INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Câmpus Passo Fundo

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS
Prof. Dr. Rodrigo Bordignon

Lista de Exercícios - 01

Observações:
(a) A literatura e os exercícios abaixo indicados são considerados básicos. Recomenda-se que outros títulos também sejam consultados.

Literatura de Referência:
BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., DEWOLF, J. T., MAZUREK, D. F. **Mecânica dos Materiais**. 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 800p.

1.1 – 1.2

1.1 Duas barras cilíndricas de seção transversal cheia *AB* e *BC* são soldadas uma à outra em *B* e submetidas a um carregamento conforme mostra a figura. Determine a intensidade da força **P** para a qual a tensão normal de tração na barra *AB* é duas vezes a intensidade da tensão de compressão da barra *BC*.

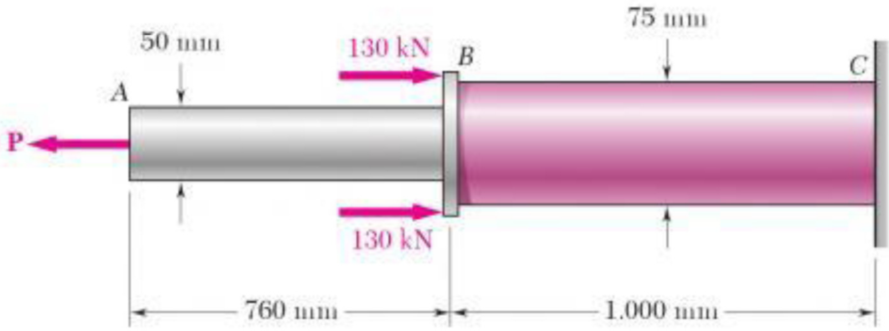
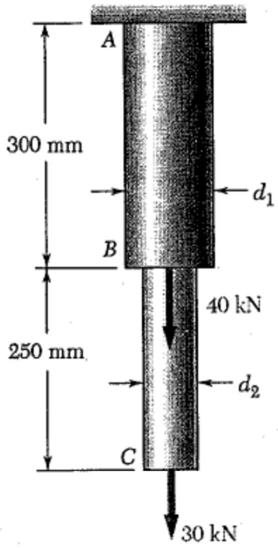


Fig. P1.1

1.2 No Problema 1.1, sabendo que P = 177,9 kN, determine a tensão normal média no ponto médio da (*a*) barra *AB* e (*b*) barra *BC*.

1.3

1.3 Duas barras cilíndricas de seção transversal cheia *AB* e *BC* são soldadas uma à outra em *B* e submetidas a um carregamento conforme mostra a figura. Sabendo que a tensão normal média não pode exceder 175 MPa na barra *AB* e 150 MPa na barra *BC*, determine os menores valores admissíveis de d_1 e d_2.



Rod AB.

$$P = 40 + 30 = 70 \text{ kN} = 70\times10^3 \text{ N}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{P}{A_{AB}} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d_1^2} = \frac{4P}{\pi d_1^2}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{\pi\sigma_{AB}}} = \sqrt{\frac{(4)(70\times10^3)}{\pi(175\times10^6)}} = 22.6\times10^{-3} \text{ m}$$

$$d_1 = 22.6 \text{ mm}$$

Rod BC.

$$P = 30 \text{ kN} = 30\times10^3 \text{ N}$$

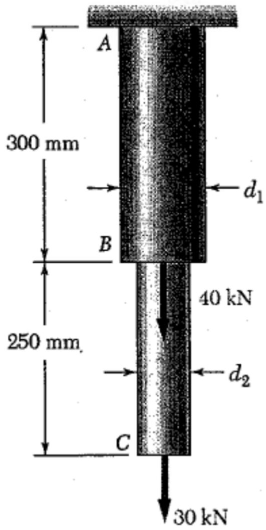
$$\sigma_{BC} = \frac{P}{A_{BC}} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d_2^2} = \frac{4P}{\pi d_2^2}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4P}{\pi\sigma_{BC}}} = \sqrt{\frac{(4)(30\times10^3)}{\pi(150\times10^6)}} = 15.96\times10^{-3} \text{ m}$$

$$d_2 = 15.96 \text{ mm}$$

1.4

1.4 Duas barras cilíndricas de seção transversal cheia *AB* e *BC* são soldadas uma à outra em *B* e submetidas a um carregamento conforme mostra a figura. Sabendo que $d_1 = 50$ mm e $d_2 = 30$ mm, calcule a tensão normal média no ponto médio da (*a*) barra *AB* e (*b*) barra *BC*.



(a) Rod AB.

$$P = 40 + 30 = 70 \text{ kN} = 70\times10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi}{4}d_1^2 = \frac{\pi}{4}(50)^2 = 1.9635\times10^3 \text{ mm}^2 = 1.9635\times10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{AB} = \frac{P}{A} = \frac{70\times10^3}{1.9635\times10^{-3}} = 35.7\times10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{AB} = 35.7 \text{ MPa}$$

(b) Rod BC.

$$P = 30 \text{ kN} = 30\times10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi}{4}d_2^2 = \frac{\pi}{4}(30)^2 = 706.86 \text{ mm}^2 = 706.86\times10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{BC} = \frac{P}{A} = \frac{30\times10^3}{706.86\times10^{-6}} = 42.4\times10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{BC} = 42.4 \text{ MPa}$$

2.1

2.1 Duas marcas de referência são colocadas a exatamente 250 mm uma da outra, em uma barra de alumínio com diâmetro de 12 mm. Sabendo que uma força axial de 6000 N atuando nessa barra provoca um afastamento entre as marcas de 250,18 mm, determine o módulo de elasticidade do alumínio utilizado.

$$\delta = \Delta L = L - L_o = 250.18 - 250.00 = 0.18 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o} = \frac{0.18 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} = 0.00072$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4}(12)^2 = 113.097 \text{ mm}^2 = 113.097 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6000}{113.097 \times 10^{-6}} = 53.052 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{53.052 \times 10^6}{0.00072} = 73.683 \times 10^9 \text{ Pa} \qquad E = 73.7 \text{ GPa}$$

2.2

2.2 Uma barra feita de poliestireno de comprimento igual a 304,8 mm e diâmetro igual a 12,7 mm está submetida a uma força de tração igual a 3 558 N. Sabendo que $E = 3{,}10$ GPa, determine (*a*) o alongamento dessa barra e (*b*) a tensão normal na barra.

2.3

2.3 Um fio de aço de 60 m de comprimento está submetido a uma força de tração de 6 kN. Sabendo que $E = 200$ GPa e que o comprimento do fio deve aumentar no máximo 48 mm, determine (*a*) o menor diâmetro que pode ser selecionado para o fio e (*b*) a tensão normal correspondente.

$$P = 6 \times 10^3 \text{ N}, \quad \delta = 48 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad E = 200 \times 10^9 \text{ Pa} \qquad \delta = \frac{PL}{AE}$$

$$A = \frac{PL}{E\delta} = \frac{(6 \times 10^3)(60)}{(200 \times 10^9)(48 \times 10^{-3})} = 37.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

(a) $A = \frac{\pi}{4} d^2 \qquad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(37.5 \times 10^{-6})}{\pi}} = 6.91 \times 10^{-3} \text{ m} \qquad d = 6.91 \text{ mm}$

(b) $\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6 \times 10^3}{37.5 \times 10^{-6}} = 160 \times 10^6 \text{ Pa} \qquad \sigma = 160.0 \text{ MPa}$

2.4

2.4 Deseja-se usar um fio de aço de 8,5 m de comprimento e 6,4 mm de diâmetro para sustentar uma força **P** de tração. Sabe-se que o fio se alonga 12 mm quando é aplicada essa força. Sabendo que $E = 200$ GPa, determine (*a*) a intensidade da força **P** e (*b*) a tensão normal correspondente no fio.

2.5

2.5 Um tubo de ferro fundido é utilizado para suportar uma força de compressão. Sabendo que $E = 69$ GPa e que a máxima variação admissível no comprimento é 0,025%, determine (*a*) a tensão normal máxima no tubo e (*b*) a espessura mínima da parede para uma carga de 7,2 kN se o diâmetro externo do tubo for de 50 mm.

$$E = 69 \text{ GPa} = 69 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{0.00025 L}{L} = 0.00025$$

(a) $\sigma = E\varepsilon = (69 \times 10^9)(0.00025) = 17.25 \times 10^6 \text{ Pa} \qquad \sigma = 17.25 \text{ MPa}$

(b) $\sigma = \frac{P}{A} \qquad A = \frac{P}{\sigma} = \frac{7.2 \times 10^3}{17.25 \times 10^6} = 417.39 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 417.39 \text{ mm}^2$

$$A = \frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2) \qquad d_i^2 = d_o^2 - \frac{4A}{\pi} = 50^2 - \frac{(4)(417.39)}{\pi} = 1968.56 \text{ mm}^2$$

$$d_i = 44.368 \text{ mm} \qquad t = \frac{1}{2}(d_o - d_i) = \frac{1}{2}(50 - 44.368)$$

$$t = 2.82 \text{ mm}$$

2.6

2.6 Uma barra de controle feita de latão não deve se alongar mais de 3,0 mm quando a tração no fio for 4 kN. Sabendo que $E = 105$ GPa e que a máxima tensão normal admissível é 180 MPa, determine (*a*) o menor diâmetro que pode ser selecionado para a barra e (*b*) o comprimento máximo correspondente da barra.

(a) $\sigma = \frac{P}{A}$ $\quad A = \frac{P}{\sigma} = \frac{4\times10^3}{180\times10^6} = 22.222\times10^{-6}\ m^2$

$A = \frac{\pi}{4}d^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(22.222\times10^{-6})}{\pi}} = 5.32\times10^{-3}\ m$

$d = 5.32\ mm$

(b) $\delta = \frac{PL}{AE} \quad L = \frac{AE\delta}{P} = \frac{(22.222\times10^{-6})(105\times10^9)(3\times10^{-3})}{4\times10^3}$

$L = 1.750\ m$

2.7

2.7 Duas marcas de referência são colocadas exatamente a 254 mm uma da outra, em uma barra de alumínio com diâmetro de 12,7 mm, $E = 69{,}6$ GPa e limite de resistência de 110 MPa. Sabendo que a distância entre as marcas de referência é de 254,229 mm depois que a força é aplicada, determine (*a*) a tensão na barra e (*b*) o coeficiente de segurança.

2.8

2.8 Um fio com 5 mm de diâmetro e 80 m de comprimento é feito de um aço com módulo de elasticidade $E = 200$ GPa e limite de resistência à tração de 400 MPa. Se o fator de segurança desejado for igual a 3,2, determine (*a*) a máxima tensão admissível no fio e (*b*) o correspondente alongamento desse fio.

(a) $\sigma_U = 400\times10^6\ Pa \qquad A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}(5)^2 = 19.635\ mm^2 = 19.635\times10^{-6}\ m^2$

$P_U = \sigma_U A = (400\times10^6)(19.635\times10^{-6}) = 7854\ N$

$P_{all} = \frac{P_U}{F.S.} = \frac{7854}{3.2} = 2454\ N \qquad P_{all} = 2.45\ kN$

(b) $\delta = \frac{PL}{AE} = \frac{(2454)(80)}{(19.635\times10^{-6})(200\times10^9)} = 50.0\times10^{-3}\ m$

$\delta = 50.0\ mm$

2.9

2.9 Um bloco de 250 mm de comprimento e seção transversal de 50 × 40 mm deve suportar uma força de compressão centrada **P**. O material a ser utilizado é um bronze para o qual $E = 95$ GPa. Determine a maior força que pode ser aplicada, sabendo que a tensão normal não deve exceder 80 MPa e que a diminuição no comprimento do bloco deverá ser no máximo de 0,12% de seu comprimento original.

$\sigma_U = 80\ MPa = 80\times10^6\ Pa \qquad E = 95\times10^9\ Pa$

Considering allowable stress:

$\sigma = \frac{P}{A} \qquad P = A\sigma = (2\times10^{-3})(80\times10^6) = 160\times10^3\ N$

Considering allowable deformation:

$\delta = \frac{PL}{AE} \qquad P = AE\left(\frac{\delta}{L}\right) = (2\times10^{-3})(95\times10^9)(0.0012) = 228\times10^3\ N$

The smaller value governs. $\quad P = 160\times10^3\ N \qquad P = 160.0\ kN$

2.10

2.10 Uma barra de alumínio de 1,5 m de comprimento não deve se alongar mais que 1 mm e a tensão normal não deve exceder 40 MPa quando a barra está submetida a uma força axial de 3 kN. Sabendo que $E = 70$ GPa, determine o diâmetro necessário para a barra.

$L = 1.5\,m$

$\delta = 1\times10^{-3}\,m$, $\sigma = 40\times10^{6}\,Pa$, $E = 70\times10^{9}\,Pa$, $P = 3\times10^{3}\,N$

Stress: $\sigma = \frac{P}{A}$ $\quad A = \frac{P}{\sigma} = \frac{3\times10^{3}}{40\times10^{6}} = 75\times10^{-6}\,m^2 = 75\,mm^2$

Deformation: $\delta = \frac{PL}{AE}$

$$A = \frac{PL}{E\delta} = \frac{(3\times10^{3})(1.5)}{(70\times10^{9})(1\times10^{-3})} = 64.29\times10^{-6}\,m^2 = 64.29\,mm^2$$

Larger value of A governs. $\quad A = 75\,mm^2$

$A = \frac{\pi}{4}d^2 \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(75)}{\pi}} \quad d = 9.77\,mm$

2.11

2.11 Uma barra de controle feita de alumínio alonga-se 2,032 mm quando uma força de tração de 2224 N lhe é aplicada. Sabendo que $\sigma_{adm} = 151{,}7$ MPa e $E = 69{,}6$ GPa, determine o menor diâmetro e o menor comprimento que poderão ser adotados para essa barra.

2.12

2.12 Uma barra de alumínio quadrada não deve se alongar mais de 1,4 mm quando submetida a uma força de tração. Sabendo que $E = 70$ GPa e que a resistência à tração admissível é 120 MPa, determine (*a*) o comprimento máximo admissível para a barra e (*b*) as dimensões necessárias para a seção transversal se a força de tração for de 28 kN.

$\sigma = 120\times10^{6}\,Pa$

$E = 70\times10^{9}\,Pa \quad \delta = 1.4\times10^{-3}\,m$

(a) $\delta = \frac{PL}{AE} = \frac{\sigma L}{E} \quad L = \frac{E\delta}{\sigma} = \frac{(70\times10^{9})(1.4\times10^{-3})}{120\times10^{6}} = 0.817\,m$

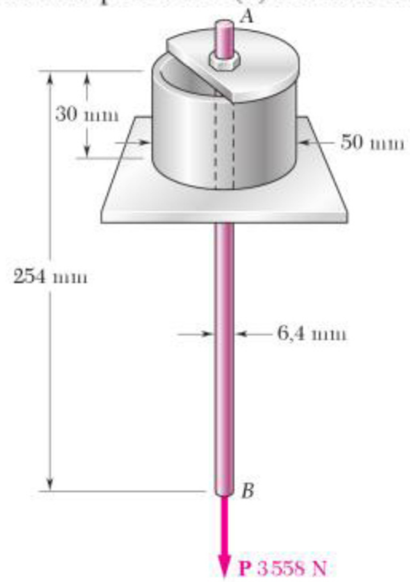
$L = 817\,mm$

(b) $\sigma = \frac{P}{A} \quad A = \frac{P}{\sigma} = \frac{28\times10^{3}}{120\times10^{6}} = 233.333\times10^{-6}\,m^2 = 233.333\,mm^2$

$A = a^2 \quad a = \sqrt{A} = \sqrt{233.333} \quad a = 15.28\,mm$

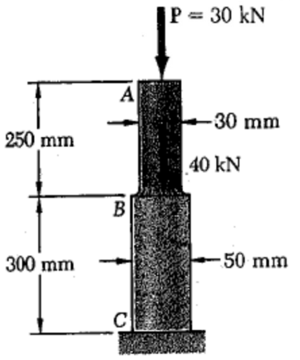
2.15

2.15 Um cilindro vazado de poliestireno ($E = 3{,}1$ GPa) com parede de 3,2 mm de espessura e uma placa rígida circular (somente parte dela é mostrada) são utilizados para suportar uma barra de aço AB ($E = 200$ GPa) de 254 mm de comprimento e 6,4 mm de diâmetro. Se uma carga **P** de 3 558 N for aplicada em B, determine (a) a deformação da barra AB, (b) o deslocamento do ponto B e (c) a tensão normal média na barra AB.



2.17

2.17 Duas barras cilíndricas sólidas são unidas em B e submetidas a carga conforme mostra a figura. A barra AB é feita de aço ($E = 200$ GPa) e a barra BC, de latão ($E = 105$ GPa). Determine (a) o alongamento total da barra composta ABC e (b) o deslocamento do ponto B.



Rod AB: $F_{AB} = -P = -30\times10^3$ N

$L_{AB} = 0.250$ m $\quad E_{AB} = 200\times10^9$ GPa

$A_{AB} = \frac{\pi}{4}(30)^2 = 706.85\ mm^2 = 706.85\times10^{-6}\ m^2$

$$\delta_{AB} = \frac{F_{AB}L_{AB}}{E_{AB}A_{AB}} = -\frac{(30\times10^3)(0.250)}{(200\times10^9)(706.85\times10^{-6})}$$

$= -53.052\times10^{-6}$ m

Rod BC: $F_{BC} = 30+40 = 70$ kN $= 70\times10^3$ N

$L_{BC} = 0.300$ m $\quad E_{BC} = 105\times10^9$ Pa

$A_{BC} = \frac{\pi}{4}(50)^2 = 1.9635\times10^3\ mm^2 = 1.9635\times10^{-3}\ m^2$

$$\delta_{BC} = \frac{F_{BC}L_{BC}}{E_{BC}A_{BC}} = -\frac{(70\times10^3)(0.300)}{(105\times10^9)(1.9635\times10^{-3})}$$

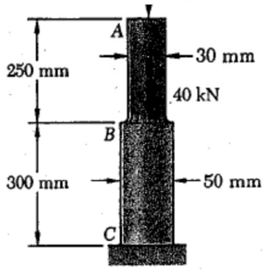
$= -101.859\times10^{-6}$ m

(a) Total deformation: $\delta_{tot} = \delta_{AB} + \delta_{BC} = -154.9\times10^{-6}$ m $= -0.1549$ mm ◄

(b) Deflection of point B. $\delta_B = \delta_{BC}$ $\quad \delta_B = 0.1019$ mm ↓ ◄

2.18

2.18 Para a barra composta do Problema 2.17, determine (*a*) a carga *P* que produz o alongamento total da barra igual a −0,2 mm e (*b*) o correspondente deslocamento do ponto *B*.



Rod AB: $F_{AB} = -P$

$L_{AB} = 0.250\,m \qquad E_{AB} = 200\times10^9\,Pa$

$A_{AB} = \frac{\pi}{4}(30)^2 = 706.85\,mm^2 = 706.85\times10^{-6}\,m^2$

$$\delta_{AB} = \frac{F_{AB}L_{AB}}{E_{AB}A_{AB}} = -\frac{P\,(0.250)}{(200\times10^9)(706.85\times10^{-6})}$$

$= -1.76841\,P$

Rod BC: $F_{BC} = -(P + 40\times10^3)$

$L_{BC} = 0.300\,m \qquad E_{BC} = 105\times10^9\,Pa$

$A_{BC} = \frac{\pi}{4}(50)^2 = 1.9635\times10^3\,mm^2 = 1.9635\times10^{-3}\,m^2$

$$\delta_{BC} = \frac{F_{BC}L_{BC}}{E_{BC}A_{BC}} = -\frac{(P+40\times10^3)(0.300)}{(105\times10^9)(1.9635\times10^{-3})}$$

$= -1.45513\times10^{-9}\,P - 58.205\times10^{-6} \qquad (1)$

(a) Total deformation: $\delta_{tot} = \delta_{AB} + \delta_{BC}$

$-0.2\times10^{-3} = -1.76841\times10^{-9}\,P - 1.45513\times10^{-9}\,P - 58.205\times10^{-6}$

$P = 43.987\times10^3\,N \qquad P = 44.0\,kN$

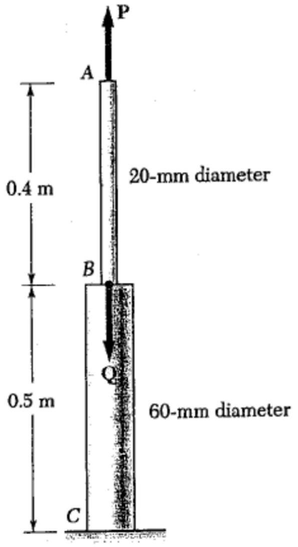
From (1), $\delta_{BC} = -(1.45513\times10^{-9})(43.987\times10^3) - 58.205\times10^{-3}$

$= -122.21\times10^{-6}\,m$

(b) Deflection of point B. $\delta_B = \delta_{BC} \qquad \delta_B = 0.1222\,mm \downarrow$

2.19

2.19 Ambas as partes da barra *ABC* são feitas de um alumínio para o qual $E = 70$ GPa. Sabendo que a intensidade de **P** é 4 kN, determine (*a*) o valor de **Q** de modo que o deslocamento em *A* seja zero e (*b*) o deslocamento correspondente de *B*.



(a) $A_{AB} = \frac{\pi}{4} d_{AB}^2 = \frac{\pi}{4}(0.020)^2 = 314.16 \times 10^{-6}\ m^2$

$A_{BC} = \frac{\pi}{4} d_{BC}^2 = \frac{\pi}{4}(0.060)^2 = 2.8274 \times 10^{-3}\ m^2$

Force in member AB is P tension.

Elongation. $\delta_{AB} = \frac{P L_{AB}}{E A_{AB}} = \frac{(4 \times 10^3)(0.4)}{(70 \times 10^9)(314.16 \times 10^{-6})}$

$= 72.756 \times 10^{-6}\ m$

Force in member BC is Q - P compression.

Shortening. $\delta_{BC} = \frac{(Q-P) L_{BC}}{E A_{BC}} = \frac{(Q-P)(0.5)}{(70 \times 10^9)(2.8274 \times 10^{-3})}$

$= 2.5263 \times 10^{-9}(Q-P)$

For zero deflection at A, $\delta_{BC} = \delta_{AB}$

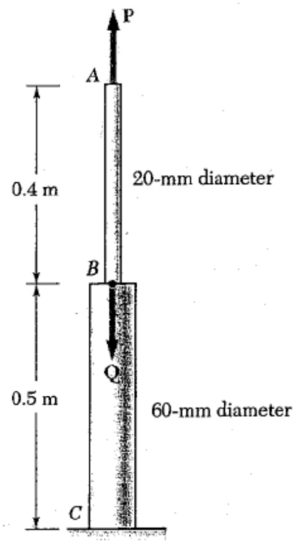
$2.5263 \times 10^{-9}(Q-P) = 72.756 \times 10^{-6} \quad \therefore \quad Q - P = 28.8 \times 10^3\ N$

$Q = 28.3 \times 10^3 + 4 \times 10^3 = 32.8 \times 10^3\ N = 32.8\ kN$

(b) $\delta_{AB} = \delta_{BC} = \delta_B = 72.756 \times 10^{-6}\ m = 0.0728\ mm \downarrow$

2.20

2.20 A barra *ABC* é feita de um alumínio para o qual $E = 70$ GPa. Sabendo que $P = 6$ kN e $Q = 42$ kN, determine o deslocamento de (*a*) ponto *A* e (*b*) ponto *B*.



$A_{AB} = \frac{\pi}{4} d_{AB}^2 = \frac{\pi}{4}(0.020)^2 = 314.16 \times 10^{-6}\ m^2$

$A_{BC} = \frac{\pi}{4} d_{BC}^2 = \frac{\pi}{4}(0.060)^2 = 2.8274 \times 10^{-3}\ m^2$

$P_{AB} = P = 6 \times 10^3\ N$

$P_{BC} = P - Q = 6 \times 10^3 - 42 \times 10^3 = -36 \times 10^3\ N$

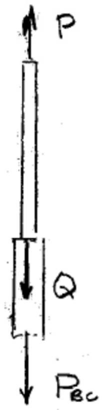
$L_{AB} = 0.4\ m \qquad L_{BC} = 0.5\ m$

$\delta_{AB} = \frac{P_{AB} L_{AB}}{A_{AB} E_A} = \frac{(6 \times 10^3)(0.4)}{(314.16 \times 10^{-6})(70 \times 10^9)}$

$= 109.135 \times 10^{-6}\ m$

$\delta_{BC} = \frac{P_{BC} L_{BC}}{A_{BC} E} = \frac{(-36 \times 10^3)(0.5)}{(2.8274 \times 10^{-3})(70 \times 10^9)}$

$= -90.947 \times 10^{-6}\ m$



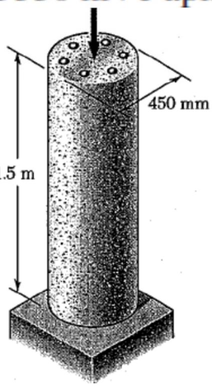
(a) $\delta_A = \delta_{AB} + \delta_{BC} = 109.135 \times 10^{-6} - 90.947 \times 10^{-6}\ m = 18.19 \times 10^{-6}\ m$

$= 0.01819\ mm \uparrow$

(b) $\delta_B = \delta_{BC} = -90.9 \times 10^{-6}\ m = -0.0909\ mm$ or $0.0919\ mm \downarrow$

2.37

2.37 A coluna de concreto de 1,5 m é reforçada com seis barras de aço, cada uma com 28 mm de diâmetro. Sabendo que $E_{aço} = 200$ GPa e $E_{conc} = 25$ GPa, determine as tensões normais no aço e no concreto quando uma força **P** centrada axial de 1 550 kN é aplicada à coluna.



Let P_c = portion of axial force carried by concrete.
P_s = portion carried by the six steel rods.

$$\delta = \frac{P_c L}{E_c A_c} \qquad P_c = \frac{E_c A_c \delta}{L}$$

$$\delta = \frac{P_s L}{E_s A_s} \qquad P_s = \frac{E_s A_s \delta}{L}$$

$$P = P_c + P_s = (E_c A_c + E_s A_s)\frac{\delta}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{P}{E_c A_c + E_s A_s}$$

$$A_s = 6\frac{\pi}{4}d_s^2 = \frac{6\pi}{4}(28)^2 = 3.6945\times10^3\ mm^2 = 3.6945\times10^{-3}\ m^2$$

$$A_c = \frac{\pi}{4}d_c^2 - A_s = \frac{\pi}{4}(450)^2 - 3.6945\times10^3 = 155.349\times10^3\ mm^2$$
$$= 153.349\times10^{-3}\ m^2$$

$$L = 1.5\ m$$

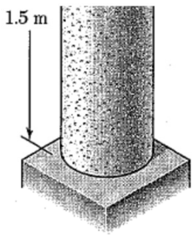
$$\varepsilon = \frac{1550\times10^3}{(25\times10^9)(155.349\times10^{-3}) + (200\times10^9)(3.6945\times10^{-3})} = 335.31\times10^{-6}$$

$$\sigma_s = E_s\varepsilon = (200\times10^9)(335.31\times10^{-6}) = 67.1\times10^6\ Pa = 67.1\ MPa$$

$$\sigma_c = E_c\varepsilon = (25\times10^9)(335.31\times10^{-6}) = 8.38\times10^6\ Pa = 8.38\ MPa$$

2.38

2.38 Para a coluna do Problema 2.37, determine a força centrada máxima que pode ser aplicada se a tensão normal admissível é de 160 MPa no aço e 18 MPa no concreto.



Determine allowable strain in each material.

Steel: $\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{160\times10^6}{200\times10^9} = 800\times10^{-6}$

Concrete: $\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{18\times10^6}{25\times10^9} = 720\times10^{-6}$

Smaller value governs $\varepsilon = \frac{\delta}{L} = 720\times10^{-6}$

Let P_c = portion of load carried by concrete.
P_s = portion carried by six steel rods.

$$\delta = \frac{P_c L}{E_c A_c}, \quad P_c = E_c A_c \frac{\delta}{L} = E_c A_c \varepsilon$$

$$\delta = \frac{P_s L}{E_s A_s}, \quad P_s = E_s A_s \frac{\delta}{L} = E_s A_s \varepsilon$$

$$P = P_c + P_s = (E_c A_c + E_s A_s)\varepsilon$$

$$A_s = 6\frac{\pi}{4}d_s^2 = \frac{6\pi}{4}(28)^2 = 3.6945\times10^3\ mm^2 = 3.6945\times10^{-3}\ m^2$$

$$A_c = \frac{\pi}{4}d_c^2 - A_s = \frac{\pi}{4}(450)^2 - 3.6945\times10^3 = 155.349\times10^3\ mm^2$$
$$= 155.349\times10^{-3}\ m^2$$

$$P = [(25\times10^9)(155.349\times10^{-3}) + (200\times10^9)(3.6945\times10^{-3})](720\times10^{-6})$$

$$= 3.33\times10^6\ N \qquad 3330\ kN$$