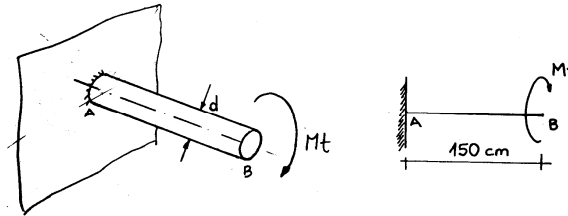


**PRACTICO 5.1**

- Dimensionar el eje de la figura con una sección circular maciza con un material de  $\tau_{adm} = 0,60 \text{ t/cm}^2$  y  $G = 840 \text{ t/cm}^2$ .
- Determinar el valor del ángulo específico de torsión  $\theta$ .
- Hallar el valor de la rotación correspondiente al extremo B ( $\varphi_B$ ).

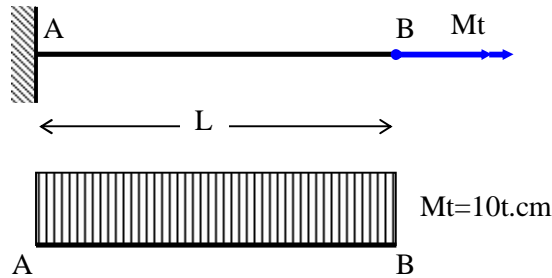
**Datos**

$M_t = 10 \text{ tcm}$   
 $G = 840 \text{ t/cm}^2$



**a) Diagrama de solicitaciones**

D.C.L.



**b) Dimensionamiento**

Distribución de las tensiones tangenciales por torsión en secciones circulares macizas

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{adm}$$

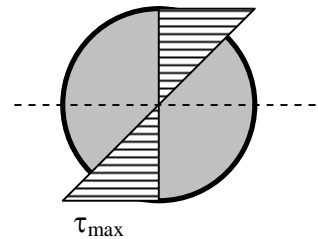
para secciones circulares

$$W_t = \frac{I_p}{y_{\max}} = \frac{\frac{\pi \cdot d^4}{32}}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{16}$$

reemplazando

$$\tau_{\max} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} \leq \tau_{adm} \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 10 \text{ t.cm}}{\pi \times 0,6 \text{ t/cm}^2}} = 4,39 \text{ cm}$$

$$\text{Adopto} \Rightarrow d = 4,5 \text{ cm}$$

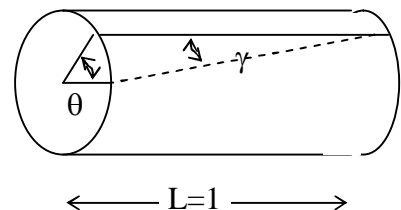


**c) Angulo especifico de torsión ( $\theta$ )**

$$\theta = \frac{M_t}{G I_p} \quad (\text{Angulo especifico de torsión})$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \times (4,5 \text{ cm})^4}{32} = 40,26 \text{ cm}^4,$$

$$\theta = \frac{10 \text{ t.cm}}{840 \text{ t/cm}^2 \times 40,26 \text{ cm}^4} = 0,000296 \text{ }^{\circ}/\text{cm} = 0,0169 \text{ }^{\circ}/\text{cm}$$



**d) Rotación en el extremo de la barra ( $\varphi_B$ )**

(ángulo de rotación de la sección B respecto de la sección A)

$$\varphi_B = \theta \cdot L_{AB}$$

$$\varphi_B = 0,000296^{\rho}/cm \times 150cm = 0,0443^{\rho} = 2^{\circ},53$$

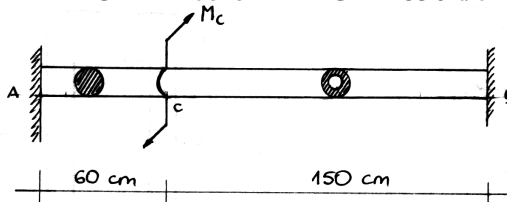
**Nota:** recordemos la reducción de radianes a grados

$$\text{siendo } \pi^{\rho} = 180^{\circ} \Rightarrow \varphi^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi^{\rho}} \times \varphi^{\rho}$$

**PRACTICO 5.2**

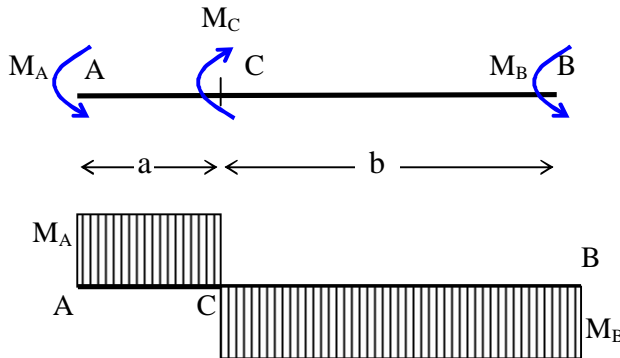
Determinar el valor admisible del momento torsor en C ( $M_{tC}$ ) para la pieza que se indica en la siguiente figura:

AC = Aluminio  $G^{al} = 280 \text{ t/cm}^2$   $\tau_{adm}^{al} = 0,15 \text{ t/cm}^2$   $D = 6 \text{ cm.}$   
 CB = Acero  $G^{ac} = 850 \text{ t/cm}^2$   $\tau_{adm}^{ac} = 0,50 \text{ t/cm}^2$   $D = 6 \text{ cm } d = 5 \text{ cm.}$



**a) Diagrama de solicitaciones**

**D.C.L.**



**Por condición de equilibrio:**

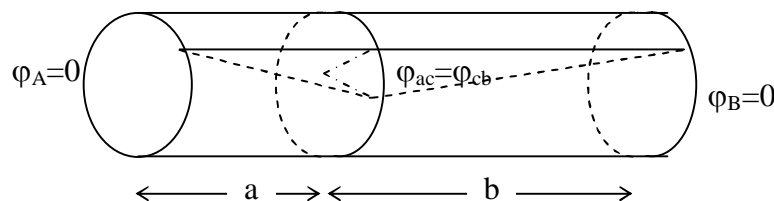
$$M_A + M_B - M_C = 0$$

Se tienen 2 incógnitas ( $M_A$  y  $M_B$ ) y 1 ecuación de la estática. Resulta un sistema hiperestático de primer grado. Para resolverlo es necesario plantear una **ecuación de deformación**.

**b) Resolución del Hiperestático**

**Por condición de deformación:**

Analizando la deformación de la barra, se observa que:



- la rotación en la sección C es la misma que la del tramo AC o del tramo CB  $\Rightarrow$

$$\varphi_{AC} = \varphi_{CB} = \varphi_C$$

- las rotaciones en los apoyos son nulas por condición de vínculo  $\Rightarrow \varphi_A = 0 ; \varphi_B = 0$

**1<sup>er</sup> Planteo:**

$$\varphi_{AC} = \varphi_{CB} = \varphi_C$$

siendo

$$\varphi_{AC} = \frac{M_A}{G_{ac} \cdot I_{ac}} \cdot a \quad \text{y} \quad \varphi_{CB} = \frac{M_B}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \cdot b$$

resultando

$$\frac{M_A}{G_{ac} \cdot I_{ac}} \cdot a = \frac{M_B}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \cdot b \Rightarrow M_A = \frac{G_{ac} \cdot I_{ac}}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \cdot \frac{b}{a} \cdot M_B$$

siendo

$$I_{ac} = \frac{\pi \cdot D^4}{32} = \frac{\pi \times 6^4}{32} = 127,23 \text{cm}^4$$

$$I_{cb} = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32} = \frac{\pi (6^4 - 5^4)}{32} = 65,875 \text{cm}^4$$

resulta

$$M_A = \frac{280 \text{ t/cm}^2 \cdot 127,23 \text{cm}^4}{850 \text{ t/cm}^2 \cdot 65,875 \text{cm}^4} \cdot \frac{150 \text{cm}}{60 \text{cm}} \cdot M_B = 1,595 \cdot M_B$$

$$M_A = 1,595 \cdot M_B$$

reemplazando en la ecuación de equilibrio

$$M_A + M_B - M_C = 0$$

$$1,595 \cdot M_B + M_B - M_C = 0$$

$$\Rightarrow M_B = \frac{M_C}{(1 + 1,595)} = 0,385 \cdot M_C$$

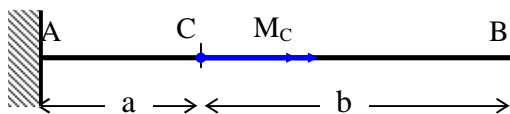
$$\Rightarrow M_A = 1,595 \cdot M_B = 0,615 \cdot M_C$$

$$\begin{aligned} M_B &= 0,385 \cdot M_C \\ M_A &= 0,615 \cdot M_C \end{aligned}$$

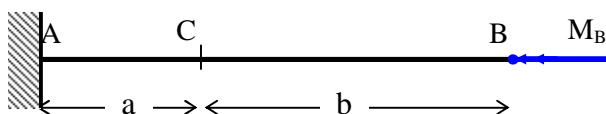
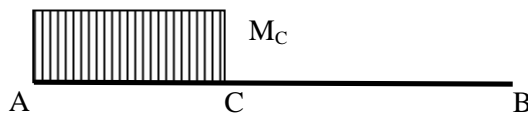
**2<sup>do</sup> Planteo:**

$$\varphi_B^{M_C} - \varphi_B^{M_B} = 0$$

Aplicando superposición de efectos



$$\varphi_B^{M_C} = \frac{M_C}{G_{ac} \cdot I_{ac}} \cdot a$$



$$\varphi_B^{M_C} = \frac{M_B}{G_{ac} \cdot I_{ac}} \cdot a + \frac{M_B}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \cdot b$$



Luego:

$$\varphi_B = \varphi_B^{M_C} - \varphi_B^{M_B} = 0$$

$$\frac{M_C \cdot a}{G_{ac} \cdot I_{ac}} = M_B \left( \frac{a}{G_{ac} \cdot I_{ac}} + \frac{b}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \right) \Rightarrow M_B = \frac{\left( \frac{a}{G_{ac} \cdot I_{ac}} \right)}{\left( \frac{a}{G_{ac} \cdot I_{ac}} + \frac{b}{G_{cb} \cdot I_{cb}} \right)} \cdot M_C$$

reemplazando valores, resulta :

$$\Rightarrow M_B = 0,385 \cdot M_C$$

reemplazando en la ecuación de equilibrio :

$$\Rightarrow M_A = 0,615 \cdot M_C$$

Puede observarse que en el caso en que :

$$G_{ac} = G_{cb} = \text{cte} \Rightarrow \text{ambos tramos del mismo material}$$

$$I_{ac} = I_{cb} = \text{cte} \Rightarrow \text{ambos tramos de la misma sección}$$

$$M_B = \frac{a}{(a+b)} \cdot M_C \Rightarrow M_B = \frac{a}{L} \cdot M_C$$

$$M_A = \frac{b}{(a+b)} \cdot M_C \Rightarrow M_A = \frac{b}{L} \cdot M_C$$

Los momentos torsores reactivos pueden calcularse como las reacciones de la barra (haciendo una analogía de los momentos torsores como fuerzas en la barra)

$$\Rightarrow \begin{cases} M_B = \frac{a}{L} \cdot M_C \\ M_A = \frac{b}{L} \cdot M_C \end{cases}$$

### c) Determinación de $M_C$ admisible

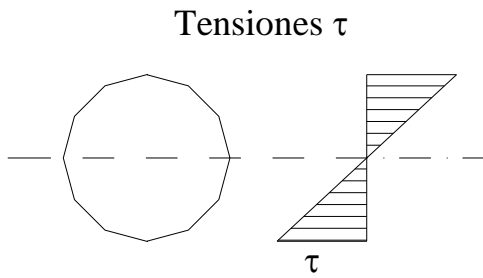
Debe verificarse en ambos materiales que no se sobrepasen las tensiones tangenciales admisibles.

c.1) características geométricas de las secciones

$$W_{ac} = \frac{I_{ac}}{r_{\max}} = \frac{\frac{\pi \cdot D^4}{32}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{16} = \frac{\pi \cdot 6^3}{16} = 42,4 \text{ cm}^3$$

$$W_{cb} = \frac{I_{cb}}{r_{\max}} = \frac{\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \cdot \left( 1 - \frac{d^4}{D^4} \right) = \frac{\pi \cdot 6^3}{16} \cdot \left( 1 - \frac{5^4}{6^4} \right) = 21,96 \text{ cm}^3$$

**c.2) Para el tramo AC (aluminio)**



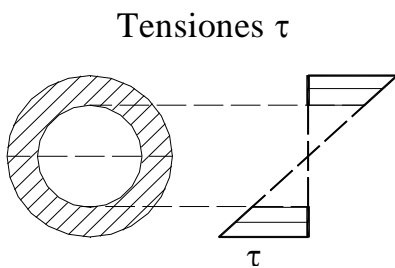
$$\tau_{adm}^{al} = 0,15t / cm^2$$

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_t} \times r_{max} = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{adm}^{al}$$

$$\tau_{max}^{Al} = \frac{M_A}{W_{ac}} = \frac{0,615 \cdot M_C}{W_{ac}} \leq \tau_{adm}^{al}$$

$$M_{C_{adm}}^1 \leq \frac{\tau_{adm}^{al} \cdot W_{ac}}{0,615} = \frac{0,15 \text{ t/cm}^2 \cdot 42,4 \text{ cm}^3}{0,615} \leq 10,34 \text{ tcm}$$

**c.3) Para el tramo CB (acero)**



$$\tau_{adm}^{ac} = 0,50t / cm^2$$

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_t} \times r_{max} = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{adm}^{ac}$$

$$\tau_{max}^{acero} = \frac{M_B}{W_{cb}} = \frac{0,385 \cdot M_C}{W_{cb}} \leq \tau_{adm}^{acero}$$

$$M_{C_{adm}}^2 \leq \frac{\tau_{adm}^{acero} \cdot W_{cb}}{0,385} = \frac{0,50 \text{ t/cm}^2 \cdot 21,96 \text{ cm}^3}{0,385} \leq 28,5 \text{ tcm}$$

**c.3) Se adopta**

$$M_C^{adm} = 10,34 \text{ tcm}$$

$$\therefore \begin{cases} M_A = 6,36 \text{ tcm} \\ M_B = 3,98 \text{ tcm} \end{cases}$$

**PRACTICO 5.3**

Una pieza de sección rectangular es sometida a momentos torsores distribuidos y puntuales, tal como se indica en la figura; se pide:

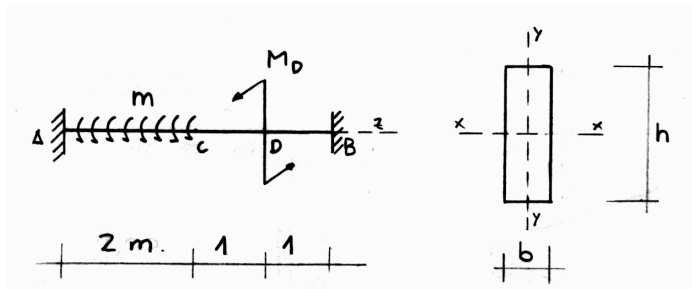
- Dimensionarla para una relación  $h/b = 3$ .
- Hallar el valor de la rotación de la sección C ( $\varphi_C$ ).

$$m_t = 0,20 \text{ tm/m}$$

$$M_{tD} = 0,50 \text{ tm}$$

$$G = 850 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau_{adm} = 0,60 \text{ t/cm}^2$$



**a) Diagramas de solicitaciones**

En el caso de barras del mismo material y sección constante, Los momentos torsores reactivos pueden calcularse como las reacciones de la barra, haciendo una analogía de los momentos torsores como fuerzas en la barra.

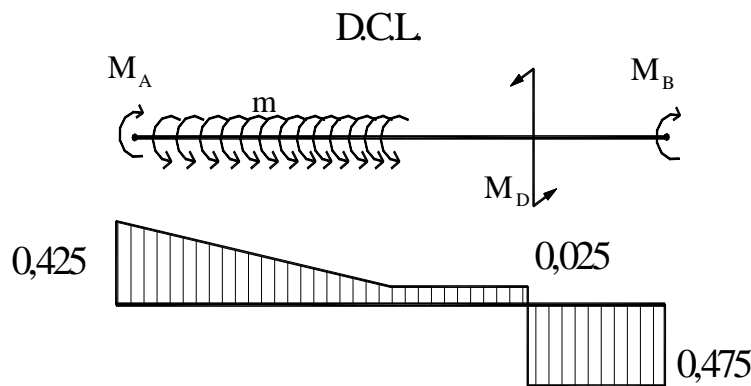
$$\sum M_{z/B} = M_A \cdot 4m - (m_z \cdot 2m \cdot 3m) - M_D \cdot 1m = 0$$

$$\Rightarrow M_A = \frac{(0,2 \text{ t.m/m} \times 2m \times 3m) + 0,5 \text{ tnm} \times 1m}{4m} = 0,425 \text{ tm}$$

$$\sum M_{z/A} = M_B \cdot 4m - (m_z \cdot 2m \cdot 1m) - M_D \cdot 3m = 0$$

$$\Rightarrow M_B = \frac{(0,2 \text{ t.m/m} \times 2m \times 1m) + 0,5 \text{ tnm} \times 3m}{4m} = 0,475 \text{ tm}$$

Luego:



**b) Dimensionamiento**

Debemos verificar que las tensiones tangenciales máximas que se producen en la barra sean menores que las tensiones tangenciales admisibles del material.

$$\tau_{\max} = \frac{M_{t \max}}{W_t} \leq \tau_{adm} \Rightarrow W_{nec} \geq \frac{M_{t \max}}{\tau_{adm}} = \frac{47,5 \text{ tcm}}{0,6 \text{ t/cm}^2} = 79,17 \text{ cm}^3$$

Para sección rectangular:

$$W_t = \alpha \cdot h \cdot b^2 = \alpha \cdot (3b) \cdot b^2$$

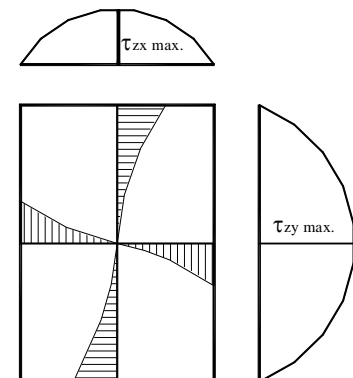
siendo  $h = 3b$  y para  $\frac{h}{b} = 3 \rightarrow \begin{cases} \alpha = 0,267 \\ \beta = 0,263 \end{cases}$

$$W_t \geq W_{t \text{ nec}} \Rightarrow W_t = \alpha \cdot (3b) \cdot b^2 \geq W_{t \text{ nec}} \Rightarrow b \geq \sqrt[3]{\frac{W_{nec}}{3\alpha}}$$

Luego:

$$b = \sqrt[3]{\frac{79,2 \text{ cm}^3}{3 \times 0,267}} = 4,62 \text{ cm} \Rightarrow \text{Adopto} \begin{cases} b = 5 \text{ cm} \\ h = 15 \text{ cm} \end{cases}$$

**Distribución de las tensiones tangenciales por torsión en secciones rectangulares**



Donde se ha calculado  $\tau_{zy \max}$ , resultando:

$$\tau_{zy \max} = \frac{M_{t \max}}{\alpha \cdot h \cdot b^2} \quad \text{y} \quad \tau_{zx \max} = \gamma \cdot \tau_{zy \max}$$

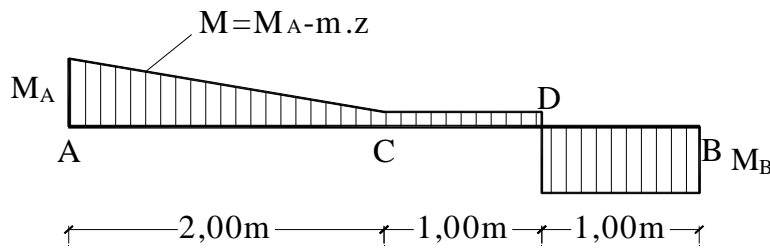
c) Cálculo de la rotación de la sección C ( $\varphi_C$ )

$$\varphi_C = \varphi_{AC} = \varphi_{BC}$$

- Para el tramo AC

En el caso de momentos torsores variables en el tramo, el ángulo de torsión resulta:

$$\varphi_{AC} = \int_A^C \theta \cdot dz = \int_A^C \frac{M_t}{GI_t} dz \quad \text{siendo} \quad \theta = \frac{M_t}{GI_t}$$



Resultando:

$$M_z = M_A - m \cdot z$$

$$\Rightarrow \varphi_{AC} = \int_0^{2m} \frac{(M_A - m \cdot z)}{G \cdot I_t} dz = \frac{1}{G \cdot I_t} \left[ \int_0^{2m} M_A dz - m \int_0^{2m} z \cdot dz \right] = \frac{1}{G \cdot I_t} \left[ M_A \cdot z - m \frac{z^2}{2} \right]_0^{2m}$$

$$\text{siendo} \quad I_t = \beta \cdot h \cdot b^3 = 0,263 \times 15 \text{ cm} \times (5 \text{ cm})^3 = 493,125 \text{ cm}^4$$

$$\Rightarrow \varphi_{AC} = \frac{1}{850 \text{ t/cm}^2 \times 493,125 \text{ cm}^4} \left[ 42,5 \text{ t} \cdot \text{cm} \times 200 \text{ cm} - 0,2 \text{ t} \cdot \text{m/cm} \times \frac{(200 \text{ cm})^2}{2} \right]$$

$$\Rightarrow \varphi_{AC} = 0,0107^p = 0,615^\circ$$

- Para el tramo CB

$$\varphi_{BC} = \varphi_{BD} + \varphi_{DC}$$

$$\Rightarrow \varphi_{BC} = \frac{M_B}{G \cdot I_t} \cdot L_{BD} + \frac{(M_B - M_D)}{G \cdot I_t} \cdot L_{DC}$$

$$\Rightarrow \varphi_{BC} = \frac{1}{850 \text{ t/cm}^2 \times 493,125 \text{ cm}^4} [47,5 \text{ t} \cdot \text{cm} \times 100 \text{ cm} + (47,5 - 50) \text{ t} \cdot \text{cm} \times 100 \text{ cm}]$$

$$\Rightarrow \varphi_{CB} = 0,0107^p = 0,615^\circ$$

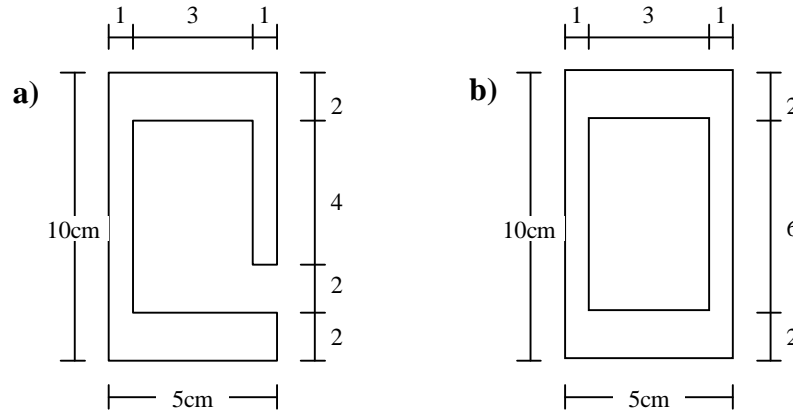
**PRACTICO 5.4**

Determinar el máximo valor de la tensión de torsión ( $\tau_{t \max}$ ) y la rotación relativa entre las secciones extremas de una barra ( $\phi$ ), de 2,20m de longitud, sometida a la acción de un  $M_t = 4$  tcm, aplicado en ambos extremos.

Considerando: a) Sección delgada abierta b) Sección delgada cerrada  
 Y comparar los resultados obtenidos.

**Datos**

$L=2,20\text{m}$   
 $M_t = 4 \text{ tcm}$   
 $G = 850 \text{ t/cm}^2$



**A) SECCCIÓN DELGADA ABIERTA**

Se considera como hipótesis de cálculo que:

- a) la sección está constituida por un conjunto elementos rectangulares.
- b) cada elemento absorbe parte del momento torsor aplicado a la sección ( $M_t$ )
- c) todos los elementos experimentan la misma rotación específica ( $\theta$ ).
- d) La distribución de tensiones tangenciales en el espesor es lineal.

\* Por condición de equilibrio:

$$M_t = M_{t1} + M_{t2} + M_{t3} + M_{t4}$$

\* Por condición de deformación:

$$\theta \cdot G = \frac{M_{t1}}{I_{t1}} = \frac{M_{t2}}{I_{t2}} = \frac{M_{t3}}{I_{t3}} = \frac{M_{t4}}{I_{t4}} = \frac{M_t}{I_t}$$

**Resultando:**

\* la inercia a la torsión de toda la sección:

$$I_t = I_{t1} + I_{t2} + I_{t3} + I_{t4}$$

siendo: la inercia correspondiente a cada elemento:  $I_{ii} = \beta_i \cdot h_i \cdot b_i^3$

el momento torsor absorbido por cada elemento  $M_{ii} = \frac{I_{ii}}{I_t} \cdot M_t$

\* la tensión tangencial en cada elemento:

$$\tau_i = \frac{M_{ii}}{W_{ii}} = \frac{M_t}{I_t} \cdot \frac{I_{ii}}{W_{ii}} = b'_i$$

siendo  $b'_i = \frac{I_{ii}}{W_{ii}} = \frac{\beta_i \cdot h_i \cdot b_i^3}{\alpha_i \cdot h_i \cdot b_i^2} = \frac{\beta_i}{\alpha_i} \cdot b_i$



\* la tensión tangencial máxima en la sección:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{I_t} \cdot b'_{\max}$$

se verifica para el elemento con  $b'_{\max} = \left( \frac{I_{ti}}{W_{ti}} \right)_{\max}$

Para perfiles laminados se aplica la misma formulación

\* considerando que en general  $h/b > 10 \Rightarrow \alpha = \beta = 1/3$

\* debido a los contornos redondeados se incrementa la rigidez de la sección (coeficiente  $\eta$ )

\* el momento de inercia a la torsión de perfiles laminados, resulta:  $\Rightarrow I_t = \eta \cdot \frac{\sum h_i \cdot b_i^3}{3}$

**CALCULOS**

**Distribución de las tensiones tangenciales por torsión en sección delgada abierta**

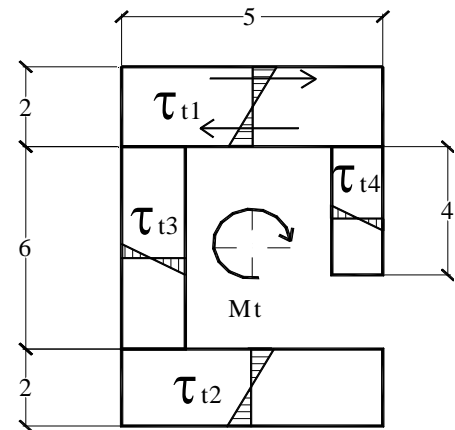
a) Coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  de cada elemento

$$p/(1)y(2) \rightarrow \frac{h}{b} = \frac{5}{2} = 2,5 \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 0,256 \\ \beta = 0,249 \end{cases}$$

$$p/(3) \rightarrow \frac{h}{b} = \frac{6}{1} = 6 \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 0,299 \\ \beta = 0,299 \end{cases}$$

$$p/(4) \rightarrow \frac{h}{b} = \frac{4}{1} = 4 \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 0,282 \\ \beta = 0,281 \end{cases}$$

siempre  $h_i > b_i$



b) Inercia a la torsión de la sección

$$\therefore I_{t_1} = I_{t_2} = \beta \cdot h \cdot b^3 = 0,249 \times 5 \times 2^3 = 9,96 \text{ cm}^4$$

$$\therefore I_{t_3} = 0,299 \times 6 \times 1^3 = 1,794 \text{ cm}^4$$

$$\therefore I_{t_4} = 0,281 \times 4 \times 1^3 = 1,124 \text{ cm}^4$$

$$\Rightarrow I_t = \sum I_{ti} = 22,838 \text{ cm}^4$$

c) Tensiones tangenciales en la sección

$$\tau_{\max}^1 = \tau_{\max}^2 = \frac{M_t}{I_t} \left( \frac{\beta_i}{\alpha_i} \cdot b_i \right) = \frac{4 \text{ tcm}}{22,838} \times \frac{0,249 \times 2}{0,256} = 0,34 \text{ m/cm}^2, \text{ siendo } \frac{\beta_i}{\alpha_i} \cdot b_i = b'$$

$$\tau_{\max}^3 = \frac{4}{22,838} \times \frac{0,299}{0,299} \times 1 = 0,175 \text{ m/cm}^2$$

$$\tau_{\max}^4 = \frac{4}{22,838} \times \frac{0,281}{0,281} \times 1 = 0,174 \text{ m/cm}^2$$

Luego:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{I_t} \left( \frac{I_{t_i}}{W_{t_i}} \right) = \tau_{\max}^{1y2} = 0,34 \text{ tn/cm}^2$$

**d) Rotación relativa de la barra**

$$\varphi = \theta \times L = \frac{M_t}{GI_t} \times L = \frac{4 \text{ tcm} \times 220 \text{ cm}}{850 \text{ tn/cm}^2 \times 22,838 \text{ cm}^4} = 0,0453 \rho = 2,597^\circ$$

**B) SECCIÓN DELGADA CERRADAS**

Se considera como hipótesis de cálculo que:

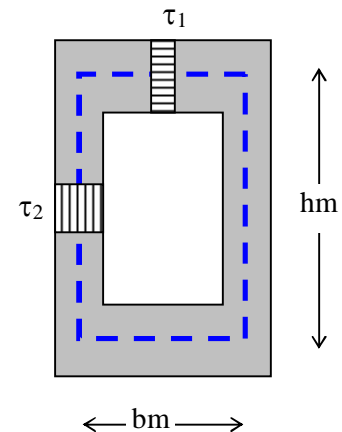
- a) Las tensiones tangenciales por torsión ( $\tau_T$ ) y la rotación específica ( $\theta$ ), se determinan con la formula de Bredt (obtenida a partir de la analogía hidrodinámica).
- b) La distribución de tensiones tangenciales en el espesor es constante.

\* Tensiones tangenciales: 
$$\tau = \frac{M_t}{2 \cdot \Omega_m \cdot e}$$

donde: 
$$W_t = 2 \cdot \Omega_m \cdot e$$

\* Rotación específica: 
$$\theta = \frac{M_t}{4 \cdot G \cdot \Omega_m^2} \cdot \int_s \frac{ds}{e}$$

donde 
$$I_t = \frac{4 \cdot \Omega_m^2}{\int_s \frac{ds}{e}}$$



donde  $\Omega_m = b_m \cdot h_m$  es el área media definida por el perímetro medio de la sección

**CALCULOS**

**a) Propiedades geométricas de la sección**

$$\Omega_m = b_m \cdot h_m = 4 \text{ cm} \times 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}^2 \Rightarrow \begin{cases} b_m = 5 \text{ cm} - 2 \times 0,5 \text{ cm} = 4 \text{ cm} \\ h_m = 10 \text{ cm} - 2 \times 1 \text{ cm} = 8 \text{ cm} \end{cases}$$

$$I_t = \frac{4 \cdot \Omega_m^2}{\int_s \frac{ds}{e}} = \frac{4 \cdot b_m^2 \cdot h_m^2}{\left( 2 \cdot \frac{b_m}{e_1} + 2 \cdot \frac{h_m}{e_2} \right)} = I_t = \frac{4 \cdot (4 \text{ cm})^2 \cdot (8 \text{ cm})^2}{\left( 2 \cdot \frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} + 2 \cdot \frac{8 \text{ cm}}{1 \text{ cm}} \right)} = 204,8 \text{ cm}^4$$

**b) Tensiones tangenciales en la sección**

$$\tau_{\max} = \tau_{(e \min)}$$

$$\tau_1 = \frac{M_t}{2 \cdot \Omega_m \cdot e_1} = \frac{400t \cdot cm}{2 \cdot 32cm^2 \cdot 2cm} = 0,03125 \text{ t/cm}^2 = 31,25 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{M_t}{2 \cdot \Omega_m \cdot e_2} = \frac{400t \cdot cm}{2 \cdot 32cm^2 \cdot 1cm} = 0,0625 \text{ t/cm}^2 = 62,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \tau_2$$

**e) Rotación relativa de la barra**

$$\varphi = \theta \times L = \frac{M_t}{GI_t} \times L = \frac{4tcm \times 220cm}{850 \text{ m/cm}^2 \times 204,8cm^4} = 5,05510^{-3\rho} = 0,2896^\circ$$

**C) COMPARACIÓN**

| Sección delgada                          | ABIERTA                | CERRADA                  |
|--|------------------------|--------------------------|
| Tensión tangencial máxima: $\tau_{\max}$ | 0,34 t/cm <sup>2</sup> | 0,0625 t/cm <sup>2</sup> |
| Rotación relativa de la barra: $\varphi$ | 2,59°                  | 0,29°                    |

**Conclusión:** la sección delgada cerrada resulta mas conveniente para resistir los esfuerzos por torsión, con tensiones y deformaciones menores.