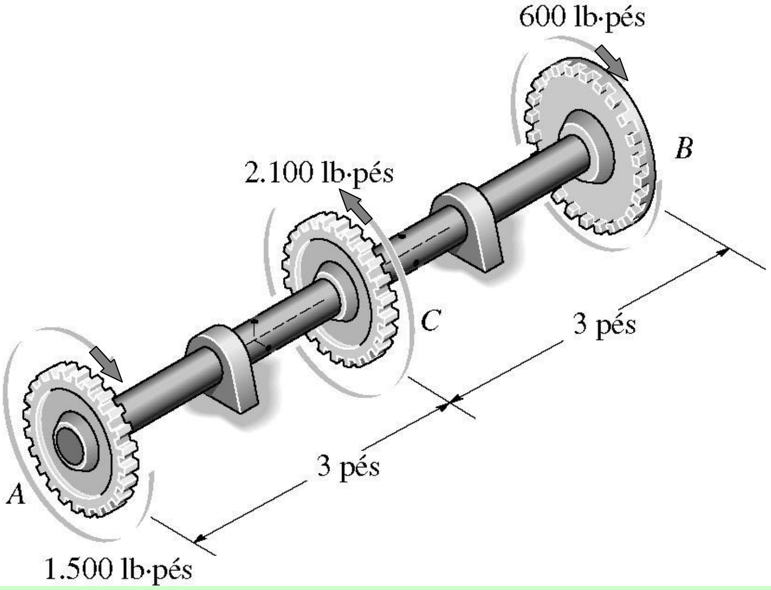
1) O eixo maciço de 1,5 pol de diâmetro é usado para transmitir os torques aplicados às engrenagens. Determinar a tensão de cisalhamento desenvolvida nos trechos AC e CB do eixo.



Solução:

Para o trecho AC temos:

$$T = 1500\ \text{lb.pés} = 1500\ \text{lb} \times 12\ \text{pol} = 18000\ \text{lb.pol}$$

$$d = 1{,}5\ \text{pol}$$

$$\tau_{AC} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td}{2.\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 18000}{\pi \times 1{,}5^3} = 27162{,}4\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

Para o trecho CB temos:

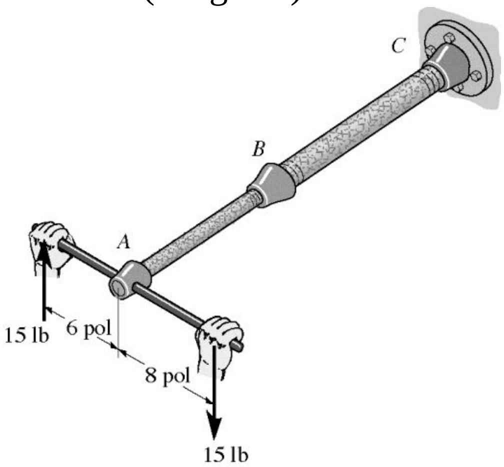
$$T = 600\ \text{lb.pés} = 600\ \text{lb} \times 12\ \text{pol} = 7200\ \text{lb.pol}$$

$$d = 1{,}5\ \text{pol}$$

$$\tau_{CB} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td}{2.\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 7200}{\pi \times 1{,}5^3} = 10865\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

Resposta: A tensão de cisalhamento no trecho AC é de **27,2 ksi** e no trecho CB é de **10,9 ksi**.

2) O conjunto consiste de dois segmentos de tubos de aço galvanizado (G=11000 ksi) acoplados por uma redução em B. O tubo AB menor (10 pol de comprimento) tem diâmetro externo de 0,75 pol e diâmetro interno de 0,68 pol, enquanto o tubo BC maior (15 pol de comprimento) tem diâmetro externo de 1 pol e diâmetro interno de 0,86 pol. Supondo que o tubo esteja firmemente preso à parede em C, determinar a tensão de cisalhamento máxima desenvolvida em cada seção do tubo quando o conjugado mostrado é aplicado ao cabo da chave. Encontre, também, o ângulo total de torção em A - extremidade livre (em graus).



Solução:

$T = 15\ \text{lb} \times 14\ \text{pol} = 210\ \text{lb.pol} \quad G = 11000\ \text{ksi} = 11 \times 10^6\ \text{psi}$

Para o trecho AB temos:

$d_e = 0{,}75\ \text{pol} \qquad d_i = 0{,}68\ \text{pol}$

$$\tau_{AB} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td_e}{2.\dfrac{\pi(d_e^4 - d_i^4)}{32}} = \frac{210 \times 0{,}75}{2 \times \dfrac{\pi(0{,}75^4 - 0{,}68^4)}{32}} = 7818{,}71\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

Para o trecho BC temos:

$d_e = 1\ \text{pol} \quad d_i = 0{,}86\ \text{pol}$

$$\tau_{BC} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td_e}{2.\dfrac{\pi(d_e^4 - d_i^4)}{32}} = \frac{210 \times 1}{2 \times \dfrac{\pi(1^4 - 0{,}86^4)}{32}} = 2361{,}02\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

O ângulo total de torção é dado pela expressão:

$$\phi_{AC} = \frac{TL_{AB}}{GJ_{AB}} + \frac{TL_{BC}}{GJ_{BC}} = \frac{T}{G}\left(\frac{L_{AB}}{J_{AB}} + \frac{L_{BC}}{J_{BC}}\right)$$

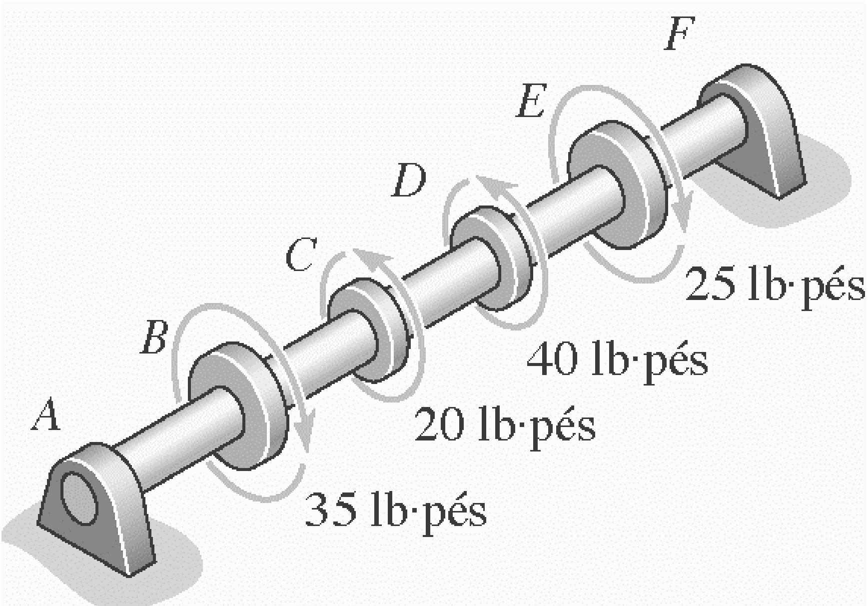
$$J_{AB} = \frac{\pi(0{,}75^4 - 0{,}68^4)}{32} \qquad J_{BC} = \frac{\pi(1^4 - 0{,}86^4)}{32}$$

$L_{AB} = 10\ \text{pol} \quad L_{BC} = 15\ \text{pol}$

$$\therefore \phi_{AC} = 0{,}0254\ \text{rad} = 1{,}45\ \text{graus}$$

Resposta: As tensões de cisalhamento nos trechos AB e BC são **7,82 ksi** e **2,36 ksi**, respectivamente. O ângulo total de torção na extremidade livre é de **1,45º**.

3) O eixo maciço tem diâmetro de 0,75 pol. Supondo que seja submetido aos torques mostrados, determinar a tensão de cisalhamento máxima desenvolvida nas regiões CD e EF. Os mancais em A e F permitem rotação livre do eixo.



Solução:

Para o trecho CD temos:

$$T = (35 - 20)\ \text{lb.pés} = 15\ \text{lb} \times 12\ \text{pol} = 180\ \text{lb.pol}$$

$$d = 0{,}75\ \text{pol}$$

$$\tau_{CD} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td}{2.\dfrac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 180}{\pi \times 0{,}75^3} = 2173\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

Para o trecho EF temos:

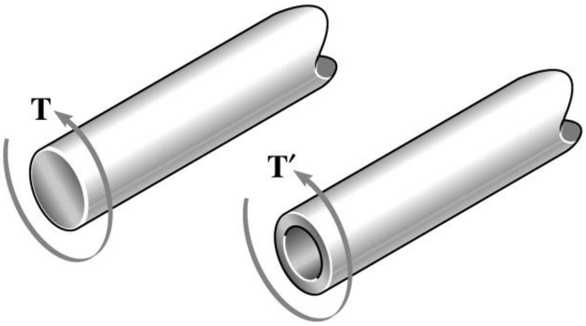
$$T = 0\ \text{lb.pés} = 0\ \text{lb.pol}$$

$$d = 0{,}75\ \text{pol}$$

$$\tau_{EF} = \frac{Td}{2J} = \frac{Td}{2.\dfrac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \times 0}{\pi \times 0{,}75^3} = 0\ \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2}$$

Resposta: A tensão de cisalhamento no trecho CD é de **2,17 ksi** e no trecho EF é de **0,00 ksi**.

4) Um eixo é feito de liga de aço com tensão de cisalhamento admissível de τ_{adm} = 12 ksi. Supondo que o diâmetro do eixo seja de 1,5 pol, determinar o torque máximo **T** que pode ser transmitido. Qual seria o torque máximo **T'** se fosse feito um furo de 1 pol de diâmetro ao longo do eixo?



Solução:

$$\tau_{adm} = 12\ \text{ksi} = 12000\ \text{psi}$$

$$d = 1{,}5\ \text{pol}$$

$$\tau_{adm} = \frac{T\,d}{2\,J} = \frac{Td}{2.\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$T = \frac{\tau_{adm}\pi d^3}{16} = \frac{12000\ \pi\ 1{,}5^3}{16} = 7952{,}16\ \ \text{lb . pol}$$

Para o eixo com um furo de 1 pol

$$\tau_{adm} = 12\ \text{ksi} = 12000\ \text{psi}$$

$$d_e = 1{,}5\ \text{pol}$$

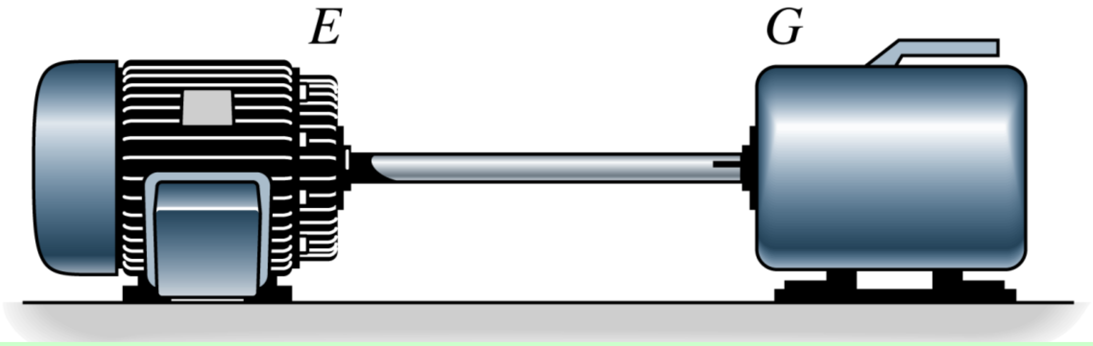
$$d_i = 1{,}0\ \text{pol}$$

$$\tau_{adm} = \frac{T'\,d}{2\,J} = \frac{Td_e}{2.\frac{\pi(d_e^4 - d_i^4)}{32}} = \frac{T'\times 1{,}5}{2\times\frac{\pi(1{,}5^4 - 1{,}0^4)}{32}} = 12000$$

$$\therefore T' = 6381{,}36\ \ \text{lb . pol}$$

Resposta: As tensões de cisalhamento T e T' são, respectivamente, **7,95 kip.pol** e **6,38 kip.pol**.

5) O eixo de aço A-36 tem 3 m de comprimento e diâmetro externo de 50 mm. Requer que transmita 35 kW de potência do motor E para o gerador G. Determinar a menor velocidade angular (em rpm) que o eixo pode ter se a máximo ângulo de torção admissível é de 1°. O módulo de elasticidade transversal do aço A-36 é de 75 GPa.



Solução:

$$\phi = \frac{\pi}{180}$$

$$G = 75000\ MPa = 75000\ \frac{N}{mm^2}$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi \times (50mm)^4}{32}$$

$$L = 3\ m = 3000\ mm$$

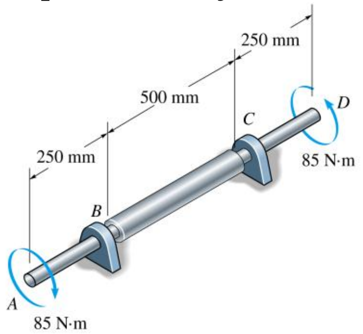
$$\phi = \frac{T\ L}{G\ J} \Rightarrow T = \frac{\phi\ G\ J}{L} = 267730\ N\ mm$$

$$P = 35\ kW = 35000000\ N$$

$$\omega = \frac{P}{T} = \frac{35000000}{267730} = 130{,}729\ rad/s = 1248{,}37\ rpm$$

Resposta: A menor velocidade angular deve ser de **1250 rpm**.

6) O eixo de aço A-36 (G=75 GPa) está composto pelo tubo BC e por duas partes maciças AB e CD. Apóia-se em mancais lisos que lhe permitem girar livremente. Se as extremidades estão sujeitas a torques de 85 N.m, qual o ângulo de torção da extremidade A em relação à extremidade D? O tubo tem diâmetro externo de 40 mm e diâmetro interno de 30 mm. As partes maciças têm diâmetros de 20 mm.



Solução:

Ângulo total de torção de AD:

$$\phi_{AD} = \frac{TL_{AB}}{GJ_{AB}} + \frac{TL_{BC}}{GJ_{BC}} + \frac{TL_{CD}}{GJ_{CD}} = \frac{T}{G}\left(\frac{L_{AB}}{J_{AB}} + \frac{L_{BC}}{J_{BC}} + \frac{L_{CD}}{J_{CD}}\right)$$

Dados:

$$J_{AB} = \frac{\pi(20^4)}{32}$$

$$J_{BC} = \frac{\pi(40^4 - 30^4)}{32}$$

$$J_{CD} = \frac{\pi(20^4)}{32}$$

$$L_{AB} = 250 \text{ mm}$$

$$L_{BC} = 500 \text{ mm}$$

$$L_{CD} = 250 \text{ mm}$$

$$T = 85\text{N.m} = 85000 \text{ N.mm}$$

$$G = 75 \text{ GPa} = 75000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

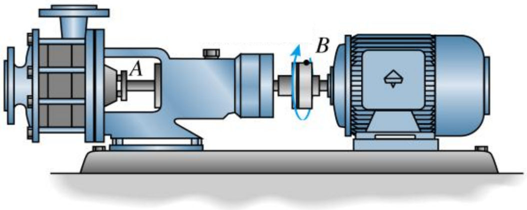
Assim:

$$\phi_{AD} = \frac{85000}{75000}\left[\frac{250}{\frac{\pi(20^4)}{32}} + \frac{500}{\frac{\pi(40^4 - 30^4)}{32}} + \frac{250}{\frac{\pi(20^4)}{32}}\right]$$

$$\therefore \phi_{AD} = 0{,}03937 \text{ rad} = 2{,}256 \text{ graus}$$

Resposta: O ângulo de torção da extremidade A em relação à extremidade D é de **2,26º**.

7) A bomba opera com um motor que tem potência de 85 W. Supondo que o impulsor em B esteja girando a 150 rpm, determinar o diâmetro do eixo de transmissão em A sabendo que a tensão de cisalhamento admissível do material do eixo é de 3,44 MPa.



Solução:

1 rotação = 2π rad
1 minuto = 60 s
150 rpm = 150 ×(2π rad) / (60 s)
P = 85 W = 85000 N . mm / s
τ_{adm}=3,44 MPa = 3,44 N/mm^2

$$P = T\,\omega \quad \Rightarrow \quad T = \frac{P}{\omega}$$

$$\tau_{max} = \frac{Td}{2J_t} \quad \Rightarrow \quad \tau_{max} = \frac{Td}{2\left(\frac{\pi d^4}{32}\right)} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \Rightarrow \quad d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_{adm}}}$$

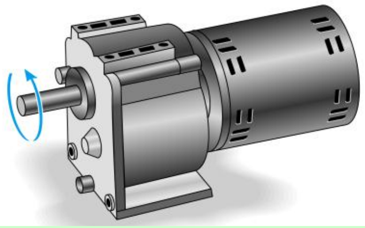
$$d = \sqrt[3]{\frac{16\frac{P}{\omega}}{\pi\,\tau_{adm}}}$$

Assim:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16\frac{P}{\omega}}{\pi\,\tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times \frac{85000}{150 \times \frac{2\pi}{60}}}{\pi \times 3{,}44}} = 20{,}00953\,\text{mm}$$

Resposta: O menor diâmetro de eixo deve ser de **20 mm**.

8) O motor de engrenagens desenvolve 0,4 hp quando gira a 600 rpm. Supondo que a tensão de cisalhamento admissível para o eixo seja τ_{adm} = 27,6 MPa, determinar o menor diâmetro de eixo que pode ser usado (em milímetros inteiros).



Solução:

1 rotação = 2π rad
1 minuto = 60 s
0,4 hp = 0,4×550 pés . lbf / s = 2640 pol . lbf / s

$$\tau_{adm} = 27{,}6\ \mathrm{MPa} = 27{,}6\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2} = 27{,}6\,\frac{\dfrac{1}{0{,}45359237\times 9{,}80665}\ \mathrm{lbf}}{\left(\dfrac{1}{25{,}4}\right)^2 \mathrm{pol}^2} = 4003{,}04\ \frac{\mathrm{lbf}}{\mathrm{pol}^2}$$

$$P = T\,\omega \Rightarrow \qquad T = \frac{P}{\omega} = \frac{2640}{600\times\dfrac{2\pi}{60}} = 42{,}0169\ \mathrm{lbf.pol}$$

$$\tau_{max} = \frac{Td}{2J_t} \Rightarrow \tau_{max} = \frac{Td}{2\left(\dfrac{\pi d^4}{32}\right)} = \frac{16T}{\pi d^3} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_{adm}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16\times 42{,}0169}{\pi\times 4003{,}04}} = 0{,}376705\ \mathrm{pol} = 9{,}5683\ \mathrm{mm} \quad\cong\quad 10\ \mathrm{mm}$$

Resposta: O menor diâmetro de eixo deve ser de **10 mm**.