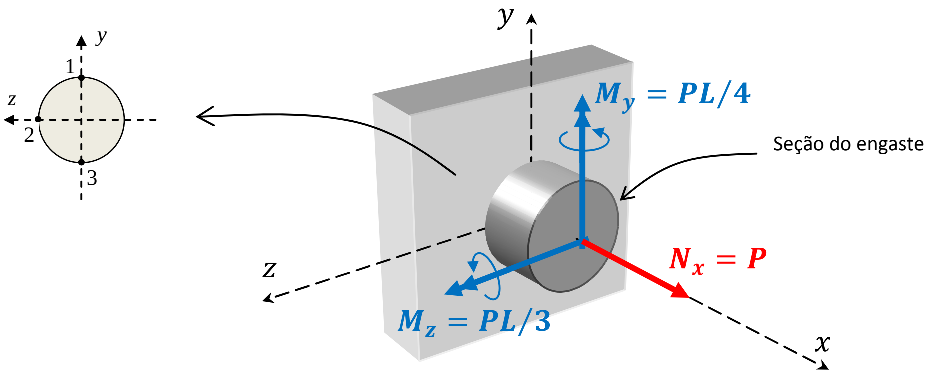
Problema 1 (3.5 pontos).

A figura mostra o esforço normal e momentos fletores atuantes na seção próxima ao engaste. O momento M_z produz uma flexão no plano xy e M_y produz uma flexão no plano xz. Não há torção.



O estado de tensão é uniaxial em todos os pontos da seção (superposição de flexão pura e esforço axial):

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

No ponto 1:

$$\sigma_{xx} = \frac{4P}{\pi D^2} - \frac{32PL}{3\pi D^3}$$

No ponto 2:

$$\sigma_{xx} = \frac{4P}{\pi D^2} + \frac{8PL}{\pi D^3}$$

No ponto 3:

$$\sigma_{xx} = \frac{4P}{\pi D^2} + \frac{32PL}{3\pi D^3}$$

Problema 2 (3,5 pontos).

Tensão normal devido a flexão (a seção mais carregada é $x = L/2$)

- $\max\{|M(x)|\} = |M(L/2)| = PL/4 = 3\ \mathrm{kN\cdot m}$
- $\max\{|\sigma_{xx}(x,y)|\} = |\sigma_{xx}(L/2, \pm D/2)| = (D/2)(|M(L/2)|/I) = 133/I$, onde I é o momento de inércia da seção em m^4 com σ_{xx} em Pa.

Tensão cisalhante devido ao momento torsor

- $\sigma_{xz} = (D/2)(T/J) = 151/J$, onde J é o momento polar de inércia da seção em m^4 com σ_{xz} em Pa.
- $J = 2I \Rightarrow \sigma_{xz} = 75{,}6/I$

Cálculo das tensões principais

- $\sigma_m = (\sigma_{xx} + \sigma_{zz})/2 = 66{,}8/I$
- $R = \sqrt{((\sigma_{xx} + \sigma_{zz})/2)^2 + \sigma_{xz}^2} = 101/I$
- $\sigma_I = \sigma_m + R = 167/I$

- $\sigma_{II} = \sigma_m - R = -34{,}1/I$
- $\sigma_1 = 167/I$, $\sigma_2 = 0$, e $\sigma_3 = -34{,}1/I$
- $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 101/I$
- Critério de Tresca: $\tau_{\max} < (S_Y/2)/n_{\text{seg}}$, onde n_{seg} é o coeficiente de segurança.
- Logo: $I > 101(2n_{\text{seg}}/S_Y) = 122\ \text{cm}^4$

Assim, o momento de iinércia da seção tubular deve ser maior do que $122\ \text{cm}^4$. Dentre os tubos apresentados na tabela, o escolhido é aquele que possui espessura de $5{,}5\ \text{mm}$ e $11{,}3\ \text{kgf/m}$ de peso, e cujo momento de inércia da seção transversal é $126\ \text{cm}^4$.

Problema 3 (3,0 pontos).

$\epsilon_{xx} = \epsilon_A = 450 \times 10^{-6}$

$$\left.\begin{aligned} \epsilon_B &= \epsilon(-45°) = \frac{(\epsilon_{xx} + \epsilon_{\theta\theta})}{2} - \epsilon_{x\theta} \\ \epsilon_C &= \epsilon(+45°) = \frac{(\epsilon_{xx} + \epsilon_{\theta\theta})}{2} + \epsilon_{x\theta} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \epsilon_{\theta\theta} = \epsilon_B + \epsilon_C - \epsilon_{xx} = 150 \times 10^{-6} \\ \epsilon_{x\theta} = 0 \end{cases}$$

Estado plano de tensão

$$\sigma_{xx} = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_{xx} + \nu\epsilon_{\theta\theta}) = 109\ \text{MPa}$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{E}{1-\nu^2}(\nu\epsilon_{xx} + \epsilon_{\theta\theta}) = 62{,}6\ \text{MPa}$$

Determinação da Pressão e Força Axial

$\sigma_{\theta\theta} = PD/2t \ \Rightarrow P = 6{,}26\ \text{MPa}$

$\sigma_{xx} = PD/4t + F/\pi Dt \ \Rightarrow F = 122\ \text{kN}$

Dobrando-se a força F e mantendo-se a pressão inalterada, as tensão axial assume o valor:

$\sigma_{xx} = PD/4t + 2F/\pi Dt = 186\ \text{MPa}$

A tensão circunferencial, $\sigma_{\theta\theta} = 62{,}6\ \text{MPa}$, não sofre alteração.

Assim, as tensões principais são (note que x e θ já são direções principais):

$\sigma_1 = \sigma_{xx} = 186\ \text{MPa}$, $\sigma_2 = \sigma_{\theta\theta} = 62{,}6\ \text{MPa}$, e $\sigma_3 = 0$

A máxima tensão cisalhante passa a ser:

$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 93{,}1\ \text{MPa}\ < \text{S}_\text{Y}/2 = 100\ \text{MPa}$

Portanto, é possível dobrar o valor da força axial sem que o material do vaso seja levado ao escoamento.