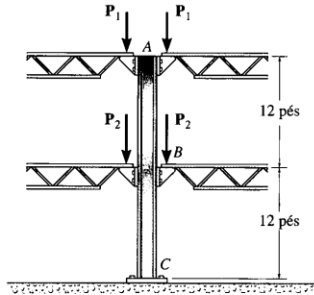


4.2. Uma coluna de aço A-36 é usada para apoiar as cargas simétricas de dois pisos de um edifício. Determinar o deslocamento vertical de seu topo A se $P_1 = 40$ kip, $P_2 = 62$ kip e a coluna tem área da seção transversal de $23,4 \text{ pol}^2$.

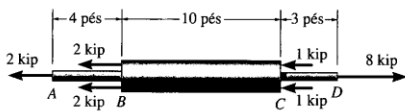
4.3. Uma coluna de aço A-36 é usada para apoiar as cargas simétricas de dois pisos de um edifício. Determinar as cargas P_1 e P_2 se A move-se $0,12$ pol para baixo e B move-se $0,09$ pol para baixo quando as cargas são aplicadas. A coluna tem área da seção transversal de $23,4 \text{ pol}^2$.



Problemas 4.2/4.3

*4.4. O eixo de bronze C86100 está submetido às cargas axiais mostradas. Determinar o deslocamento da extremidade A em relação à extremidade D se os diâmetros de cada segmento são $d_{AB} = 0,75$ pol, $d_{BC} = 2$ pol e $d_{CD} = 0,5$ pol.

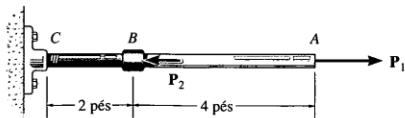
4.5. Determinar o deslocamento da extremidade A em relação à extremidade C do eixo no Problema 4.4.



Problemas 4.4/4.5

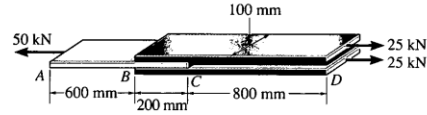
4.6. O conjunto consiste de uma haste CB de aço A-36 e de uma haste BA de alumínio 6061-T6, cada uma com diâmetro de 1 pol. Se a haste está sujeita a uma carga axial $P_1 = 12$ kip em A e $P_2 = 18$ kip na conexão B , determinar o deslocamento da conexão B e da extremidade A . O comprimento de cada segmento sem alongamento é mostrado na figura. Desprezar o tamanho das conexões em B e C e supor que sejam rígidas.

4.7. O conjunto consiste de uma haste CB de aço A-36 e de uma haste BA de alumínio 6061-T6, cada uma com diâmetro de 1 pol. Determinar as cargas aplicadas P_1 e P_2 se A desloca-se $0,08$ pol para a direita e B desloca-se $0,02$ pol para a esquerda quando as cargas são aplicadas. O comprimento de cada segmento sem alongamento é mostrado na figura. Desprezar o tamanho das conexões em B e C e supor que sejam rígidas.



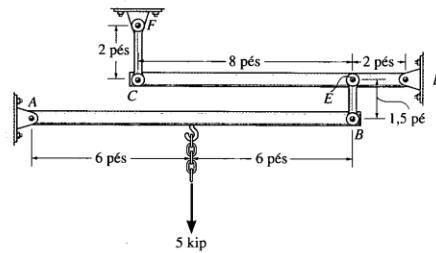
Problemas 4.6/4.7

*4.8. A junta é feita de três chapas de aço A-36 ligadas pelas suas costuras. Determinar o deslocamento da extremidade A em relação à extremidade D quando a junta é submetida às cargas axiais mostradas. Cada chapa tem espessura de 6 mm.



Problema 4.8

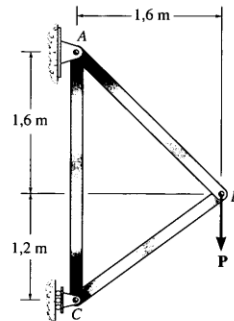
4.9. O conjunto consiste de duas barras rígidas inicialmente horizontais. Elas são apoiadas por pinos e pelas hastes de aço A-36 FC e EB , cada uma com $0,25$ pol de diâmetro. Se for aplicada uma carga vertical de 5 kip na barra inferior AB , determinar o deslocamento em C , B e E .



Problema 4.9

4.10. A treliça é feita de três elementos de aço A-36 com 400 mm^2 de área da seção transversal. Determinar o deslocamento vertical do rolete em C quando a treliça é submetida à carga $P = 10$ kN.

4.11. A treliça é feita de três elementos de aço A-36 com 400 mm^2 de área da seção transversal. Determinar a carga P requerida para deslocar o rolete $0,2$ mm para baixo.

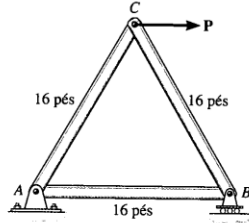


Problemas 4.10/4.11

*4.12. A carga é suportada pelos quatro arames de aço inoxidável 304 acoplados aos elementos rígidos AB e DC . Determinar o deslocamento vertical provocado pela aplicação da carga de 500 lb se os elementos estavam inicialmente

4.22. A treliça consiste de três elementos feitos de aço A-36 com área da seção transversal de $0,75 \text{ pol}^2$. Determinar a maior carga P que pode ser aplicada de modo que o apoio de rolete B não se desloque mais do que $0,03 \text{ pol}$.

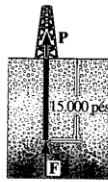
4.23. Resolver o Problema 4.22 quando a carga P atua em C verticalmente para baixo.



Problemas 4.22/4.23

*4.24. Os segmentos de tubos e conexões usados na perfuração de um poço de petróleo com 15.000 pés de profundidade são feitos de aço A-36, que pesa 20 lb/pé . Têm diâmetro externo de $5,50 \text{ pol}$ e diâmetro interno de $4,75 \text{ pol}$. A fim de evitar que o tubo sofra flambagem devido ao próprio peso, ele é parcialmente apoiado em seu topo pelo guindaste da perfuratriz. Supondo que a força seja $P = 299 \text{ kip}$, determinar a força F do solo sobre o tubo e o alongamento do tubo para essa condição.

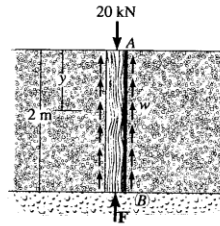
4.25. Os segmentos de tubos e conexões usados na perfuração de um poço de petróleo com 15.000 pés de profundidade são feitos de aço A-36, que pesa 20 lb/pé . Têm diâmetro externo de $5,50 \text{ pol}$ e diâmetro interno de $4,75 \text{ pol}$. Determinar a força P necessária para retirar o tubo, excluindo o atrito ao longo de seus lados e requerendo $F = 0$. Qual é o alongamento do tubo quando ele começa a ser levantado?



Problemas 4.24/4.25

4.26. O poste é feito de abeto Douglas e tem diâmetro de 60 mm . Supondo que seja submetido a uma carga de 20 kN e o solo ofereça resistência ao atrito de $w = 4 \text{ kN/m}$, uniformemente distribuída ao longo de seus lados, determinar a força F em sua parte inferior necessária ao equilíbrio. Qual é o deslocamento do topo do poste A em relação à sua parte inferior B ? Desprezar o peso do poste.

4.27. O poste é feito de abeto Douglas e tem diâmetro de 60 mm . Supondo que seja submetido a uma carga de 20 kN e o solo ofereça resistência ao atrito distribuída ao longo de seu comprimento, a qual varie linearmente de $w = 0$ em $y = 0$ a $w = 3 \text{ kN/m}$ em $y = 2 \text{ m}$, determinar a força F em sua parte inferior necessária para o equilíbrio. Qual é o deslocamento do topo do poste A em relação à sua parte inferior B ? Desprezar o peso do poste.



Problemas 4.26/4.27

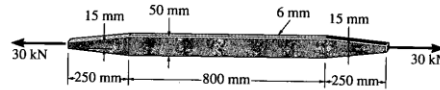
*4.28. A haste é ligeiramente cônica e tem comprimento L . Está suspensa do teto e suporta uma carga P em sua extremidade. Mostrar que o deslocamento de sua extremidade devido a essa carga é $\delta = PL/(\pi E r_2 r_1)$. Desprezar o peso do material. O módulo de elasticidade é E .

4.29. Resolver o Problema 4.28 incluindo o peso do material, considerando que seu peso específico seja γ (peso/volume).



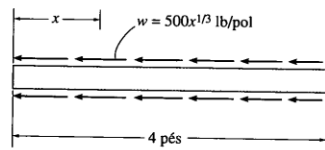
Problemas 4.28/4.29

4.30. Determinar o alongamento da tira de alumínio quando submetida a uma força axial de 30 kN . $E_{al} = 70 \text{ GPa}$.



Problema 4.30

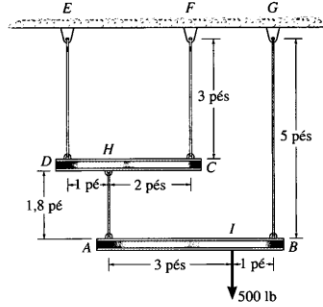
4.31. A barra tem área da seção transversal $A = 3 \text{ pol}^2$ e $E = 35(10^3) \text{ ksi}$. Determinar o deslocamento da extremidade quando a barra está submetida a uma carga distribuída.



Problema 4.31

na horizontal. A área da seção transversal de cada arame tem $0,025 \text{ pol}^2$.

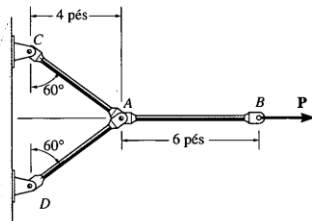
4.13. A carga é suportada pelos quatro arames de aço inoxidável 304 acoplados aos elementos rígidos AB e DC . Determinar o ângulo de inclinação de cada elemento depois de aplicada a carga de 500 lb. Inicialmente os elementos estavam na horizontal, e cada arame tem $0,025 \text{ pol}^2$ de área na seção transversal.



Problemas 4.12/4.13

4.14. O sistema articulado é feito com três elementos de aço inoxidável 304, com $0,75 \text{ pol}^2$ de área na seção transversal, acoplados por pinos. Supondo que seja aplicada uma força horizontal $P = 6 \text{ kip}$ na extremidade B do membro AB , determinar o deslocamento horizontal do ponto B .

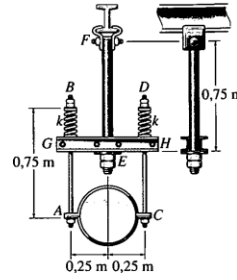
4.15. O sistema articulado é feito com três elementos de aço inoxidável 304, com $0,75 \text{ pol}^2$ de área na seção transversal, acoplados por pinos. Determinar a grandeza da força P necessária para deslocar o ponto B $0,08 \text{ pol}$ para a direita.



Problemas 4.14/4.15

***4.16.** O suporte de tubo, apoiado por molas, consiste em duas molas, inicialmente sem estiramento e com rigidez $k = 60 \text{ kN/m}$; três hastes de aço inoxidável 304, AB e CD , com diâmetro de 5 mm, e EF , com diâmetro de 12 mm; e uma viga rígida GH . Supondo que o tubo e o fluido que transporta tenham peso total de 4 kN, determinar o deslocamento do tubo quando acoplado ao suporte.

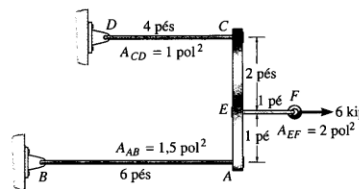
4.17. O suporte de tubo, apoiado por molas, consiste em duas molas, inicialmente sem estiramento e com rigidez $k = 60 \text{ kN/m}$; três hastes de aço inoxidável 304, AB e CD , com diâmetro de 5 mm, e EF , com diâmetro de 12 mm; e uma viga rígida GH . Supondo que o tubo se desloque 82 mm quando cheio de fluido, determinar o peso do fluido.



Problemas 4.16/4.17

4.18. O conjunto consiste em três hastes de titânio (Ti-6Al-4V) e uma barra rígida AC . A área da seção transversal de cada haste é dada na figura. Se for aplicada uma força de 6 kip no anel, qual será o deslocamento horizontal do ponto F ?

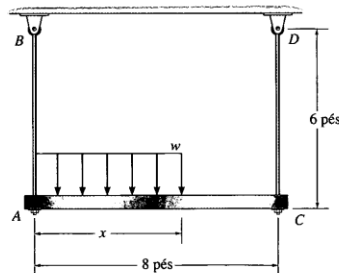
4.19. O conjunto consiste de três hastes de titânio (Ti-6Al-4V) e uma barra rígida AC . A área da seção transversal de cada haste é dada na figura. Se for aplicada uma força de 6 kip no anel F , qual será o ângulo de inclinação da barra AC , em radianos?



Problemas 4.18/4.19

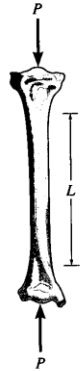
***4.20.** A viga rígida é suportada em suas extremidades por dois tirantes de aço A-36. Supondo que a tensão admissível para o aço seja $\sigma_{adm} = 16,2 \text{ ksi}$, a carga $w = 3 \text{ kip/pé}$ e $x = 4 \text{ pés}$, determinar o diâmetro de cada tirante de modo que a viga permaneça na posição horizontal quando estiver com carga.

4.21. A viga rígida é suportada em suas extremidades por dois tirantes de aço A-36. Os tirantes têm diâmetros $d_{AB} = 0,5 \text{ pol}$ e $d_{CD} = 0,3 \text{ pol}$. Supondo que a tensão admissível para o aço seja $\sigma_{adm} = 16,2 \text{ ksi}$, determinar a intensidade da carga distribuída w e seu comprimento x na viga, de modo que a viga permaneça na posição horizontal quando estiver com carga.



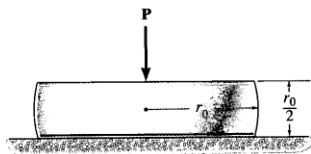
Problemas 4.20/4.21

*4.32. O material do osso tem um diagrama tensão-deformação definido pela relação $\sigma = kE[\epsilon/(1 + E\epsilon)]$, onde k e E são constantes. Determinar a compressão do comprimento L do osso, supondo que a área da seção transversal A seja constante.



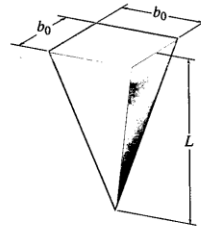
Problema 4.32

4.33. O apoio é feito cortando-se os dois lados opostos de uma esfera com raio r_0 . Supondo que a altura inicial do apoio seja $r_0/2$, determinar quanto ele encurta quando suporta a carga P . O módulo de elasticidade é E .



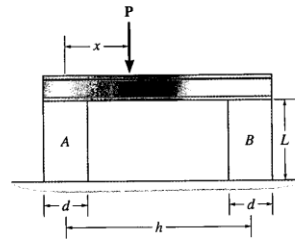
Problema 4.33

4.34. O fundido é feito de um material com peso específico γ e módulo de elasticidade E . Supondo que tenha a forma de pirâmide com as dimensões mostradas, determinar quanto sua extremidade é deslocada devido à gravidade quando a peça é suspensa na posição vertical.



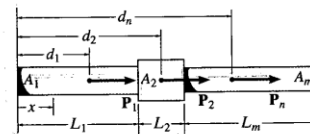
Problema 4.34

4.35. Dois postes apóiam a viga rígida, cada um tendo largura d , espessura d e comprimento L . Supondo que o módulo de elasticidade do material A seja E_A e do material B seja E_B , determinar a distância x para aplicar a força P de modo que a viga permaneça horizontal.



Problema 4.35

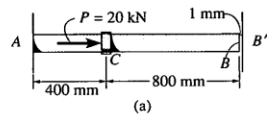
*4.36. Consideremos o problema geral de uma barra feita de m segmentos, cada um com área da seção transversal A_m e comprimento L_m . Supondo que haja n cargas na barra como mostrado, escrever um programa de computador que possa ser usado para determinar o deslocamento da barra em qualquer localização específica x . Mostrar uma aplicação do programa usando os valores $L_1 = 4$ pés, $d_1 = 2$ pés, $P_1 = 400$ lb, $A_1 = 3$ pol², $L_2 = 2$ pés, $d_2 = 6$ pés, $P_2 = -300$ lb, $A_2 = 1$ pol².



Problema 4.36

4.3 PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

O princípio da superposição é geralmente usado para determinar a tensão ou o deslocamento em determinado ponto do elemento quando este está sujeito a carregamento complexo. Ao subdividir a carga em componentes, o **princípio da superposição** afirma que, para se determinar a tensão ou o deslocamento resultante no ponto, é preciso encontrar primeiro a tensão ou o deslocamento pro-



SOLUÇÃO

Compatibilidade. Aqui consideraremos o apoio B' como redundante. Usando o princípio da superposição (Figura 4.17b), temos:

$$(\pm) \quad 0,001 \text{ m} = \delta_P - \delta_B \quad (1)$$

As deflexões δ_P e δ_B são determinadas pela Equação 4.2:

$$\delta_P = \frac{PL_{AC}}{AE} = \frac{[20(10^3) \text{ N}](0,4 \text{ m})}{\pi(0,0025 \text{ m})^2[200(10^9) \text{ N/m}^2]} = 0,002037 \text{ m}$$

$$\delta_B = \frac{F_B L_{AB}}{AE} = \frac{F_B(1,20 \text{ m})}{\pi(0,0025 \text{ m})^2[200(10^9) \text{ N/m}^2]} = 0,3056(10^{-6})F_B$$

Substituindo na Equação 1, obtemos:

$$0,001 \text{ m} = 0,002037 \text{ m} - 0,3056(10^{-6})F_B$$

$$F_B = 3,40(10^3) \text{ N} = 3,40 \text{ kN}$$

Resposta

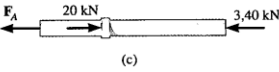
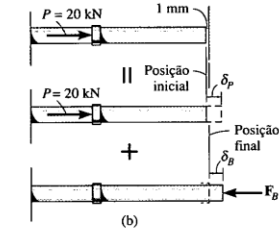


Figura 4.17

Equilíbrio. Pelo diagrama de corpo livre (Figura 4.17c), temos:

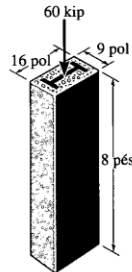
$$\pm \Sigma F_x = 0; \quad -F_A + 20 \text{ kN} - 3,40 \text{ kN} = 0 \quad F_A = 16,6 \text{ kN} \quad \text{Resposta}$$

PROBLEMAS

Lembrando: 1 kip = 1.000 lb e 1 ksi = 1.000 lb/pol².

4.37. A coluna de aço A-36, com área da seção transversal de 18 pol², está embutida em concreto de alta resistência, como mostrado. Supondo que seja aplicada uma força de 60 kip à coluna, determinar o esforço de compressão médio no concreto e no aço. Quanto a coluna encolhe? Seu comprimento original é de 8 pés.

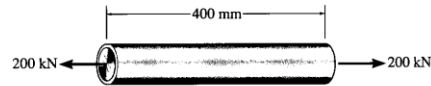
4.38. A coluna de aço A-36 está embutida em concreto de alta resistência, como mostrado. Supondo que seja aplicada uma força de 60 kip à coluna, determinar a área requerida de aço para que a força seja compartilhada igualmente entre o aço e o concreto. Quanto a coluna encolhe? Seu comprimento original é de 8 pés.



Problemas 4.37/4.38

4.39. Um tubo de aço A-36 tem um núcleo de alumínio 6061-T6. Ele está submetido a uma força de tração de 200 kN. Determinar a tensão normal média no alumínio e no

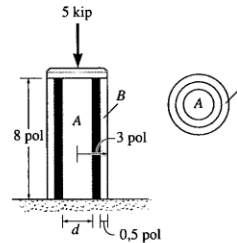
aço devido a esse carregamento. O tubo tem diâmetro externo de 80 mm e diâmetro interno de 70 mm.



Problema 4.39

***4.40.** O poste A de aço inoxidável 304 tem um diâmetro $d = 2$ pol e está envolto por um tubo B de latão C83400. Ambos repousam em uma superfície rígida. Se for aplicada uma força de 5 kip sobre a tampa rígida, qual será a tensão normal média desenvolvida sobre o poste e o tubo?

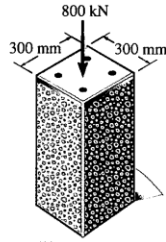
4.41. O poste A de aço inoxidável 304 está envolto por um tubo B de latão C83400. Ambos repousam em uma superfície rígida. Supondo que seja aplicada uma força de 5 kip sobre a tampa rígida, determinar o diâmetro d requerido do poste de aço de modo que a carga seja compartilhada igualmente entre o poste e o tubo.



Problemas 4.40/4.41

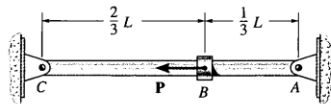
4.42. A coluna de concreto é reforçada com quatro barras de aço, cada uma com diâmetro de 18 mm. Determinar a tensão normal média do concreto e do aço se a coluna está submetida a uma carga axial de 800 kN. $E_{aço} = 200$ GPa e $E_c = 25$ GPa.

4.43. A coluna é construída de concreto de alta resistência e quatro barras de reforço de aço A-36. Supondo que ela seja submetida a uma força axial de 800 kN, determinar o diâmetro requerido de cada barra de modo que um quarto da carga seja suportada pelo aço e três quartos pelo concreto.



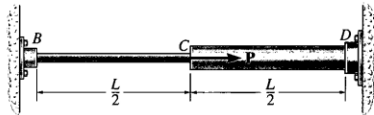
Problemas 4.42/4.43

***4.44.** A barra uniforme está submetida a uma carga P no colar B . Determinar as reações nos pinos A e C . Desprezar as dimensões do colar.



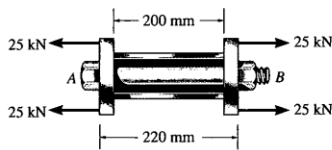
Problema 4.44

4.45. Os dois tubos são feitos do mesmo material e estão acoplados como mostrado. Supondo que a área da seção transversal de BC seja A e a de CD seja $2A$, determinar as reações em B e D quando a força P for aplicada na junção C .



Problema 4.45

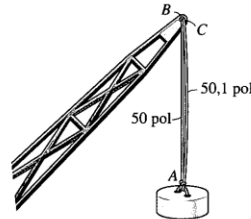
4.46. O parafuso AB tem diâmetro de 20 mm e passa através de um cilindro com diâmetro interno de 40 mm e diâmetro externo de 50 mm. O parafuso e o cilindro são feitos de aço A-36 e estão presos aos suportes rígidos como mostrado. Se o comprimento do parafuso for de 220 mm e o do cilindro 200 mm, determinar a tensão no parafuso quando for aplicada uma força de 50 kN aos suportes.



Problema 4.46

4.47. A carga de 1.500 lb deve ser suportada por dois arames verticais de aço A-36. Se, inicialmente, o arame AB tiver 50 pol de comprimento e o arame AC tiver 50,1 pol de comprimento, determinar a força desenvolvida em cada arame depois que a carga estiver suspensa. Cada arame tem área da seção transversal de $0,02$ pol².

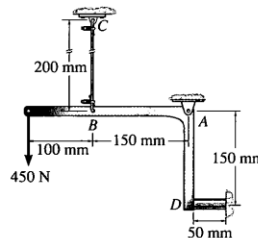
***4.48.** A carga de 15 kip deve ser suportada por dois arames verticais de aço A-36. Se, inicialmente, o arame AB tiver 50 pol de comprimento e o arame AC tiver 50,1 pol de comprimento, determinar a área da seção transversal de AB se a carga tiver de ser compartilhada igualmente entre os arames. O arame AC tem área da seção transversal de $0,02$ pol².



Problemas 4.47/4.48

4.49. O elo rígido é suportado por um pino em A , um arame de aço BC (com 200 mm de comprimento sem deformação e área da seção transversal de $22,5$ mm²), e por um pequeno bloco de alumínio (com 50 mm de comprimento sem carga e área da seção transversal de 40 mm²). Supondo que o elo seja submetido à carga vertical mostrada, determinar a tensão normal média no arame e no bloco. $E_{aço} = 200$ GPa, $E_{al} = 70$ GPa.

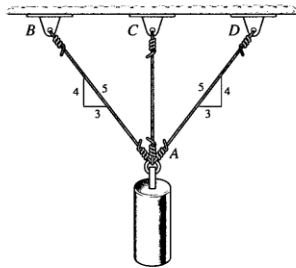
4.50. O elo rígido é suportado por um pino em A , um arame de aço BC (com 200 mm de comprimento sem deformação e área da seção transversal de $22,5$ mm²), e por um pequeno bloco de alumínio (com 50 mm de comprimento sem carga e área da seção transversal de 40 mm²). Supondo que o elo seja submetido à carga vertical mostrada, determinar sua rotação em torno do pino A . Dar a resposta em radianos. $E_{aço} = 200$ GPa, $E_{al} = 70$ GPa.



Problemas 4.49/4.50

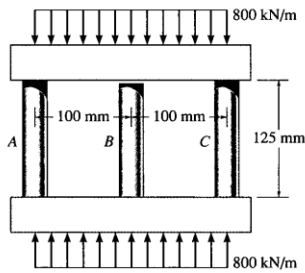
4.51. Os três arames de aço A-36 têm, cada um, diâmetro de 2 mm e comprimentos sem carga de $L_{AC} = 1,60$ m e $L_{AB} = L_{AD} = 2,00$ m. Determinar a força em cada arame depois que a massa de 150 kg for suspensa pelo anel em A .

*4.52. Os arames de aço A-36 AB e AD têm, cada um, diâmetro de 2 mm e comprimentos sem carga de $L_{AC} = 1,60$ m e $L_{AB} = L_{AD} = 2,00$ m. Determinar o diâmetro requerido do arame AC de modo que cada arame seja submetido à mesma força provocada pela massa de 150 kg suspensa pelo anel em A .



Problemas 4.51/4.52

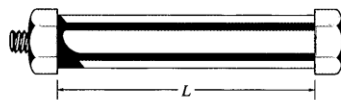
4.53. O poste central B do conjunto tem comprimento original de 124,7 mm, enquanto os postes A e C têm comprimento de 125 mm. Supondo que as tampas superior e inferior sejam consideradas rígidas, determinar a tensão normal média em cada poste. Os postes são feitos de alumínio e têm área da seção transversal de 400 mm^2 . $E_{al} = 70 \text{ GPa}$.



Problema 4.53

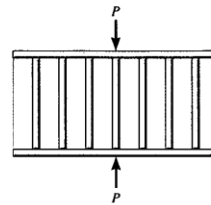
4.54. O conjunto consiste de um parafuso de aço A-36 e um tubo de latão C83400. Supondo que a porca seja apertada contra o tubo de modo que $L = 75$ mm e depois girada uma quantidade adicional de modo que avance 0,02 mm no parafuso, determinar a força no parafuso e no tubo. O parafuso tem diâmetro de 7 mm, e o tubo tem área da seção transversal de 100 mm^2 .

4.55. O conjunto consiste de um parafuso de aço A-36 e um tubo de latão C83400. A porca é apertada contra o tubo de modo que $L = 75$ mm. Determinar o avanço máximo adicional da porca no parafuso de modo que nenhum dos materiais escoe. O parafuso tem diâmetro de 7 mm, e o tubo tem área da seção transversal de 100 mm^2 .



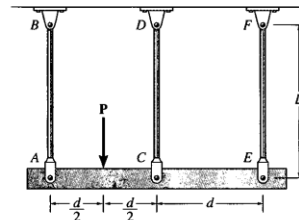
Problemas 4.54/4.55

*4.56. O corpo-de-prova representa um sistema filamento-molde reforçado, feito de vidro (filamento) e plástico (molde). Supondo que haja n filamentos, cada um com A_f de área da seção transversal, embutidos em um molde de área da seção transversal A_m , determinar a tensão no molde e em cada filamento quando P é aplicada ao corpo-de-prova.



Problema 4.56

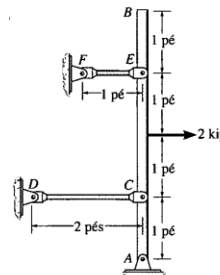
4.57. Os três tirantes são feitos do mesmo material e têm áreas da seção transversal A iguais. Determinar a tensão normal média em cada tirante se a viga rígida ACE estiver submetida à força P .



Problema 4.57

4.58. A barra é articulada por um pino em A e apoiada por duas hastes de alumínio, cada uma com diâmetro de 1 pol e módulo de elasticidade $E_{al} = 10(10^3)$ ksi. Supondo que a barra seja rígida e inicialmente vertical, determinar o deslocamento da extremidade B quando é aplicada a força de 2 kip.

4.59. A barra é articulada por um pino em A e apoiada por duas hastes de alumínio, cada uma com diâmetro de 1 pol e módulo de elasticidade $E_{al} = 10(10^3)$ ksi. Supondo que a barra seja rígida e inicialmente vertical, determinar a força em cada haste quando é aplicada a força de 2 kip.



Problemas 4.58/4.59

EXEMPLO 4.12

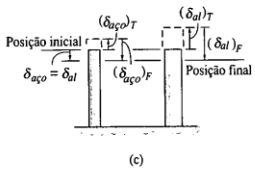
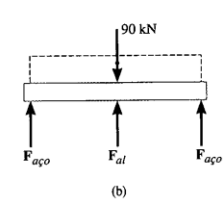
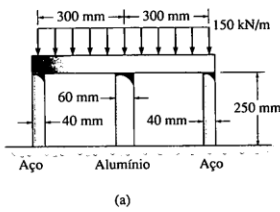


Figura 4.20

A barra rígida mostrada na Figura 4.20a está presa no topo dos três postes feitos de aço A-36 e alumínio 2014-T6. Cada poste tem comprimento de 250 mm quando não há carga aplicada sobre a barra e a temperatura é $T_1 = 20^\circ\text{C}$. Determinar a força suportada em cada poste se a barra estiver submetida a uma carga uniformemente distribuída de 150 kN/m e a temperatura for aumentada para $T_2 = 80^\circ\text{C}$.

SOLUÇÃO

Equilíbrio. O diagrama de corpo livre da barra é mostrado na Figura 4.20b. O equilíbrio dos momentos em torno do centro da barra requer que as forças nos postes de aço sejam iguais. Somando as forças no diagrama de corpo livre, temos:

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0; \quad 2F_{aço} + F_{al} - 90(10^3) \text{ N} = 0 \quad (1)$$

Compatibilidade. Devido à simetria da carga, da geometria e do material, o topo de cada poste desloca-se o mesmo tanto. Logo,

$$(+\downarrow) \quad \delta_{aço} = \delta_{al} \quad (2)$$

A posição final do topo de cada poste é igual ao seu deslocamento provocado pelo aumento de temperatura, somado ao seu deslocamento provocado pela força de compressão axial interna (Figura 4.20c). Assim, para o poste de aço e o de alumínio, temos:

$$\begin{aligned} (+\downarrow) \quad \delta_{aço} &= -(\delta_{aço})_T + (\delta_{aço})_F \\ (+\downarrow) \quad \delta_{al} &= -(\delta_{al})_T + (\delta_{al})_F \end{aligned}$$

Aplicando a Equação 2, temos:

$$-(\delta_{aço})_T + (\delta_{aço})_F = -(\delta_{al})_T + (\delta_{al})_F$$

Usando as equações 4.2 e 4.4 e as propriedades do material relacionadas nas tabelas no final do livro, obtemos:

$$\begin{aligned} & -[12(10^{-6})/^\circ\text{C}](80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})(0,250 \text{ m}) + \frac{F_{aço}(0,250 \text{ m})}{\pi(0,020 \text{ m})^2[200(10^9) \text{ N/m}^2]} \\ & = -[23(10^{-6})/^\circ\text{C}](80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})(0,250 \text{ m}) + \frac{F_{al}(0,250 \text{ m})}{\pi(0,03 \text{ m})^2[73,1(10^9) \text{ N/m}^2]} \\ & F_{aço} = 1,216F_{al} - 165,9(10^3) \quad (3) \end{aligned}$$

Para ser *consistentes*, todos os dados têm de ser expressos em newtons, metros e graus Celsius. Resolvendo as equações 1 e 3 simultaneamente, temos:

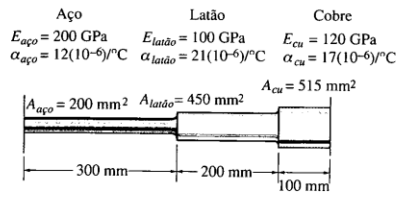
$$F_{aço} = -16,4 \text{ kN} \quad F_{al} = 123 \text{ kN} \quad \text{Resposta}$$

O valor negativo de $F_{aço}$ indica que essa força atua no sentido contrário ao mostrado na Figura 4.20b. Em outras palavras, os postes de aço estão sob tração e o poste de alumínio está sob compressão.

PROBLEMAS

Lembrando: 1 kip = 1.000 lb e 1 ksi = 1.000 lb/pol².

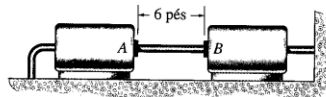
4.74. Três barras feitas de materiais diferentes estão acopladas e colocadas entre duas paredes sob uma temperatura $T_1 = 12^\circ\text{C}$. Determinar a força exercida sobre os apoios (rígidos) quando a temperatura muda para $T_2 = 18^\circ\text{C}$. As propriedades dos materiais e a área das seções transversais são dadas na figura.



Problema 4.74

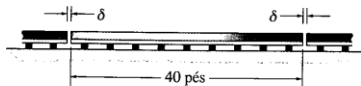
4.75. Um cano de vapor com 6 pés de comprimento é feito de aço A-36 e está acoplado diretamente a duas turbinas A e B como mostrado. O cano tem diâmetro externo de 4 pol e sua parede tem espessura de 0,25 pol. A ligação foi feita a uma temperatura $T_1 = 70^{\circ}\text{F}$. Supondo que os pontos de acoplamento das turbinas sejam rígidos, determinar a força que o cano exerce sobre estas quando o vapor — e, portanto, o cano — atingem uma temperatura $T_2 = 275^{\circ}\text{F}$.

*4.76. Um cano de vapor com 6 pés de comprimento é feito de aço A-36 e está acoplado diretamente a duas turbinas A e B como mostrado. O cano tem diâmetro externo de 4 pol e sua parede tem espessura de 0,25 pol. A ligação foi feita a uma temperatura $T_1 = 70^{\circ}\text{F}$. Supondo que os pontos de acoplamento das turbinas tenham rigidez de $k = 80(10^3)$ kip/pol, determinar a força que o cano exerce sobre as turbinas quando o vapor — e, portanto, o cano — atingem uma temperatura $T_2 = 275^{\circ}\text{F}$.



Problemas 4.75/4.76

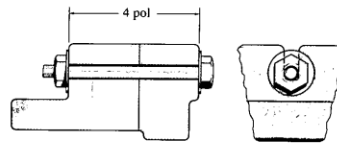
4.77. Os trilhos de uma ferrovia, feitos de aço A-36 e com 40 pés de comprimento cada, foram colocados com uma pequena folga entre si para permitir expansão térmica. Determinar a folga requerida δ de modo que os trilhos apenas se toquem quando a temperatura aumentar de $T_1 = -20^{\circ}\text{F}$ para $T_2 = 90^{\circ}\text{F}$. Considerando a mesma folga, qual seria a força axial sobre os trilhos se a temperatura aumentasse para $T_3 = 110^{\circ}\text{F}$? A área da seção transversal de cada trilho é de 5,10 pol².



Problema 4.77

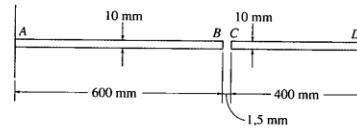
4.78. O parafuso de aço A-36 com 0,40 pol de diâmetro é usado para prender o conjunto (rígido). Determinar a força de aperto que o parafuso deve exercer quando a temperatura for $T_1 = 90^{\circ}\text{F}$, de modo que tal força seja de 500 lb quando $T_2 = 175^{\circ}\text{F}$.

4.79. O parafuso de aço A-36 com 0,40 pol de diâmetro é usado para prender o conjunto (rígido). Se a porca estiver apertada (sem força axial sobre o parafuso) quando $T = 90^{\circ}\text{F}$, qual força de aperto exercerá sobre o conjunto quando $T = 20^{\circ}\text{F}$?



Problemas 4.78/4.79

*4.80. Uma porta térmica consiste de uma chapa AB de alumínio 6061-T6 e uma chapa CD de magnésio Am-1004-T61, cada uma com largura de 15 mm e ambas engastadas nas extremidades. Se a folga entre elas for de 1,5 mm quando a temperatura é $T_1 = 25^{\circ}\text{C}$, determinar a temperatura requerida para apenas fechar a folga. Qual será a força axial em cada chapa se a temperatura tornar-se $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$? Supor que não ocorre flexão ou flambagem.

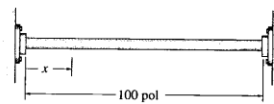


Problema 4.80

4.81. O tubo de aço A-36 com área da seção transversal de 0,5 pol² está acoplado a apoios fixos e transporta um líquido que o submete a uma queda de temperatura $\Delta T = (-0,2x^{3/2})^{\circ}\text{F}$, onde x é dado em polegadas. Determinar a força axial desenvolvida no tubo.

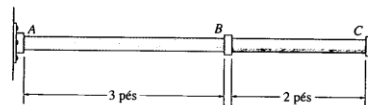
4.82. O tubo de aço A-36 com área da seção transversal de 0,5 pol² está acoplado a apoios fixos e transporta um líquido que o submete a uma queda de temperatura $\Delta T = (-0,2x^{1/2})^{\circ}\text{F}$, onde x é dado em polegadas. Determinar a deformação máxima e a mínima na direção normal.

4.83. O tubo de aço A-36 com área da seção transversal de 0,5 pol² está acoplado a apoios fixos e transporta um líquido que o submete a uma queda de temperatura $\Delta T = (20 - x)^{\circ}\text{F}$, onde x é dado em polegadas. Determinar a tensão normal média desenvolvida no tubo.



Problemas 4.81/4.82/4.83

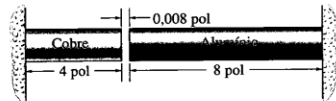
*4.84. A haste AB de latão C83400 e a haste BC de alumínio 2014-T6 estão unidas pelo colar B e engastadas em suas extremidades. Supondo que não haja carga sobre os membros quando $T_1 = 50^{\circ}\text{F}$, determinar a tensão normal média em cada elemento quando $T_2 = 120^{\circ}\text{F}$. Por qual distância o colar será deslocado? A área da seção transversal de cada membro é 1,75 pol².



Problema 4.84

4.85. Os dois segmentos de haste circular, um de alumínio e o outro de cobre, estão presos a paredes rígidas de modo que haja uma folga de 0,008 pol entre eles quando $T_1 = 60^\circ\text{F}$. Que temperatura maior T_2 é necessária a fim de apenas fechar a folga? Cada haste tem diâmetro de 1,25 pol, $\alpha_{al} = 13(10^{-6})/^\circ\text{F}$, $E_{al} = 10(10^3)$ ksi, $\alpha_{cu} = 9,4(10^{-6})/^\circ\text{F}$, $E_{cu} = 18(10^3)$ ksi. Determinar a tensão normal média em cada haste se $T_2 = 200^\circ\text{F}$.

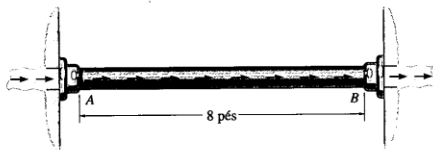
4.86. Os dois segmentos de haste circular, um de alumínio e o outro de cobre, estão presos a paredes rígidas de modo que haja uma folga de 0,008 pol entre eles quando $T_1 = 60^\circ\text{F}$. Cada haste tem diâmetro de 1,25 pol, $\alpha_{al} = 13(10^{-6})/^\circ\text{F}$, $E_{al} = 10(10^3)$ ksi, $\alpha_{cu} = 9,4(10^{-6})/^\circ\text{F}$, $E_{cu} = 18(10^3)$ ksi. Determinar a tensão normal média em cada haste se $T_2 = 300^\circ\text{F}$ e calcular também o novo comprimento do segmento de alumínio.



Problemas 4.85/4.86

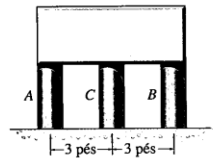
4.87. O tubo é feito de aço A-36 e está acoplado aos colares A e B. Quando a temperatura é de 60°F , não há carga axial sobre ele. Supondo que o gás quente transportado no tubo provoque o aumento em sua temperatura de $\Delta T = (40 + 15x)^\circ\text{F}$, onde x é expresso em pés, determinar a tensão normal média no tubo. O diâmetro interno é de 2 pol, e a espessura da parede é de 0,15 pol.

***4.88.** O tubo de bronze 86100 tem raio interno de 0,5 pol, e sua parede tem espessura de 0,2 pol. Supondo que o gás que flui através dele mude a temperatura do tubo uniformemente de $T_A = 200^\circ\text{F}$ em A para $T_B = 60^\circ\text{F}$ em B, determinar a força axial que ele exerce sobre as paredes. O tubo foi instalado entre as paredes quando $T = 60^\circ\text{F}$.



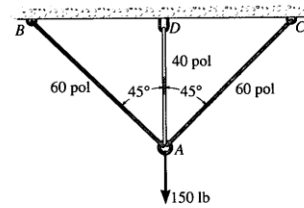
Problemas 4.87/4.88

4.89. O bloco rígido tem um peso de 80 kip e deve ser suportado pelos postes A e B, feitos de aço A-36, e pelo poste C, feito de latão C83400. Supondo que todos os postes tenham o mesmo comprimento original antes de carregados, determinar a tensão normal média desenvolvida em cada um quando o poste C é aquecido de modo que sua temperatura aumenta 20°F . Cada poste tem área da seção transversal de 8 pol².



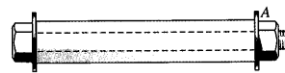
Problema 4.89

4.90. Os arames AB e AC são de aço e o arame AD é de cobre. Antes de ser aplicada a força de 150 lb, AB e AC têm 60 pol de comprimento cada um e AD tem 40 pol. Supondo que a temperatura suba para 80°F , determinar a força necessária em cada arame para suportar a carga. Supor, também, que $E_{aço} = 29(10^3)$ ksi, $E_{cu} = 17(10^3)$ ksi, $\alpha_{aço} = 8(10^{-6})/^\circ\text{F}$, $\alpha_{cu} = 9,60(10^{-6})/^\circ\text{F}$. Cada arame tem área da seção transversal de 0,0123 pol².



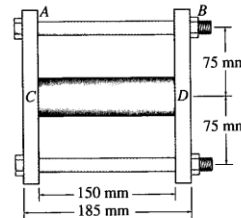
Problema 4.90

4.91. O parafuso de aço tem diâmetro de 7 mm e está instalado em uma luva de alumínio como mostrado. A luva tem diâmetro interno de 8 mm e diâmetro externo de 10 mm. A porca em A é ajustada de modo que fica apenas apertada contra a luva. Se o conjunto está inicialmente em uma temperatura $T_1 = 20^\circ\text{C}$ e depois é aquecido até $T_2 = 100^\circ\text{C}$, qual a tensão normal média no parafuso e na luva? $E_{aço} = 200$ GPa, $E_{al} = 70$ GPa, $\alpha_{aço} = 14(10^{-6})/^\circ\text{C}$, $\alpha_{al} = 23(10^{-6})/^\circ\text{C}$.



Problema 4.91

***4.92.** O tubo CD de alumínio 2014-T6 é colocado no fixador e os parafusos do fixador são apertados de leve. Supondo que o conjunto seja submetido a um aumento de temperatura de $\Delta T = 50^\circ\text{C}$, determinar a tensão normal média desenvolvida no tubo e no parafuso. Supor, também, que os cabeçotes do fixador são rígidos e que os parafusos são de aço A-36. Os parafusos têm diâmetro de 14 mm; o tubo tem diâmetro externo de 35 mm e sua parede tem espessura de 2 mm.



Problema 4.92

4.93. O cilindro de 50 mm de diâmetro, feito de magnésio Am 1004-T61, é colocado no fixador quando a temperatura é $T_1 = 15^\circ\text{C}$. Supondo que os dois parafusos do fixador, feitos de aço inoxidável 304, tenham diâmetro de 10 mm e apertem o cilindro de leve com força desprezível contra as garras rígidas, determinar a temperatura em que a tensão normal média, tanto no magnésio como no aço, torna-se 12 MPa.