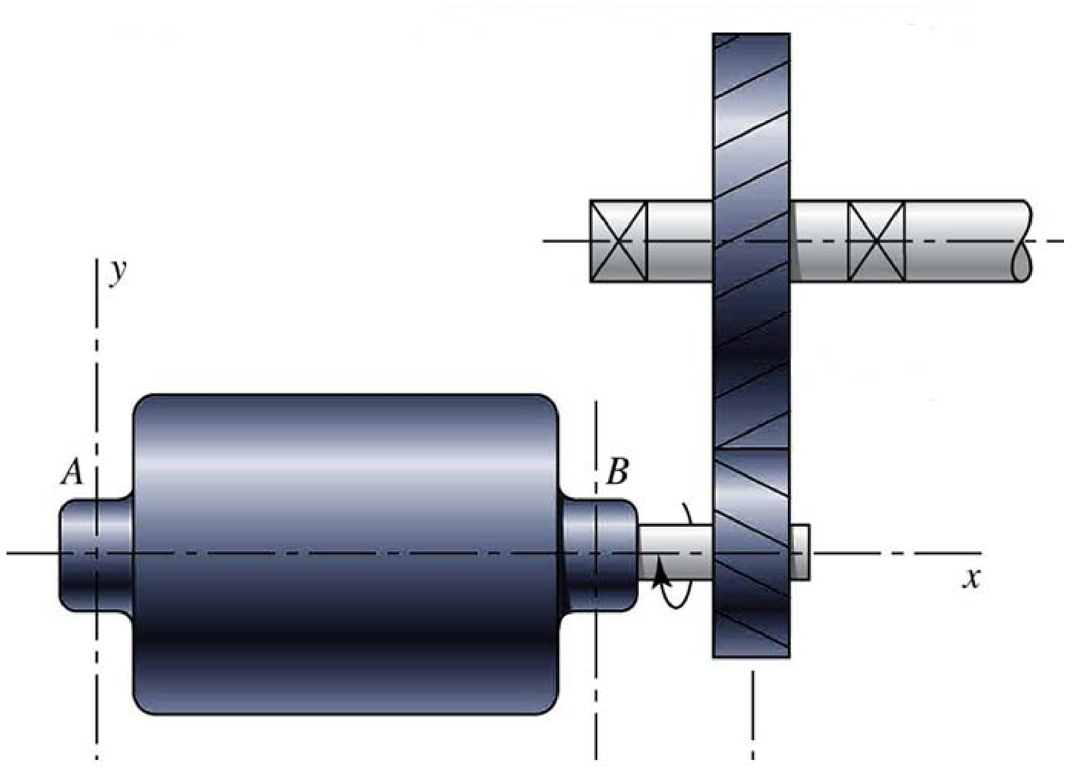
ANÁLISE DE FORÇA - ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS

Prof. Alexandre Augusto Pescador Sardá

ENGRENAGENS HELICOIDAIS DE EIXOS PARALELOS

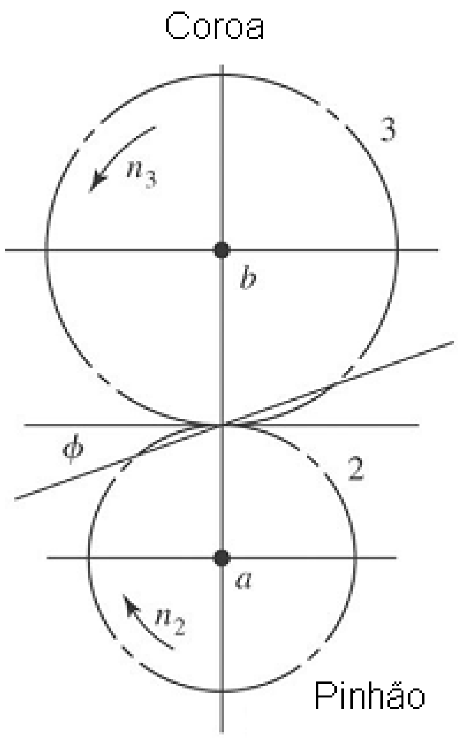
- Ângulo de hélice é o mesmo em cada engrenagem;

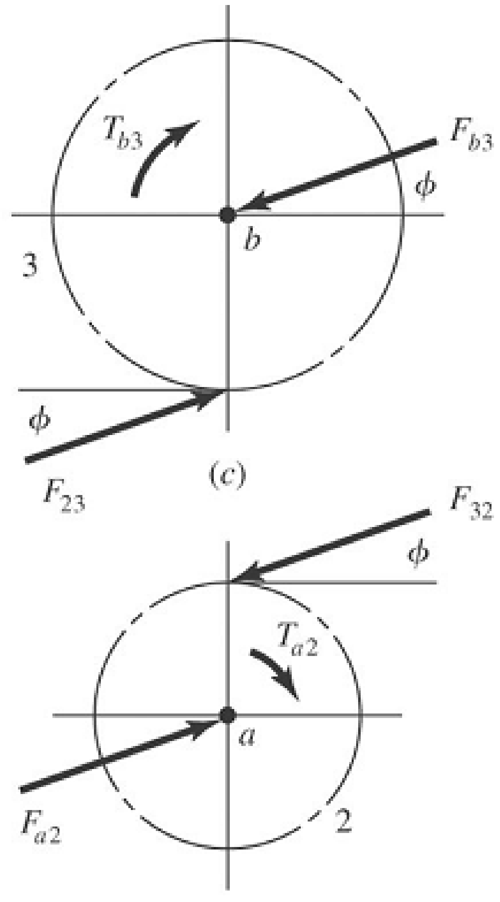
•Uma engrenagem deve ter uma hélice destra (mão direita) e a outra sestra (mão esquerda);



ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS

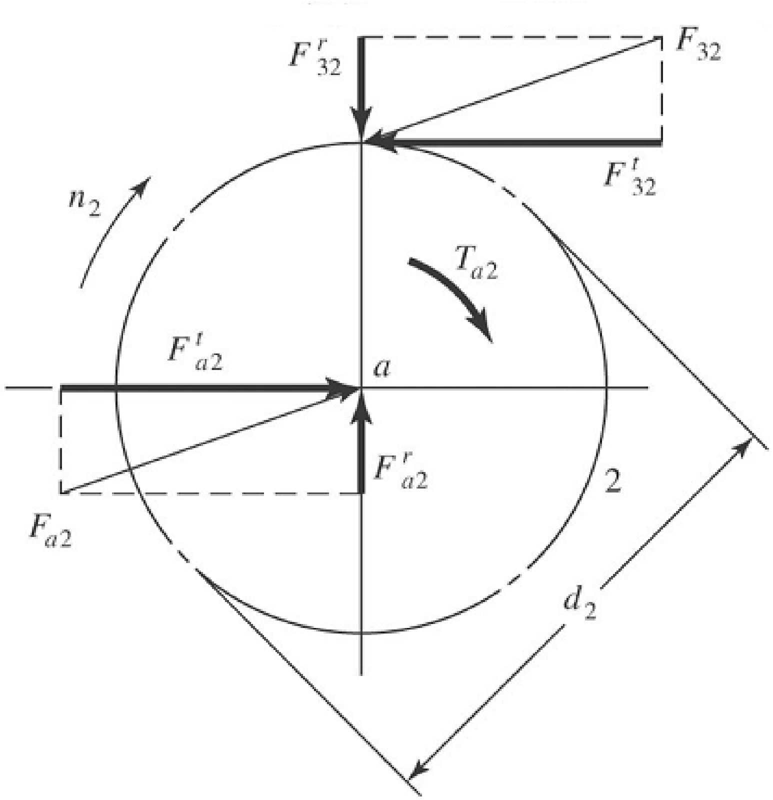
- As reações entre dentes engrenados ocorre ao longo da linha de pressão;





ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS

- Torque aplicado e carga transmitida:
- A componente radial não transmite torque.



$$\boxed{W_t = F^{t}_{32}}$$

$$\boxed{T = \frac{d}{2} W_t}$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS

$$\boxed{H = \frac{W_t V}{33000}}$$

$$\boxed{W_t = \frac{60(10^3)H}{\pi\, d\, n}}$$

$$\boxed{W_t \text{ é a carga transmitida}, kN}$$

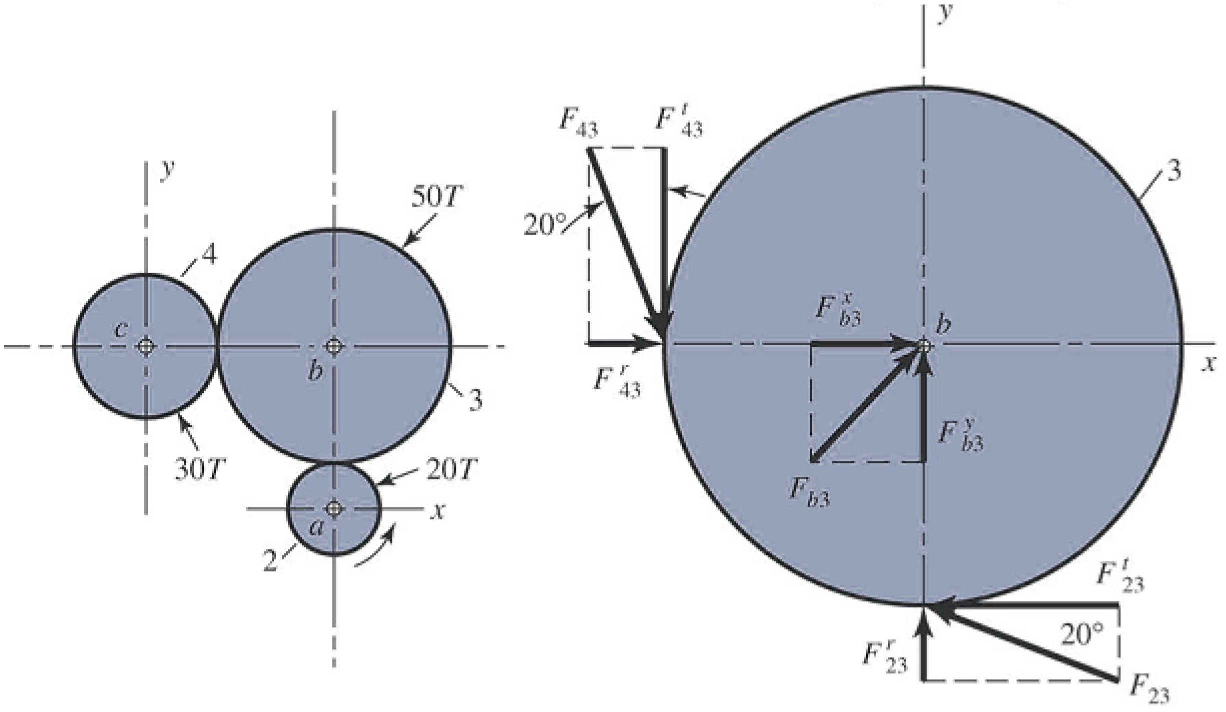
$$\boxed{H = Potência, kW}$$

$$\boxed{d = \text{diâmetro da engrenagem}, mm}$$

$$\boxed{n = velocidade, rpm}$$

EXERCÍCIOS

- O pinhão 2 roda a 1750 rpm e transmite 2,5 kW à engrenagem intermediária 3. Os dentes são cortados segundo o sistema de 20 de profundidade completa e têm um módulo m = 2,5 mm. Desenhe um diagrama de corpo livre da engrenagem 3 e mostre todas as forças que atuam sobre a mesma.



EXERCÍCIOS

- diâmetros primitivos:

$$\boxed{d_2 = N_2 m = 20(2,5) = 50\,mm}$$

$$\boxed{d_3 = N_3 m = 50(2,5) = 125\,mm}$$

$$\boxed{W_t = \frac{60(10^3)H}{\pi\, d_2\, n} = \frac{60(10^3)2,5kW}{\pi\, 50\left(1750\right)} = 0,546\,kN}$$

$$\boxed{F_{23}^{t} = 0,546\,kN}$$

$$\boxed{F_{23}^{r} = F_{23}^{t}\tan 20^0 = 0,199\,kN}$$

$$\boxed{F_{23} = \frac{F_{23}^{t}}{\cos 20^\circ} = \frac{0,546}{\cos 20^\circ} = 0,581\,kN}$$

EXERCÍCIOS

- Uma vez que a engrenagem 3 é intermediária, não transmite qualquer potência (torque) ao eixo ligado a si; assim, a reação tangencial da engrenagem 4 sobre a engrenagem 3 também é igual a W_r.

$$\boxed{F_{43}^{t} = 0{,}546\,kN} \quad \boxed{F_{43}^{r} = 0{,}199\,kN} \quad \boxed{F_{43} = 0{,}581\,kN}$$

- As reações nos eixos, nas direções x e y, são:

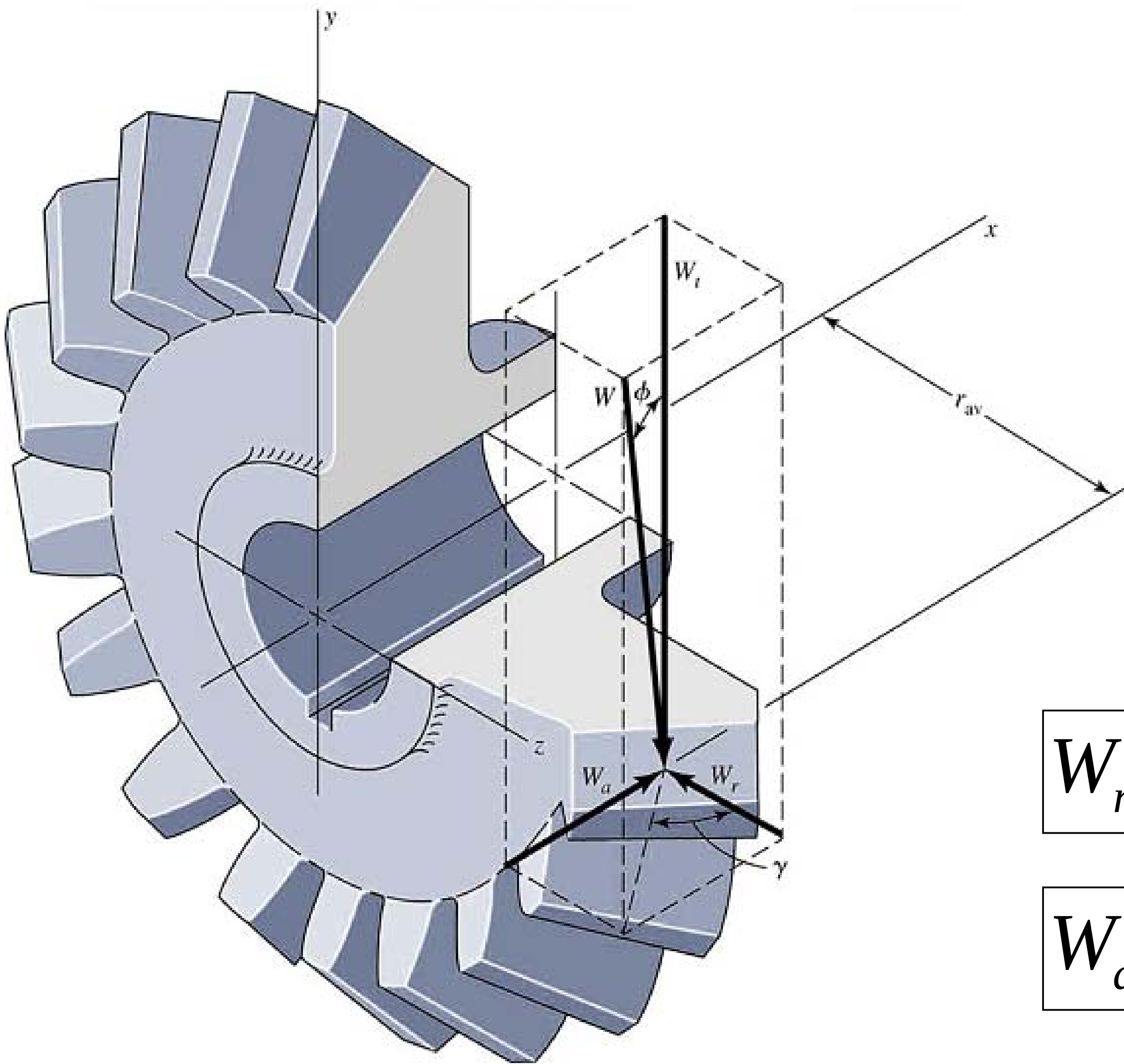
$$\boxed{F_{b3}^{x} = -\left(F_{23}^{t} + F_{43}^{r}\right) = -\left(-0{,}546 + 0{,}199\right) = 0{,}347\,kN}$$

$$\boxed{F_{b3}^{y} = -\left(F_{23}^{r} + F_{43}^{t}\right) = -\left(0{,}199 - 0{,}546\right) = 0{,}347\,kN}$$

- A reação resultante sobre o eixo é:

$$\boxed{F_{b3} = \sqrt{\left(0{,}347\right)^{2} + \left(0{,}347\right)^{2}} = 0{,}491\,kN}$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS CÔNICAS



- Considera-se a carga tangencial ou transmitida que ocorreria se todas as forças fossem concentradas no ponto médio do dente.

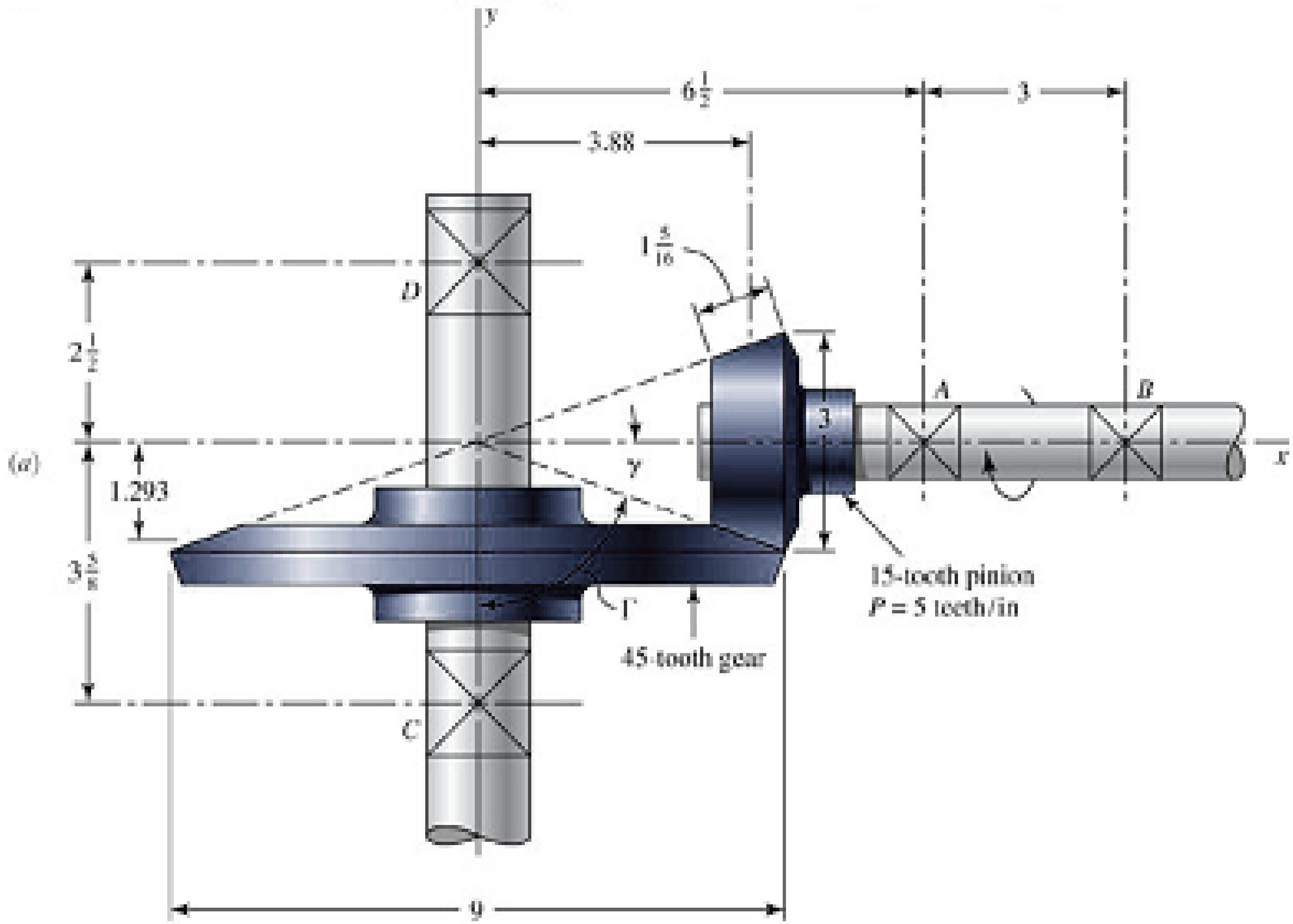
$$\boxed{W_t = \frac{T}{r_{av}}}$$

$$\boxed{W_r = W_t \tan\phi \cos\gamma}$$

$$\boxed{W_a = W_t \tan\phi \; sen\gamma}$$

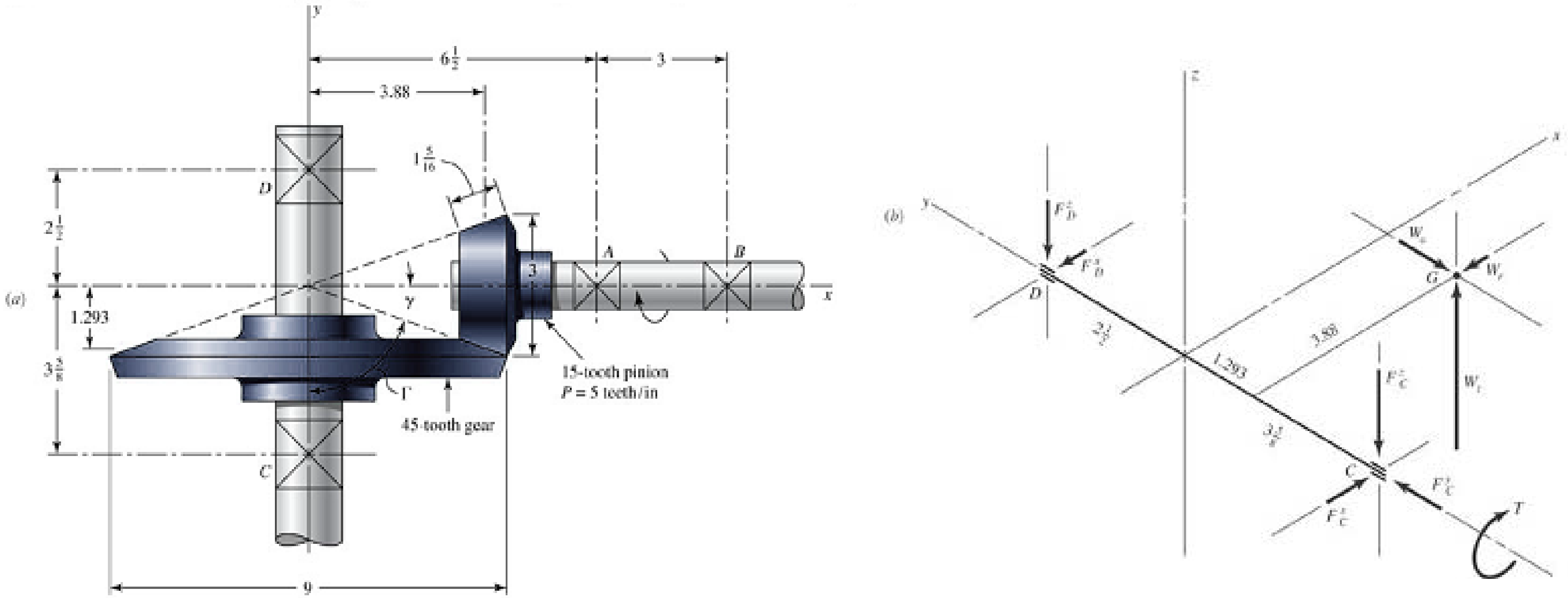
EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

- O pinhão cônico roda a 600 rpm e transmite 5 hp à engrenagem. As distâncias de montagem, a localização de todos os mancais e raios primitivos do pinhão e da coroa são exibidos na figura. Os mancais A e C devem escorar os esforços axiais. Encontre as forças dos mancais no eixo de engrenagens.



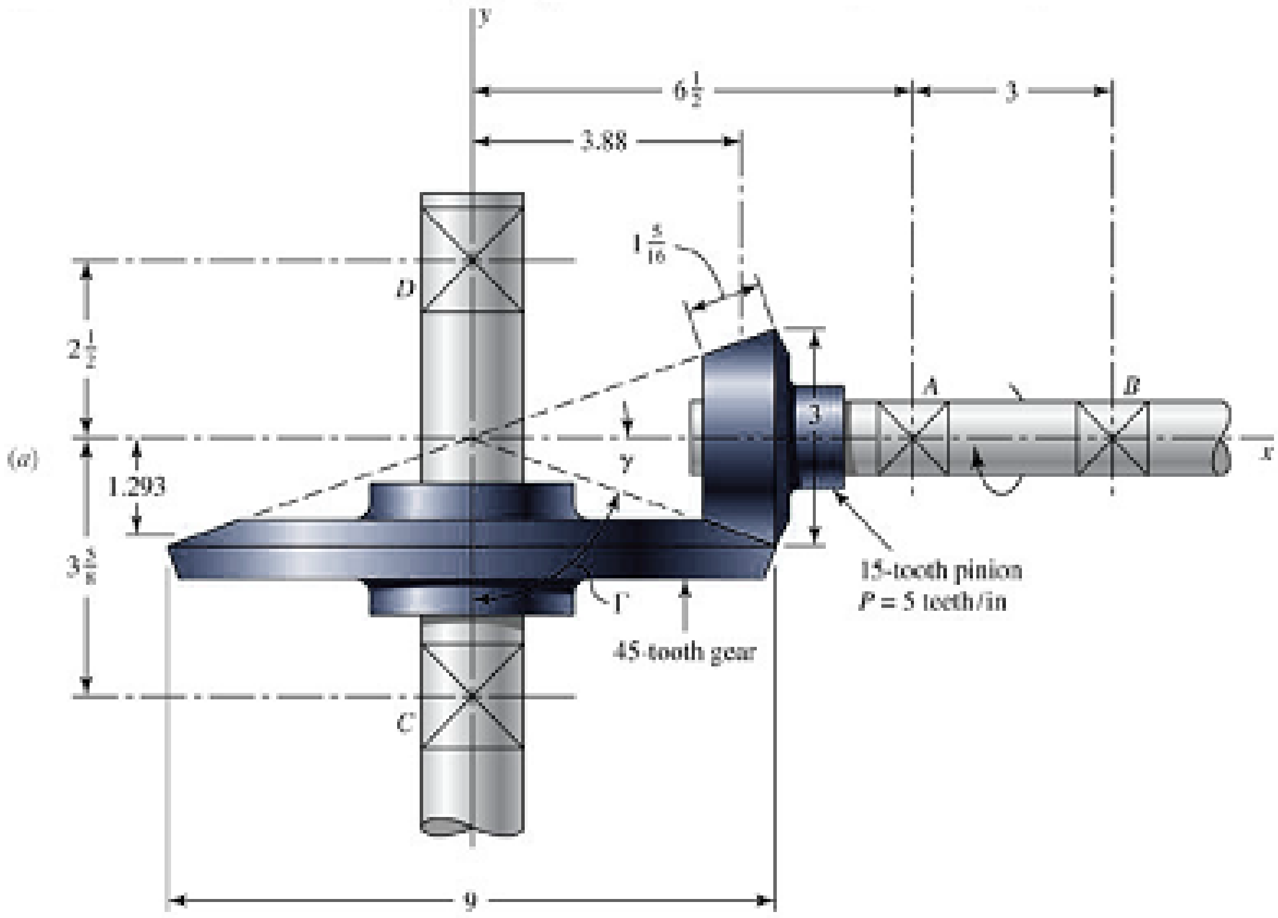
EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

- Diagrama de corpo livre do eixo CD



EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

- Ângulos primitivos:



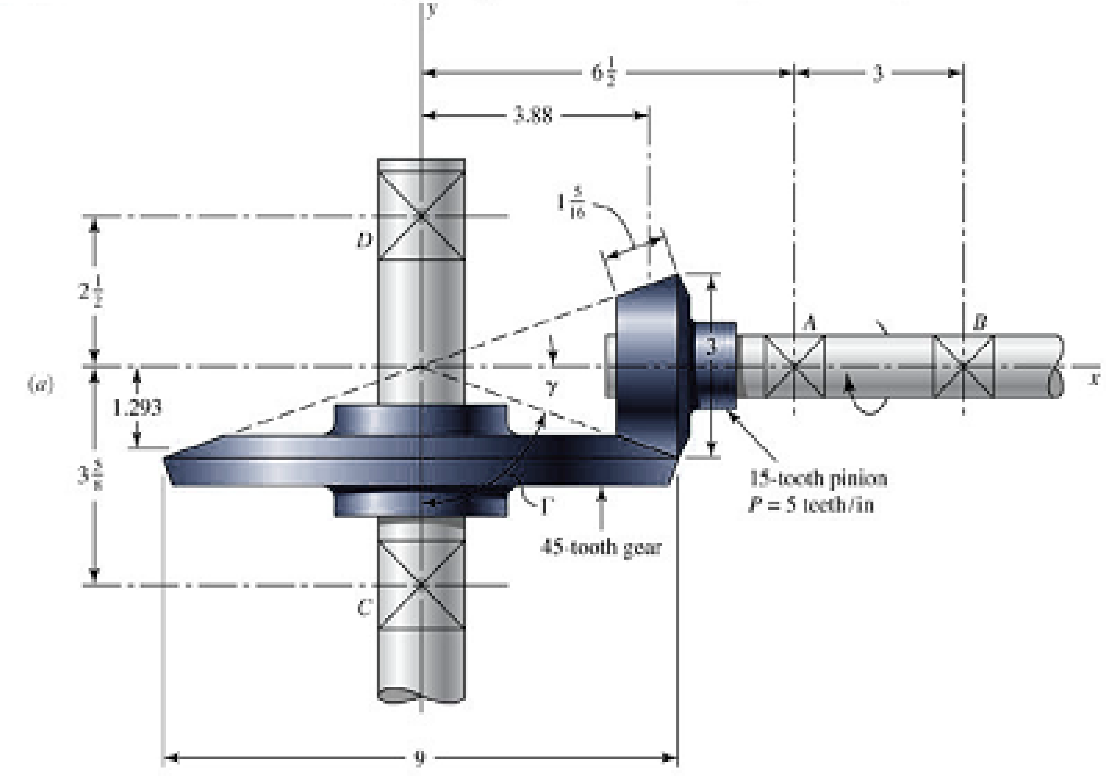
$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{3}{9}\right) = 18{,}43^0$$

$$\Gamma = \tan^{-1}\left(\frac{9}{3}\right) = 71{,}56^0$$

EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

- Velocidade no círculo primitivo:

$$V = 2\pi\, r_p\, n = 2\pi\left(1{,}293in * 0{,}02504\frac{m}{in}\right)\frac{600\,rpm}{60} = 2{,}03\frac{m}{s}$$



$$Pot = W_t V$$

$$W_t = \frac{Pot}{V}$$

$$W_t = \frac{5hp \cdot 746W/hp}{2{,}03\,m/s}$$

$$W_t = 1837{,}4\,N$$

Direção positiva do eixo z

EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

$$\boxed{W_r = W_t \tan\phi \cos\Gamma = 1837{,}4 \tan 20^0 \cos 71{,}6^0 = 211{,}09N}$$

Direção negativa do eixo x

$$\boxed{W_a = W_t \tan\phi\, sen\Gamma = 1837{,}4 \tan 20^0\, sen 71{,}6^0 = 634{,}5N}$$

Direção negativa do eixo y

Vetor de posição de **D** a **G** (em metros):

$$\boxed{\vec{R}_{DG} = 9{,}72\hat{i} - 9{,}49\hat{j}}$$

Vetor de posição de **D** a **C** (em metros):

$$\boxed{\vec{R}_{DC} = -15{,}34\hat{j}}$$

Momento em relação a **D**:

$$\boxed{\vec{R}_{DG} \times \hat{W} + \vec{R}_{DC} \times \vec{F}_C + \vec{T} = \vec{0}}$$

EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

$$\boxed{\begin{aligned}&\left(9{,}72\hat{i}-9{,}49\,\hat{j}\right)\times\left(-211{,}09\hat{i}-634{,}5\,\hat{j}+1837{,}4\hat{k}\right)+\\&\left(-15{,}34\,\hat{j}\right)\times\left(F_C^x\hat{i}+F_C^y\,\hat{j}+F_C^z\hat{k}\right)+T\hat{j}=\vec{0}\end{aligned}}$$

$$\boxed{\begin{aligned}&\left(-17436{,}9\hat{i}-17859{,}5\,\hat{j}-8169{,}74\hat{k}\right)+\\&\left(-15{,}34F_C^z\hat{i}+15{,}34F_C^x\hat{k}\right)+T\hat{j}=0\end{aligned}}$$

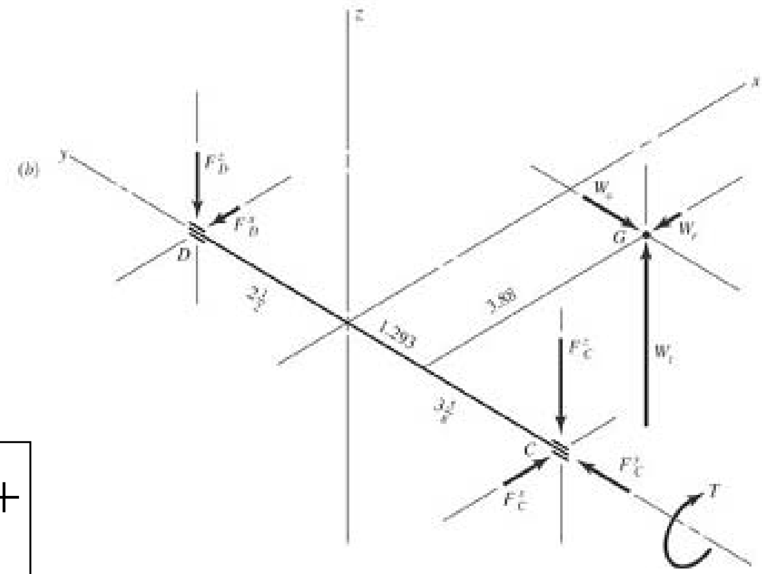
$$\boxed{\vec{T}=17859{,}5\,\hat{j}}$$

$$\boxed{F_C^x=532{,}5N}$$

$$\boxed{F_C^z=-1136{,}6N}$$

EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.

$$\vec{F}_D + \vec{F}_C + \vec{W} = \vec{0}$$



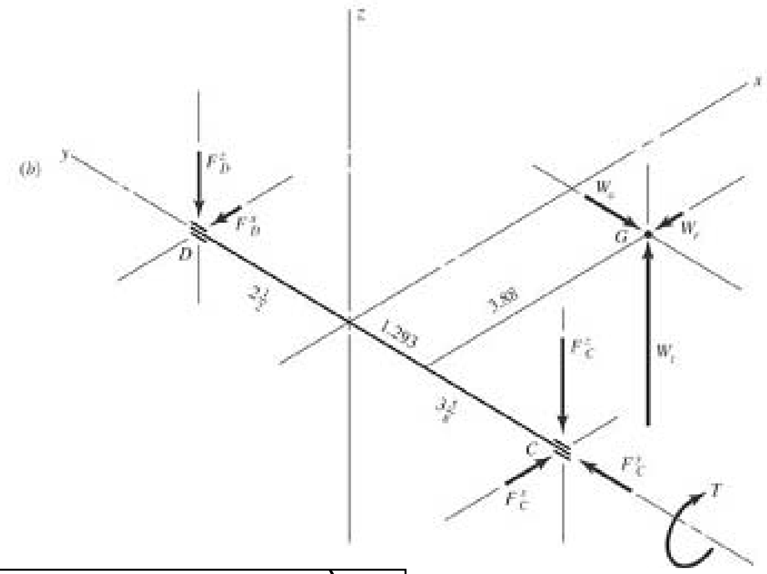
$$\left(F_D^x\hat{i} + F_D^z\hat{k}\right) + \left(532{,}5\hat{i} + F_C^y\hat{j} - 1136{,}6\hat{k}\right) + \left(-211{,}09\hat{i} - 635{,}05\hat{j} + 1837{,}4\hat{k}\right) = \vec{0}$$

$$F_C^y\hat{j} - 635{,}05\hat{j} = 0\hat{j}$$

$$F_C^y = 635{,}05N$$

$$\vec{F}_C = 532{,}5i - 635{,}05\hat{j} - 1136{,}6\hat{k}$$

EXERCÍCIO 13.7 – SHIGLEY – PG.659.



$$\left(F_D^x\hat{i} + F_D^z\hat{k}\right) + \left(532{,}5\hat{i} - 635{,}05\hat{j} - 1136{,}6\hat{k}\right) + \left(-211{,}09\hat{i} - 635{,}05\hat{j} + 1837{,}4\hat{k}\right) = \vec{0}$$

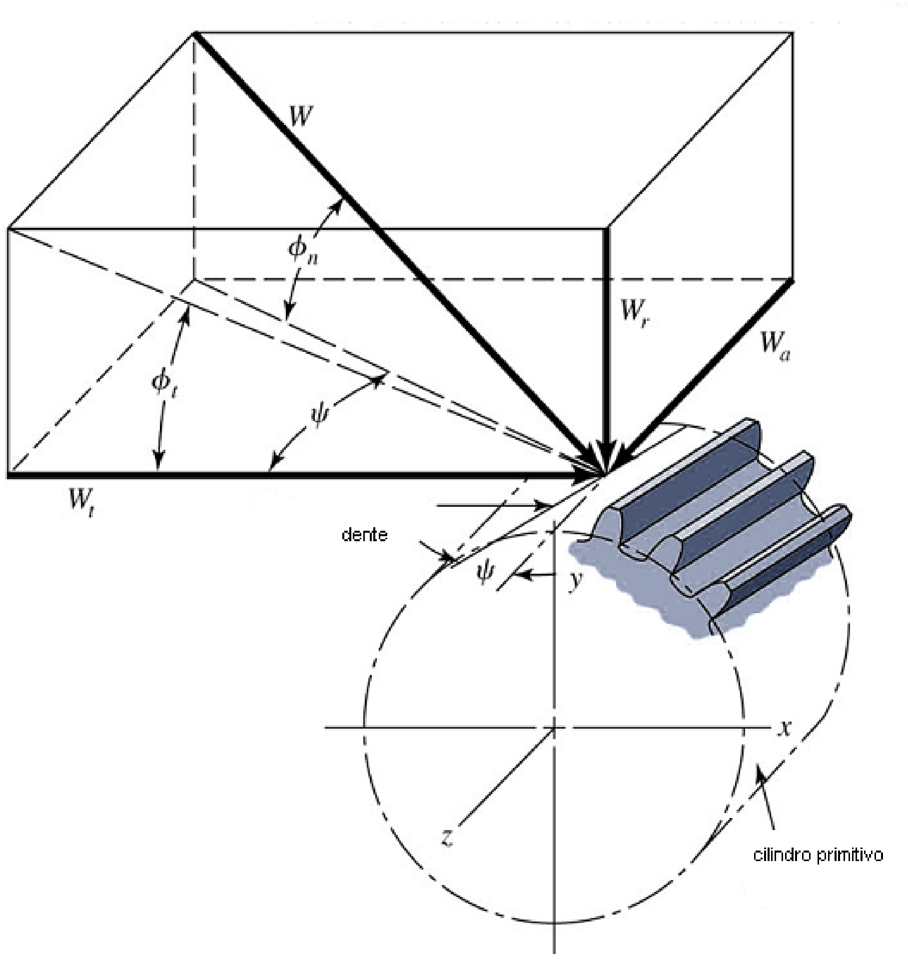
$$F_D^x = -321{,}41N$$

$$F_D^z = -700{,}8N$$

$$\vec{F}_D = -321{,}41\hat{i} - 700{,}8\hat{k}\ N$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS HELICOIDAIS

• O ponto de aplicação dessas forças localiza-se no plano de passo primitivo e no centro da face da engrenagem.



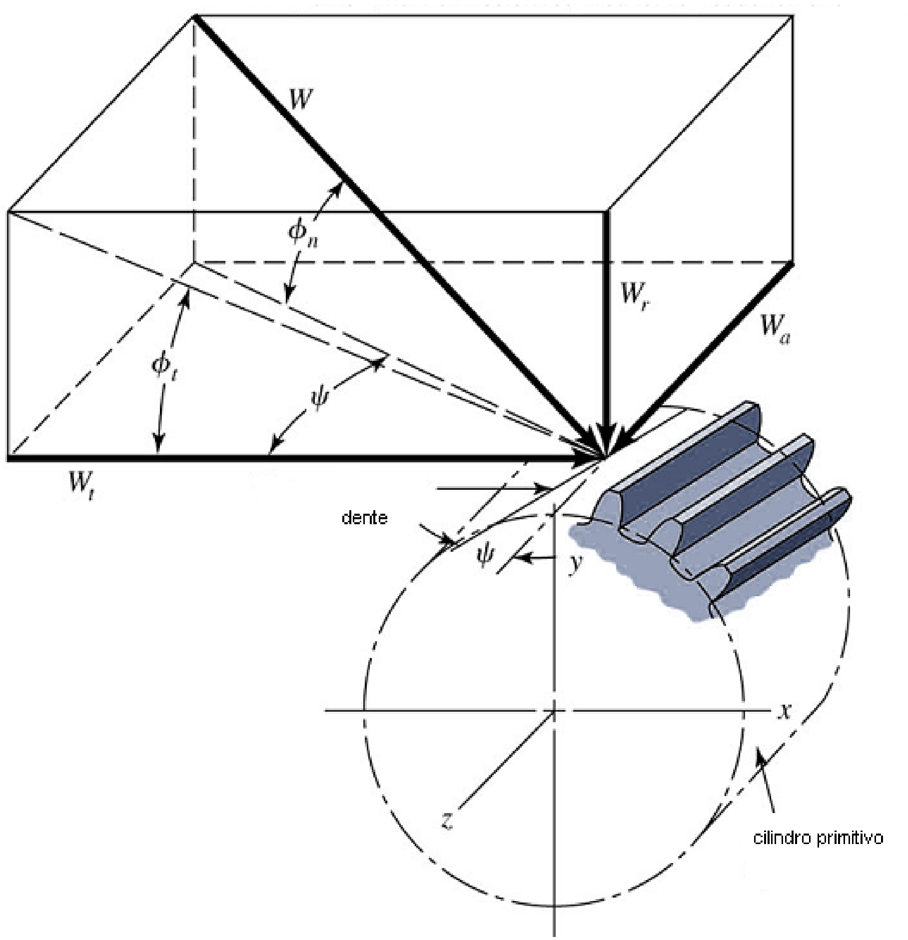
$$W_r = W sen \phi_n$$

$$W_t = W \cos\phi_n \cos\psi$$

$$W_a = W \cos\phi_n sen\psi$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS HELICOIDAIS

- Normalmente, W_t e as demais forças são requeridas.



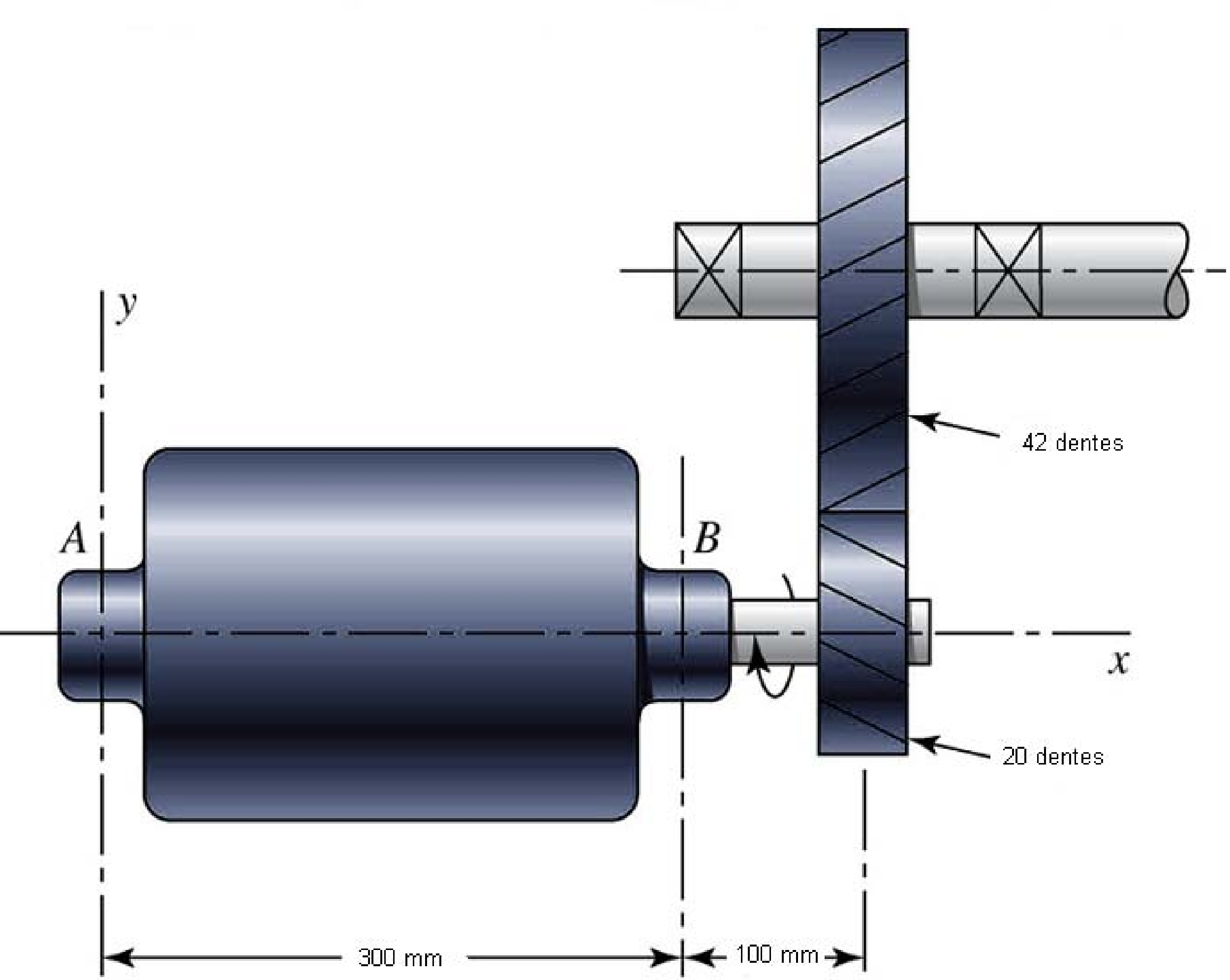
$$\boxed{W_r = W_t \tan \phi_t}$$

$$\boxed{W_a = W_t \tan \psi}$$

$$\boxed{W = \frac{W_t}{\cos \phi_n \cos \psi}}$$

EXERCÍCIO

- Um motor elétrico de 2 hp gira a 1800 rpm em sentido horário.Fixado ao motor há um pinhão helicoidal de 20 dentes com ângulo de pressão normal de 25º, ângulo de hélice de 35º, e um passo diametral normal de 10 dentes/polegada. Determine as forças atuantes no pinhão bem como as reações de mancal em A e B. O esforço axial deve ser suportado em A.



$$\boxed{\cos\psi = \frac{\tan\phi_n}{\tan\phi_t}}$$

$$\boxed{\phi_t = \arctan\left(\frac{\tan\phi_n}{\cos\psi}\right)}$$

$$\boxed{\phi_t = \arctan\left(\frac{\tan 25^0}{\cos 35^0}\right)}$$

$$\boxed{\phi_t = 29{,}65^0}$$

EXERCÍCIO

- Sabe-se que:

$$\boxed{P_t = P_n \cos\psi = 10\cos 35^0}$$

$$\boxed{P_t = 8{,}19\, dentes/\, polegada}$$

$$\boxed{d_p = \frac{N}{8{,}19} = \frac{20}{8{,}19} = 2{,}442\ polegadas = 62{,}02\, mm}$$

$$\boxed{V = \pi\, d\, n = \pi\left(62{,}02mm\right)\frac{1800}{60}\,Hz = 5845{,}9\, mm/s = 5{,}84\, m/s}$$

$$\boxed{W_t = \frac{Pot}{V}}$$

$$\boxed{W_t = \frac{2hp \cdot 746W/hp}{5{,}84\, m/s}}$$

$$\boxed{W_t = 255{,}2\, N}$$

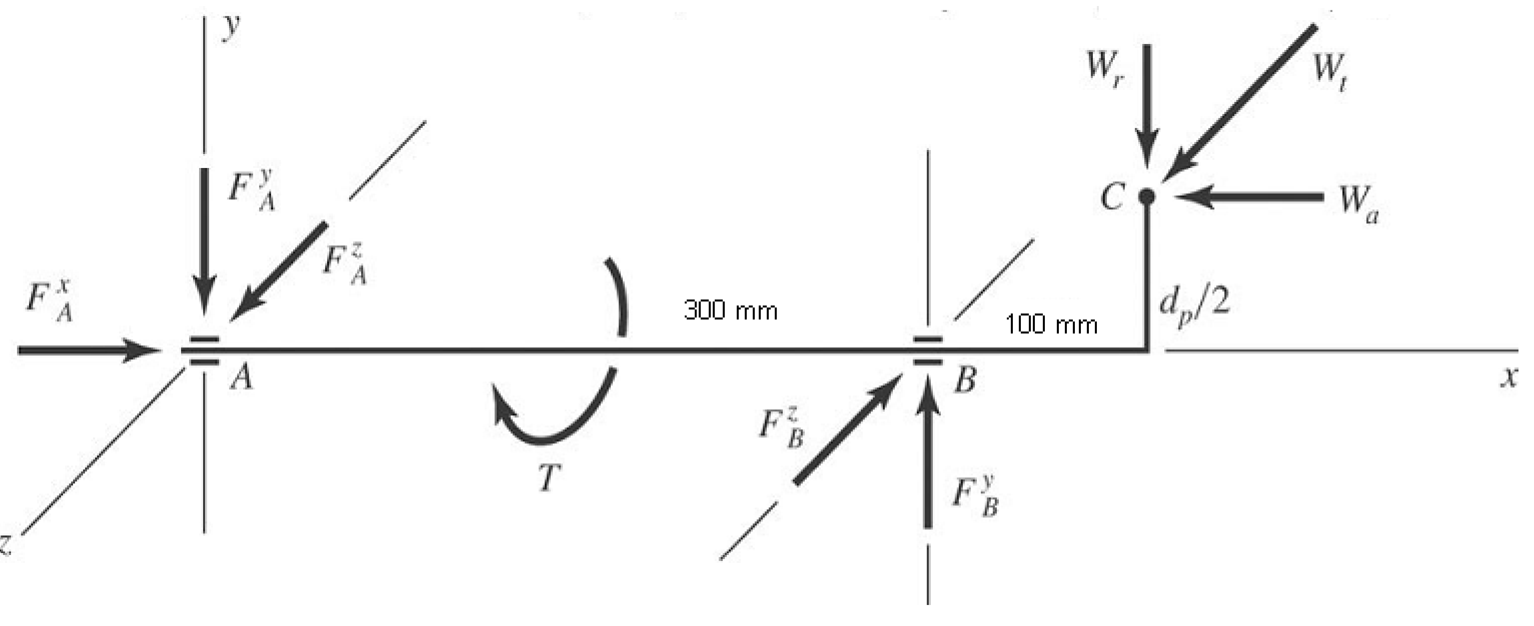
EXERCÍCIO

$$\boxed{W_r = W_t \tan\phi_t = 255{,}2 \tan 29{,}65^0 = 145{,}3N}$$

$$\boxed{W_a = 255{,}2 \tan 35^0 = 178{,}7N}$$

$$\boxed{W = \frac{255{,}2}{\cos 25^0 \cos 35^0} = 343{,}7N}$$

$$\boxed{F_A^x = W_a = 178{,}7\ N}$$



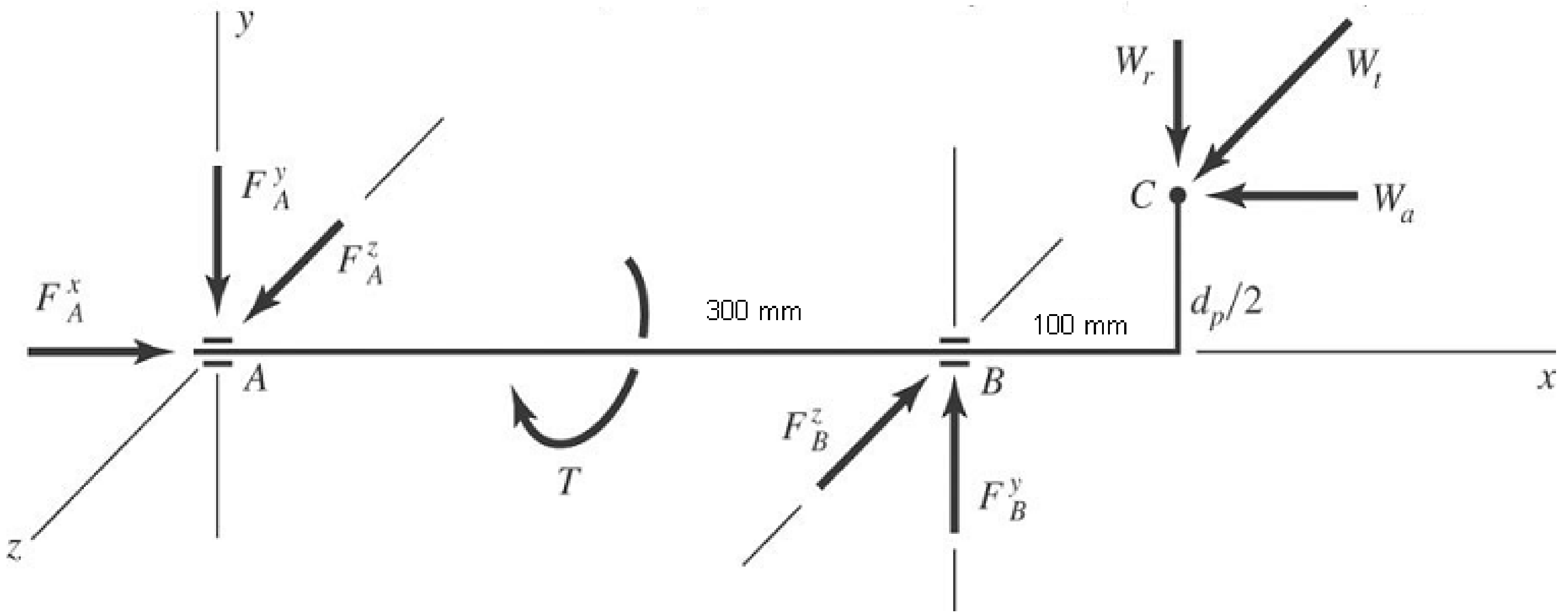
EXERCÍCIO

- Momento em relação ao eixo z::

$$\boxed{W_a \frac{d_p}{2} + F_B^y(300mm) - W_r(400mm) = 0}$$

$$\boxed{178{,}7\,N\,\frac{62{,}02mm}{2} + F_B^y(300mm) - 145{,}3(400mm) = 0}$$

$$\boxed{F_B^y = 175{,}3N}$$



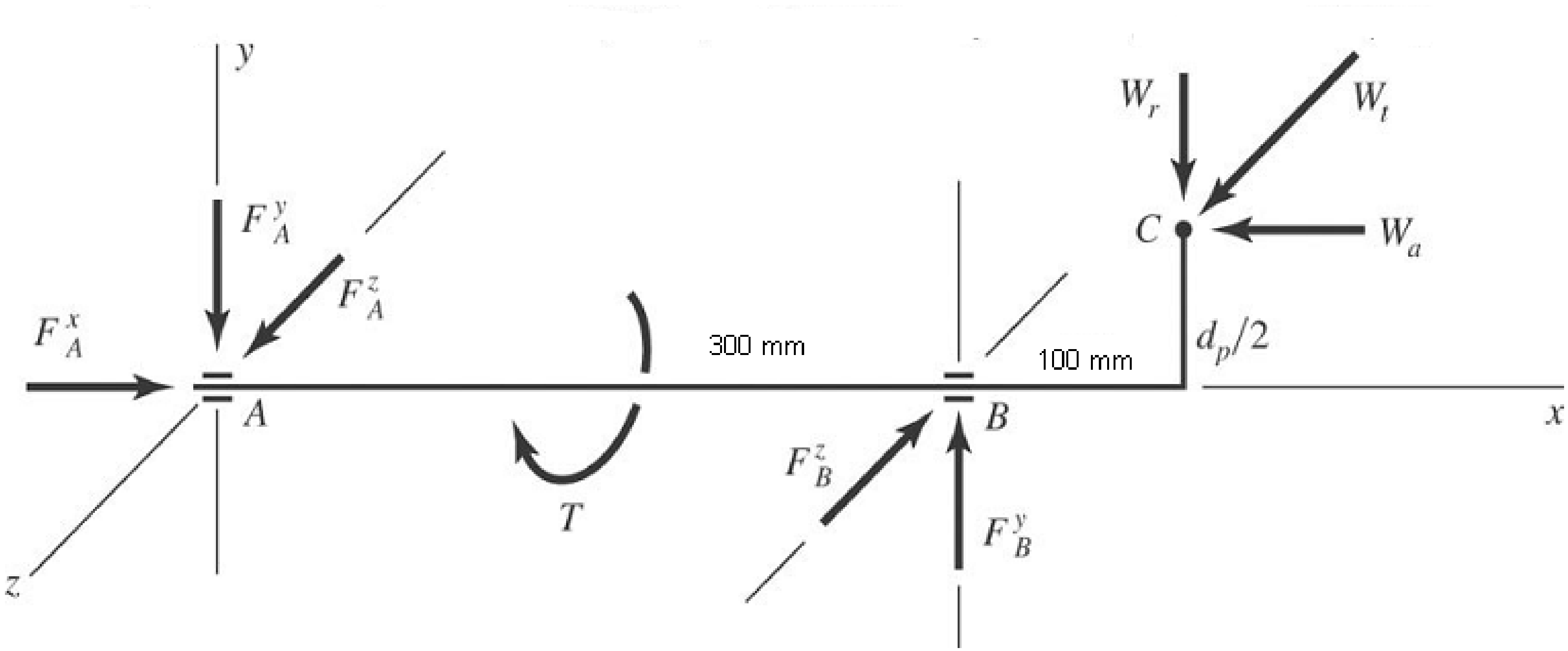
EXERCÍCIO

- Somando as forças na direção y:

$$\boxed{F_B^y - F_A^y - W_r = 0}$$

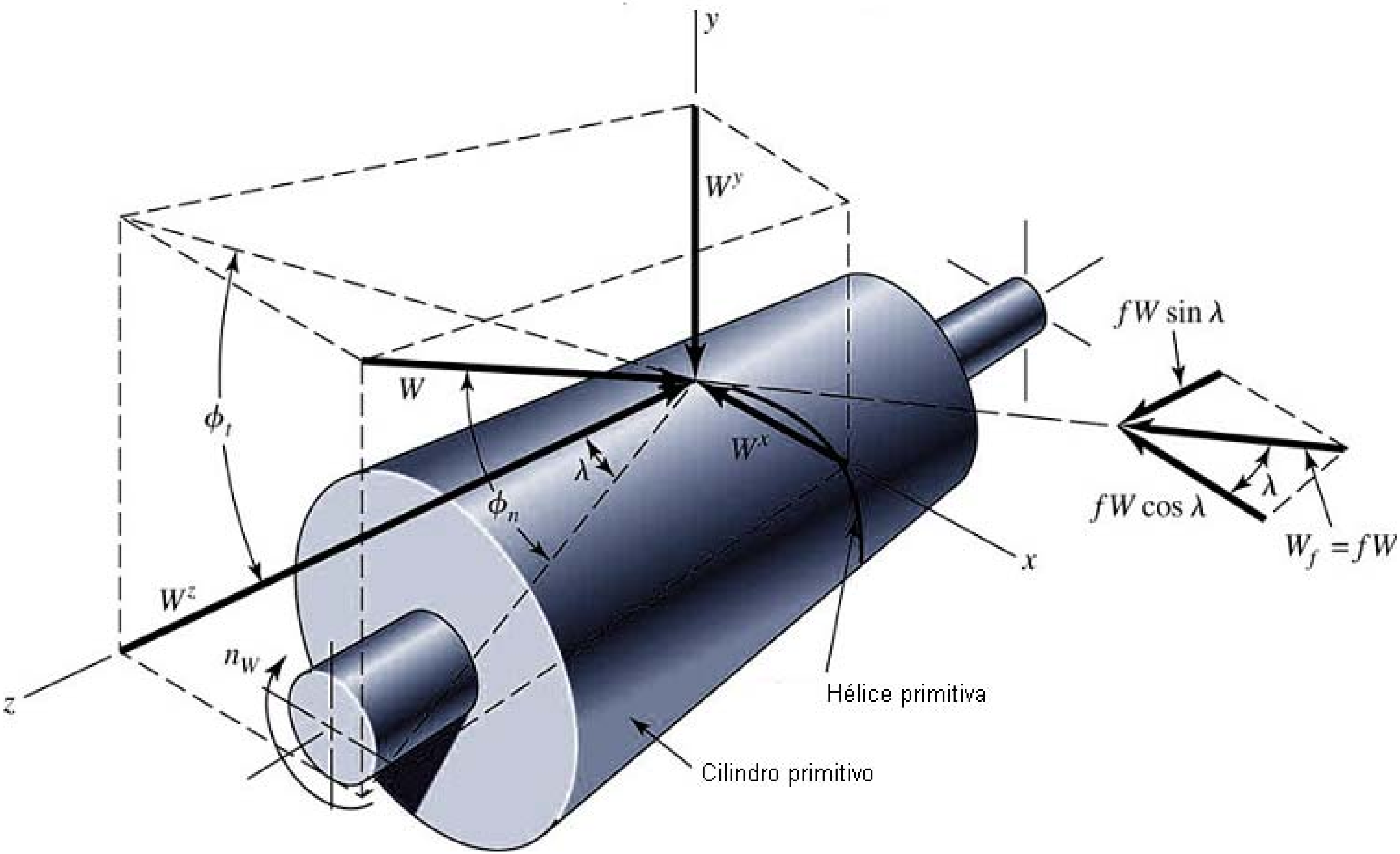
$$\boxed{175{,}3 - F_A^y - 145{,}3 = 0}$$

$$\boxed{F_A^y = 29{,}96\,N}$$



ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

- Desconsiderando-se o atrito, a única força aplicada pela coroa-sem-fim será a força W.:



ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

$$W^x = W \cos\phi_n \; sen\lambda$$

$$W^y = W \; sen\phi_n$$

$$W^z = W \cos\phi_n \cos\lambda$$

• W e G indicam as forças que agem no parafuso e na coroa, respectivamente. W^y é a força radial do parafuso e da coroa sem-fim. A força tangencial no parafuso é W^x e na coroa W^z. A força axial no parafuso é W^y e nacoroa W^x.

$$W_{wt} = -W_{Ga} = W^x$$

$$W_{wr} = -W_{Gr} = W^y$$

$$W_{wa} = -W_{Gt} = W^z$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

- Introduzindo-se o coeficiente de atrito f, tem-se

$$\boxed{W^x = W\left(\cos\phi_n sen\lambda + f\cos\lambda\right)}$$

$$\boxed{W^y = Wsen\phi_n}$$

$$\boxed{W^z = W\left(\cos\phi_n\cos\lambda - fsen\lambda\right)}$$

- Após alguma manipulação:

$$\boxed{W_f = fW = \frac{f\,W_{Gt}}{f\,sen\lambda - \cos\phi_n\cos\lambda}}$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

$$\boxed{W_{Wt} = W_{Gt}\,\frac{\cos\phi_n\, sen\lambda + f\cos\lambda}{f\, sen\lambda - \cos\phi_n\cos\lambda}}$$

- Eficiência definida como:

$$\boxed{\eta = \frac{W_{Wt}(sem\ fricção)}{W_{Wt}(com\ fricção)}}$$

- Após alguma manipulação:

$$\boxed{\eta = \frac{\cos\phi_n - f\tan\lambda}{\cos\phi_n + f\cot\lambda}}$$

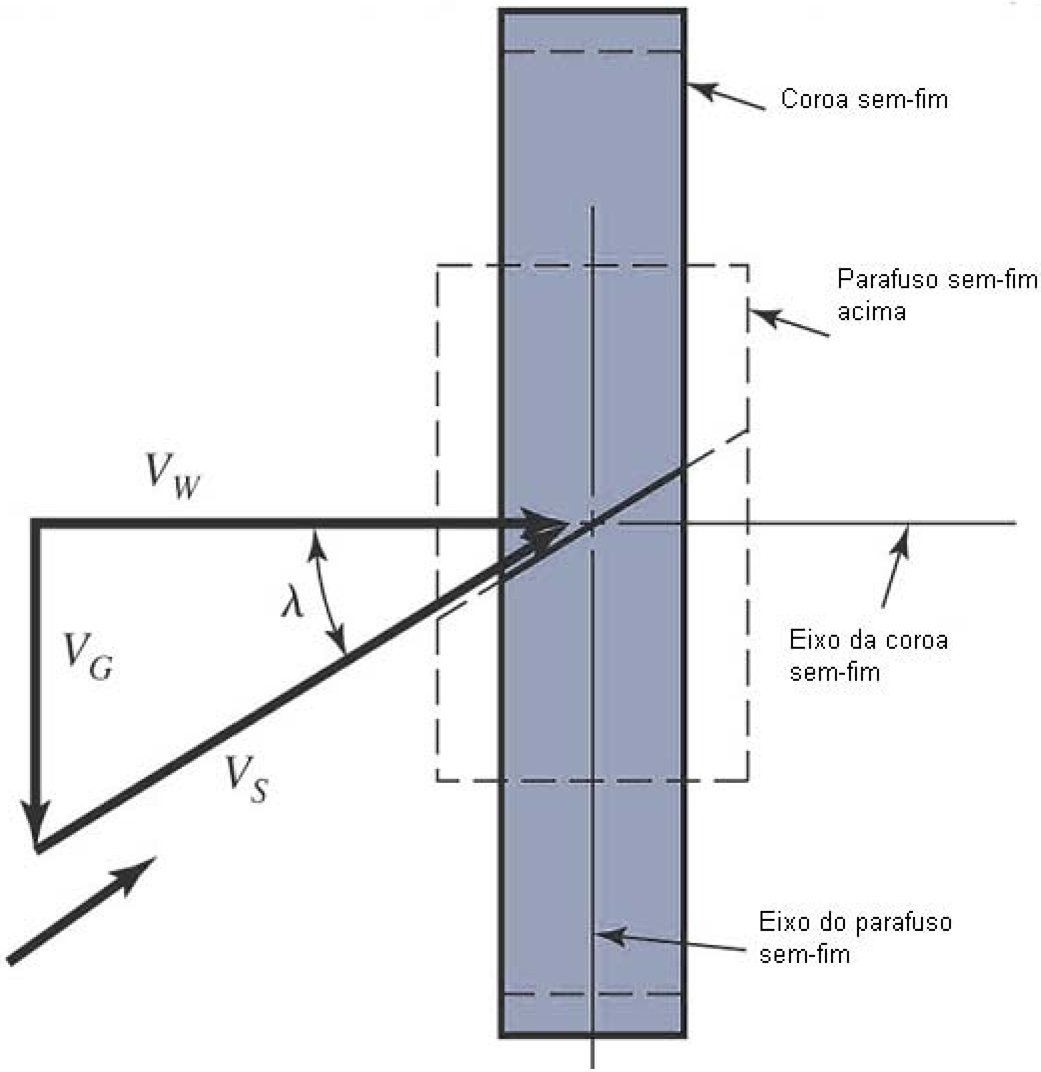
ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

- Eficiência de pares de engrenagens sem-fim para **f = 0,05**

Ângulo de hélice, graus	Eficiência
1,0	25,2
2,0	45,7
5,0	62
7,5	71,3
10,0	76,6
15,0	82,7
20,0	85,9
30,0	89,1

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

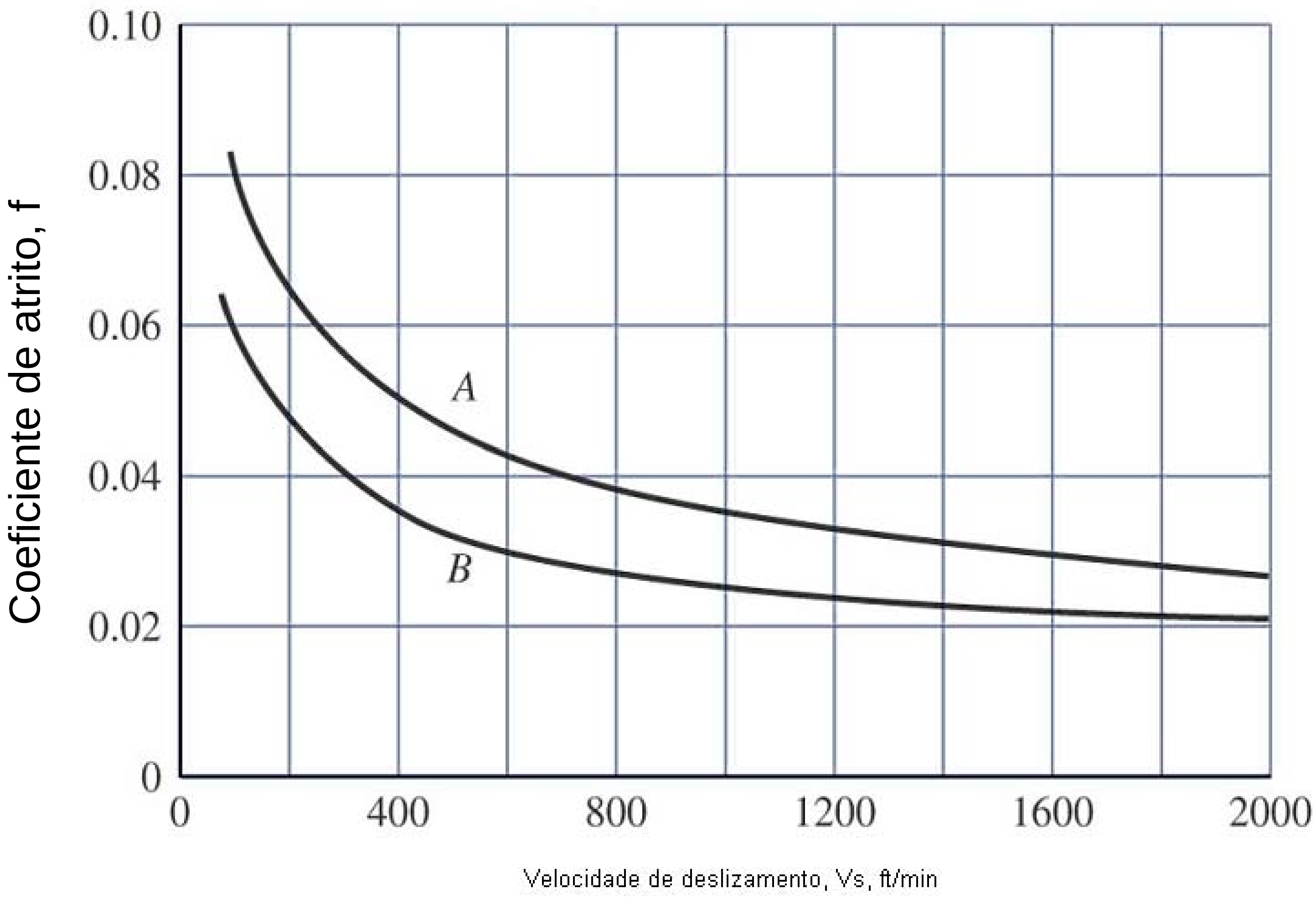
• Coeficiente de atrito é dependente da velocidade relativa ou de deslizamento (experimentos)



$$\boxed{V_S = \frac{V_W}{\cos\lambda}}$$

ANÁLISE DE FORÇA – ENGRENAGENS SEM-FIM

• Valores representativos do coeficiente de atrito para engrenagens sem-fim.

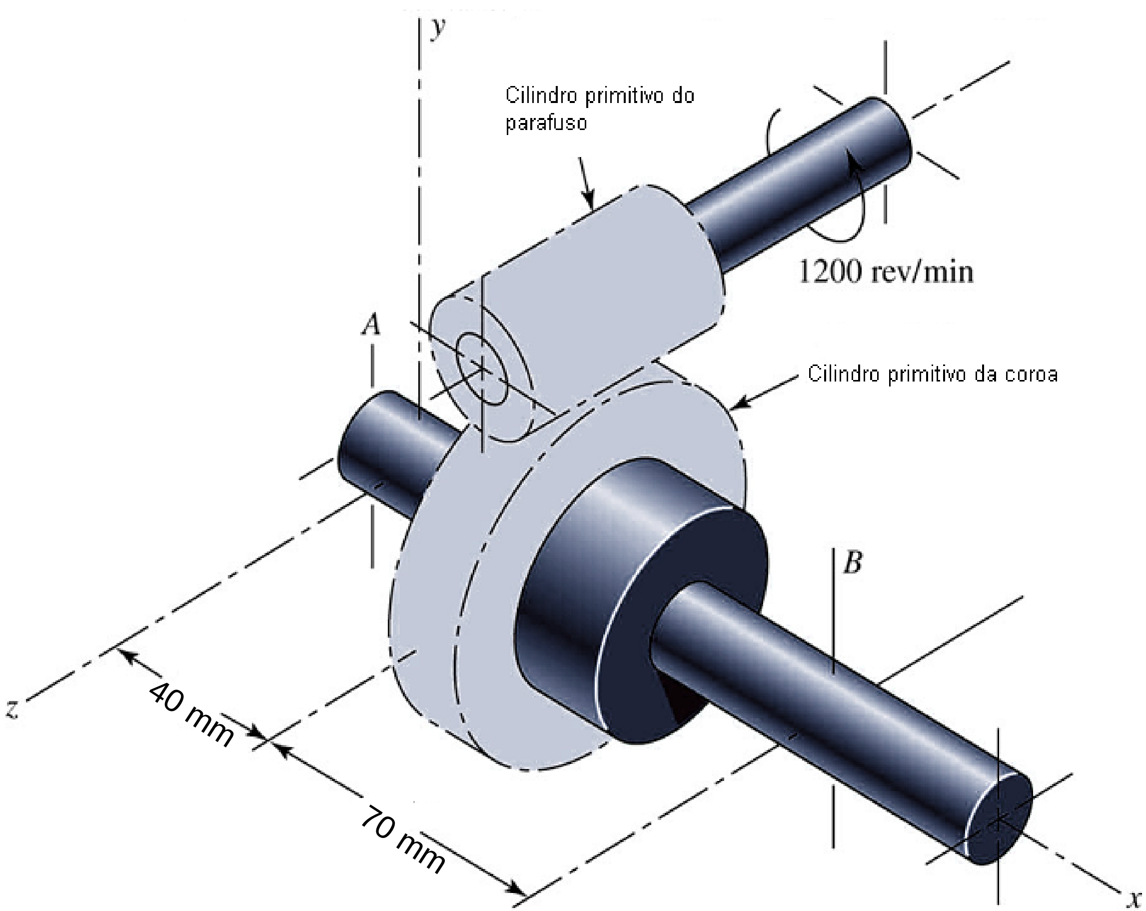


EXERCÍCIO

- Um pinhão destro sem-fim de 2 dentes transmite 2 hp, a 1000 rpm a uma coroa sem-fim de 20 dentes e passo diametral transversal de 5 dentes/in e uma largura de face de 30 mm. O pinhão apresenta um diâmetro primitivo de 40 mm e uma largura de face de 50mm. O ângulo de pressão normal vale 14,5º.

- A) Encontre o passo axial, a distância entre centros, o avanço e o ângulo de avanço.

- B)Encontre as forças exercidas pelos mancais contra o eixo da coroa sem-fim.



EXERCÍCIO

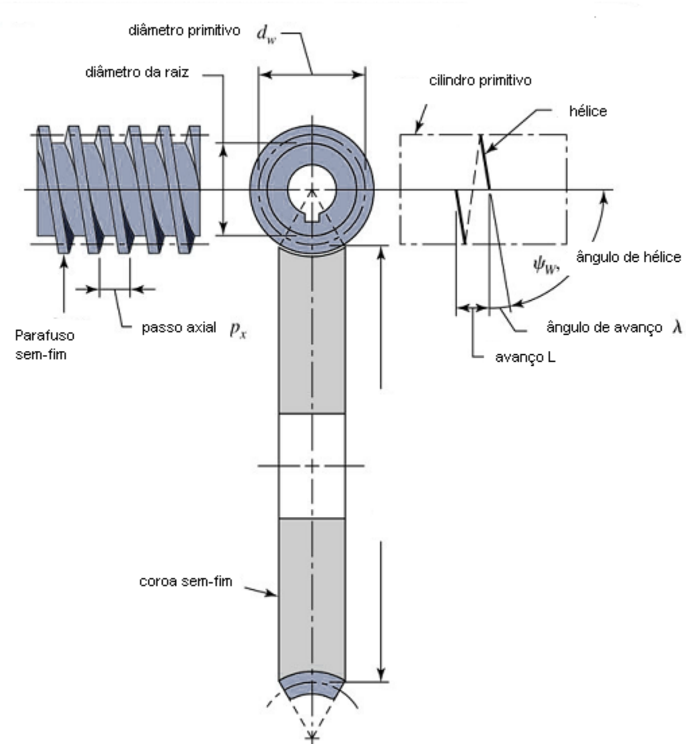
a) O passo axial é igual ao passo transversal da coroa:

$$p_x = p_t = \frac{\pi}{P} = \frac{\pi}{5} = 0{,}628\,in = 15{,}95\,mm$$

$$d_w = 40\,mm$$

$$d_G = \frac{N_G}{P} = \frac{20}{5} = 4\,in = 101{,}6\,mm$$

$$C = \frac{d_w + d_G}{2} = \frac{40 + 101{,}6}{2} = 70{,}8\,mm$$



EXERCÍCIO

Avanço:

$$\boxed{L = p_x\, N_w = 15{,}73\, mm(2) = 31{,}90\, mm}$$

$$\boxed{\tan\lambda = \frac{L}{\pi\, d_w} = \frac{31{,}90}{\pi(40)} = 0{,}25}$$

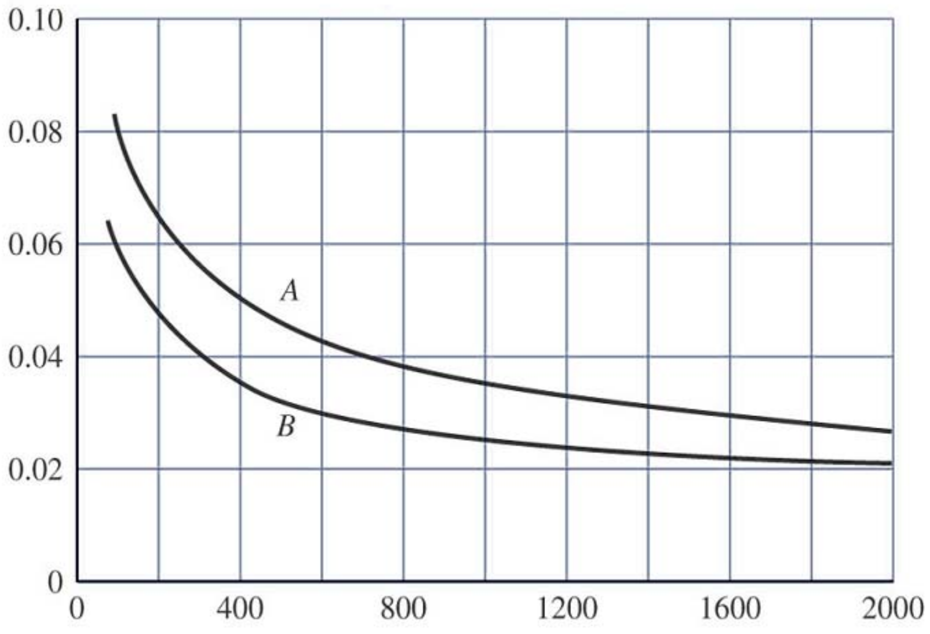
$$\boxed{\lambda = \frac{3190}{\pi(40)} = 14{,}24^0}$$

b) Velocidade na linha primitiva do pinhão:

$$\boxed{V_w = \pi\, d_w\, n_w = \pi(40\, mm)\frac{1000\, rpm}{60} = 2094{,}4\frac{mm}{s}}$$

$$\boxed{V_S = \frac{V_W}{\cos\lambda} = \frac{2094{,}4}{\cos(14{,}24^0)} = 2160{,}8\, mm / s = 425{,}4\, ft / \min}$$

EXERCÍCIO



Considerando-se f=0,05;

Forças:

$$\boxed{W_{wt} = \frac{Pot}{V_w} = \frac{2hp \cdot 746W/hp}{2{,}094\,m/s} = -712{,}5N}$$

EXERCÍCIO

Mas: $$W_{wt} = -W_{Ga} = W^x$$

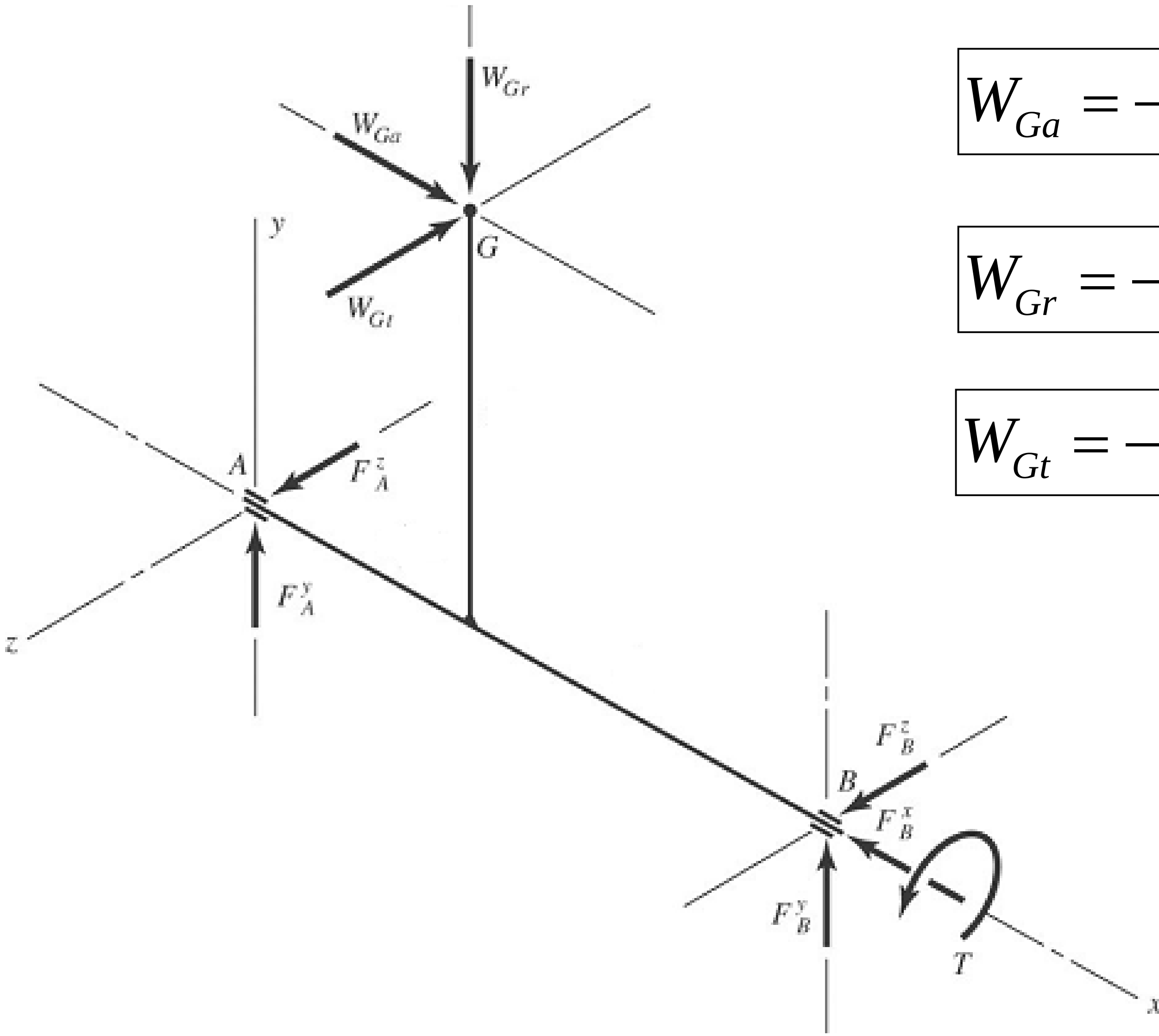
$$W = \frac{W^x}{\left(\cos\phi_n sen\lambda + f\cos\lambda\right)}$$

$$W = \frac{712{,}5\,N}{\left(\cos 14{,}5^0\, sen 14{,}24^0 + 0{,}05\cos 14{,}24\right)} = 2485{,}9\,N$$

$$W^y = Wsen\phi_n = 2485{,}9\, sen\left(14{,}5^0\right) = 622{,}4\,N$$

$$W^z = W\left(\cos\phi_n\cos\lambda - fsen\lambda\right) =$$
$$2485{,}9\left(\cos 14{,}5^0\cos 14{,}24^0 - 0{,}05\, sen 14{,}24^0\right) = 2302{,}2\,N$$

EXERCÍCIO



$$\boxed{W_{Ga} = -W^x = 712{,}5\,N}$$

$$\boxed{W_{Gr} = -W^y = -622{,}4\,N}$$

$$\boxed{W_{Gt} = -W^z = -2302{,}2\,N}$$

EXERCÍCIO

Assume-se o mancal B de escora, de forma que o eixo de engrenagens trabalhe em compressão:

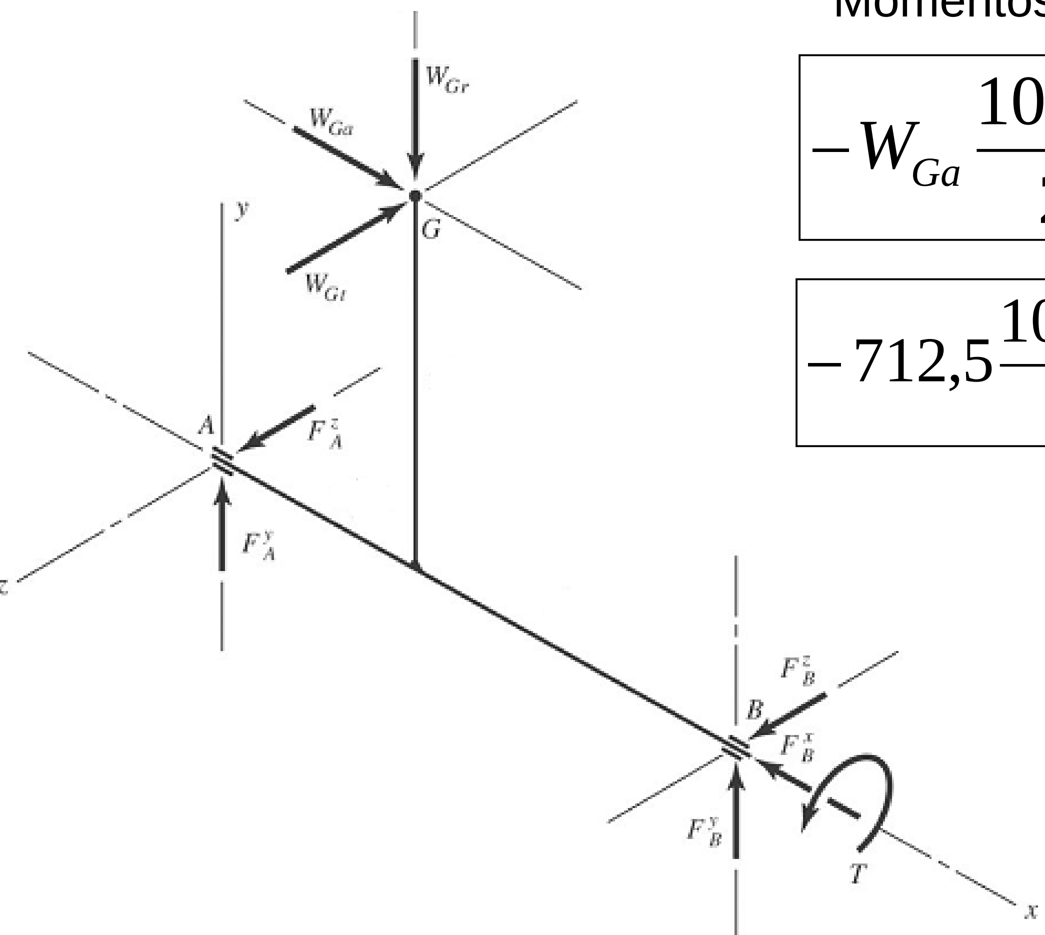
Forças na direção x: $$\boxed{F_B^x = W_{Ga} = 712{,}5\,N}$$

Momentos em relação a z:

$$\boxed{-W_{Ga}\frac{101{,}6}{2} - W_{Gr}40 + F_B^y(40+70) = 0}$$

$$\boxed{-712{,}5\frac{101{,}6}{2} - 622{,}4(40) + F_B^y(40+70) = 0}$$

$$\boxed{F_B^y = 555{,}4N}$$



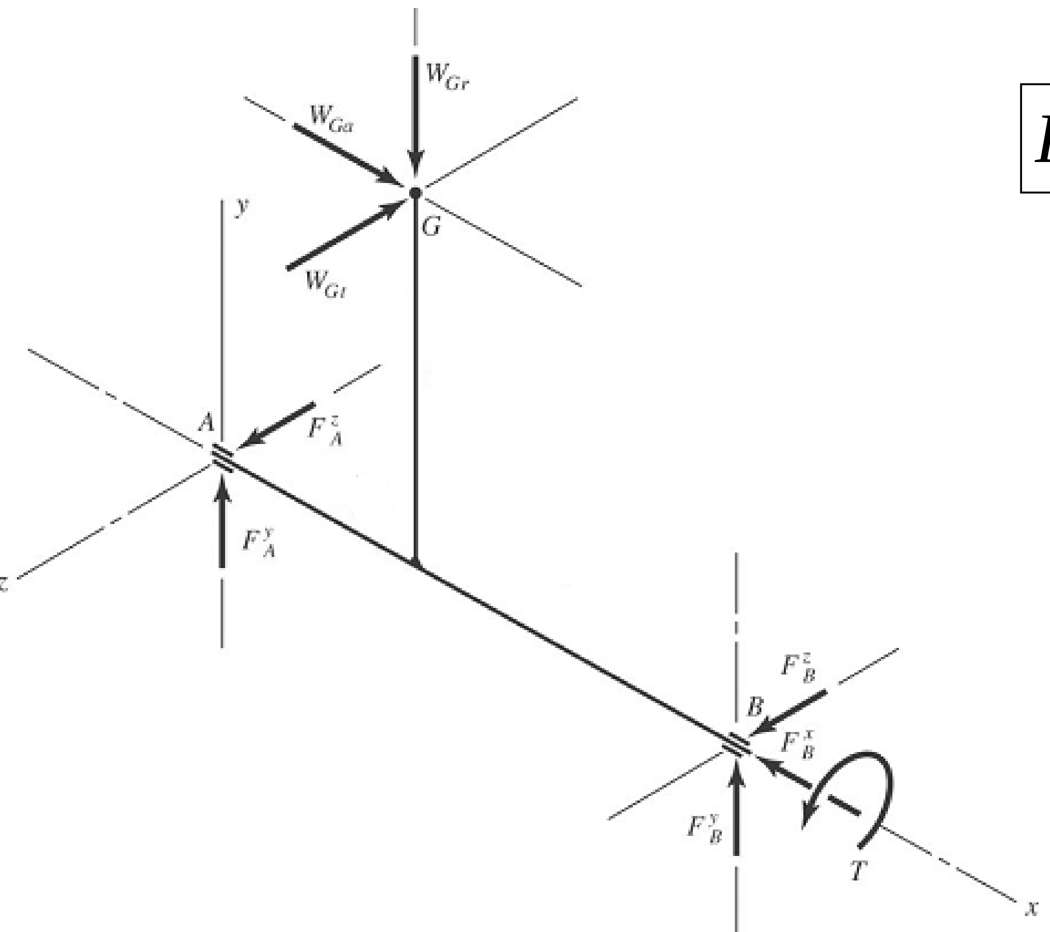
EXERCÍCIO

Momentos em relação a y:

$$\boxed{W_{Gt}\,40 - F_B^z(40+70) = 0}$$

$$\boxed{(2302{,}2)40 - F_B^z(40+70) = 0}$$

$$\boxed{F_B^z = 837{,}2N}$$



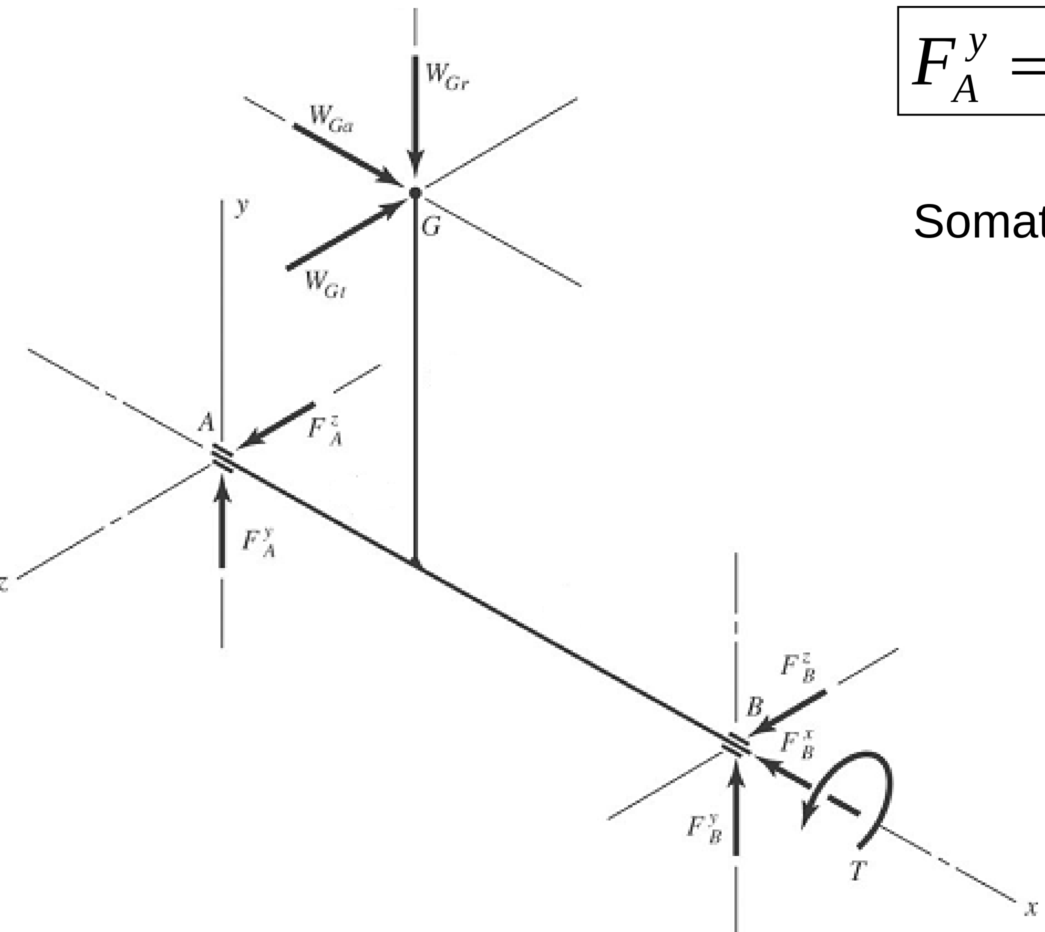
EXERCÍCIO

Somatório de forças em y:

$$\boxed{-W_{Gr} + F_B^y + F_A^y = 0}$$

$$\boxed{-622{,}4 + 555{,}4 + F_A^y = 0}$$

$$\boxed{F_A^y = 67\,N}$$



Somatório de forças em z:

$$\boxed{-W_{Gt} + F_B^z + F_A^z = 0}$$

$$\boxed{-2302{,}2 + 837{,}2 + F_A^z = 0}$$

$$\boxed{F_A^z = 1465}$$

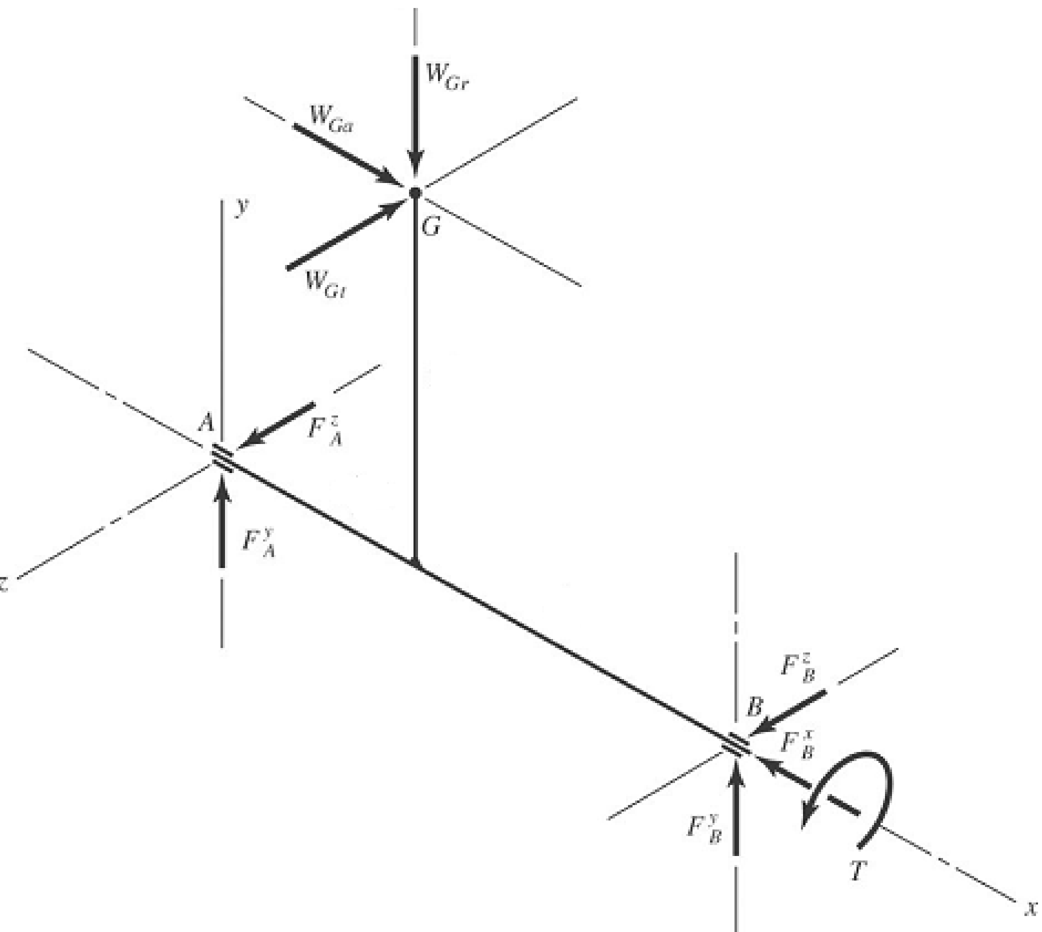
EXERCÍCIO

Somatório de momentos em x:

$$\boxed{T - W_{Gt}\frac{d_G}{2} = 0}$$

$$\boxed{T - 2302{,}2\frac{0{,}1016}{2} = 0}$$

$$\boxed{T = 116{,}95\,Nm}$$

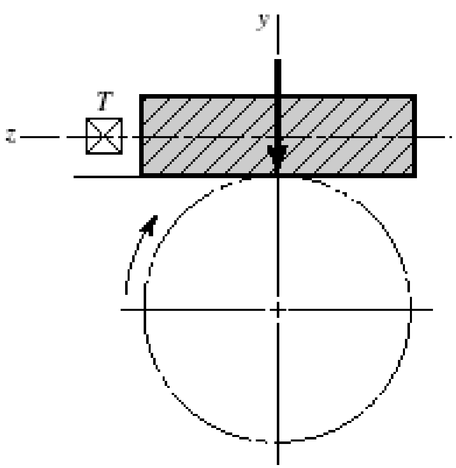


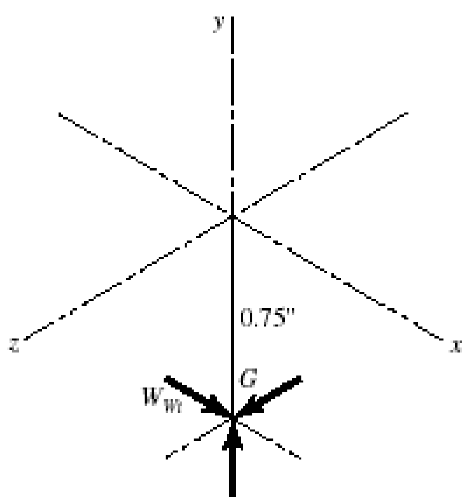
EXERCÍCIO – 13.43

Um pinhão sem-fim de 2 dentes transmite ½ hp a 900 rpm a uma coroa sem-fim de 36 dentes, com um passo diametral transversal de 10 dentes/in. O pinhão tem um ângulo de pressão normal de 14 ½º , um diâmetro primitivo de 1 ½ in e uma largura de face de 1 ½ in. Use um coeficiente de atrito de 0,05 e encontre a força exercida pela coroa sobre o pinhão, bem como o torque de entrada. Para a mesma geometria mostrada no Problema 13-41, a velocidade do pinhão é horária com relação ao eixo z.

$$\boxed{V_W = \frac{\pi(1{,}5)900}{12} = 353{,}42\ ft/\min}$$

$$\boxed{V_W = \pi(1{,}5 \cdot 25{,}4 mm/in)\frac{900}{60} = 1795{,}4\, mm/s = 1{,}80\, m/s}$$





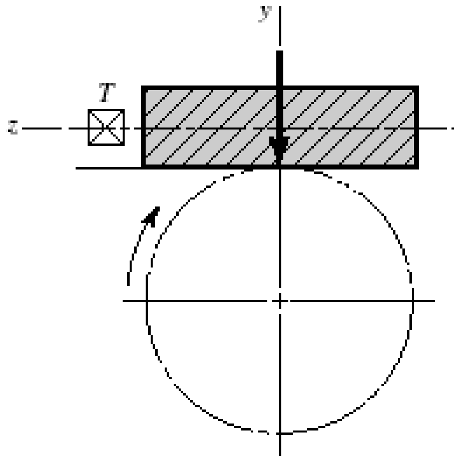
EXERCÍCIO – 13.43

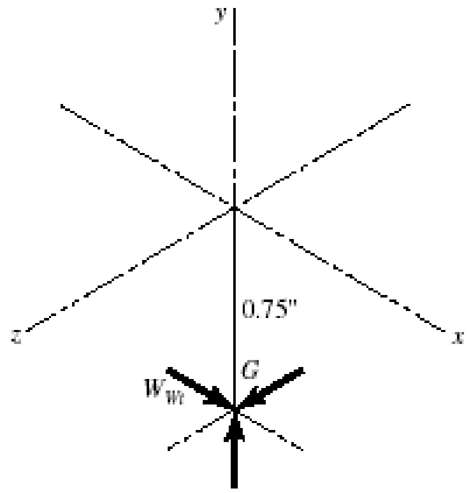
$$\boxed{H = 0,5\,hp = 373W = 0,373\,kW}$$

$$\boxed{W_x = W_{wt} = \frac{33000\,H}{V} = \frac{33000\,(0,5)}{353,42} = 46,7\,lbf}$$

$$\boxed{W_x = W_{wt} = \frac{60(10^3)\,H}{\pi\,d\,n} = \frac{60(10^3)\left(0,373\right)}{\pi\,(1,5\cdot 25,4)\,900} = 0,207\,kN}$$

$$\boxed{p_t = p_x = \frac{\pi}{10} = 0,3141\,in = 7,98\,mm}$$





EXERCÍCIO – 13.43

$$\boxed{L = p_x N_W = 0,3141(2) = 0,628\,in}$$

$$\boxed{L = p_x N_W = 7,98(2) = 15,96\,mm}$$

$$\boxed{\tan\lambda = \frac{L}{\pi d_w} = \frac{0,628\,in}{\pi(1,5\,in)} = 0,133}$$

$$\boxed{\tan\lambda = \frac{15,96\,mm}{\pi(38,1\,mm)} = 0,133}$$

$$\boxed{\lambda = 7,59^0}$$

$$\boxed{W = \frac{W^x}{(\cos\phi_n sen\lambda + f\cos\lambda)}}$$

$$\boxed{W = \frac{46,7\,lbf}{(\cos 14,5^0 sen 7,59^0 + 0,05\cos 7,59^0)} = 263,2\,lbf}$$

$$\boxed{W = \frac{207\,N}{(\cos 14,5^0 sen 7,59^0 + 0,05\cos 7,59^0)} = 1166,6\,N}$$

EXERCÍCIO – 13.43

$$\boxed{W^y = Wsen\phi_n = 263{,}2\,lbf\ sen\left(14{,}5^0\right) = 65{,}89\,lbf}$$

$$\boxed{W^y = Wsen\phi_n = 1166{,}6\,N\ sen\left(14{,}5^0\right) = 292{,}1\,N}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} W^z = W\left(\cos\phi_n \cos\lambda - fsen\lambda\right) = \\ 263{,}2\left(\cos 14{,}5^0 \cos 7{,}59^0 - 0{,}05\,sen 7{,}59^0\right) = 250{,}8\,lbf \end{array}}$$

$$\boxed{W^z = 1166{,}6\left(\cos 14{,}5^0 \cos 7{,}59^0 - 0{,}05\,sen 7{,}59^0\right) = 1111{,}8\,N}$$

$$\boxed{T = W_{wt}\frac{d_G}{2} = 46{,}7\,lbf\,\frac{1{,}5\,in}{2}} \qquad \boxed{T = 35{,}025\,lbf\ in}$$

$$\boxed{T = W_{wt}\frac{d_G}{2} = 207\,N\,\frac{38{,}1\,mm}{2}} \qquad \boxed{T = 3943{,}4\,N.mm}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 13.10;
- 13.11;
- 13.15;
- 13.28;
- 13.33;
- 13.41.

REFERÊNCIAS

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R., BUDYNAS, R.G., *Projeto de Engenharia mecânica, 7ª edição, Bookman.*