

Esfuerzos Principales y Criterios de Falla

• Esfuerzos principales

$$\sigma_{n_{\max}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$
$$\tau_{\max} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$1, 2 = x, y \text{ ó } z$

$$\tan(2\theta_n) = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

θ_n : Ángulo para el cual los est. ppales. son máximos

• Criterios de Falla

↳ Factor de Seguridad: $F_{adm} = \frac{F_{\max}(\sigma)}{F.S.(\sigma)}$; F_{adm} : Fuerza máxima que debe aplicarse por seguridad
 $F_{\max}$: Fca máxima que debe aplicarse para que ocurra falla

↳ Criterio del est. normal máximo: $\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_o}{F.S.}$; σ_o : Límite de Fluencia

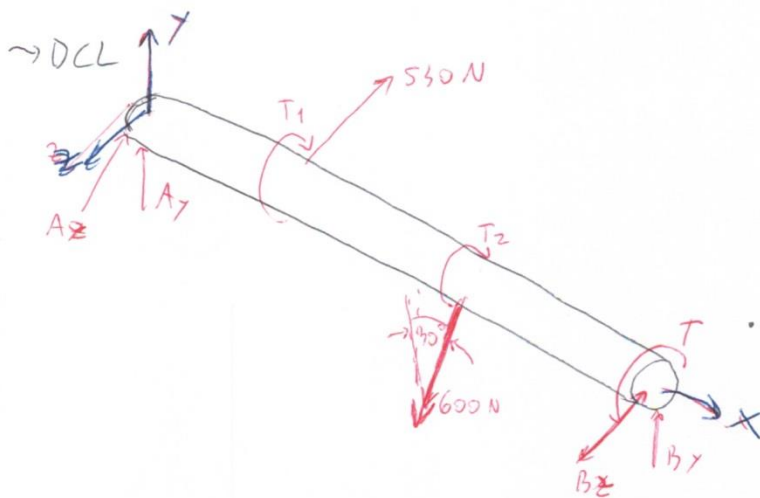
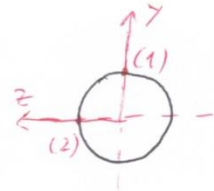
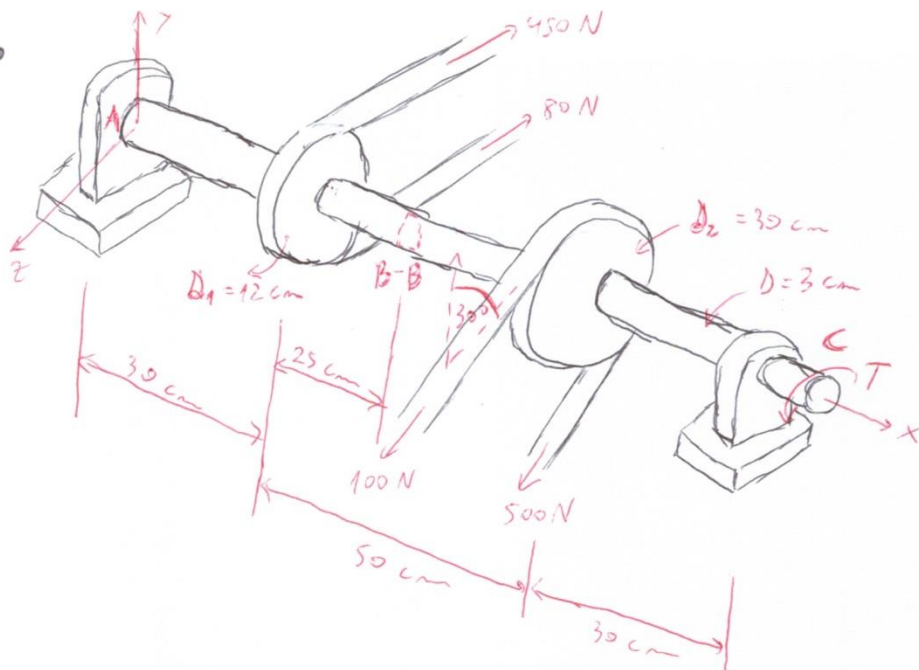
↳ Criterio del est. de corte máximo (Tresca)

$$\tau_{adm} \leq \frac{\tau_o}{F.S.} = \frac{\sigma_o}{2F.S.}$$

↳ Criterio de Von Mises

$$\sigma_{vm} \leq \frac{\sigma_o}{F.S.} ; \sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

$\uparrow \quad \uparrow$
Est. ppales



$$T_1 = (450 - 80) \cdot \frac{0,12}{2} = 22,2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$T_2 = (500 - 100) \cdot \frac{0,3}{2} = 60 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sum T_x = 0 \Rightarrow -T_1 - T_2 + T = 0$$

$$\therefore T = T_1 + T_2 = 82,2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sum_A M_z = 0 \Rightarrow -600 \cdot \cos 30 \cdot 0,8 + B_y \cdot 1,1 = 0 \Rightarrow B_y = 377,9 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow B_y + A_y - 600 \cdot \cos 30 = 0 \Rightarrow A_y = 141,72 \text{ N}$$

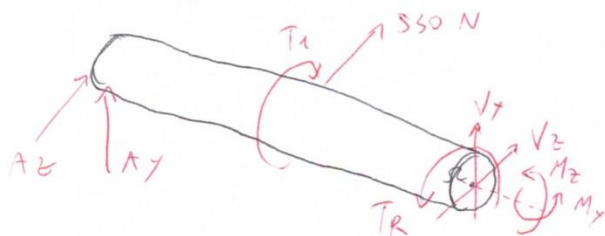
$$\sum_A M_y = 0 \Rightarrow 530 \cdot 0,3 - 600 \cdot \sin 30 \cdot 0,8 + B_z \cdot 1,1 = 0$$

$$B_z = 73,64 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow -A_z - B_z + 600 \cdot \sin 30 + 530 = 0$$

$$A_z = -303,64 \text{ N}$$

• Fuerzas y momentos internos en B-B; Corte imaginario:



$$\sum F_y = 0 \rightarrow A_y + V_y = 0 \rightarrow V_y = -141,72 \text{ N}$$

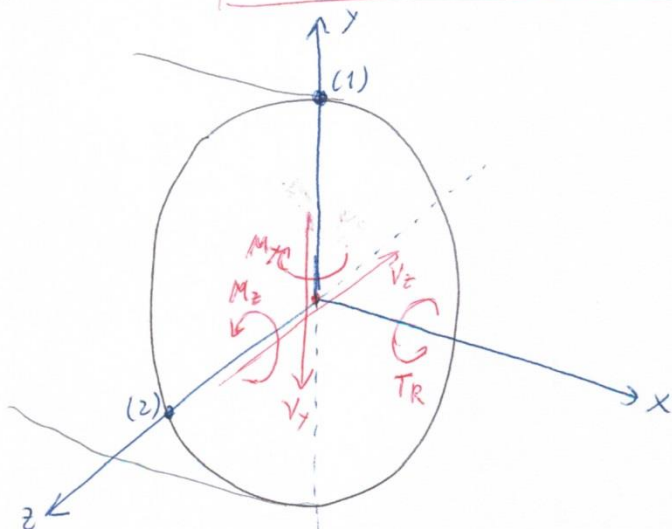
$$\sum F_z = 0 \rightarrow -A_z - 530 - V_z = 0$$

$$V_z = -A_z - 530 = -226,36 \text{ N}$$

$$\sum M_y = 0 \rightarrow M_y - 530 \cdot 0,25 - A_z \cdot 0,55 = 0 \Rightarrow M_y = -34,5 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow M_z - A_y \cdot 0,55 = 0 \Rightarrow M_z = 77,95 \text{ N}$$

$$\sum T_x = 0 \rightarrow T_R = T_1 = 22,2 \text{ N}\cdot\text{m}$$



• Punto (1):

(i): No hay esf. de corte por fda de corte V_y

(ii): Hay esf. de corte τ_{xz} por fda de corte V_z

(iii): No hay esf. axial por flexión M_y

(iv): Hay esf. axial σ_x por flexión M_z

(v): Hay esf. de corte τ_{xz} por torsión T_R

• Punto (2):

(i): Esf. de corte τ_{xy} por fda. de corte V_y

(ii): No hay esf. de corte por fda. de corte V_z

(iii): Esf. axial σ_x por flexión M_y

(iv): No hay esf. axial por flexión M_z

(v): Esf. de corte τ_{xy} por torsión T_R

• Cálculo de esfuerzos

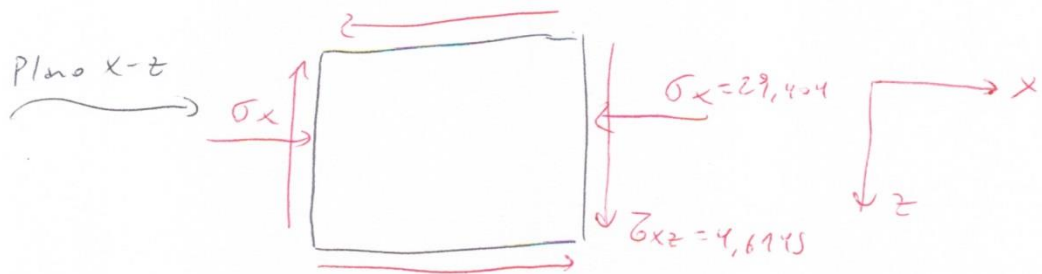
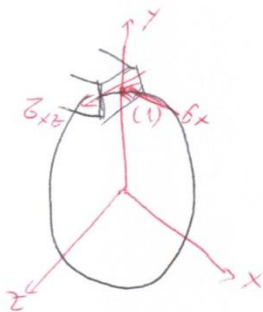
$$(1) \therefore \tau_{xz} = \frac{V_z}{I t} \cdot \int_0^{D/2} y \, dA = \frac{226,364}{\left(\frac{\pi D^4}{64}\right) D} \cdot \frac{2}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^3 = 0,42699 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \frac{M_z}{I} y = -\frac{77,942 \cdot D/2}{\left(\frac{\pi D^4}{64}\right)} = -29,404 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = \frac{T_R \cdot \left(\frac{D}{2}\right)}{J} = \frac{T_R \left(\frac{D}{2}\right)}{\left(\frac{\pi D^4}{32}\right)} = 4,1875 \text{ MPa}$$

$$\therefore \sigma_{xT} = -29,404 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xzt} = 4,6145 \text{ MPa}$$



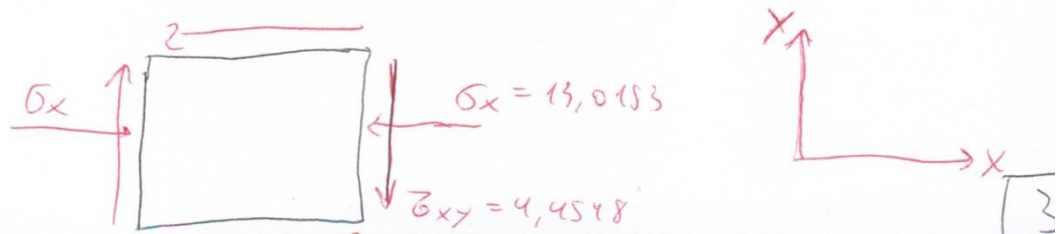
$$(2) \therefore \tau_{xy} = \frac{V_y}{I t} \cdot \int_0^{D/2} x \, dA = -0,2673 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I} x = -\frac{34,5}{\left(\frac{\pi D^4}{64}\right)} \cdot \frac{D}{2} = -13,0153 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{xT} = -13,0153 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T_R \cdot r}{J} = -4,1875 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xyt} = -4,4548 \text{ MPa}$$



• Cálculo de est. principales y de Von Mises:

$$\sigma_{m,n} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \underbrace{\sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau_{12}^2}}_{\tau_{max}} \quad 1, 2 = x, y \text{ ó } z$$

$$\begin{aligned} (1) \quad \sigma_{m,n} &= \frac{-\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} = \frac{-13,0155}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-13,0155}{2}\right)^2 + 4,6143^2} \\ &= \frac{-29,404}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-29,404}{2}\right)^2 + 4,6143^2} \\ &= -14,702 \pm 15,409 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= -30,11 \text{ MPa} \\ \sigma_n &= 0,707 \text{ MPa} \\ \tau_{max} &= \pm 15,409 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \sigma_{vm} &= \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_n^2 - \sigma_m \cdot \sigma_n} \\ &= \sqrt{(-30,11)^2 + 0,707^2 + 30,11 \cdot 0,707} \end{aligned}$$

$$\sigma_{vm} = 30,47 \text{ MPa} = \frac{\sigma_0}{F.S} \Rightarrow \boxed{F.S = 3,282}$$

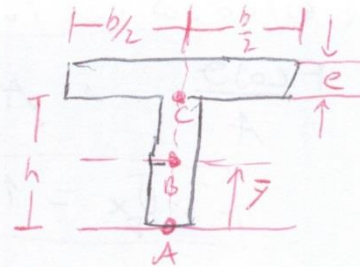
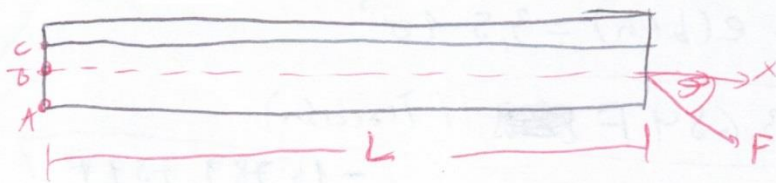
$$\begin{aligned} (2) \quad \sigma_{m,n} &= \frac{(-13,0155)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-13,0155}{2}\right)^2 + (-4,4548)^2} \\ &= -6,508 \pm 7,886 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= -14,394 \text{ MPa} \\ \sigma_n &= 1,378 \text{ MPa} \\ \tau_{max} &= \pm 7,886 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\therefore \sigma_{vm} = \sqrt{(-14,394)^2 + (1,378)^2 + 14,394 \cdot 1,378}$$

$$\sigma_{vm} = 15,13 = \frac{\sigma_0}{F.S} \Rightarrow \boxed{F.S = 6,609}$$

P2/:



$L = 2\text{ m}; h = 20\text{ cm}; b = 15\text{ cm}; e = 1\text{ cm}; \theta = 50^\circ \rightarrow \parallel \text{ek}$

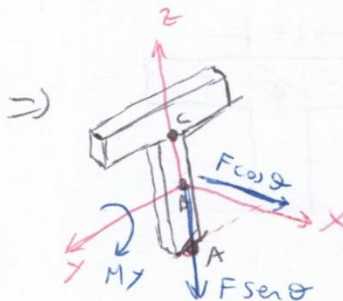
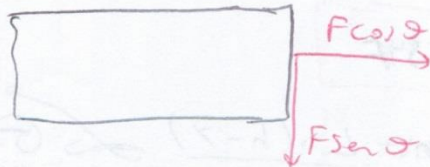
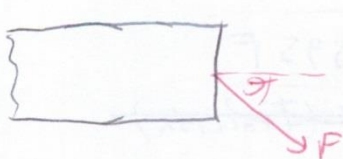
• Calculando $\bar{y}$ e $\bar{I}_2$

$\rightarrow I_1 = \frac{b \cdot e^3}{12} = \frac{0,15 \cdot 0,01^3}{12} = 1,25 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$
 $\rightarrow I_2 = \frac{e h^3}{12} = \frac{0,01 \cdot 0,2^3}{12} = 6,667 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$

$\rightarrow \bar{y} = \frac{\sum \bar{y}_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{(h + \frac{e}{2}) \cdot (e \cdot b) + \frac{h}{2} \cdot (e \cdot h)}{e \cdot b + e \cdot h} = 0,145 \text{ [m]}$

$\rightarrow \bar{I}_2 = \underbrace{[I_1 + (\bar{y}_1 - \bar{y})^2 (e \cdot b)]}_{\bar{I}_1} + \underbrace{[I_2 + (\bar{y} - \bar{y}_2)^2 (e \cdot h)]}_{\bar{I}_2} = 1,614 \cdot 10^{-5} \text{ [m}^4\text{]}$

• Veamos el estado de esfuerzos en la zona empotrada:



- (A):
- Esf. de tracción por fzd. axial de $F \cos \theta$
 - Esf. de compresión por momento flector $M_y = F \sin \theta \cdot L$
 - No hay esf. de corte por fzd. de corte $F \sin \theta$
- (B):
- Esf. de tracción por fzd. axial $F \cos \theta$
 - Esf. de corte por fzd. de corte $F \sin \theta$
 - No hay esf. normal por momento flector M_y
- (C):
- Esf. de tracción por fzd. axial $F \cos \theta$
 - Esf. de ~~compresión~~ tracción por momento flector M_y
 - Esf. de corte por fzd. de corte $F \sin \theta$

• Cálculo de esfuerzos (en función de F)

$$(A): \sigma_x = \frac{F \cos \theta}{A} \quad n \quad A = e(b+h) = 3,5 \cdot 10^{-3} [m]$$

$$\therefore \sigma_x = 183,654 F$$

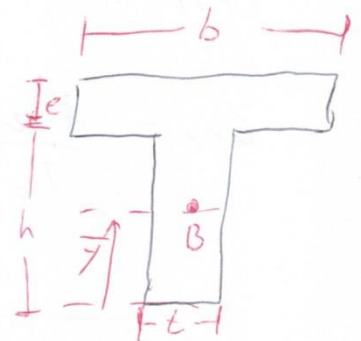
$$\sigma_x = \frac{M_y \cdot y}{I_z} = \frac{F \sin \theta \cdot L \cdot \bar{y}}{I_z} \rightarrow \sigma_x = -13775,907 F$$

$$\therefore \sigma_{x_{Total}} = -13589,853 F$$

$$(B) \sigma_x = \frac{F \cos \theta}{A} = 183,654 F$$

$$\bar{z}_{xy} = \frac{V(x)}{I_z t} \int y dA$$

$$\begin{aligned} V &= -F \sin \theta \\ t &= e \\ y &= 0 \\ c &= h + e - \bar{y} \end{aligned}$$



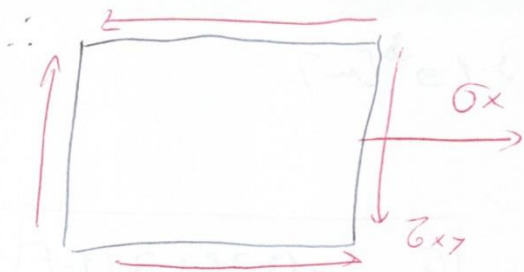
$$dA = \begin{cases} e d\zeta & -\bar{y} < \zeta < h - \bar{y} \\ b d\zeta & h - \bar{y} < \zeta < h + e - \bar{y} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \int y dA = \int_0^{h-\bar{y}} e \zeta d\zeta + \int_{h-\bar{y}}^{h+e-\bar{y}} b \zeta d\zeta =$$

$$= \frac{e}{2} (h - \bar{y})^2 + \frac{b}{2} ((h + e - \bar{y})^2 - (h - \bar{y})^2)$$

$$\therefore \bar{z}_{xy} = \frac{-F \sin \theta}{2 I_z e} (e (h - \bar{y})^2 + b ((h + e - \bar{y})^2 - (h - \bar{y})^2))$$

$$\therefore \bar{z}_{xy} = -499,2896 F$$



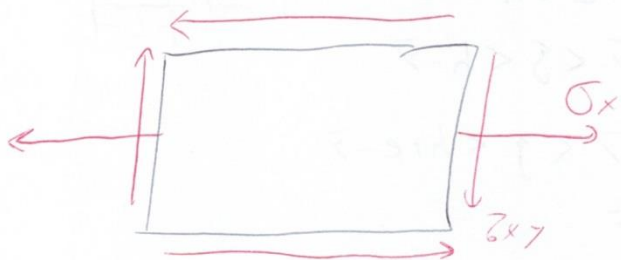
$$\sigma_x = 183,654 \text{ F}$$

$$\tau_{xy} = 499,2896 \text{ F}$$

(C) $\sigma_x = 183,654 \text{ F}$ (for $x=0$)

$$\sigma_x = \frac{F \cdot \sin \theta \cdot L}{I_z} \cdot (h - \bar{y}) = 5224,43 \text{ F}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{F \sin \theta}{I_z \cdot e} \int_{h-\bar{y}}^{h-\bar{y}} \xi \cdot b \, d\xi \Rightarrow \tau_{xy} = -427,4536 \text{ F}$$



$$\sigma_x = 5408,085 \text{ F}$$

$$\tau_{xy} = 427,4536 \text{ F}$$

• Calculando as f. principais:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_m = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

(A) $\sigma_x = -13589,853 \text{ F} \Rightarrow \sigma_n = -13589,853 \text{ F}$
 $\sigma_z = 0$

(B) $\sigma_x = 183,654 \text{ F}$
 $\tau_{xy} = -499,2896 \text{ F}$ } $\sigma_n = 599,49 \text{ F}$
 $\sigma_z = -415,836 \text{ F}$

$$(c) \left. \begin{aligned} \sigma_x &= 5408,088 \text{ F} \\ \tau_{xy} &= 427,4836 \text{ F} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \sigma_1 &= 5441,665 \text{ F} \\ \sigma_2 &= -33,5773 \text{ F} \end{aligned}$$

• Aplicando Von Mises $\left(\sigma_{Adm} = \frac{\sigma_2}{F.S.} \right) \wedge \left(\sigma_{Adm} = \sigma_{vm} \right)$

$$(A): \sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_2} = 143589,853 \text{ F} = \frac{340 \cdot 10^6}{2,5}$$

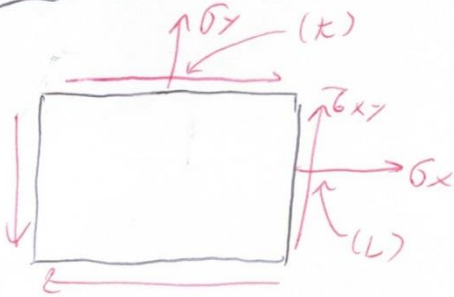
$$\therefore F_A = 10007,467 \text{ N}$$

$$(B): \sigma_{vm} = 884,07995 \text{ F} = \frac{340 \cdot 10^6}{F.S.} \Rightarrow F_B = 153832,24 \text{ N}$$

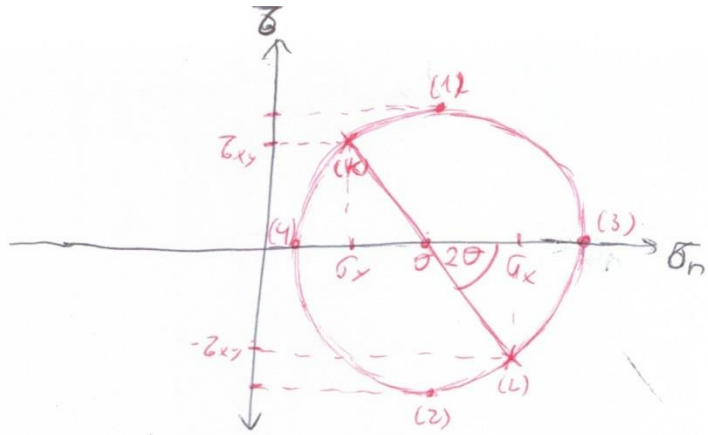
$$(C): \sigma_{vm} = 5488,53 \text{ F} = \frac{340 \cdot 10^6}{F.S.} \Rightarrow F_C = 24915,128 \text{ N}$$

∴ La carga máxima aplicable es $F_A = 10007,467 \text{ N}$

P3) Círculo de Mohr



* Si τ_{xy} gira cuadrado d.f. en el sentido de las manecillas del reloj $\Rightarrow \tau_{xy} > 0$



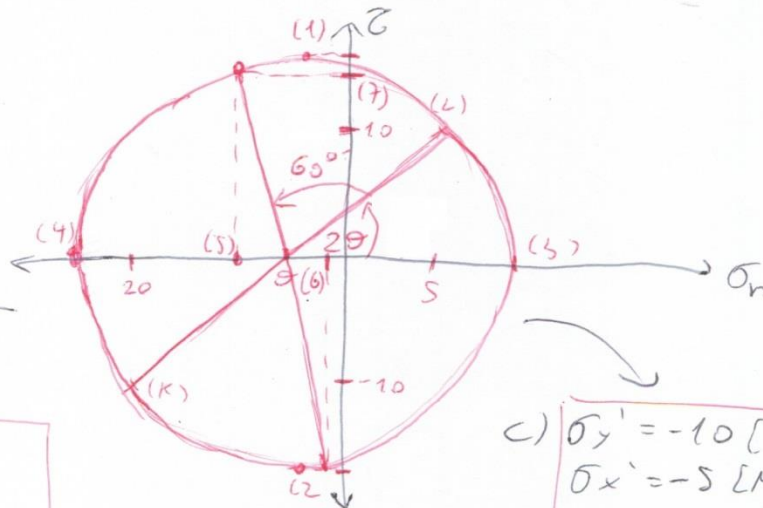
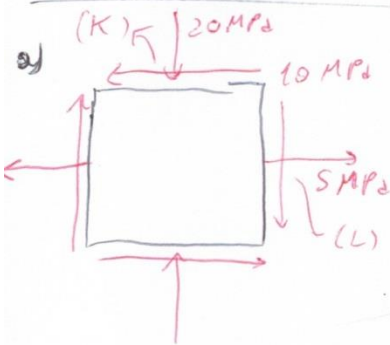
(1), (2): Esfuerzos de corte máximos y mínimos
(3), (4): Esfuerzos normales máximos y mínimos
 θ : Ángulo que debe rotar el cuadrado diferencial para lograr los esf. normales

Criterios de Falla

↳ Criterio del esfuerzo normal máximo: $\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_o}{F.S.}$ $\wedge \sigma_o = \sigma_1$

↳ Criterio del esfuerzo de corte máximo (Tresca): $\tau_{adm} \leq \frac{\tau_o}{F.S.}$ $\wedge \tau_o = \frac{\sigma_1}{2}$

↳ Criterio de Von Mises: $\sigma_{VM} \leq \frac{\sigma_o}{F.S.}$ $\wedge \sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$
 $\sigma_o = \sigma_y$



$$\sigma_1 = 8.1 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_2 = -24 \text{ [MPa]}$$

$$2\theta = 38^\circ \Rightarrow \theta = 19^\circ$$

$$b) \tau = 16.1 \text{ [MPa]}$$

$$c) \sigma_y' = -10 \text{ [MPa]}$$

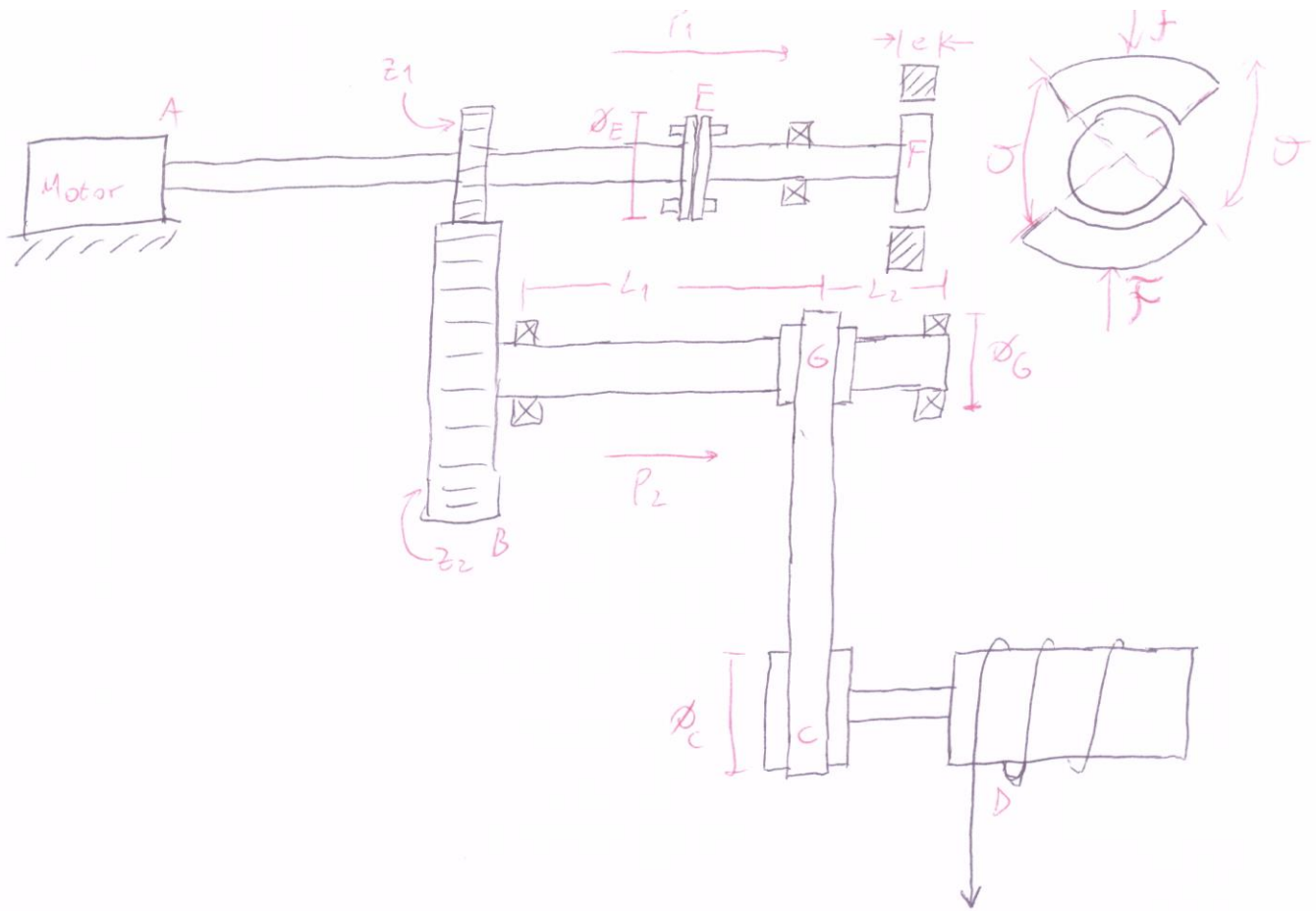
$$\sigma_x' = -5 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{xy} = 15.7 \text{ [MPa]}$$

$$d) \sigma_{VM} = \sqrt{8.1^2 + (-24)^2 + 8.1 \cdot (-24)}$$

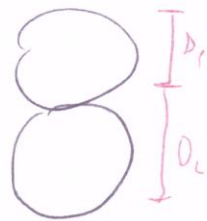
$$\sigma_{VM} = 28.917 \text{ [MPa]} > \frac{\sigma_o}{F.S.} = 27.5 \text{ [MPa]}$$

Se produce
Falla
 $\sigma_{VM} > \frac{\sigma_o}{F.S.}$



a). $P_{mot} = P_1 + P_2$

• En los engranajes $\rightarrow$



$$D_1 \cdot \omega_1 = D_2 \cdot \omega_2$$

$$D_1 \cdot \omega_{mot} = D_2 \cdot \omega_B$$

$$* D = P \cdot z \Rightarrow P \cdot z_1 \cdot \omega_{mot} = P_2 z_2 \cdot \omega_B$$

$$\therefore \omega_B = \omega_{mot} \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

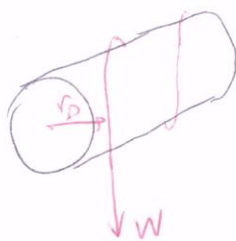
$$* Dado \rightarrow \omega_{mot} = 1500 \text{ rpm} = 157,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \Rightarrow \omega_B = 62,83 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

• En los poleas



$$\omega_6 \cdot \omega_B = \omega_c \cdot \omega_c \Rightarrow \omega_c = \omega_B \frac{\omega_6}{\omega_c} = 4,49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

En el eje CD $\Rightarrow P_2 = T_D \cdot \omega_c$

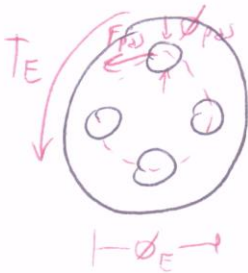


$$\Rightarrow T_D = W \cdot r_D \Rightarrow P_2 = W \cdot r_D \cdot \omega_c = 30017,9 \text{ W}$$

$$P_{\text{rot}} = 50 \text{ HP} = 37285 \text{ W}$$

$$\therefore P_1 = P_{\text{rot}} - P_2 \Rightarrow P_1 = 7267,08 \text{ W}$$

b) Podemos considerar que sólo la torsión produce esfuerzos en los pasadores (Técnicamente hay fuerzas de corte debido a los pasadores y momentos flectores)

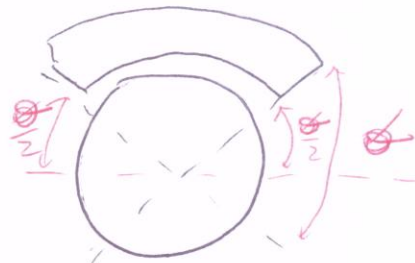


$$P_1 = T_E \cdot \omega_{\text{rot}} \Rightarrow T_E = \frac{P_1}{\omega_{\text{rot}}} = 46,2637 \text{ N}\cdot\text{m}$$

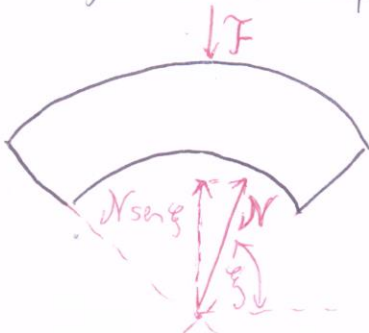
$$\Rightarrow 4 F_{\text{pas}} \cdot \frac{\phi_E}{2} = T_E \Rightarrow F_{\text{pas}} = \frac{T_E}{2\phi_E} = 77,11 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Para calcular la fuerza de freno, necesitamos calcular la fuerza de roce sobre el sistema, y para ello, necesitamos la fza. normal.

* Fza normal



$\Rightarrow N$ es una fza de contacto por unidad de área. Luego F será igual a la integral de N componente vertical de N en dA .



$$F = \int_{\theta/2}^{\pi-\theta/2} N \sin \theta dA = \int_{\theta/2}^{\pi-\theta/2} N \sin \theta \frac{\phi_{Fr} \cdot e \cdot d\theta}{2}$$

$$\therefore F = N e \cdot \phi_{Fr} \cdot \cos(\frac{\theta}{2})$$

* Fza. de roce: Dado que μ es fte. por unidad de área:



$$F_{roce} = \int \mu \cdot N \cdot dA = \mu \cdot N \cdot r(\pi - \theta) \cdot 2 \phi_{fr}$$

$$= \frac{2\mu \cdot \tilde{F} \cdot r(\pi - \theta) \phi_{fr}}{r \phi_{fr} \cdot \cos(\theta/2)} = \frac{2\mu \tilde{F}(\pi - \theta)}{\cos(\theta/2)}$$

→ La fuerza de roce debe estar relacionada al torque aplicado por la espata

$$T_F = F_{roce} \cdot \frac{\phi_{fr}}{2}$$

→ A su vez, el torque y la potencia se relacionan como

$$P_1 = T_F \cdot \omega_{rot} \Rightarrow F_{roce} \frac{\phi_{fr}}{2} \cdot \omega_{rot}$$

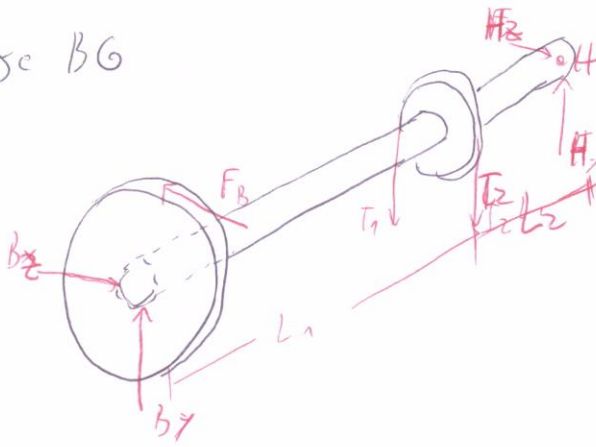
$$\therefore F_{roce} = \frac{2P_1}{\phi_{fr} \cdot \omega_{rot}}$$

→ Finalmente, despejando $\tilde{F}$ de la ec. de la fuerza de roce:

$$\frac{2P_1}{\phi_{fr} \cdot \omega_{rot}} = \frac{2\mu \cdot \tilde{F}(\pi - \theta)}{\cos(\theta/2)}$$

$$\therefore \tilde{F} = \frac{P_1 \cdot \cos(\theta/2)}{\phi_{fr} \omega_{rot} \cdot \mu \cdot (\pi - \theta)} = 520,65 \text{ N}$$

c) Eje BG



$$P_2 = T_B \cdot \omega_B$$

$$\rightarrow T_B = \frac{P_2}{\omega_B} = 477,75 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$x B_2 = P \cdot z_2 \quad \wedge \quad T_B = F_B \cdot D_L = F_B \cdot P \cdot z_L \Rightarrow F_B = \frac{T_B}{P \cdot z_L} = 10006 \text{ N}$$

$$\sum T_x = 0 \rightarrow T_B - (T_2 - T_1) \cdot \frac{\phi_6}{2} = 0 \Rightarrow \frac{2T_B}{\phi_6} = 0,5T_1$$

$$\begin{aligned} \therefore T_1 &= 38220 \text{ N} \\ T_2 &= 57330 \text{ N} \end{aligned}$$

Una observación simple me indica que el segmento de largo L_1 está sometido a torsión, mientras que el de segmento L_2 no, por lo que el punto de mayor sollicitación se ubica en el segmento de largo L_1

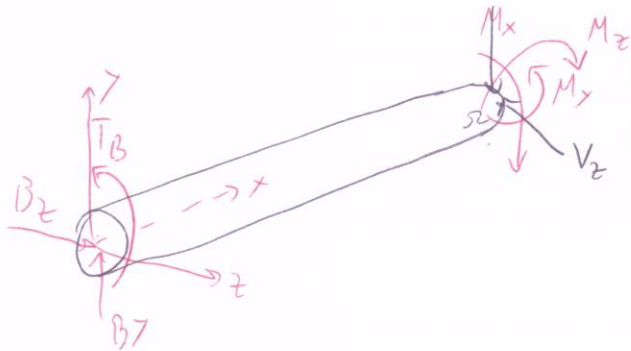
$$\rightarrow \sum_H M_z = 0 \rightarrow (T_1 + T_2) \cdot L_2 - (L_1 + L_2) \cdot B_y = 0$$

$$B_y = 8686,36 \text{ N}$$

$$\rightarrow \sum_H M_y = 0 \rightarrow -F_B (L_1 + L_2) + B_z (L_1 + L_2) = 0$$

$$\therefore B_z = F_B = 10006 \text{ N}$$

Si hacemos un análisis de esf., nos damos cuenta que mientras más cerca de la polea G, mayores son las cargas internas (Flexión ppalmente). Por lo tanto, hacemos el análisis en $x = L_1$. Para ello, determinamos el valor de las cargas internas en ese punto (Corte antes de G) V_y



$$\sum M_y = 0 \rightarrow M_y = B_z \cdot L_1 = 8686,36 \text{ N}\cdot\text{m}$$

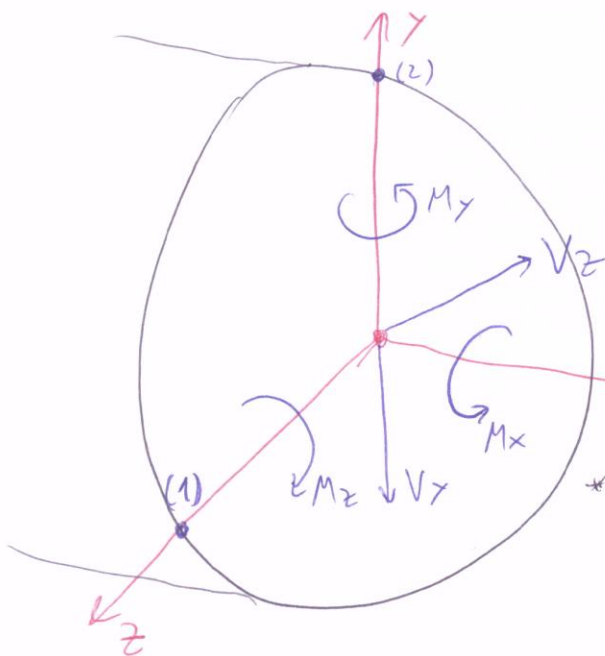
$$\sum M_z = 0 \rightarrow M_z = B_x \cdot L_1 = 10006 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sum M_x = 0 \rightarrow M_x = T_B = 477,75 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow V_y = B_y = 8686,36 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow V_z = B_z = 10006 \text{ N}$$

Observando la superficie:



* Escogemos dos puntos críticos para hacer el análisis

* Como simplificación, despreciamos esf. de corte por fza de corte (El diámetro está dividido a $\frac{1}{2}$, por lo que se complica despreciarlo)

* Punto (1)

- Esf. de corte τ_{xy} por torsión M_x
- Esf. axial σ_x (Tracción) por flexión M_y

* Punto (2)

- Esf. de corte τ_{xz} por torsión M_x
- Esf. axial σ_x (Tracción) por flexión M_z

• Punto 1

$$\text{Torsión: } \tau_{xy} = \frac{-M_x \cdot r}{J} = \frac{-M_x \cdot \frac{\phi}{2}}{\frac{\pi \phi^4}{32}} = -\frac{16}{\pi} \cdot \frac{M_x}{\phi^3}$$

$$\text{Flexión: } \sigma_x = \frac{M_y \cdot y}{I_x} = \frac{M_y \cdot \frac{\phi}{2}}{\frac{\pi \phi^4}{64}} = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{M_y}{\phi^3}$$

• Calculando los est. principales:

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2}$$

$$= \frac{32}{2 \cdot \pi} \frac{M_y}{\phi^3} \pm \sqrt{\left(\frac{32}{2\pi}\right)^2 \frac{M_y^2}{(\phi^3)^2} + \left(\frac{16}{\pi}\right)^2 \cdot \frac{M_x^2}{(\phi^3)^2}}$$

$$\sigma_{min} = \frac{16}{\pi \phi^3} (M_y \pm \sqrt{M_y^2 + M_x^2}) = \frac{16}{\pi \phi^3} (10006 \pm 10017,4)$$

• Calculando el est. de Von Mises

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_n^2 - \sigma_m \sigma_n}$$

$$= \frac{16}{\pi \phi^3} \sqrt{400936547,6 + 129,96 - 2602241,1}$$

$$= \frac{16}{\pi \phi^3} \cdot 19958,32 = \frac{\sigma_0}{F.S.}$$

$$\therefore \phi_1 = \sqrt[3]{\frac{\pi \sigma_0}{16 \cdot 19958,32 \cdot F.S.}} \approx 6,58 \text{ cm}$$

Haciendo lo mismo para el punto 2:

$$\boxed{\varnothing_2 = 6,89 \text{ cm}}$$

Luego, escogemos el diámetro mayor como el mínimo:

$$\boxed{\varnothing = 6,89 \text{ cm}}$$

Para los pasadores, la fzd es de corte, por lo que el esfuerzo también es de corte. Luego

$$\tau_p = \frac{F_p}{\frac{\pi \varnothing_{pas}^2}{4}} = 6,135 \text{ MPa}$$

Como sólo hay corte, podemos ocupar el criterio de Tresca:

$$\tau_{adm} \leq \frac{\tau_o}{F.S} = \frac{\sigma_o}{2F.S} = 1,55 \text{ MPa}$$

Dado que $\tau_p < \tau_{adm} \Rightarrow$ Pasadores no fallan!