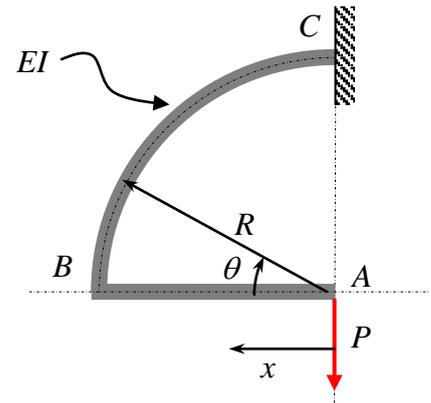
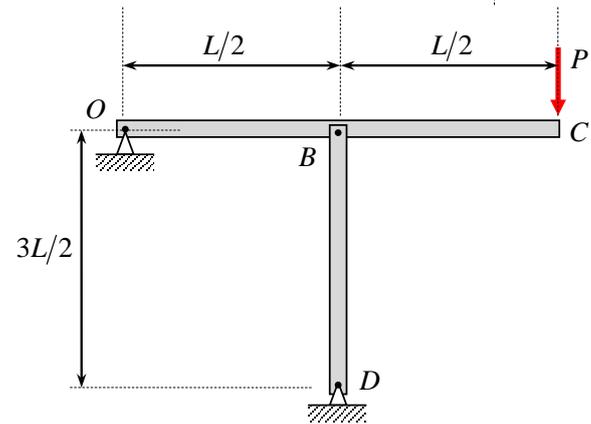


Problema 1. Considere a estrutura mostrada na figura ao lado, composta por um arco de círculo BC de 90° , cuja seção transversal possui dimensões muito menores do que seu raio de curvatura R , e por um trecho reto horizontal AB . A seção transversal possui rigidez a flexão representada por EI . Utilizando o teorema de Castigliano, determine o deslocamento vertical do ponto A em função da carga concentrada P (3,5 pontos).

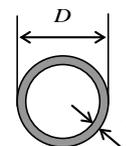
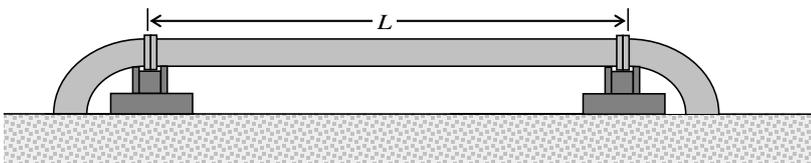


Problema 2. Considere a estrutura mostrada na figura ao lado. Os apoios nos pontos O , B e D não transmitem momentos. A barra OC e a barra BD são fabricadas de materiais cujos módulos de elasticidade são idênticos, representados pela constante E , e cujos limites de escoamento são respectivamente Y_V e Y_B . A seção transversal dos dois componentes é quadrada e possui área $A = a^2$ e momento de inércia $I = a^4/12$.



- Considerando que a estrutura ainda esteja operando no regime elástico, determine as reações nos apoios O , B e D (0,5 ponto).
- Ainda considerando a operação no limite elástico, calcule a deflexão vertical no ponto de aplicação da carga (1,5 ponto).
- Descreva possíveis modos de colapso da estrutura e determine as correspondentes cargas de colapso (2,0 pontos).

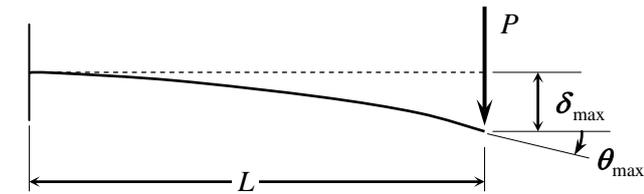
Problema 3. Um trecho aéreo de uma tubulação que conduz vapor superaquecido é mostrado na figura abaixo. O tubo, com 33,4 mm de diâmetro externo e 2,1 mm de espessura, é montado a 25°C mas sua temperatura de operação pode atingir um valor máximo de 165°C . Determine o vão máximo do trecho aéreo, L_{max} , levando em conta a possibilidade de flambagem do tubo. Considere que o trecho de tubo esteja engastado em suas extremidades. O módulo de elasticidade do tubo, E , é 200 GPa e seu coeficiente de dilatação térmica, α , é $12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Despreze o peso do tubo e do fluido transportado (2,5 pontos).



$$\varepsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} + \alpha \Delta T$$

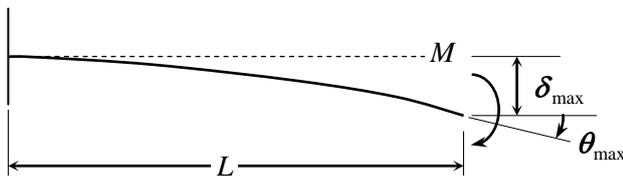
Carga Crítica de Flambagem $P_{cr} = c \frac{EI}{L^2}$	Tipo de Apoio	c
	Simples-Simples	π^2
	Engastada-Livre	$\pi^2/4$
	Engastada-Simples	20.2
	Engastada-Engastada	$4\pi^2$

Tensão de Flexão $\sigma_{xx}(x, y) = -y \frac{M(x)}{I}$	Momento de Inércia para seção		
	Circular $I = \frac{\pi D^4}{64}$	Retangular $I = \frac{bh^3}{12}$	Tubular ($D \gg t$) $I = \frac{\pi D^3 t}{8}$



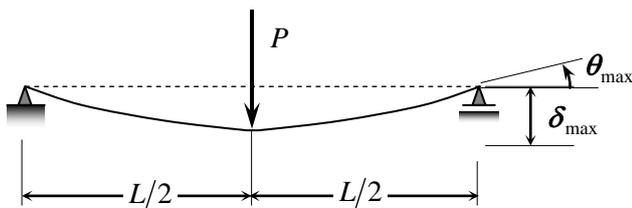
$$\delta(x) = \frac{Px^2}{6EI}(3L-x)$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{3EI} \quad \theta_{max} = \frac{PL^2}{2EI}$$



$$\delta(x) = \frac{Mx^2}{2EI}$$

$$\delta_{max} = \frac{ML^2}{2EI} \quad \theta_{max} = \frac{ML}{EI}$$



$$\delta(x) = \begin{cases} \frac{P}{48EI}(3L^2x - 4x^3), & x < L/2 \\ \frac{P}{6EI}\left(3L^2x - 4x^3 + 8\left(x - \frac{L}{2}\right)^3\right), & x > L/2 \end{cases}$$

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \theta_{max} = \frac{PL^2}{16EI}$$

Comportamento Elastoplástico de Vigas de Seção Retangular	
$M_y = \frac{bh^2 S_y}{6}$	$M_L = \frac{3}{2} M_y$

Energia de Deformação		Teorema de Castigliano		
Vigas em Flexão	$U = \int \frac{M^2}{2EI} ds$	$\delta = \frac{\partial U}{\partial P}$	Vigas em Flexão	$\delta = \frac{1}{EI} \int \frac{\partial M}{\partial P} M ds$
Eixos em Torção	$U = \int \frac{T^2}{2GJ} ds$		Eixos em Torção	$\delta = \frac{1}{GJ} \int \frac{\partial T}{\partial P} T ds$
Barras sob Esforço Axial	$U = \int \frac{N^2}{2EA} ds$		Barras sob Esforço Axial	$\delta = \frac{1}{EA} \int \frac{\partial N}{\partial P} N ds$