

## Unidad 4

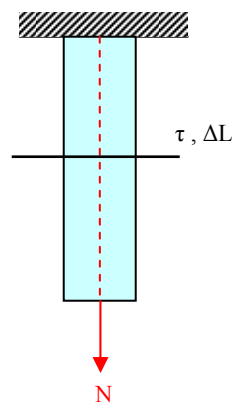
# Torsión

### 4.1 Objetivos

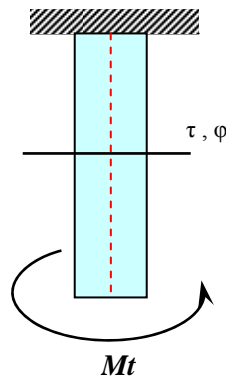
Al terminar el estudio de esta unidad usted deberá ser capaz de resolver los siguientes objetivos trazados para el Estudio de tensiones en estructuras sometidas a momentos torsores

1. Determinar y aprender a analizar estructuras o elementos de sección circular, sometidos a momentos torsores, determinando  $(\tau, \phi)$  las tensiones cortantes y los giros o deformaciones.
2. Dimensionar elementos de sección circular sometidos a torsión.
3. Analizar uniones o bridas empernadas determinando  $(\tau, \phi, P)$
4. Determinar  $\tau$  en secciones de pared delgada sometidas a momentos torsores.  $(Mt)$
5. Aprender a utilizar, expresiones de  $\tau$  y  $\phi$  para solucionar problemas de secciones no circulares, sometidos a torsión.

### 4.2 Introducción



*En anteriores capítulos*

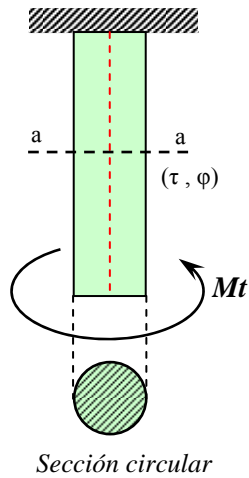


*En este capítulo se somete a torsión*

La torsión estudia los esfuerzos internos ( $\tau$  tensión cortante) y deformaciones ( $\phi$  giros) provocados por momentos torsores en secciones de cualquier elemento estructural.

## 4.3 Formulación

Sea un árbol de sección circular como muestra la figura



Lo que queremos encontrar son las ecuaciones que gobiernan, las tensiones cortantes ( $\tau$ ) y deformaciones, giros ( $\phi$ ) en cualquier sección del elemento.

### a) Parte geométrica

Donde:

$S$  = Arco de desplazamiento.

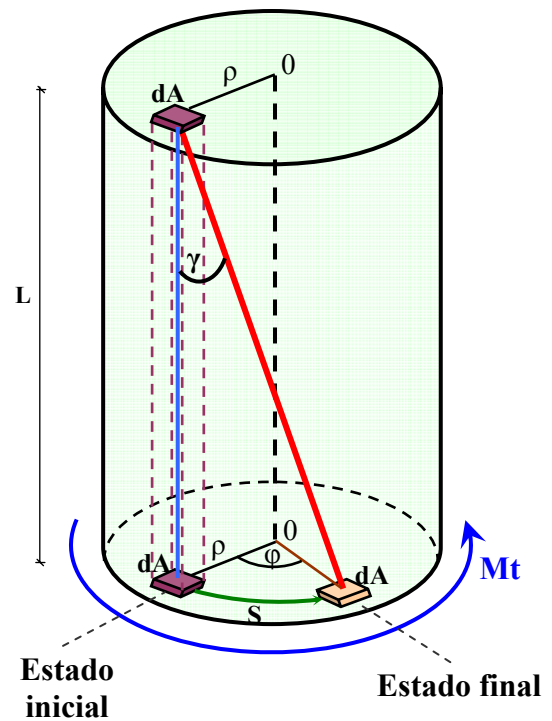
$L$  = Longitud

$\gamma$  = Distorsión Angular

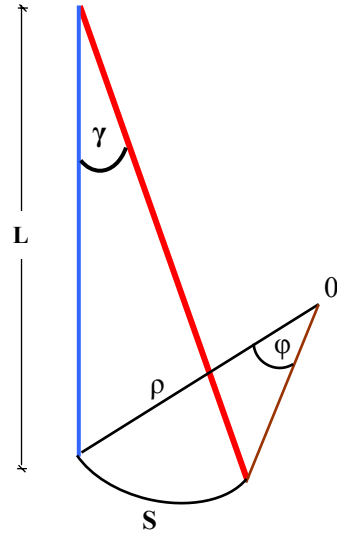
$\phi$  = Giro

$\rho$  = Radio

$dA$  = Diferencial de arco



Analizando por separado:



$$\gamma = \frac{S}{L} \Rightarrow S = \gamma \cdot L$$

$$\phi = \frac{S}{\rho} \Rightarrow S = \phi \cdot \rho$$

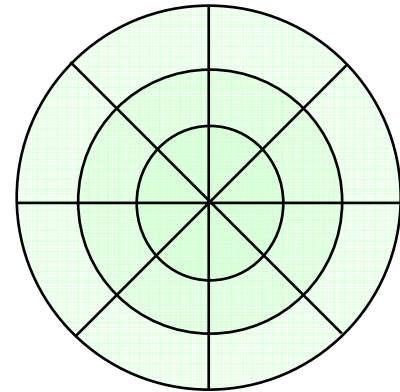
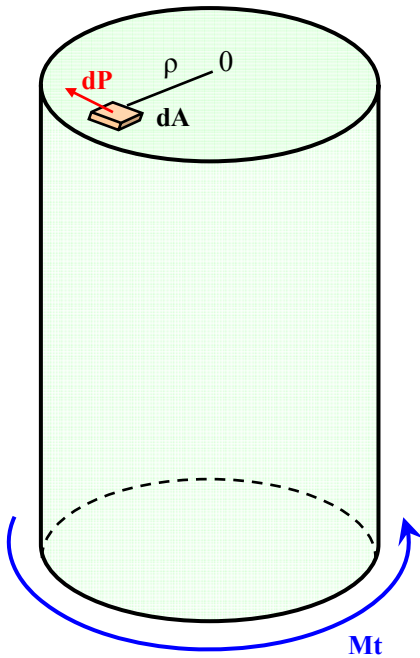
Igualando ambos

$$\gamma \cdot L = \phi \cdot \rho$$

$$\gamma = \frac{\phi \cdot \rho}{L} \quad \textcircled{1}$$

**Ecuación de compatibilidad  
de deformaciones**

**b) Parte estática**



$$\sum M_t = 0$$

$$M_t - \int_A \rho dp = 0$$

Sabemos que:  $dp = \tau \cdot dA$

Entonces:  $Mt - \int_A \tau \cdot \rho \cdot dA = 0$

$$Mt = \int_A \tau \cdot \rho \cdot dA \quad (2) \quad \text{Ecuación equilibrio estático}$$

### c) Parte física

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (3) \quad \text{Ley de Hooke}$$

### c) Parte final

Reemplazo (1) en (3)

$$\tau = G \cdot \frac{\varphi \cdot \rho}{L} \quad (4) \quad \text{donde: } G = \text{módulo de elasticidad transversal}$$

Reemplazo (4) en (2)

$$Mt = \int_A G \cdot \frac{\varphi \cdot \rho}{L} \rho \cdot dA \quad \text{entonces} \quad Mt = \frac{G \cdot \varphi}{L} \cdot \int_A \rho^2 \cdot dA$$

Sabiendo que Inercia polar:  $I_p = \int_A \rho^2 \cdot dA$ , luego:

$$Mt = \frac{G \cdot \varphi}{L} \cdot I_p$$

finalmente:

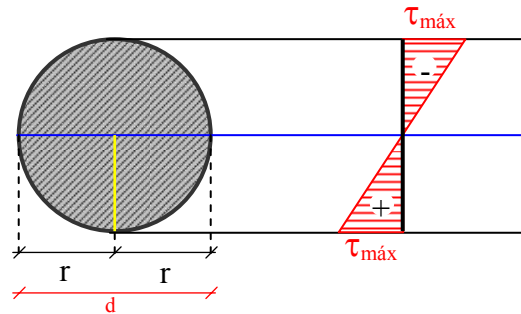
$$(5) \quad \varphi_{\otimes} = \frac{Mt \cdot L}{G \cdot I_p} \quad [rad] \quad \text{Ecuación que gobierna las deformaciones}$$

Reemplazo (5) en (4)

$$\tau = \cancel{G} \cdot \frac{\cancel{Mt} \cdot \cancel{L}}{\cancel{G} \cdot I_p} \cdot \frac{\rho}{\cancel{L}} \quad \text{finalmente:} \quad \tau_{\otimes} = \frac{Mt \cdot \rho}{I_p} \quad \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right] \quad \text{Ecuación que gobierna las tensiones cortantes}$$

## 4.4 Tensiones máximas

### a) Sección circular llena:



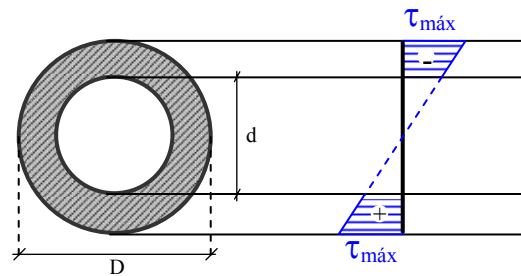
$$\rho = 0 \quad \text{entonces} \quad \tau_{\bullet} = 0$$

$$\rho = r \quad \text{entonces} \quad \tau_{\bullet \text{máx}} = \frac{Mt \cdot r}{I_p} \quad \text{pero: } I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

reemplazando  $I_p$

$$\tau_{\bullet \text{máx}} = \frac{Mt \cdot r}{\frac{\pi \cdot d^4}{32}}, \text{ resumiendo la fórmula se tiene: } \tau_{\bullet \text{máx}} = \frac{16 \cdot Mt}{\pi \cdot d^3}$$

### a) Sección circular hueca:



$$\tau_{\bullet \text{máx}} = \frac{Mt \cdot \frac{D}{2}}{(I_p^D - I_p^d)} \quad \text{reemplazando el valor de } I_p \quad \tau_{\bullet \text{máx}} = \frac{Mt \cdot \frac{D}{2}}{\left( \frac{\pi \cdot D^4}{32} - \frac{\pi \cdot d^4}{32} \right)}$$

finalmente:

$$\tau_{\bullet \text{máx}}^o = \frac{Mt \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)}$$

**Ejemplo 1:**

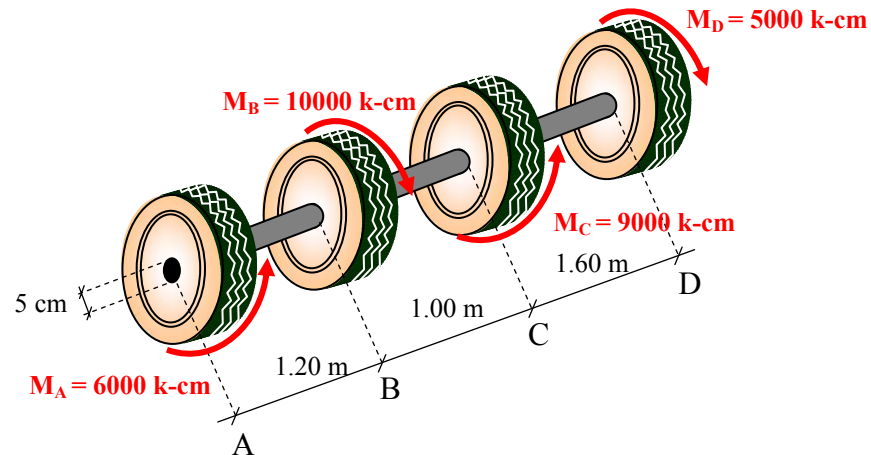
Un árbol de sección constante de 5 cm de diámetro está sometido a pares torsores a través de ruedas dentadas montadas sobre él, como muestra la figura. Si el módulo de elasticidad transversal es  $G = 8.4 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$  determinar en grados, el ángulo de giro total entre los puntos A y D.

**Datos**

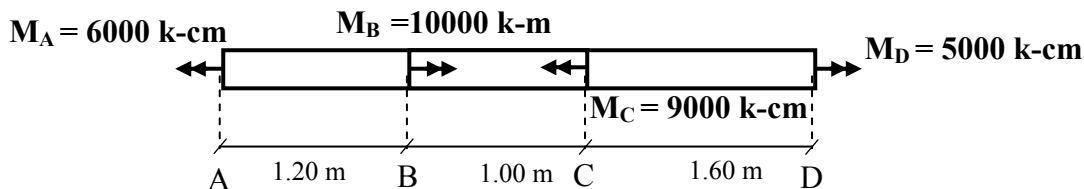
$$G = 8.4 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

**Incógnita**

$$\varphi_{A-D} = ?$$

**Solución**

Otra forma de representar



- Planteando la ecuación de deformación desde A hasta D tenemos:

$$\boxed{\varphi_{AD} = \varphi_{AB} + \varphi_{BC} + \varphi_{CD}} \quad (a)$$

- Aplicando la fórmula que gobierna los giros para cada elemento del árbol

$$\boxed{\varphi = \frac{M_t \cdot L}{G \cdot I_p}}$$

Tenemos:

$$\varphi_{AB} = \frac{(M_A) \cdot 120}{8.4 \times 10^5 \cdot I_p} = 0.0139 \text{ rad} \quad (b)$$

$$\varphi_{AB} = \frac{(M_A - M_B) \cdot 100}{8.4 \times 10^5 \cdot I_p} = -0.0078 \text{ rad} \quad (c)$$

$$\varphi_{AB} = \frac{(M_A - M_B + M_C) \cdot 160}{8.4 \times 10^5 \cdot I_p} = 0.0155 \text{ rad} \quad (d)$$

Remplazando (b), (c), (d) en (a):

$$\varphi_{AD} = 0.02173 \text{ rad} \times \frac{57.3^\circ}{1 \text{ rad}} = 1.25^\circ$$

$$\varphi_{AD} = 1.25^\circ$$

## 4.4 Sistemas Hiperestáticos

### a) Parte Geométrica

Se compara geométricamente los giros de los elementos proponiendo una ecuación de compatibilidad de deformaciones.

Ecuación en función de los giros:  $\phi$

### b) Parte Estática

Se plantean ecuaciones de equilibrio estático

$$\sum M_t = 0$$

### c) Parte Física

Se calcula cada uno de los giros

$$\varphi_i = \frac{M_{t_i} \cdot L}{G \cdot I_p}$$

### d) Parte Final

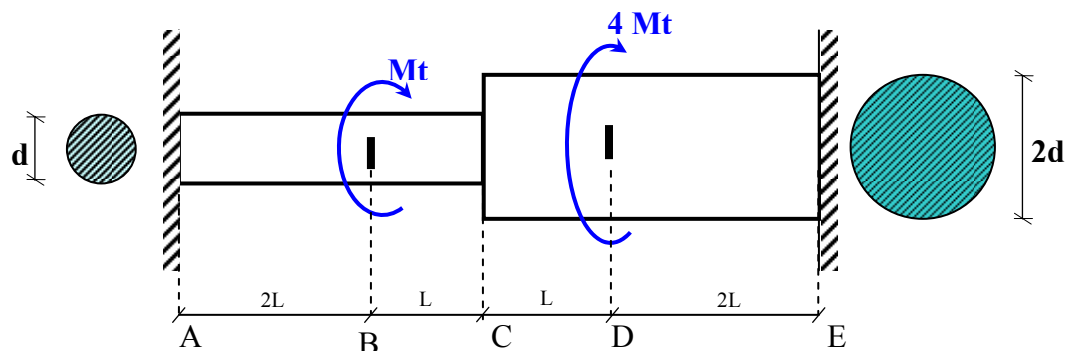
Solución de la ecuación.

### Ejemplo 2 :

Sea el árbol mostrado en la figura determinar el diagrama de momentos cortantes, tensiones cortantes y giros

#### Datos

Mt  
L  
D  
G

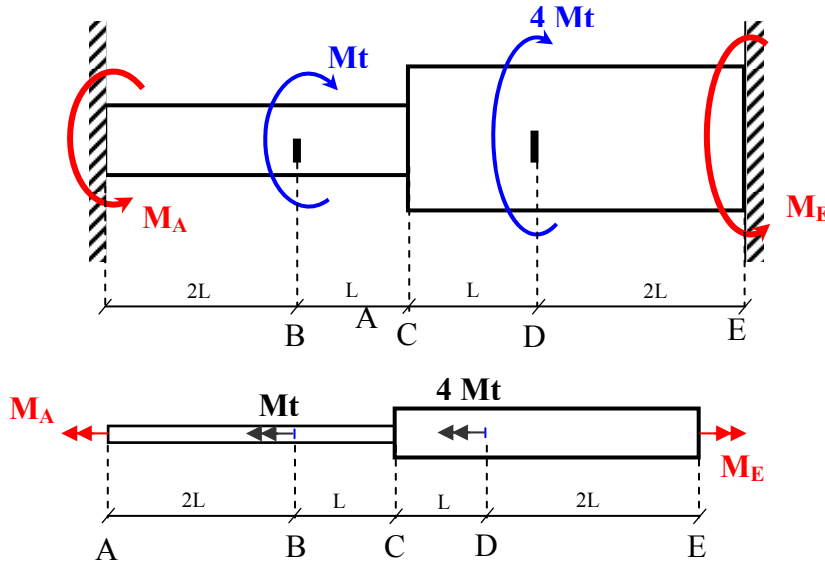


**Incógnitas**

Diagramas

 $M_t$  $\varphi$  $\tau$ **Solución****a) Parte Geométrica**

$$\varphi_{AB} + \varphi_{BC} + \varphi_{CD} + \varphi_{DE} = \varphi_E = 0 \quad (1)$$

**Ecuación de compatibilidad de deformaciones****b) Parte Estática**

$$\sum M_t = 0$$

$$M_A - M_t - 4M_t + M_E = 0$$

$$M_A + M_E = 5M_t \quad (2)$$

**Ecuación equilibrio estático****c) Parte física**

\*Cálculo de la inercia polar:

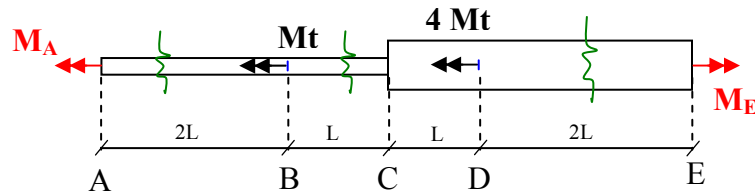
$$d \quad I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$2d \quad I_p^* = \frac{\pi \cdot (2d)^4}{32} = 16 \left( \frac{\pi \cdot d^4}{32} \right) \Rightarrow I_p^* = 16I_p$$

Utilizamos la fórmula de los giros, y analizando por tramos:

$$\varphi_i = \frac{M_{t_i} \cdot L}{G \cdot I_p}$$





Tramo AB:

$$\varphi_{AB} = \frac{M_A \cdot 2L}{G \cdot I_p}$$

Tramo BC:

$$\varphi_{BC} = \frac{(M_A - M_t) \cdot L}{G \cdot I_p}$$

Tramo CD:

$$\varphi_{CD} = \frac{(M_A - M_t) \cdot L}{G \cdot I_p^*} = \frac{(M_A - M_t) \cdot L}{G \cdot 16I_p}$$

Tramo DE:

$$\varphi_{DE} = \frac{(M_A - 5M_t) \cdot 2L}{G \cdot I_p^*} = \frac{(M_A - 5M_t) \cdot 2L}{G \cdot 16I_p}$$

③ Ecuaciones físicas

#### d) Parte Final

Reemplazando los giros en ①:

$$\varphi_{AB} + \varphi_{BC} + \varphi_{CD} + \varphi_{DE} = \varphi_E = 0$$

$$\frac{M_A \cdot 2L}{G \cdot I_p} + \frac{(M_A - M_t) \cdot L}{G \cdot I_p} + \frac{(M_A - M_t) \cdot L}{G \cdot 16I_p} + \frac{(M_A - 5M_t) \cdot 2L}{G \cdot 16I_p} = 0 \quad * 16$$

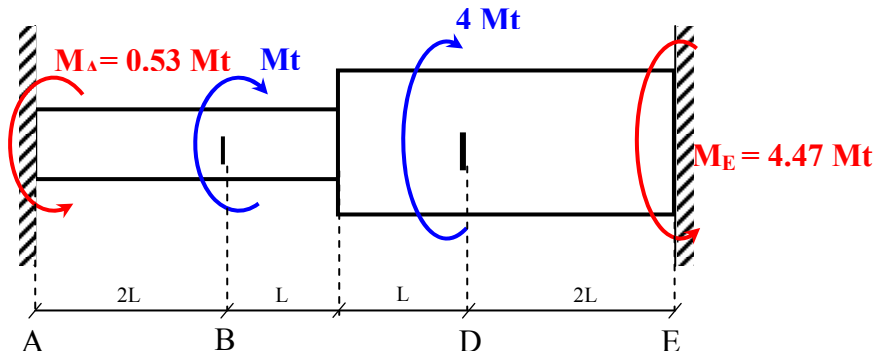
$$32M_A + 16M_A - 16M_t + M_A - 16 + 2M_A - 10M_t = 0$$

$$51M_A = 27M_t$$

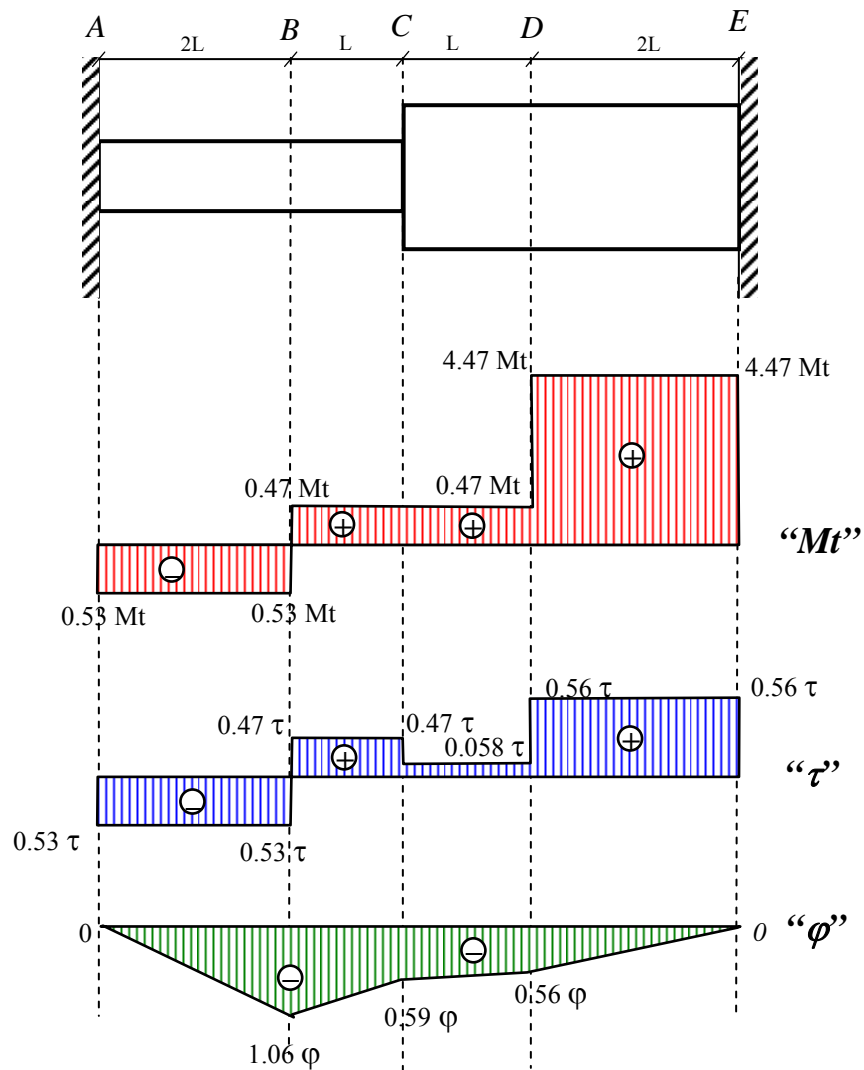
$$M_A = 0.53M_t \quad ④$$

Reemplazo ④ en ②

$$M_E = 4.47M_t$$



Diagramas:



\* Cálculo del diagrama:

$$\tau = \frac{Mt \cdot r}{I_p}$$

Tramo AB:

$$\tau_{AB} = \frac{0.53Mt \cdot r}{I_p} = -0.53\tau$$

Tramo BC:

$$\tau_{BC} = \frac{0.47Mt \cdot r}{I_p} = +0.47\tau$$

Tramo CD:

$$\tau_{CD} = \frac{0.47Mt \cdot 2r}{16Ip} = +0.058\tau$$

Tramo DE:

$$\tau_{DE} = \frac{4.47Mt \cdot 2r}{16Ip} = +0.56\tau$$

\* Cálculo de:

$$\varphi = \frac{Mt \cdot L}{G \cdot Ip}$$

Tramo AB:

$$\varphi_{AB} = \frac{0.53Mt \cdot 2l}{G \cdot Ip} = -1.06\varphi$$

Tramo BC:

$$\varphi_{BC} = \frac{0.47Mt \cdot l}{G \cdot Ip} = +0.47\varphi$$

Tramo CD:

$$\varphi_{CD} = \frac{0.058Mt \cdot l}{G \cdot 16Ip} = +0.03\varphi$$

Tramo DE:

$$\varphi_{DE} = \frac{4.47Mt \cdot 2l}{G \cdot 16Ip} = 0.56\varphi$$

\* Cálculo de los giros

$$\varphi_A = 0$$

$$\varphi_A = \varphi_{AB} = -1.06\varphi$$

$$\varphi_C = \varphi_B + \varphi_{BC} = -1.06\varphi + 0.47\varphi = -0.59\varphi$$

$$\varphi_D = \varphi_C + \varphi_{CD} = -0.59\varphi + 0.03\varphi = -0.56\varphi$$

$$\varphi_E = \varphi_D + \varphi_{DE} = -0.56\varphi + 0.56\varphi = 0$$

**Ejemplo 2**

Determinar la tensión normal que sucede en las barras elásticas que sustentan el apoyo C de la siguiente estructura mostrada en la figura.

**Datos**

$$M_t = 700 \text{ Kg.m}$$

$$L = 2.00 \text{ m}$$

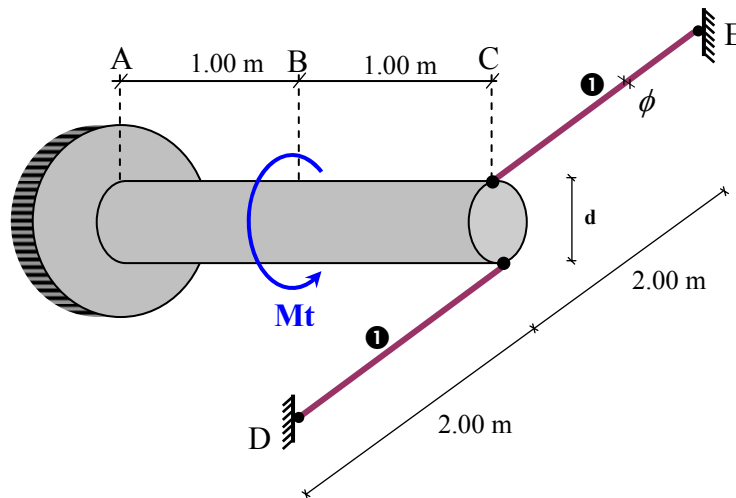
$$d = 10 \text{ cm}$$

$$G = 0.4 E$$

$$\phi = 2 \text{ cm}$$

**Incógnitas**

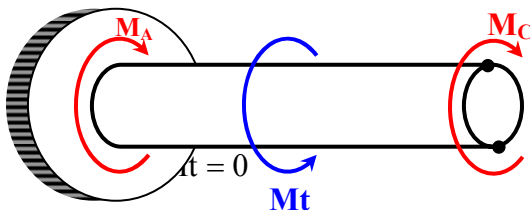
$$\sigma_1 = ?$$

**Solución****a) Parte Geométrica**

$$\varphi_A = 0$$

$$\varphi_C + \varphi_{CB} + \varphi_{BA} = 0 \quad \textcircled{1}$$

Ecuación de compatibilidad de deformaciones

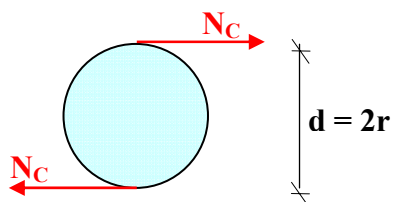
**b) Parte Estática**

$$M_A + M_C = M_t \quad \textcircled{2}$$

Ecuación equilibrio estático

**c) Parte física**

- Cálculo de  $\varphi_C$ :

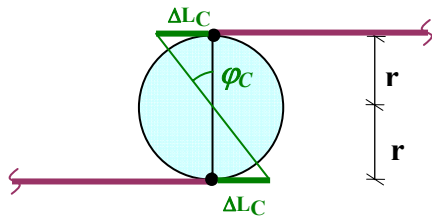


$$M_C = N_C * 2r$$

despejando  $N_C$

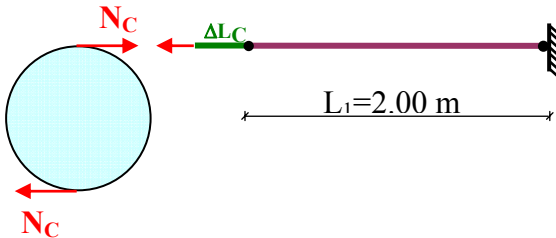
$$N_C = \frac{M_C}{2r} \quad \text{(a)}$$

Las fuerzas  $N_C$  producen deformación:



$$\varphi_C = \frac{\Delta L_C}{r} \quad (b)$$

Si seguimos analizando la barra 1



$$\Delta L_C = \frac{N_C \cdot L_1}{E \cdot A_\phi} \quad (c)$$

Reemplazando (c) en (b)

$$\varphi_C = \frac{\frac{N_C \cdot L_1}{E \cdot A_\phi}}{r} \Rightarrow \varphi_C = \frac{N_C \cdot L_1}{E \cdot A_\phi \cdot r} \quad (d)$$

finalmente reemplazando (a) en (d)

$$\varphi_C = \frac{\frac{M_C \cdot L_1}{2r}}{E \cdot A_\phi \cdot r} \Rightarrow \varphi_C = \frac{M_C \cdot L_1}{2E \cdot A_\phi \cdot r^2} \quad (3a)$$

Utilizando la ecuación física de giros:  $\varphi = \frac{M \cdot L}{G \cdot I_p}$  planteamos :

- **Cálculo de  $\varphi_{CB}$ :**

$$\varphi_{CB} = \frac{M_C \cdot 100}{G \cdot I_p} \quad (3b)$$

- **Cálculo de  $\varphi_{BA}$ :**

$$\varphi_{BA} = \frac{(M_C - M_t) \cdot 100}{G \cdot I_p} \quad (3c)$$

#### d) Parte Final

Reemplazando los giros en ①:

$$\frac{M_C \cdot 100}{2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot 2^2}{4} \cdot 5^2} + \frac{M_C \cdot 100}{0.4E \cdot \frac{\pi \cdot 10^4}{32}} + \frac{(M_C - 70000) \cdot 100}{0.4E \cdot \frac{\pi \cdot 10^4}{32}} = 0$$

Simplificando se obtiene:

$$M_C = 10000 \text{ Kg.cm} \quad (4)$$

Reemplazo (4) en (2)

$$M_A = 60000 \text{ Kg.cm}$$

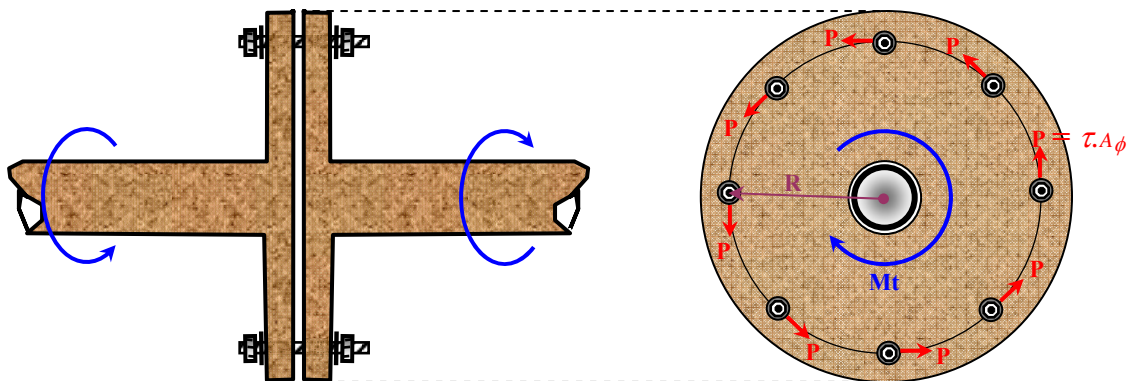
por tanto  $\sigma_1$  será:

$$\sigma_1 = \frac{N_C}{A_\phi} = \frac{M_C}{2r \cdot A_\phi} = \frac{10000}{2 \cdot 5 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2}{4}}$$

$$\sigma_1 = 318 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tracción.}$$

#### 4.4 Acoplamiento o bridas empernadas:

Para transmitir torsión entre dos elementos se realizan acoplamientos entre sí a través de uniones con pernos como se muestra en la figura.



$$\sum M_t = 0$$

$$M_t = n \cdot P \cdot R = n \cdot \tau \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot R \quad (1a)$$

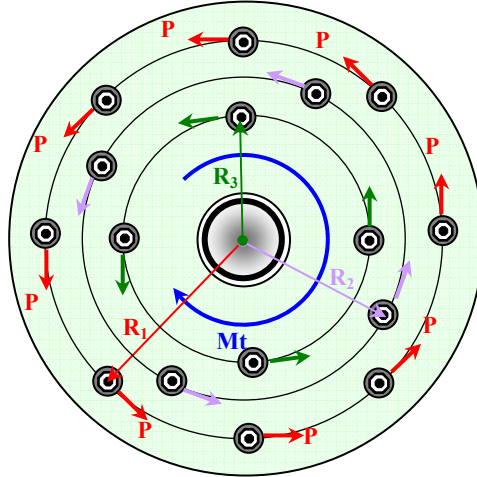
donde: n = Número de secciones de pernos

$\tau$  = Tensión cortante

$\phi$  = Diámetro de la sección del perno

R = radio

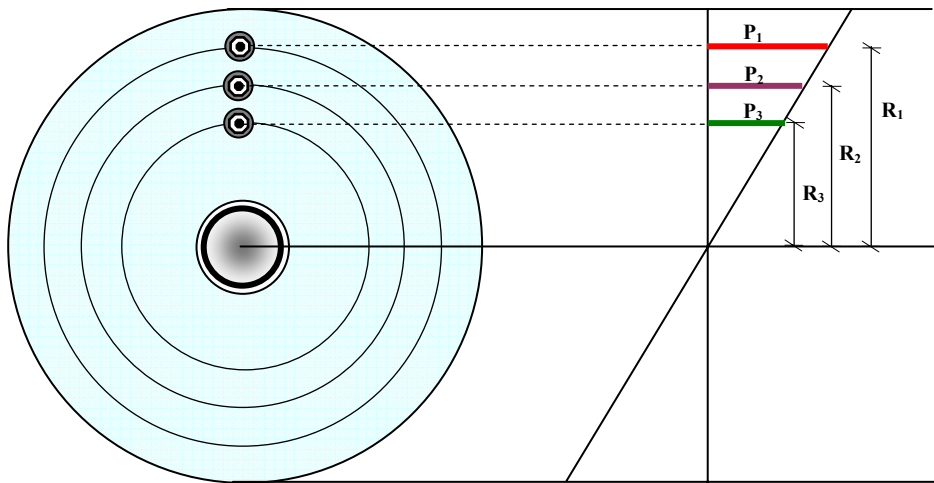
Si se tiene más de un radio:



$$\sum Mt = 0$$

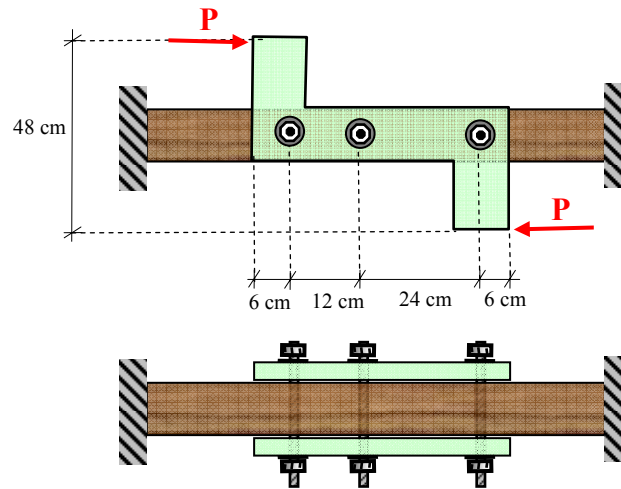
$$Mt = n_1 * P_1 R_1 + n_2 * P_2 R_2 + n_3 * P_3 R_3 + \dots + n_m * P_m R_m$$

(1b)

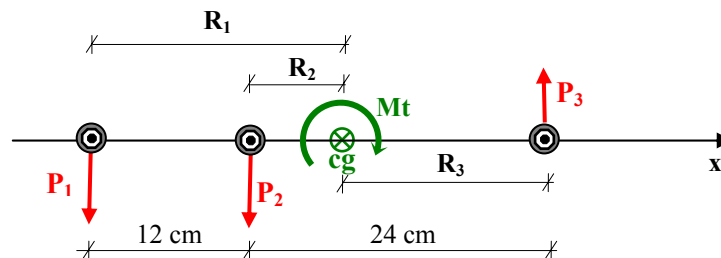


**Ejemplo 3**

Determinar el diámetro ( $\varnothing$ ) de la sección del roblón que puede soportar una carga  $P=8000$  kg de tal manera de no sobrepasar la tensión admisible de corte de  $700 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Solución**

a) Cálculo del baricentro del grupo de roblones.-



$$X_G = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{0 + A * 12 + A * 36}{3 * A} = 16 \text{ cm}$$

b) Cálculo de los radios

$$R_1 = 16 \text{ cm}$$

$$R_2 = 4 \text{ cm}$$

$$R_3 = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Pcrítico} = P_3$$

Por estar más alejado del centro de gravedad

c) Aplicación de la 1<sup>era</sup> ecuación

$$Mt = P_1 R_1 + P_2 R_2 + P_3 R_3 \quad (1)$$



**d) Aplicación de la 2<sup>da</sup> ecuación**

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3}$$



$$P_1 = \frac{P_3}{R_3} R_1$$

$$P_2 = \frac{P_3}{R_3} R_2$$

②

**e) Parte final**

② en ①

$$Mt = \frac{P_3}{R_3} R_1^2 + \frac{P_3}{R_3} R_2^2 + \frac{P_3}{R_3} R_3^2$$

$$P * d = \frac{P_3}{R_3} (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2)$$

$$P * d = \frac{P_3}{R_3} \sum R_i^2 \quad ③$$

Sabiendo que: 1)  $\tau = \frac{P}{A}$

2)  $A = 2 * A\phi$  (Dos áreas de corte por roblon)

3)  $P_{crit} = P_3$

Entonces tenemos que:

$$\tau_{adm} = \frac{P_3}{2A\phi}$$



$$P_3 = 2 * \tau_{adm} * A\phi$$

Reemplazando en ③

$$P * d = \frac{\tau_{adm} 2A\phi}{R_3} \sum R_i^2$$

$$P * d = \frac{\tau_{adm} * 2 * \frac{\pi \phi^2}{4}}{R_3} \sum R_i^2$$

Despejando  $\phi$  se tiene:

$$\phi = \sqrt{\frac{2 * P * d * R_3}{\tau_{adm} * \pi * \sum r_i^2}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{2 * 8000 * 48 * 20}{600 * \pi * (16^2 + 4^2 + 20^2)}}$$

$$\phi = 3.48 \text{ cm}$$

### Ejemplo 2

Determinar el valor de la fuerza P que puede soportar el grupo de roblones de tal manera de no sobrepasar la tensión admisible de corte de  $700 \text{ Kg/cm}^2$ .

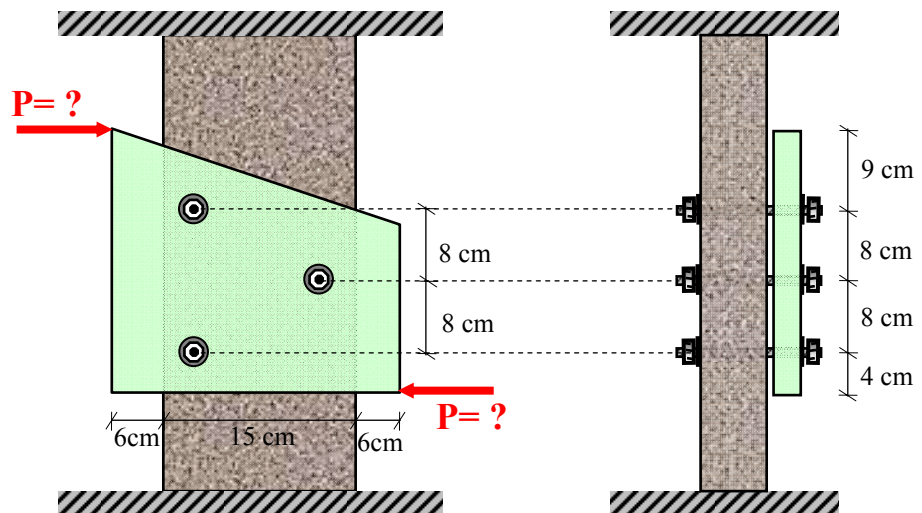
#### Datos

$$\tau_{adm} = 700 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi_R = 16 \text{ mm}$$

#### Incógnitas

$$P_{\text{máx}} = ?$$



#### Solución

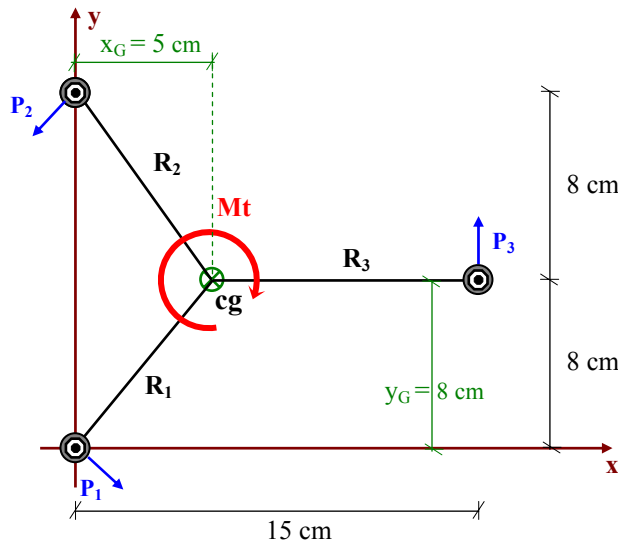
Fórmulas a utilizar:

$$1. \quad M_t = \sum M_i P_i R_i$$

$$2. \quad \frac{P_1}{R_1} + \frac{P_2}{R_2} + \dots = \frac{P_n}{R_n}$$

$$3. \quad \tau = \frac{P}{A_\phi}$$

## a) Cálculo del baricentro del grupo de roblones.-



$$M_t = P_1 R_1 + P_2 R_2 + P_3 R_3$$

## Cálculo del baricentro:

$$x_G = \frac{0 + 0 + A \cdot 15}{3A} = 5 \text{ cm}$$

$$y_G = \frac{0 + A \cdot 16 + A \cdot 8}{3A} = 8 \text{ cm}$$

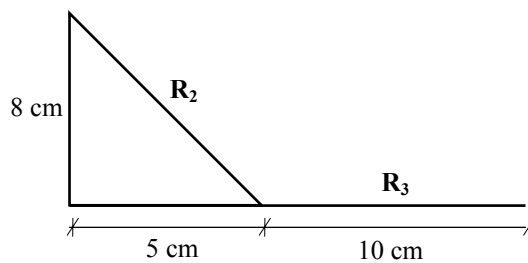
## b) Cálculo del radio:

$$R_1 = R_2 = \sqrt{5^2 + 8^2} = 9.43 \text{ cm}$$

$$R_3 = 10 \text{ cm}$$

$$P_{\text{crítico}} = P_3$$

Por ser el m'as alejado  
del centro de gravedad



Entonces la ecuación será

$$P \cdot d = P_1 R_1 + P_2 R_2 + P_3 R_3 \quad (1)$$

## c) Planteo de la ecuación 2

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3} \text{ como } P_3 \text{ es crítico, dejamos todo en función de } \frac{P_3}{R_3}$$

entonces:

$$P_1 = \frac{P_3}{R_3} R_1$$

$$P_2 = \frac{P_3}{R_3} R_2$$

②

② en ①

$$P \cdot d = \frac{P_3}{R_3} R_1^2 + \frac{P_3}{R_3} R_2^2 + \frac{P_3}{R_3} R_3^2$$

$$P \cdot d = \frac{P_3}{R_3} (R_1^2 + R_2^2 + R_3^2)$$

$$P \cdot d = \frac{P_3}{R_3} \sum R_i^2 \quad \text{③}$$

de la fórmula:

$$\tau = \frac{P_3}{A\phi} \quad \longrightarrow \quad P_3 = \tau_{\text{adm}} \cdot A\phi$$

Reemplazando en ③

$$P \cdot d = \frac{\tau_{\text{adm}} \cdot A\phi}{R_3} \sum R_i^2$$

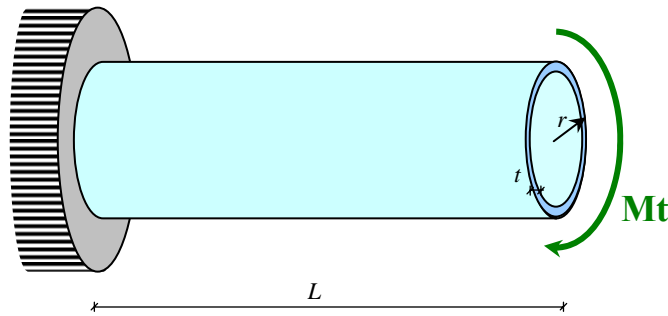
$$P = \frac{\tau_{\text{adm}} \cdot \frac{\pi \phi^2}{4}}{R_3 \cdot d} \sum R_i^2$$

Reemplazando datos

$$P = \frac{700 \cdot \frac{\pi \cdot (1.6)^2}{4}}{10 \cdot 29} \cdot (9.43^2 + 9.43^2 + 10^2)$$

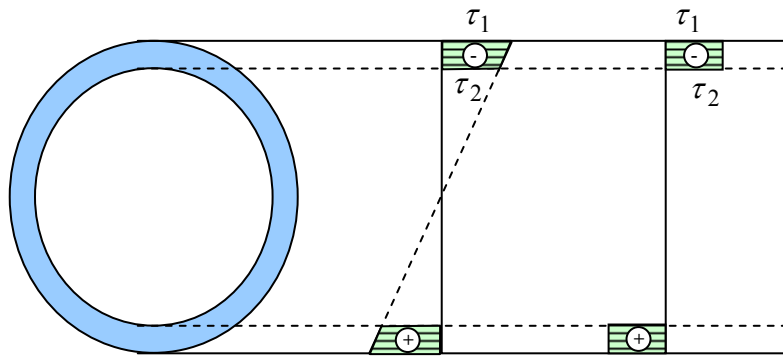
$$P_{\text{máx}} = 1348.46 \text{ Kg}$$

## 4.5 Torsión en tubos de pared delgada



### 4.5.1 Condiciones de pared delgada

- a)  $t \ll r$   $\approx t = \frac{r}{10}$
- b) Las tensiones  $\tau$  se distribuyen uniformemente en el espesor  $t$  de la pared

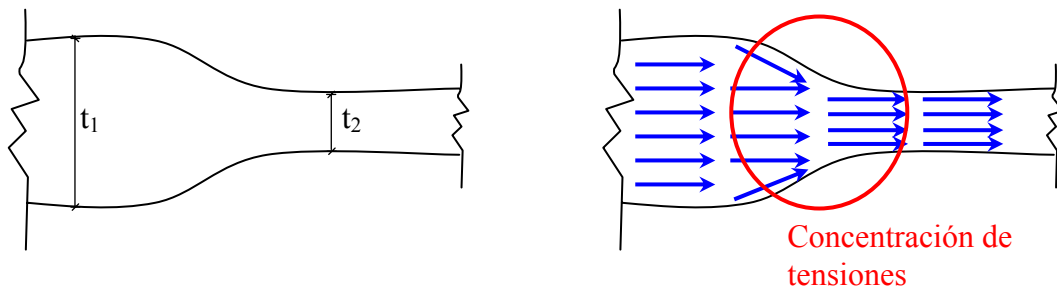


$$\tau_1 \neq \tau_2$$

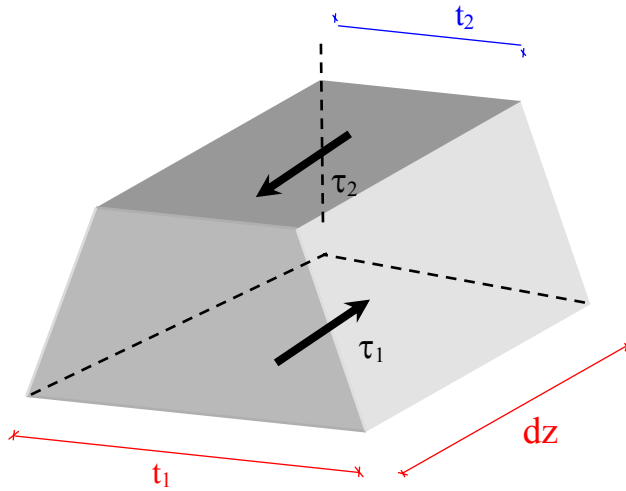
$$\tau_1 = \tau_2$$

Tensión Uniforme

- c) Consta que no existe cambios bruscos en la sección que distorsiona el flujo de tensiones.



- d) Flujo constante de tensiones de corte independiente al espesor de la pared “t”.



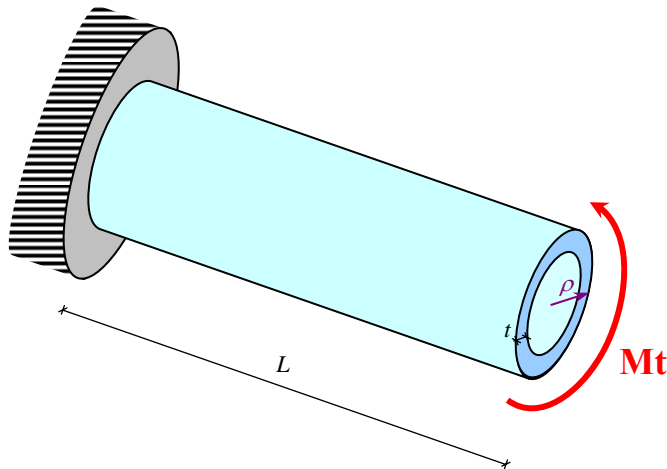
$$\sum F = 0$$

$$\tau_1 \cdot dz \cdot t_1 - \tau_2 \cdot dz \cdot t_2 = 0$$

$$\tau_1 \cdot t_1 = \tau_2 \cdot t_2$$

Flujo constante

#### 4.5.2 Formulación de la ecuación

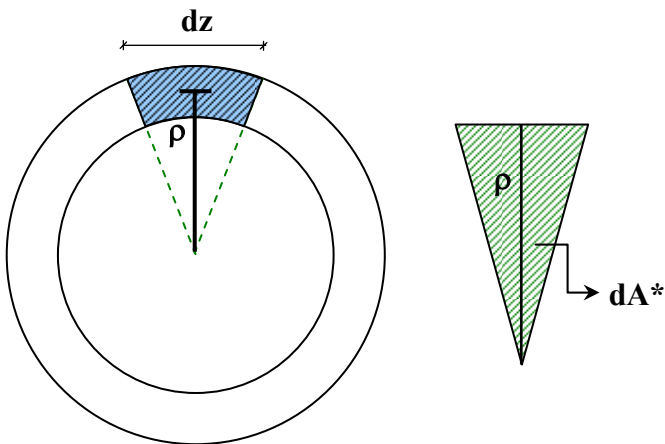


$$\sum Mt = 0$$

$$Mt - \int_A \tau \cdot \rho \cdot dA = 0$$

$$dA = t dz$$

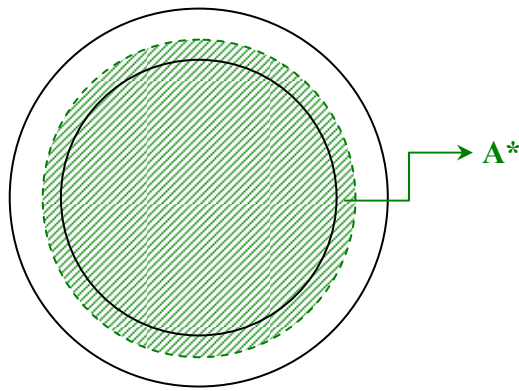
$$Mt = \int \tau \cdot t \cdot \rho \cdot dz$$



$$dA^* = \frac{\rho \cdot dz}{2}$$

$$2dA^* = \rho \cdot dz$$

$$Mt = \tau \cdot t \cdot \int 2 \cdot dA^*$$



$$Mt = 2 \cdot \tau \cdot t \cdot \int_A dA^*$$

$A^*$  = El área inscrito en el perímetro medio de la pared delgada

$$Mt = 2 \cdot \tau \cdot t \cdot A^*$$

$$\tau = \frac{Mt}{2 \cdot t \cdot A^*}$$

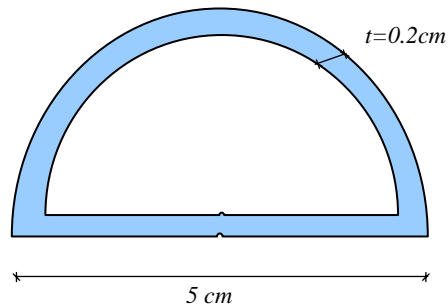
4.7

### Ejemplo 3

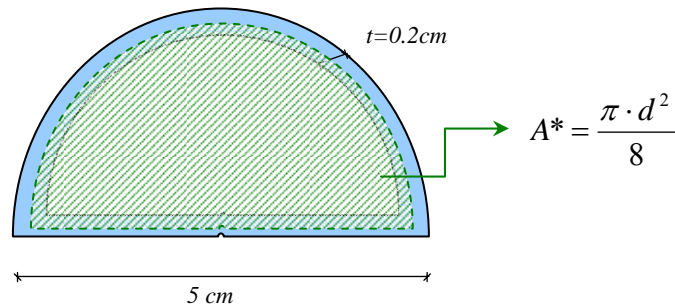
Un tubo de pared delgada de forma semicircular, presidiendo de la concentración de tensiones que se puedan producir en las esquinas y su tensión admisible al corte es de  $450 \text{ Kg./cm}^2$  determinar el momento torsor que es capaz de soportar.

#### Datos

$$\tau_{adm} = 450 \text{ kg / cm}^2$$



#### Solución



De la ecuación 4.7

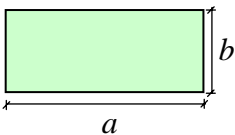
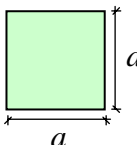
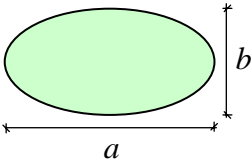
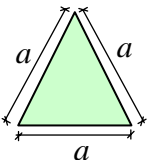
$$\tau = \frac{Mt}{2 \cdot t \cdot A^*}$$

$$Mt = \tau \cdot 2 \cdot t \cdot A^*$$

$$Mt = 2 \cdot 450 \cdot 0.2 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2}{8}$$

$$Mt = 1767.15 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

## 4.6 Torsión en secciones no circulares.-

FORMA	Rectángulo	Cuadrado	Elipse	Triángulo Equilátero
EFEECTO				
$\tau_{m\acute{a}x}$	$K_1 \cdot \frac{Mt}{a \cdot b^2}$	$4.81 \cdot \frac{Mt}{a^3}$	$16 \cdot \frac{Mt}{\pi \cdot a \cdot b^2}$	$20 \cdot \frac{Mt}{a^3}$
$\varphi$	$K_2 \cdot \frac{Mt \cdot L}{G \cdot a \cdot b^3}$	$7.1 \cdot \frac{Mt \cdot L}{G \cdot a^4}$	$\frac{(a^2 + b^2)}{16\pi} \cdot \frac{Mt \cdot L}{G \cdot a^3 \cdot b^3}$	$46 \cdot \frac{Mt \cdot L}{G \cdot a^4}$

Valores  $K_1$  y  $K_2$  para sección rectangular:

a/b	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	$\infty$
$K_1$	4,81	4,33	4,07	3,75	3,55	3,34	3,26	3,00
$K_2$	7,10	5,10	4,37	3,84	3,56	3,34	3,26	3,00