  $t = 2,5 \text{ mm}$

de Tabla A.1. —————

$$D_w = 7,8 \text{ mm}$$

$$S_{\text{mín}} = 35 \text{ mm}$$

de Tabla A.2. —————

$$T_Q = 7,00 \text{ KN (DTA)}$$

de Tabla A.4. —————

$$\tau_t / \tau_Q = 0,35$$

$$\tau_Q \approx \frac{T_Q}{A_w}$$

$$\tau_t \approx \frac{T_s}{A_w}$$

$$\tau_t = 0,35 \tau_Q$$

$$\therefore T_s \approx 0,35 T_Q = 0,35 \cdot 7 \text{ KN} = 2,45 \text{ KN}$$

$$\frac{\ell}{6} = \frac{4 \cdot 200 \text{ mm}}{6} = 700 \text{ mm}$$

$$\frac{2 \cdot a \cdot T_s}{C \cdot p} = \frac{2 \cdot 135 \text{ mm} \cdot 2450 \text{ N}}{33,7 \text{ mm} \cdot 200 \text{ N/mm}} = 98,15 \text{ mm}$$

$$S_{\text{máx}} \approx 98 \text{ mm}$$

Se adopta una separación  $S = 98 \text{ mm}$

Al ser la longitud de apoyo de la reacción menor que  $S$ , la resistencia necesaria de los puntos de soldadura es:

$$T_{S_{\text{mín}}} = \frac{R \cdot C}{2 \cdot a} = \frac{9,88 \text{ KN} \cdot 33,7 \text{ mm}}{2 \cdot 135 \text{ mm}} = 1,23 \text{ KN}$$

que es menor que la resistencia admitida por cada punto  $T_s = 2,45 \text{ KN}$

Anexo al capítulo 4.

Se utiliza esta tabla porque en la A.1. no hay valores de  $\tau_Q$  para aceros F-30

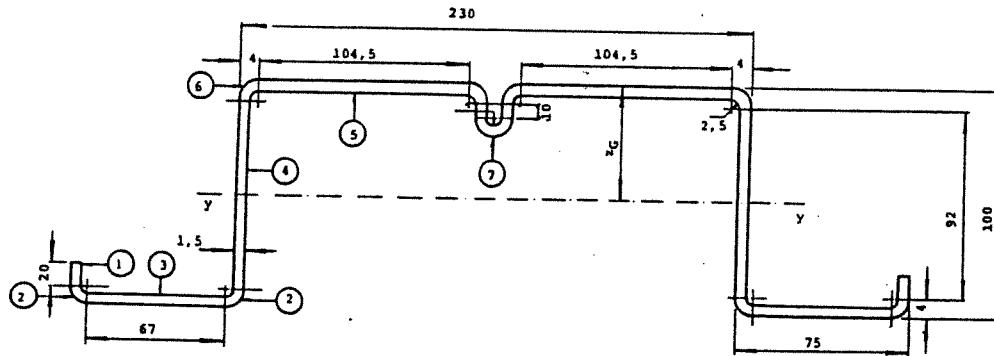
$$T_s = \tau_t \frac{T_Q}{\tau_Q}$$

Resistencia a la tracción del punto de soldadura

Porque da un número redondo de puntos para una distribución uniforme de éstos a lo largo de la pieza.



## EJEMPLO N° 6

Perfil  $\angle$  con rigidizador intermedio - Flexión1 - Datos

Luz  $l = 4,00$  m

Acero F-30 ( $\sigma_F = 300$  N/mm<sup>2</sup>)

Flecha máxima admisible =  $\frac{l}{500} = 0,80$  cm

Se quiere verificar la máxima carga admisible con y sin rigidizador intermedio.

2.-Verificaciones

- Propiedades geométricas de las esquinas

$$r = R + \frac{t}{2} = 2,5 \text{ mm} + \frac{1,5 \text{ mm}}{2} = 3,25$$

CIRSOC 301, artículo 6.6.

Se aplica el método lineal

Radio de la línea media

$$l = \frac{\pi \cdot r}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot 3,25 \text{ mm} = 5,11 \text{ mm}$$

$$c = 0,637 \cdot r = 0,637 \cdot 3,25 \text{ mm} = 2,07 \text{ mm}$$

$$c' = (1 - 0,637) \cdot r = 0,363 \cdot 3,25 \text{ mm} = 1,18 \text{ mm}$$

Con rigidizador intermedio

- Elemento ⑤

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{300 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$q = 1$$

$$\sigma_{cad} = q \cdot \sigma_{bd} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$B = \frac{230 \text{ mm}}{1,5} = 153,33 < B_{\text{máx}} = 500$$

Se supone que la fibra superior estará sometida a una tensión

$$\sigma_c = \sigma_{cad} = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$g = \sqrt{\frac{E}{\sigma_c}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{187,5 \text{ N/mm}^2}} = 33,47$$

$$B_e = 1,3 g - R$$

Longitud de la línea media

Ver ejemplo N° 2

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13. elemento rigidizado completamente.

CIRSOC 303, artículo 4.5.3.

CIRSOC 303, artículo 4.4.6.1.

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9., se considera cada subelemento por separado

$$B = \frac{104,5 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = 69,67$$

$$R = 0,1 \cdot B - 6 = 0,1 \cdot 69,67 - 6 = 0,97$$

$$B_e = 1,3 \cdot 33,47 - 0,97 = 42,54$$

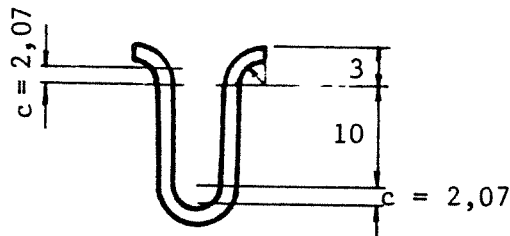
$$\Rightarrow b_e = B_e \cdot t = 42,54 \cdot 1,5 \text{ mm} = 63,80 \text{ mm}$$

- Elemento ⑦

$$I_{\text{mín}} = (2B - 13) \cdot t^4 \geq 9 \cdot t^2$$

$$I_{\text{mín}} = (2 \cdot 69,67 - 13) \cdot (1,5 \text{ mm})^4 = 639,59 \text{ mm}^4 > 9 (1,5 \text{ mm})^2 = 20,25 \text{ mm}^2$$

Momento de inercia del rigidizador



$$2 \cdot 1,5 \text{ mm} (10 \text{ mm})^3 \frac{1}{12} = 250 \text{ mm}^4$$

$$4 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 5,11 \text{ mm} (5 \text{ mm} + 2,07 \text{ mm})^2 = 1532,54 \text{ mm}^4$$

$$I = 1782,54 \text{ mm}^4 > 2 \cdot I_{\text{mín}} = 1279,18 \text{ mm}^4 \quad \text{CIRSOC 303, artículo 4.4.11.2.}$$

El subelemento no está rigidizado en ambos bordes por un alma y además  $B > 60$ .

CIRSOC 303, artículo 4.4.11.1. El B considerado es el del elemento arriostrado.

Para el rigidizador intermedio se considera un área efectiva

$$A_{ef} = k \cdot A \quad \longrightarrow \quad l_{ef} = k \cdot l$$

$$k = 3 - 2 \frac{B_e}{B} + \frac{B_e}{30} - \frac{B}{30} = 3 - 2 \frac{42,54}{69,67} + \frac{42,54}{30} - \frac{69,67}{30} = 0,87$$

$$l_{ef} = 0,87 (4 \cdot 5,11 \text{ mm} + 2 \cdot 10 \text{ mm}) = 35,18$$

- Ubicación del eje neutro

Primer tanteo

Elemento	Longitud mm	Dist. a la fibra sup. Z mm	$l \cdot Z$ mm <sup>2</sup>	$l \cdot z^2$ mm <sup>3</sup>	$I' y_i$ mm <sup>3</sup>
①	2 x 20 = 40	86	3 440	295.840	1 333,33
②	4 x 5,11 = 20,44	98,82	2 019,88	199 604,62	—
③	2 x 67 = 134	99,25	13 299,50	1 319 975,40	—
④	2 x 96 = 192	50	9 600	480 000	147 456,00
⑤	2 x 63,8 = 127,60	0,75	95,7	71,77	—
⑥	2 x 5,11 = 10,22	1,18	12,06	14,23	—
⑦	35	8	281,44	2 251,52	166,67
	559,44		28 748,58	2 297 757,5	148 956,00

CIRSOC 303, artículo 4.4.9., para  $60 \leq B \leq 90$

$$z_G = \frac{28\,748,58 \text{ mm}^2}{559,44 \text{ mm}} = 51,39 \text{ mm}$$

$$A = (40 + 20,44 + 134 + 192 + 2 \cdot 104,5 + 10,22 + 40,44) \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm} = 969,15 \text{ mm}^2$$

$$I_y = (I'_y + \ell \cdot z^2 - \ell \cdot z_G^2) \cdot t =$$

$$= (148\,956 + 2\,297\,757,5 - 559,44 (51,39)^2) \text{ mm}^3 \cdot 1,5 \text{ mm} = 1\,453\,905,6 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 145,39 \text{ cm}^4$$

$$W_y = \frac{I_y}{z_G} = \frac{1\,453\,905,6 \text{ mm}^4}{51,39 \text{ mm}} = 28\,291,61 \text{ mm}^3$$

$$M_{ad} = \sigma_{cad} \cdot W_y = 187,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 28\,291,61 \text{ mm}^3 \cdot 10^{-6} = 5,30 \text{ KN.m}$$

#### Sin rigidizador intermedio

- Elemento ⑤

$$\sigma_c = 187,5 \text{ N/mm}^2$$

$$B_e = 1,3 \cdot g - R$$

$$R = 0$$

$$B_e = 1,3 \cdot 33,47 = 43,41 \longrightarrow b_e = 43,51 \cdot 1,5 \text{ mm} = 65,27 \text{ mm}$$

Al ser  $z_G > h/2$  la tensión supuesta en la fibra superior es la dominante, por ello no será necesario otro tanteo.

Momento de inercia efectivo respecto del eje y baricéntrico.

Momento resistente respecto al borde superior

Ver 1° parte

Ver 1° parte



- Ubicación del eje neutro

Primer tanteo

Elemento	Longitud $l$ mm	Distancia a la fibra superior $z$ mm	$l \cdot z$ mm <sup>2</sup>	$l \cdot z^2$ mm <sup>3</sup>	$I'_y$ mm <sup>4</sup>
①	40	86	3440	295840	1333,33
②	20,44	98,82	2019,88	199604,62	-
③	134	99,25	13299,50	1319975,40	-
④	192	50	9600	480000	147456,00
⑤	65,27	0,75	48,95	36,71	-
⑥	10,22	1,18	12,06	14,23	-
	461,93		28420,39	2295471,00	148789,33

$$z_G = \frac{28\,420,39 \text{ mm}^2}{461,93 \text{ mm}} = 61,52 \text{ mm}$$

$$I_y = (148\,789,33 + 2 \cdot 2295\,471 - 461,93 \cdot (61,52)^2) \text{ mm}^4 \cdot 1,5 \text{ mm} = 1.043\,983,60 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1\,043\,983,60 \text{ mm}^4}{61,52 \text{ mm}} = 16\,969,82 \text{ mm}^3$$

$$M_{ad} = 187,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 16\,969,12 \text{ mm}^3 \cdot 10^{-6} = 3,18 \text{ KN.m}$$

Es mayor que  $h/2$

Momento resistente respecto al borde superior

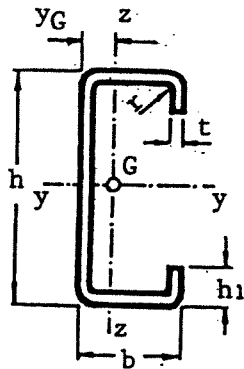
Comparación entre ambas secciones

$$\frac{\text{Mad con rig.}}{\text{Mad sin rig.}} = \frac{5,30 \text{ KN.m}}{3,18 \text{ KN.m}} = 1,67$$

Se observa que la misma sección con un rigidizador intermedio resiste un 67% más.



## EJEMPLO N° 7

Perfil  $\square$  con labios rigidizadores - Columna1- Datos

Altura — 2,60 m

Acero F-24 ( $\sigma_F = 240 \text{ N/mm}^2$ )

Perfil - 140 - 60 - 20 - 2

$$A = 5,74 \text{ cm}^2$$

$$i_{\text{mín}} = 2,26 \text{ cm}$$

$$i_y = 5,55 \text{ cm}$$

Se requiere obtener la máxima carga admisible como columna

2 - Verificaciones

- Determinación del coeficiente de pandeo local

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{S_k}{i_{\text{mín}}} = \frac{0,7 \cdot 260 \text{ cm}}{2,26 \text{ cm}} = 80,53 < 200$$

$$Q = q_m \cdot Q_a$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.5.

$S_k = 0,7$  & por considerarse a la columna empotrada-articulada.

CIRSOC 303, artículo 4.4.14.

Labios rigidizantes

$$g_F = \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} = 29,58$$

$$B = \frac{h_1}{t} = \frac{16 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 8 < 0,37 g_F = 0,37 \cdot 29,58 = 10,95 \Rightarrow q = 1$$

$$\sigma_{ad} = q \cdot \sigma_{bd} = q \cdot \frac{\sigma_F}{\gamma} = 1 \cdot \frac{240 \text{ N/mm}^2}{1,6} = 150 \text{ N/mm}^2$$

Alas y Alma

$$q = 1$$

$$\therefore q_m = 1$$

$$Q_a = \frac{\Sigma B_{\sigma} \cdot t^2 + \Sigma A_p}{A}$$

Labios rigidizantes

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

Alas

$$B_{\sigma} = \frac{1,64 g_F}{\sqrt{q_m}} - R \leq B$$

$$B = \frac{52 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 26 < 60 \Rightarrow R = 0$$

CIRSOC 303, artículo 4.4.7.

CIRSOC 303, artículo 4.4.13.

CIRSOC 303, artículo 4.5.2. y 4.5.3.

Elementos completamente rigidizados

Mínimo valor de q

Elemento no rigidizado

No se tiene en cuenta la modificación de la tensión de fluencia por efecto del plegado en frío.

CIRSOC 303, artículo 4.4.9.

$$\frac{1,64 \cdot 29,58}{\sqrt{1}} = 48,51 > B \Rightarrow B_{\sigma} = B = 26$$

Alma

$$R = 0$$

$$B_{\sigma} = \frac{1,64 \text{ GF}}{\sqrt{q_m}} - R = 48,51 < B = \frac{132 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 61$$

Esquinas

$$r = R + \frac{t}{2} = 1,5 \cdot t = 1,5 \cdot 2 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$$

$$l = \frac{\pi r}{2} = \frac{\pi \cdot 3 \text{ mm}}{2} = 4,71 \text{ mm}$$

$$A_p = l \cdot t = 4,71 \text{ mm} \cdot 2 \text{ mm} = 9,42 \text{ mm}^2$$

$$Q_a = \frac{(2 \cdot 8 + 2 \cdot 26 + 48,51) (2 \text{ mm})^2 + 4 \cdot 9,42 \text{ mm}^2}{574 \text{ mm}^2} = 0,88$$

$$Q = 1 \cdot 0,88 \Rightarrow Q = 0,88$$

Determinación de la  $\sigma_{cad}$

El valor de  $\sigma_{cad}$  depende de  $\sigma_p$

$$\sigma_p = \sigma_{st} \text{ ó } \sigma_e$$

Elemento rigidizado en ambos bordes por alas

Radio de la línea media

Longitud de la línea media

CIRSOC 303, artículo 4.5.6.

CIRSOC 303, artículo 4.5.6.2. Se adopta el menor de ambos

$$\sigma_{st} = \frac{1}{2\beta} \left[ \sigma_s + \sigma_t - \sqrt{(\sigma_s + \sigma_t)^2 - 4 \cdot \beta \cdot \sigma_s \cdot \sigma_t} \right]$$

$$\sigma_s = 5,12 \cdot E / \lambda_s^2$$

$$S_k = 0,7 \ell = 0,7 \cdot 2,60 \text{ m} = 1,82 \text{ m}$$

$$\lambda_s = \frac{S_k}{i_y} = \frac{182 \text{ cm}}{5,54 \text{ cm}} = 32,85$$

$$\sigma_s = 5,12 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{(32,85)^2} = 996,24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{0,52}{A \cdot i_c^2} \left[ G \cdot I_T + \frac{\pi^2 \cdot E}{S_k^2} \cdot I_\omega \right]$$

$$y_c = c + y_G - \frac{t}{2}$$

$$c = \frac{b \cdot h \cdot t}{4 I_y} \left[ b \cdot h + 2 h_1 \left( h - \frac{4 h_1^2}{3 h} \right) \right]$$

$$c = \frac{6 \cdot 14 \cdot 0,2}{4 \cdot 176,40} \left[ 6 \cdot 14 + 2 \cdot 2 \left( 14 - \frac{4 \cdot 2^2}{3 \cdot 14} \right) \right] = 3,30 \text{ cm}$$

$$y_c = 33 \text{ mm} + 19,90 \text{ mm} - \frac{2 \text{ mm}}{2} = 51,9 \text{ mm}$$

$$i_c^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_c^2 = (55,4 \text{ mm})^2 + (22,6 \text{ mm})^2 + (51,9 \text{ mm})^2 = 6273,53 \text{ mm}^2$$

Longitud de pandeo de una columna empotrada-articulada.

De datos del perfil (Ver Tabla)

$$A = 5,74 \text{ cm}^2 \quad y_G = 1,99 \text{ cm}$$

$$i_y = 5,54 \text{ cm} \quad i_z = 2,26 \text{ cm}$$

Distancia del centro de corte al baricentro de la sección

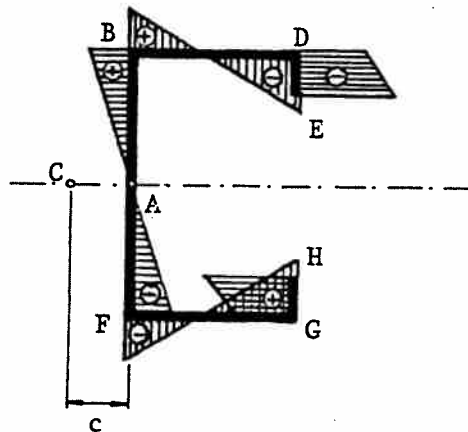
CIRSOC 303, artículo 4.7.7.2.1.

$$I_T = \frac{1}{3} \sum (\ell_i \cdot t_i^3) = \frac{1}{3} (2 \cdot 16 \text{ mm} + 2 \cdot 52 \text{ mm} + 132 \text{ mm} + 4 \cdot 4,71 \text{ mm}) (2 \text{ mm})^3$$

$$I_T = 764,91 \text{ mm}^4$$

$$I_\omega = t \int \omega^2 d\ell$$

$$\omega = \int \rho d\ell$$



$$\omega_A = 0$$

$$\omega_B = -c \cdot h/2 = -1396,5 \text{ mm}^2 = -\omega_F$$

$$\omega_D = -c \cdot h/2 + (h/2) b = h/2 (b - c) = 2803,5 \text{ mm}^2 = -\omega_G$$

$$\omega_E = h/2 (b - c) + (b + c - t/2) h_1 = 4382,5 \text{ mm}^2 = -\omega_H$$

Constante de torsión libre

Constante de torsión con alabeo

Area sectorial normalizada

Ver Anexo al Capítulo 4.



$$I_{\omega} = 2 \left\{ \frac{20}{3} \left[ (2803,5)^2 + (4382,5)^2 + 2803,5 \cdot 4382,5 \right] + \frac{60}{3} \left[ (1396,5)^2 + (2803,5)^2 - 1396,5 \cdot 2803,5 \right] + \frac{140}{2} \cdot \frac{1}{3} (1396,5)^2 \right\} 2$$

$$I_{\omega} = 1,703 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$\therefore \sigma_t = \frac{0,52}{574 \cdot 6273,53} \left[ 81\,000 \cdot 764,91 + \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{(1820)^2} \cdot 1,703 \cdot 10^9 \right] =$$

$$= 162,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{y_c}{i_c} \right)^2 = 1 - \frac{(38,85 \text{ mm})^2}{6273,53 \text{ mm}^2} = 0,76$$

$$\therefore \sigma_{st} = \frac{1}{2 \cdot 0,76} \left[ 996,24 + 162,80 - \sqrt{(996,24 + 162,80)^2 - 4 \cdot 0,76 \cdot 996,24 \cdot 162,80} \right] = 155,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_e = 5,12 \frac{E}{\lambda_{\text{máx}}^2} = 5,12 \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2}{(80,53)^2} = 165,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{st} < \sigma_e \implies \sigma_p = \sigma_{st} = 155,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_0 = 0,5 \cdot Q \cdot \sigma_{bd}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{\sigma_F}{\gamma} = \frac{240 \text{ N/m}^2}{1,6} = 150 \text{ N/mm}^2$$

$I_{\omega}$  fue calculado por el método de integración de Vereschaguín (método gráfico) también puede calcularse con la Tabla A.6. del Anexo al Capítulo 4.

Se adopta para  $\sigma_p$  el menor de los dos valores

CIRSOC 303, artículo 4.5.6.

CIRSOC 303, artículo 4.5.2.

$$\sigma_0 = 0,5 \cdot 0,88 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 = 65,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore \sigma_p > \sigma_0 \Rightarrow \sigma_{cad} = 2 \sigma_0 - \frac{\sigma_0^2}{\sigma_p} = 2 \cdot 65,82 \text{ N/mm}^2 - \frac{(65,82 \text{ N/mm}^2)^2}{155,86 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{cad} = 103,84 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{ad} = \sigma_{cad} \cdot A = 103,84 \text{ N/mm}^2 \cdot 574 \text{ mm}^2 = 59606 \text{ N}$$

$$P_{ad} = 59,60 \text{ KN}$$

Tensión admisible de compresión

Máxima carga admisible

