

Elementos de Máquina II

terça 17h → 19h

Quarta e sexta 19h → 23h

wmmaluf@fei.edu.br

Emenda: Maluf

Alberto

- Rolamento Cap 15

Fusos

hoodle NH 7510

- Fadiga

Projeto

- Eixos

Molas

Bibliografia

- Apostila Elmag I

- Catálogo de Rolamentos da SKF

Princípios da seleção e aplicação de arranjos de rolamentos industriais

Tribologia: Ciência que estuda a interação de superfícies em movimento relativo. Preocupa-se com três princípios básicos:

- Atrito

- Desgaste

- Lubrificação

Empresas de rolamentos: SKF, NSK e TIMKEN

Objetivo: redução do atrito. Dessa maneira obtêm-se os resultados:

• aumento da eficiência energética

• redução do desgaste e

• possibilita que altas velocidades sejam atingidas

Como diminuir o atrito entre superfícies? Alterando-se os seguintes parâmetros dos corpos em contato

• Forma

• Fluidas

• Material

• Compos



Objetivo

- Escolher o rolamento certo
- Determinar quanto tempo ele vai durar em serviço

12-10-2015

Tipos de Rolamentos

Radiais: Suporta cargas predominantemente radiais

Axiais: Suporta cargas predominantemente axiais

De leva e de apoio: Suportam altas cargas combinadas

Elementos Rolantes

- Esferas
- Rolos
 - Cilíndricos
 - Cônicos
- Agulhas

Seleção do tipo de Rolamento

- Os seguintes fatores devem ser considerados na seleção:
 - Espaço disponível
 - Rígidez
 - Carga: magnitude e direção
 - Deslocamento axial
 - Desalinhamento
 - Montagem e desmontagem
 - Precisão
 - Vedantes integrados
 - Funcionamento silencioso
 - Lubrificação
 - Velocidade



Seleção do tamanho do rolamento

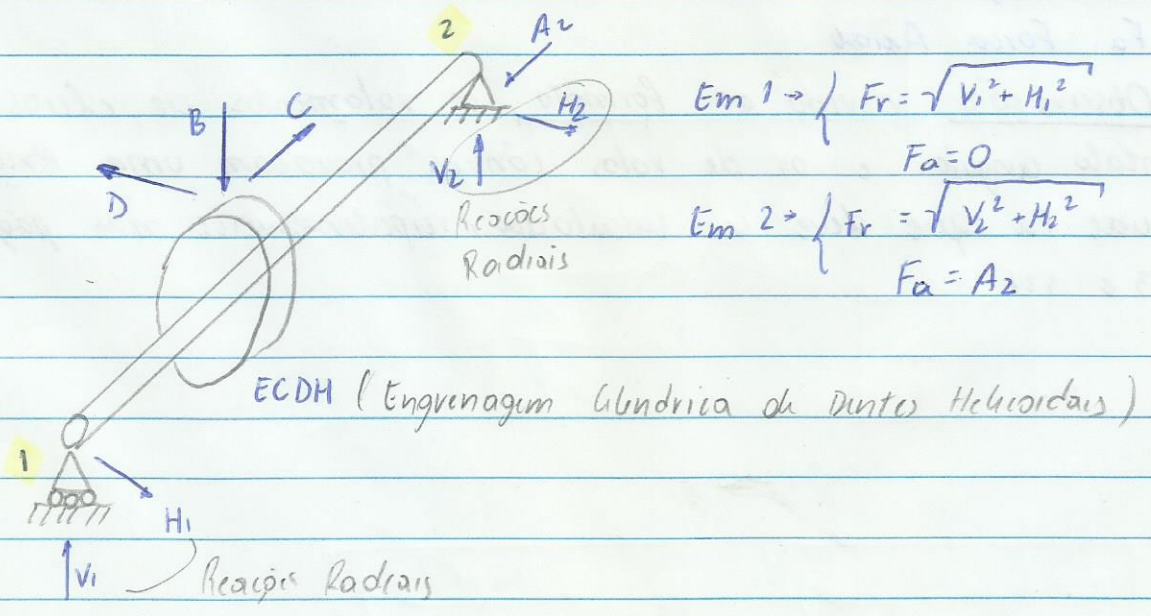
- Designação: Série-diâmetro. Exemplo: 6208 ↗ 8x5=40mm
- Série: 62 Série
- Índice: pag 929 $d = 5 \times 08 = 40 \text{ mm}$
- Pag 933: rigidido de eixos (pag 106)
- C e C_0 - pag 190

}	$C = 16\ 800 \text{ N}$
	$C_0 = 11\ 600 \text{ N}$

Estimativa da vida útil

• Conceito bloqueado-livre: O arranjo de rolamentos do eixo de uma máquina geralmente requer dois rolamentos para suporte das componentes radiais e axiais. São chamados de rolamento bloqueado (carga axial e radial) e livre (carga radial).

Quando possível o mancal que recebe a força axial C deve ser o fixo.



O Cálculo da Vida ~~Nominal~~ Nominal (L) é dado pela ISO 281-1990.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{ou} \quad L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10}$$

[L_{10}]: Em milhões de Revoluções

L_{10} : Vida com 90% de confiabilidade (Para 95% de confiabilidade temos L_5)

C: Capacidade de carga Dinâmica (Experimental) (Encontrado nas tabelas)

P: Carga Atuante no rolamento (Carga dinâmica equivalente)

p: Expoente de vida (empírico) $\left\{ \begin{array}{l} p=3: \text{esfera} \\ p=\frac{10}{3}: \text{rolos ou agulhas} \end{array} \right.$

L_{10h} : Vida com 90% de confiabilidade em horas

n: número de revoluções do eixo

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

X e Y: Fatores de carga radial e axial catalogadas para cada rolamento

F_r : Força Radial

F_a : Força Axial

Observação: devido ao formato, os rolamentos de esferas de contato angular e os de rolos cônicos provocam uma força axial F_a que deve ser calculada, respectivamente nas páginas 293 e 321

Exercício 1 (Cap 15)

- Determine a vida nominal básica (90% confiabilidade) em horas

Rolamento 6308

$n = 800 \text{ rpm}$

Força radial: 2800 N

Para Rolamento 6308 $\left\{ \begin{array}{l} C = 41\,000 \text{ N} \\ C_0 = 24\,000 \text{ N} \end{array} \right. \quad P_u = 1020 \text{ N}$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} \quad ; \quad L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad ; \quad P = X F_r + Y F_a$$

$$L_{10} = \left(\frac{41\,000}{2800} \right)^3 \quad \therefore \quad L_{10} = 3\,139,62 \text{ milhões de rotações}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot 3\,139,62}{60 \cdot 800} \quad \therefore \quad L_{10h} = 65\,408,81 \text{ horas}$$

Capítulo 2 - Fadiga

V_{outloc} : Rotating Beam Fatigue

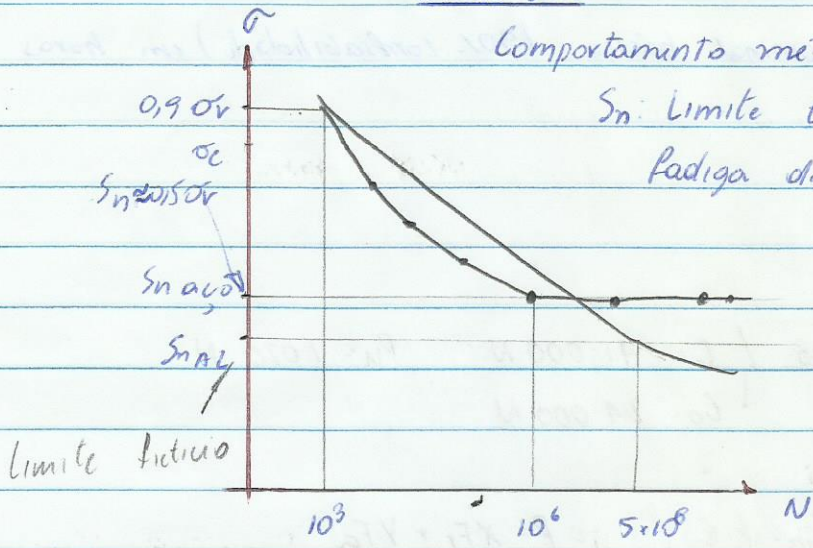
- A maioria das falhas não ocorrem devido a esforços estáticos e sim por cargas que variam no tempo.

- Tipicamente em tensões inferiores ao escoamento.

① ensaio de flexão rotativa de R.R. noore determina o limite de fadiga do corpo de provas S_n :

- Flexão pura
- Diâmetro normalizado
- Superfície polida
- Temperatura de 20°C
- Confiabilidade de 50%

Curva S-N



Comportamento médio

S_n : Limite teórico de resistência à fadiga do corpo de prova

Tab. pg. 2-8

Caso não tenha acesso aos dados

Formulação de Basquim

ABendi

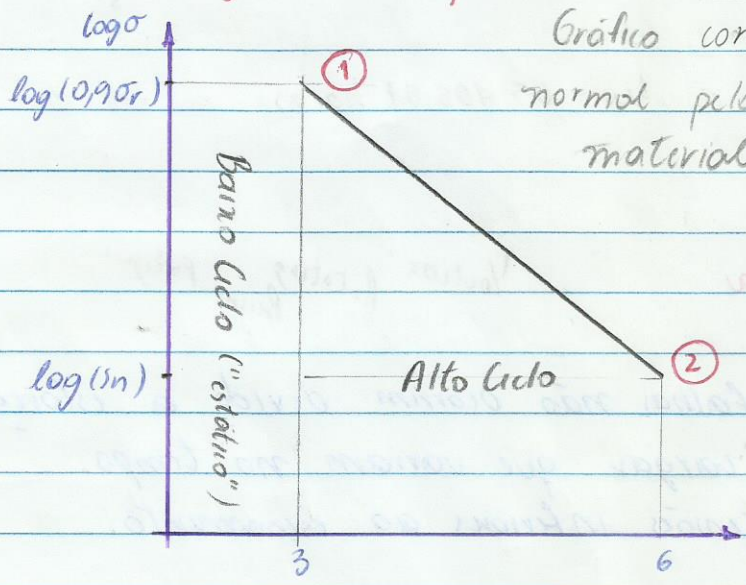


Gráfico correspondente a tensão normal pelo ciclo de vida do material.

"Vida Infinita"

Modelo de previsão de vida: $\log(\sigma) = -m \log(N) + b$

ou

aluminum

$$\sigma = \frac{10^b}{N^m}$$

ou

$$N = \frac{10^{\frac{b}{m}}}{\sigma^{\frac{1}{m}}}$$

Valores possíveis de para σ ou N

Coefficientes de Basquim: (3 casas decimais)

ou

$$m_b = \frac{1}{3} \log\left(\frac{0,99\sigma_r}{S_n}\right)$$

$$b_b = \log\left(\frac{0,81\sigma_r^2}{S_n}\right)$$

Ex 1

Normal

Exercícios de Mancais de Rolamentos

Exercício 15.1)

Determine L_{10h} do rolamento 6308, para:

$$F_r = 2800 \text{ N}$$

$$n = 800 \text{ rpm}$$

Dados: Série 63

$$d = 8 \times 5 = 40 \text{ mm}$$

Produto: Rolamentos rígidos de esfera, de uma correia (16)

$$C = 41\,000 \text{ N}$$

$$C_0 = 24\,000 \text{ N}$$

$$p = 3$$

Sabendo que:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{e} \quad L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10}$$

$$\text{Portanto: } L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 800} \cdot \left(\frac{41\,000}{2800} \right)^3$$

$$\text{Portanto: } \boxed{\begin{array}{l} L_{10} = 3139.62 \text{ milhões de rotações} \\ L_{10h} = 65\,409 \text{ h} \end{array}}$$

Exercício 15.2

Determine vida normal para:

- rolamento 6308
- $F_r = 2800\text{ N}$ e $F_a = 1700\text{ N}$
- $n = 800\text{ rpm}$

Para o rolamento 6308, temos:

$$C = 41\,000\text{ N}$$

$$C_0 = 24\,000\text{ N}$$

$$p = 3$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1700}{2800} = 0,607 > e$$

$$e = 0,27$$

Relação $\frac{F_a}{C_0}$: $\frac{F_a}{C_0} = \frac{1700}{24\,000} = 0,07$

Portanto

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Para $\frac{F_a}{C_0} = 0,07$, temos:

$$X = 0,56 \text{ e } Y = 1,6$$

$$P = X F_r + Y F_a = 0,56 \cdot 2800 + 1,6 \cdot 1700 \therefore P = 4288\text{ N}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p = \left(\frac{41\,000}{4288} \right)^3 \therefore L_{10} = 874,15 \text{ milhões de rotações}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 800} \cdot 874,15 \therefore L_{10h} = 18212 \text{ horas}$$

Exercício 15.3)

Determine vida do rolamento para:

- $F_r = 2800\text{ N}$ e $F_a = 600\text{ N}$
- $n = 800\text{ rpm}$
- rolamento 6308 $\left\{ \begin{array}{l} C = 41000\text{ N} \\ C_0 = 24000\text{ N} \end{array} \right.$
- $p = 3$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{600}{2800} = 0,214$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{600}{24000} = 0,025 \rightarrow e = 0,22$$

Para $\frac{F_a}{F_r} < e \rightarrow p = F_r$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{p} \right)^3 = \left(\frac{41000}{2800} \right)^3 \therefore L_{10} = 3\,139,6 \text{ milhões de rotações}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 800} \cdot 3\,139,6 \therefore L_{10h} = 65\,409\text{ h}$$

Exercício 15.4)

Selecione um rolamento rígido de uma carreira de esferas

Para:

- $F_r = 5250\text{ N}$
- $n = 1000\text{ rpm}$
- $L_{10h\text{ min}} = 25\,000\text{ h}$
- $D = 50\text{ mm}$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} \geq L_{10h \text{ min}}$$

$$\frac{10^6}{60 \cdot 1000} \cdot L_{10} \geq 25000 \therefore L_{10} \geq 1500 \text{ milhões de rotações}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^6 \geq L_{10 \text{ min}}$$

$$\left(\frac{C}{5250} \right)^6 \geq 1500 \therefore C \geq 60097 \text{ N}$$

Portanto Rolamento: SKF 6310

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{61800}{5250} \right)^6 \therefore L_{10h} = 27185 \text{ h}$$

Exercício 15.5)

Selecionar um rolamento rígido de esferas da série 64

Para: D_{min}

$$n = 1600 \text{ rpm}$$

$$F_r = 2200 \text{ N}$$

$$F_a = 450 \text{ N}$$

$$L_{10h} = 41000 \text{ h}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{450}{2200} = 0,205 < \text{Para qualquer valor de "e"}$$

Portanto, $P = F_r = 2200 \text{ N}$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^6 = 41000$$

$$\frac{10^6}{60 \cdot 1600} \cdot \left(\frac{C}{2200} \right)^3 = 41000 \quad \therefore C = 34736 \text{ N}$$

Portanto, rolamento SKF 6405

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 1600} \cdot \left(\frac{35800}{2200} \right)^3 \quad \therefore \quad \boxed{L_{10h} = 44886 \text{ h}}$$

Exercício 15.6)

Selecionar rolamento da série 62, para:

$$F_r = 3300 \text{ N} \quad n = 800 \text{ rpm}$$

$$F_a = 1000 \text{ N} \quad L_{10h} = 16000 \text{ h}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^P \Rightarrow \frac{10^6}{60 \cdot 800} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 16000$$

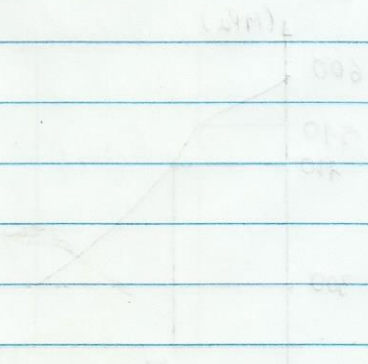
$$\frac{C}{P} = 9,16$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1000}{3300} = 0,303$$

$$P = F_r \quad \text{se} \quad F_a/F_r \leq e$$

$$P = X F_r + Y F_a \quad \text{se} \quad F_a/F_r > e$$

Como determinar o X e Y para determinar P?



Exercício 15.7)

Determinar L_{10h} e L_{10} para:

- Rolamento 51124 $\left\{ \begin{array}{l} 24 \times 5 = \varnothing 120 \text{ mm} \\ \end{array} \right.$
- $F_a = 24\,000 \text{ N}$
- $n = 1200 \text{ rpm}$

Para rolamento 51124 $\left\{ \begin{array}{l} C = 88\,400 \text{ N} \\ C_0 = 310\,000 \text{ N} \end{array} \right.$

$$L_{10} = \left(\frac{88\,400}{24\,000} \right)^3 \quad \therefore \quad L_{10} = 49,97 \text{ milhões de rotações}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 1200} \cdot L_{10} \quad \therefore \quad L_{10h} = 694 \text{ h}$$

Exercício sobre Fadiga (Cap 2)

Exercício 1. Corpo de prova Aço 6.8. Esboce a curva de fadiga e calcule:

a-) Vida sob fadiga para uma tensão normal (σ) atuante de 420 MPa

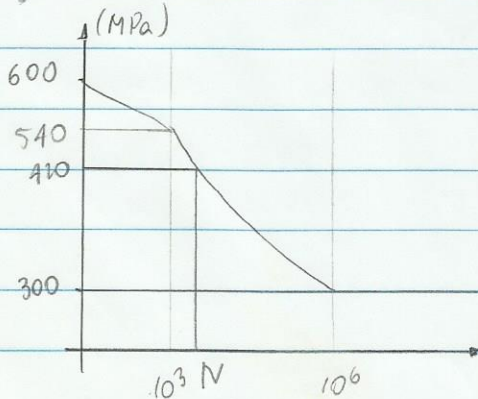
b-) Vida sob fadiga para uma tensão normal (σ) 290 MPa
 ↳ limite de resistência a fadiga

Aço 6.8 : $\sigma_r = 600 \text{ MPa}$

$$S_n = 0,15 \sigma_r$$

$$S_n = 0,15 \cdot 600$$

$$S_n = 300 \text{ MPa}$$



a.) Para a curva de fadiga do aço, usamos as seguintes relações:

$$\log \sigma = -m \log N + b \quad m_6 = \frac{1}{3} \log_{10} \left(\frac{0,19 \sigma_r}{S_n} \right)$$

$$b_6 = \log_{10} \left(\frac{0,81 \sigma_r^2}{S_n} \right)$$

$$m_6 = \frac{1}{3} \log_{10} \left(\frac{0,19 \cdot 600}{300} \right) \therefore m_6 = 0,085$$

$$b_6 = \log_{10} \left(\frac{0,81 \cdot 600^2}{300} \right) \therefore b_6 = 2,98$$

$$\therefore \log \sigma = -0,085 \log N + 2,98$$

Para $\sigma = 420$ MPa temos $N = 19173$ ciclos

b.) Para $\sigma = 290$ MPa, temos vida infinita de ciclos pois $290 < 300$

c.) Nível de tensão normal que deve ser aplicado para que o corpo apresente uma vida em fadiga de $n = 10^5$ ciclos

$$\log \sigma = -0,085 \cdot \log 10^5 + 2,98$$

$$\therefore \sigma = 364,93 \text{ MPa}$$

Carregamento do limite de fadiga

Crerios de falhas s3o express3es matem3ticas que indicam se a pe3a 3 capaz de suportar o esfor3o atuante com seguranc3a (n3o).

Normalmente s3o expressa por: $\tau_{atuante} \leq \tau_{adm}$

Que é σ_{adm} ?	Falha	Tensão Limite
$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{limite}}{n}$	escoamento	σ_e
	ruptura	σ_r
	corrosão	limite de corrosão
	Plambagem	σ_{FL}
	Fluência	
	Fadiga	

S_{nreal} : Limite real de resistência à fadiga

Propriedade local da peça

(Idealmente deve ser obtido ao testar a peça nas condições da peça).

Se não for possível utilize a equação de Marm (Pg 2-10) na qual corrige-se o S_n adaptando-se as condições da peça:

$$S_{nreal} = C_{carga} C_{conf} C_{DIV} C_{sup} C_{tam} C_{temp} S_n$$

pois, "Existem situações onde a teste foi de um jeito mas na realidade é outra".

Exercício 2) (lista)

Determine o limite de fadiga real

Dados: Aço Classe 12.9 $d_1 = 120 \text{ mm}$

Confiabilidade: 99,9% $d_2 = 200 \text{ mm}$

temperatura: 420°C

$C_{div} = 0,92$

Fatores de Correção

Carga	0,577
Confiabilidade	0,753
Diversos	0,92
Superfície	0,865
Tamanho	0,747
Temperatura	1,0

$C_{sup} = A \sigma_r^b = 1,58 \cdot 1200^{-0,085} \quad C_{sup} = 0,865$

$C_{TAM} = 1,189 \cdot 120^{-0,092} \quad C_{TAM} = 0,747$

$S_{nreal} = 0,577 \cdot 0,753 \cdot 0,92 \cdot 0,865 \cdot 0,747 \cdot 1,0 \cdot S_n$

$S_{nreal} = 0,258 S_n$

$S_n = 0,5 \sigma_r = 0,5 \cdot 1200 = 600 \text{ MPa}$

$S_{nreal} = 155 \text{ MPa}$

Exemplo Apostila 2.15)

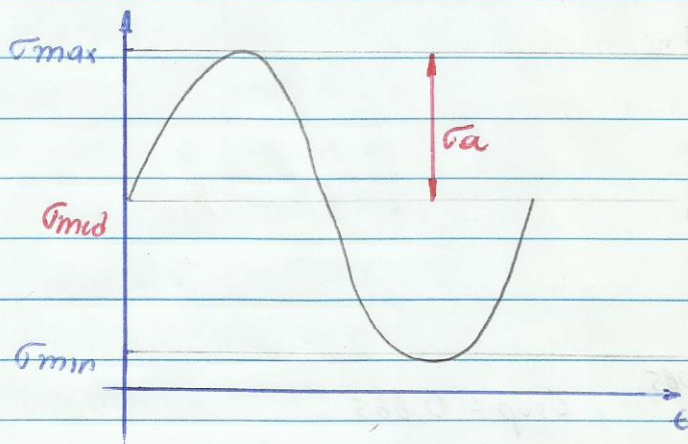
Fatores de Correção

Carga	1,00 (Alternada)	$S_{nreal} = 0,713 S_n$
Confiabilidade	0,897 (90%)	$S_n = 0,5 \cdot \sigma_r$
Diversos	1,20 (Dada)	$S_n = 0,5 \cdot 400 = 200$
Superfície	0,17 (272.400 ^{-0,995})	$S_{nreal} = 142,57 \text{ MPa}$
Tamanho	0,945	
Temperatura	1,0	

$t = 3 \quad A_{95} = 0,05 \cdot 6 \times (23+3+3) \quad d = \sqrt{\frac{8,7}{0,0766}} = 10,66$
 $0,025 \cdot 6 = 0,15 \quad A_{95} = 8,7$

$\therefore 3 > 0,15$

Componentes de tensão



$$\sigma_m = K_T \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2}$$

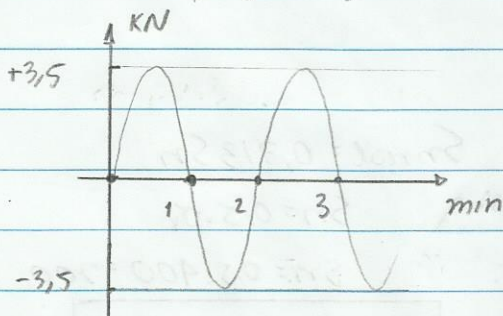
$$\sigma_a = K_F \frac{(\sigma_{max} - \sigma_{min})}{2}$$

$$K_F = q(K_T - 1) + 1$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_a}{\sigma_r}}$$

Exercício 3) (lista)

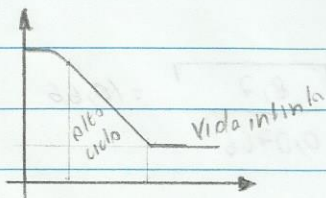
Dados: peça aço de classe 8.8 $n = 2$



$$\sigma_r = 800 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 640 \text{ MPa}$$

(a) Calcule a mínima espessura h para resistir a vida infinita.



- Seção crítica: ✓
- Esforço atuante: Força axial
- Tensões atuante: $\sigma = \frac{F}{A}$
- Critério de falha: Fadiga

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{16h}$$

$$\sigma_{max} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{16h} = \frac{218,75}{16h}$$

$$\sigma_a = 1,69 \cdot \frac{(218,75 + 298,75)}{2}$$

$$\sigma_{min} = \frac{-218,75}{h}$$

$$\therefore \sigma_a = \frac{369,7}{h} MPa$$

Sabendo que $K_F = q(K_T - 1) + 1$; $q = \left(1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}\right)^{-1}$

$$q = \left(1 + \frac{0,125}{\sqrt{3}}\right)^{-1} \therefore q = 0,874$$

Através de E-9	2-1,150	→ 1,09960 - 1,07690
$\frac{D}{d} = \frac{26}{16} = 1,625$	2-1,625	→ 1,09960 - A
		A = 1,082575

$$\begin{aligned} (2-1,150) &= (-0,32097 + 0,29558) & \therefore b &= -0,3018775 \\ (2-1,625) &= (-0,32097 + b) \end{aligned}$$

$$K_T = 1,082575 \times \left(\frac{3}{16}\right)^{-0,3018775} \therefore K_T = 1,79$$

$$K_F = 0,874 (1,79 - 1) + 1 \therefore K_F = 1,69$$

\therefore Tensões máximas e mínimas

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{16h}$$

$$\sigma_{min} = \frac{-3,5 \cdot 10^3}{10h}$$

Equações de Marin

Fatores	
Carga	0,70
Confiabilidade	0,753
Diversos	0,66
Acabamentos	0,7671
Tamanho	
Temperatura	1,0

$$C_{sup} = A \sigma_r^b = 4,51 \cdot 800^{-0,265} \therefore C_{sup} = 0,767$$

$$S_{mreal} = 0,767 \times 0,5 \cdot 800 \therefore S_{mreal} = 106,75 \text{ MPa}$$

b)

$$m_b = \frac{1}{3} \log \left(\frac{0,9 \cdot 800}{106,75} \right) = 0,2347$$

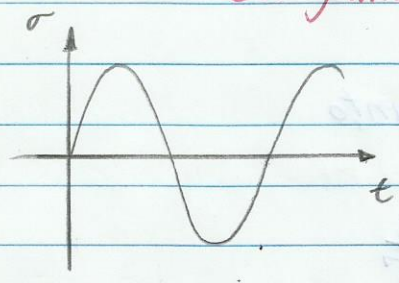
$$b_b = \log \left(\frac{0,81 \cdot 800^2}{106,75} \right) = 3,686$$

5000 W \rightarrow ? \quad ciclo = 2mn \quad $\sigma_a = \frac{10^{3,686}}{150000^{0,2347}}$

$$N = \frac{5000 \times 60}{2} = 150000 \text{ ciclos}$$

$$\sigma_a = 295,92$$

Carregamentos Assimétricos



$$\sigma_m = K_e \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

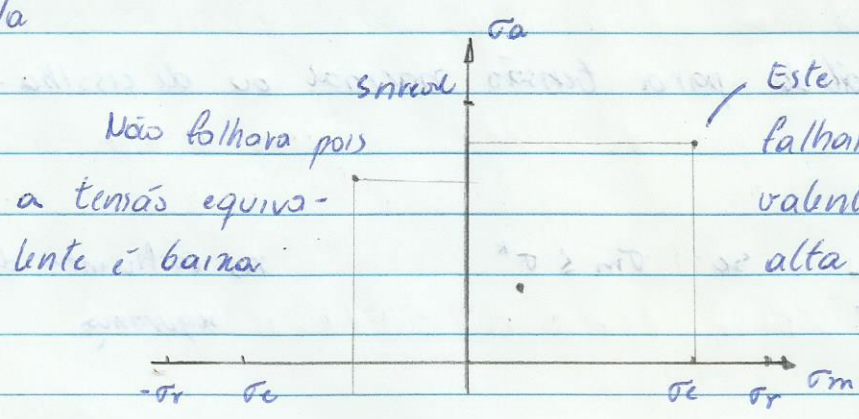
"estática"

$$\sigma_a = K_e \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

"dinâmica"

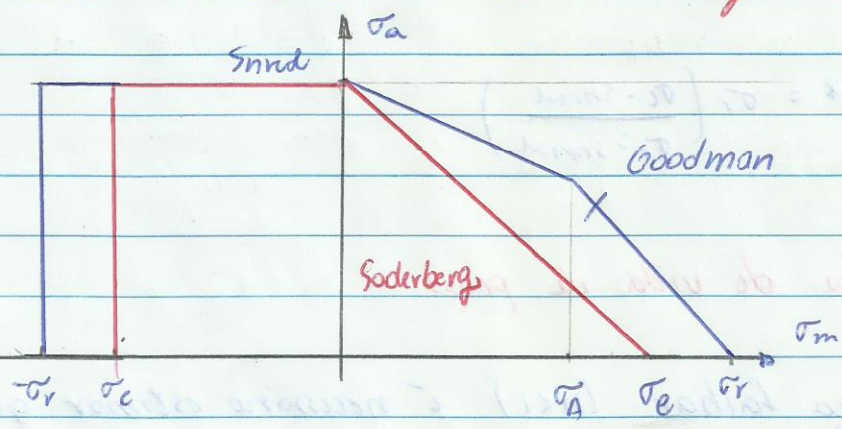
Carregamentos assimétricos $\Rightarrow \sigma_m$ ou $\sigma \neq 0$

- Estruturas reais são sujeitas à cargas assimétricas ao longo do tempo: A tensão média não é nula
- Ao mesmo tempo sofre a ação da média e da alternada



Este corpo provavelmente falhará pois a tensão equivalente às parcelas é muito alta

Critério de Goodman e Soderberg



Cr terio de Soderberg (tensão média ≥ 0)

- Tensão normal ou de cisalhamento

$$\frac{\sigma_a}{s_{nreal}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_c} \leq \frac{1}{n_s} \quad \sigma_c = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{\tau_a}{s_n} + \frac{\tau_m}{\tau_c} \leq \frac{1}{n_s} \quad \tau_c = 0,8 \sigma_r$$

Cr terio de Goodman

- Formula o válida para tensão normal ou de cisalhamento

$$\frac{\sigma_a}{s_{nreal}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_r} \leq \frac{1}{n_s} \quad \text{se } \sigma_m \leq \sigma^* \quad n_s: \text{coeficiente de segurança}$$

$$\sigma_a + \tau_m \leq \frac{\sigma_c}{n_s} \quad \text{se } \sigma_m > \sigma^*$$

$$\sigma^* = \sigma_r \left(\frac{\sigma_c - s_{nreal}}{\sigma_r - s_{nreal}} \right)$$

Revisão de vida de peas

Se a pea falhar ($n < 1$)   necessário estimar quando (N) isso acontece

Crêterios de previsão de vida:

a) tensão alternada equivalente (TAE)

b) Morrow

Tensão alternada equivalente (TAE)

$$N = 10^{\frac{b}{m}}$$

$$\sigma_a^{\frac{1}{m}}$$

Soderberg

$$\sigma_a' = \frac{\sigma_a \cdot \sigma_e}{\sigma_e - \sigma_m}$$

Goodman

$$\sigma_a' = \frac{\sigma_a \cdot \sigma_r}{\sigma_r - \sigma_m}$$

Cr terio de Morrow

$$N = \frac{m}{\sigma_a} \sqrt{\frac{10^6 - \sigma_m \cdot 2^{-m}}{\sigma_a}}$$

- Coeficiente de Basquin: $m = b$

- σ ou τ

Review

$$F \rightarrow \sigma : F/A$$

$$Q \rightarrow \tau : Q/A$$

$$M \rightarrow \sigma : My/I$$

$$T \rightarrow \tau : T r/J$$

Cisalhamento:

$$\tau = \frac{Q}{A} < \tau_{adm}$$

Esmagamento

$$p = \frac{F}{A} < p_{adm}$$

Exemplo Apostila 2.8.2)

Dados:

$$\text{Aço 9.8} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = 900 \text{ MPa} \\ \sigma_e = 720 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} S_n = 0,15 \sigma_r \\ S_n = 450 \text{ MPa} \end{array}$$

(b) Resistência à fadiga corrigido pelo critério de Marin

$$C_{\text{carga}} = 1,00 \text{ (Flexão alt.)} \quad C_{\text{sup}} = 0,313$$

$$C_{\text{conf}} = 1,00 \text{ (50\%)} \quad C_{\text{RAM}} = 0,947$$

$$C_{\text{DIV}} = 0,95 \quad C_{\text{TEMP}} = 1,00$$

$$C_{\text{sup}} = 272 \cdot 900^{-0,995} \quad C_{\text{sup}} = 0,313$$

$$d = \sqrt{\frac{0,105 \times 6 \times 28}{0,0766}} \quad d = 10,47 \quad \therefore C_{\text{RAM}} = 0,947$$

$$\therefore S_{n\text{real}} = 1 \times 0,95 \times 0,313 \times 0,947 \times 450$$

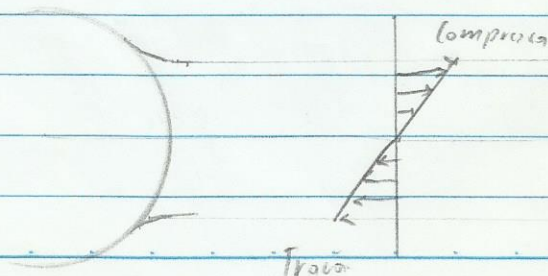
$$\therefore S_{n\text{real}} = 126,72 \text{ MPa}$$

(c) Sabendo que $K_T = 1,25$ $\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{a} = 0,228 \\ r = 5 \end{array} \right.$

$$q = \left(1 + \frac{0,228}{r} \right)^{-1} \quad q = 0,907$$

$$K_F = 0,907 (1,25 - 1) + 1 \quad \therefore K_F = 1,227$$

(d)



$$T_{\max} = 100 \text{ Nm} \rightarrow F_{\max} = 1000 \text{ N}$$

$$T_{\min} = -100 \text{ Nm} \rightarrow F_{\min} = -1000 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{Fxy}{I} \quad \sigma_{\max} = \frac{1000(100-18) \times 14}{6 \times 283} \therefore \sigma_{\max} = 104,5 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\min} = -104,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 1,227 \times \frac{(104,5 + 104,5)}{2} \therefore \sigma_a = 128,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 1,25 \times \frac{(104,5 + (-104,5))}{2} \therefore \sigma_m = 0$$

Critério de Fadiga: $R = -1$

$$\sigma_R \left(\frac{\sigma_c - S_{\text{med}}}{\sigma_r - S_{\text{med}}} \right) 900 \times \left(\frac{720 - 109,85}{900 - 109,85} \right) = 694,76$$

Como $\sigma_m = 0 \leq 694,76$, Usamos

$$\frac{\sigma_a}{S_n} + \frac{\sigma_m}{\sigma_R} = \frac{1}{n_6}$$

$$\frac{128,33}{126,72} + \frac{0}{900} = \frac{1}{n_6} \therefore n_6 = 0,99$$

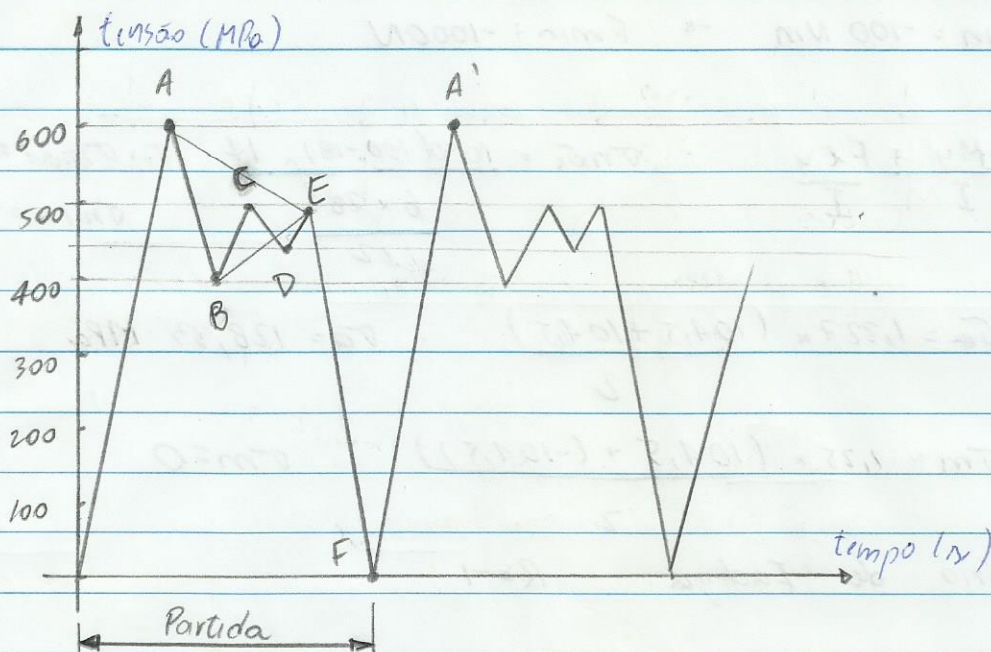
$$m_6 = \frac{1}{3} \log \left(\frac{0,9 \cdot 900}{126,72} \right) = 0,269$$

$$b_6 = \log_{10} \left(\frac{0,81 \cdot 900^2}{126,72} \right) = 3,71$$

$$\sigma_a' = \frac{\sigma_R \cdot \sigma_a}{\sigma_R - \sigma_m^{10}} \therefore \sigma_a' = 128,33 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{0,269}{\sqrt{\frac{10^{3,71}}{128,33}}} \therefore N = 0,9 \cdot 10^6 \text{ ciclos}$$

Rain Flow



• Estabeleça o período de análise

- Identifique o padrão de repetição
- Adotam-se os pontos de maior valor absoluto entre duas repetições sequenciais como alvo.
- Dê nomes aos valores máximos e mínimos

= Compare os trechos

- Se não for ciclo, continue a comparação
- Se for ciclo remova-o e reinicie o processo até que não tenham mais ciclos.

$$\bar{AB} \leq \bar{BC}$$

$$200 \leq 100 \quad N$$

$$\bar{BC} \leq \bar{CD}$$

$$100 \leq 50 \quad N$$

$$\bar{CD} \leq \bar{DE}$$

$$50 \leq 50 \quad S$$

$$AB \leq BE$$

$$200 \leq 100 \quad N$$

$$BE \leq EF$$

$$100 \leq 500 \quad S$$

$$AF \leq FA'$$

$$600 \leq 600 \quad S$$

Trecho	σ_{max}	σ_{min}	σ_m	σ_a	n_s	N
CD	500	450				
BE	500	400				
AF	600	0				

Ciclo Max Min Mediu Alter

$n_s < 1 \rightarrow$ Ocorre fadiga
 Se a peça falhar tem que saber o numero de ciclos (N) de vida
 Pode ser Morrow ou Soderberg ou Goodman

Teoria do dano acumulado

- A fadiga não ocorre pois cada ciclo gera uma deformação plástica microscópica
- Na medida que existe a carga / descarga ocorre a mudança do plano de escorregamento. Isso gera extrusões / intrusões que são os concentradores de tensão (nucleadores de trincas)
- A trinca se propaga no plano de cisalhamento dos grãos até que tenha energia suficiente para "rasgar" o grão perpendicularmente.

Carga	N
5 Kg	53
10 Kg	27
50 Kg	8
5+10+50	?

Será próximo de 8 pois a carga maior consumira a energia
 Basquin ou Morrow calculam número de ciclos quando a peça está solicitada a apenas 1 ciclo de fadiga ou 0-600 MPa ou 450-500 MPa ou 400-500 MPa. Como calcular "N" quando os 3 aparecem ao mesmo tempo?

Para o nosso exemplo temos:

$$\frac{1}{53} + \frac{1}{27} + \frac{1}{8} = 0,18 \text{ dano}$$

0,18 dano acumulado - 1 ciclo de carga

1 dano ("quebra") - ? ciclos de carga

$$? = 5,5 \text{ ciclos}$$

Exercício 4)

Alumínio $\sigma_r = 220 \text{ MPa}$ $\sigma_v = 176 \text{ MPa}$
 $\sigma_c = 195 \text{ MPa}$ $\sigma_e = 112,58 \text{ MPa}$

- Esforço atuante na seção A: Torsão $\tau = \frac{T \cdot r}{J}$

- $C_{carga} = 0,1577$ $C_{sup} = 1,0$

$C_{conz} = 0,897$ $C_{temp} = 1,0$

$C_{cov} = 0,95$ $C_{tam} = 1,189 \cdot 12^{-0,097}$ $C_{tam} = 0,93$

$S_{nreal} = 0,459 \text{ Sn}$

- K_T :

$$\frac{D}{d} = \frac{1,5d}{d} = 1,5 \quad (2-1,33) - (-0,23865 + 0,23161)$$

$$(2-1,5) - (-0,23865 - b)$$

$$b = -0,23340$$

$$(2-1,33) - (0,86331 - 0,84897)$$

$$(2-1,5) - (0,86331 - A)$$

$$K_T = 0,85261 \left(\frac{0,025d}{d} \right)^{-0,23340}$$

$$\therefore A = 0,85261$$

$$K_T = 2,02$$

$$q = \left(1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}} \right)^{-1} = \left(1 + \frac{\sqrt{0,85}}{\sqrt{0,025 \times 12}} \right)^{-1} \quad \therefore q = 0,37$$

$$K_F = 0,37 (2,02 - 1) + 1 \quad K_F = 1,36$$

Acordo com curva, temos $S_m = 28 \text{ MPa}$

$$S_{mred} = 0,159 \times 28 \quad \therefore S_{mred} = 12,852 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{15 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 12^4}{32}} \times 6 \quad \therefore \sigma_{max} = 44,21 \text{ MPa} \quad \text{Logo } \sigma_{min} = -44,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 1,36 \times \frac{(44,21 + 44,21)}{2} \quad \sigma_a = 61,01 \text{ MPa}$$

$$\frac{61,01}{12,852} + 0 = 1 \quad \therefore r_{15} = 0,21$$

$$m = \frac{1}{5,7} \log \left(\frac{0,9 \cdot 220}{12,852} \right) = 0,2084$$

$$b = \log \left(\frac{0,85 \cdot 220^{1,53}}{12,852^{0,153}} \right) = 2,9256$$

$$N = 296 \ 429 \ X$$

~~WRONG~~

$$AB \leq ED$$

1 1

Exercício em sala de aula)

Como $n_s < 9$
Pode usar Basquin

Trecho	σ_{max}	σ_{min}	σ_m	σ_a	n_s	N	σ_a'
CD	500	450	475	35	0,806	30054	320
BE	500	400	450	70	0,648	10904	448
DF	600	0	300	420	0,210	1097	960

Critério de Soderberg $\frac{\sigma_a}{\sigma_{real}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_c} = 1$

$$\sigma_r = 0,8 \sigma_r$$

$$\sigma_r = 0,8 \cdot 1100$$

$$\therefore \sigma_r = 880 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = K_c \left(\frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \right)$$

$$\sigma_a = K_c \left(\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right)$$

$$m_b = \frac{1}{3} \log_{10} \left(\frac{0,9 \cdot 1100}{100} \right) \therefore m_b = 0,3319$$

$$b_c = \log_{10} \left(\frac{0,81 \cdot 1100^2}{100} \right) \therefore b_c = 3,99$$

$$N = \left(\frac{10^6}{\sigma_a'} \right)^{\frac{1}{m}}$$

$$\frac{n}{N_1} + \frac{n}{N_2} + \frac{n}{N_3} = 1 \therefore n = 965 \text{ blocos ou partidas}$$

$$t = 3,5 \times 965 = 3376,55 \text{ min} = 56,28 \text{ h}$$

Exercício 5) Fadiga: Carregamentos assimétricos - cilindro de torção

$\sigma_v = 580 \text{ MPa}$ $P = 46 \text{ cv}$ $l_{ca} = 746 \frac{\text{mm}}{\text{cm}}$
 $\sigma_e = 490 \text{ MPa}$ $n = 120 \text{ rpm}$

$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi f = T \cdot 2\pi \frac{n}{60}$ $46 \times 736 = T \cdot 2\pi \cdot \frac{120}{60}$ $\therefore T = 2694 \text{ Nm}$

$\frac{D}{d} = 1,15 \quad \therefore (2-1,33) - (0,86331 - 0,84897)$
 $\frac{D}{d} = 1,15 \quad \therefore (2-1,15) - (0,86331 - A)$
 $\therefore A = 0,85261$

$(2-1,33) - (-0,23865 + 0,23164)$
 $(2-1,15) - (-0,23865 - b)$
 $b = -0,23340$ $K_T = 0,85261 \cdot 0,025^{-0,23340}$
 $\therefore K_T = 2,0168$

$K_F = 0,9(2,0168 - 1) + 1 \quad \therefore K_F = 1,92$

$S_n = 180 \text{ MPa}$

$S_{nreal} = 0,1577 \times 0,814 \times 0,77 \times 0,71 \times 1 \times 0,92 \cdot 180 \quad \therefore S_{nreal} = 42,52$

Para Superfície retificada $C_{sup} = 1,58 \times 580^{-0,085} \quad \therefore C_{sup} = 0,9199$

(Entretanto, a resolução do prof diz $C_{sup} = 1 \quad \therefore S_{nreal} = 73,7$)

$\tau_v = 464 \text{ MPa}$ $\tau_{m\acute{a}x} = \frac{2694 \cdot 10^3 \cdot 0,15 \cdot d}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{13721}{d^3}$
 $\tau_e = 282,90 \text{ MPa}$

$\tau_m = \frac{2,0168 \times 13721}{d^3} = \frac{13836,63}{d^3}$ $\frac{13139,03}{73,7 \cdot d^3} + \frac{13836,63}{282,90 \cdot d^3} = \frac{1}{1,35}$

$\tau_a = \frac{1,92 \times 13721}{d^3} = \frac{13139,03}{d^3}$ $\therefore d = 67,44 \text{ mm}$

1 1

300
180

Exercício 1) (Lista de Ramflow) N=7

Ciclo	σ_{max}	σ_{min}	σ_a	σ_m	N	n_0
GH	40	40	0	80	∞	225
EF	50	30	15	80	4 135 047	1,24
CD	60	20	30	80	552 839	0,53
BE	10	-30	30	-20	598 317	0,75
JL	30	5	18,75	35	2 242 429	1,32
AM	30	5	18,75	75	135 593	0,24

$$K_T = 2 \quad K_F = 0,15(2-1) + 1 \quad K_F = 1,15$$

$$\sigma_m = \frac{2}{2} (\sigma_{max} + \sigma_{min}) \quad \sigma_a = \frac{1,15}{2} (\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

$$m = \frac{1}{3} \log_{10} \left(\frac{0,9 \cdot 300}{25} \right) = 0,3445$$

$$b = \log_{10} \left(\frac{0,81 \cdot 300^2}{25} \right) = 3,4648$$

$$N = \frac{m}{\sigma_a} \sqrt{\frac{10^b - \sigma_m \cdot 2^{-m}}{\sigma_a}}$$

$$\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_n} = 1 \quad \text{logo } n = 86\,633 \text{ ciclos}$$

$$1 \text{ ano} = 12 \text{ h} \quad \therefore n = 1.039\,592 \text{ h} = 119 \text{ anos}$$

$$86\,633 \text{ anos} = n$$

Continuação Rolamento

Exercício 15.8)

Dados: $L_{10h} = ?$ NU 208 EC $D = 80 \text{ mm}$
 $F_r = 20\,000 \text{ N}$ $C = 53\,900 \text{ N}$
 $n = 300 \text{ rpm}$ $C_0 = 53\,000 \text{ N}$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} ; L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^{\frac{10}{3}} ; P = X F_r + Y F_a$$

Para NU 208 EC $\rightarrow p$ (rolos cilíndricos) $= \frac{10}{3}$

$$L_{10} = \left(\frac{53\,900}{20\,000} \right)^{\frac{10}{3}} ; L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 300} \times \left(\frac{53\,900}{20\,000} \right)^{\frac{10}{3}} ; L_{10h} = 1513 \text{ h}$$

Exercício 15.9)

Dados: $L_{10h} = ?$ NK 40/30 $D = 50$
 $n = 300 \text{ rpm}$ $C = 38\,000$
 $F_r = 20\,000 \text{ N}$ $C_0 = 83\,000$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 300} \times \left(\frac{38\,000}{20\,000} \right)^{\frac{10}{3}} ; L_{10h} = 472 \text{ h}$$

Exercício 15.10)

Dados:	Rolamento A	Rolamento B
	SKF 7207 BE	SKF 7210 BE
	$F_r = 5\,200 \text{ N}$	$F_r = 6\,800 \text{ N}$
	$K_a = 1600 \text{ N}$	$A \rightarrow B$

Rolamento A: $\left\{ \begin{array}{l} C = 30\,700 \text{ N} \quad d = 35 \\ C_0 = 20\,800 \text{ N} \quad D = 70 \end{array} \right.$

Rolamento B: $\left\{ \begin{array}{l} C = 39\,000 \text{ N} \quad d = 50 \\ C_0 = 30\,500 \text{ N} \quad D = 90 \end{array} \right.$

$F_{aB} = 1,14 \cdot F_{rB}$

$F_{aB} = 1,14 \cdot 6800 = 7752 \text{ N}$

$F_{aA} = 7752 - 1600 = 6152 \text{ N}$

Rolamento A

$F_a = \frac{6152}{5100} = 1,18 > 1,14 \quad \therefore P = 0,95 \cdot 5700 + 0,57 \cdot 6152$
 $F_r = 5100 \quad P = 5326,64$

$L_{10} = \left(\frac{30\,700}{5326,64} \right)^3 \quad \therefore L_{10} = 191,45$

Rolamento B

$\frac{F_a}{F_r} = \frac{7752}{6800} = 1,14 \leq 1,14 \quad \therefore P = F_r = 6800$

$L_{10} = \left(\frac{39\,000}{6800} \right)^3 \quad \therefore L_{10} = 188,65$

Exercício 15.11)

73 BE CB na disposição O

$$F_r = 2000 \text{ N}$$

$$F_a = 10\,000 \text{ N}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

$$L_{10} = 20\,000 \text{ h}$$

$$20\,000 = \frac{10^6}{60 \times 1500} \times \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{10\,000}{2\,000} = 5 > 1,14$$

$$P = 0,57 \times 2000 + 0,93 \times 10\,000$$

$$P = 10\,440 \text{ N}$$

$$20\,000 = \frac{10^6}{60 \times 1500} \times \left(\frac{C}{10\,440} \right)^3 \quad \therefore C \geq 126\,996 \text{ N}$$

Rolamento SKF 7311 BECB

Exercício 15.12)

$$L_{10} = ?$$

Rolamento 3207A

$$F_r = 5200 \text{ N}$$

$$F_a = 1600 \text{ N}$$

$$p = 3$$

$$C = 37100 \text{ N}$$

$$C_0 = 27500$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1600}{5200} = 0,31 \leq 0,86$$

$$P = F_r + 0,73 F_a$$

$$P = 5200 + 0,73 \times 1600$$

$$\therefore P = 6368 \text{ N}$$

$$L_{10} = \left(\frac{37100}{6368} \right)^3$$

$$\therefore L_{10} = 197,75 \text{ milhões de rotações}$$

Exercício 15.13

A → SKF 30207 à esquerda $F_r = 9200N$ $\gamma = \frac{10}{3}$

B → SKF 30210 à direita $F_r = 6800N$

$K_a = 1600N$ de A para B

A →	$C = 51200N$	B →	$C = 76500N$
	$C_0 = 56000N$		$C_0 = 91500N$
	$\gamma = 1,6$		$\gamma = 1,4$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B} \quad F_{aB} = \frac{0,15 \cdot 6800}{1,4} \quad \therefore \quad F_{aB} = 2428,57N$$

$$F_{aA} = 826,57N$$

$$\frac{1600}{5200} = 0,308 < 0,137 \quad \therefore \quad P = 5200$$

$$L_{10} = \left(\frac{51200}{5200} \right)^{\frac{10}{3}} \quad \therefore \quad L_{10} = 2095,92 \text{ milhões de rotações}$$

$$\frac{1600}{6800} = 0,24 < 0,43 \quad \therefore \quad P = 6800$$

$$L_{10} = \left(\frac{76500}{6800} \right)^{\frac{10}{3}} \quad \therefore \quad L_{10} = 3190,4 \text{ milhões de rotações}$$

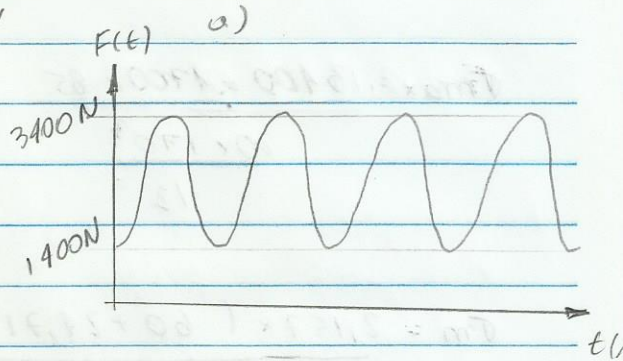
Exercícios de Fadiga

Exercício 6)

Motor = 240 kg aplica 2400 N

$$F_{max} = 2400 + 1000 = 3400 \text{ N}$$

$$F_{min} = 2400 - 1000 = 1400 \text{ N}$$



$$b) \frac{\sigma_a}{S_{nreal}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_c} = \frac{1}{n_s}$$

Para aço classe 6.8 $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = 600 \text{ MPa} \\ \sigma_c = 480 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad S_n = 0,15 \sigma_c$
 $\therefore S_n = 0,15 \cdot 600 \therefore S_n = 300 \text{ MPa}$

$C_{carga} = 1,00$	$A_{95} = 0,05 \times 20 \times 170 = 170$
$C_{CONF} = 1,00$	$d = \sqrt{\frac{170}{0,0766}} \therefore d = 47,09 \text{ mm}$
$C_{DIV} = 0,8$	
$C_{SUP} = 0,82$	
$C_{TAM} = 0,818$	$\therefore S_{nreal} = 159,02 \text{ MPa}$
$C_{TEM} = 1,00$	

$$\frac{D}{d} = \frac{300}{170} = 1,76 \quad (3-2) \rightarrow (0,90720 - 0,93232)$$

$$(3-1,76) \rightarrow (0,90720 - A)$$

$$\therefore A = 0,9382$$

$$(3-2) \rightarrow (-0,33333 + 0,30304)$$

$$(3-1,76) \rightarrow (-0,33333 - b) \quad \therefore B = -0,29591$$

$$K_T = 0,9382 \cdot \left(\frac{10}{170} \right)^{-0,29591} \quad \therefore K_T = 2,157$$

$$q = \left(1 + \frac{0,364}{\sqrt{10}} \right)^{-1} \therefore q = 0,897$$

$$K_F = 0,897 (2,157 - 1) + 1 \therefore K_F = 2,04$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3400 \times 1700 \times 85}{20 \times 170^3} \therefore \sigma_{\max} = 60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 24,71 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{2,157 \times (60 + 24,71)}{2} \therefore \sigma_m = 91,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{2,04 \times (60 - 24,71)}{2} \therefore \sigma_a = 36 \text{ MPa}$$

$$\frac{36}{159,02} + \frac{91,34}{460} = \frac{1}{n_s} \therefore n_s = 2,4$$

Exercício 7)

$$K_T: \frac{D}{d} = \frac{26}{20} = 1,3 \therefore A = 0,99682 \text{ e } b = -0,25751$$

$$K_C = 0,99682 \times \left(\frac{2}{20} \right)^{-0,25751} \therefore K_C = 1,804$$

$$K_F = 0,95 \times (1,804 - 1) + 1 \therefore K_F = 1,763$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6000}{\pi \cdot 10^2} = 19,1 \text{ MPa} \quad \text{e} \quad \sigma_{\min} = -19,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{1,804 (19,1 - 19,1)}{2} \quad \sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = 33,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{1,763 (19,1 + 19,1)}{2}$$

$C_{carga} = 0,7$	Usinada : $C_{sup} = 4,51 \cdot \sigma_r^{-0,265}$
$C_{CONF} = 0,753$	
$C_{DIV} = 0,85$	$S_n = 0,15 \sigma_r$
$C_{sup} = 4,51 \cdot \sigma_r^{-0,265}$	$S_{nreal} = 1101 \sigma_r^{0,735}$
$C_{TAM} = 1,00$	
$C_{TEM} = 1,00$	

$$\sigma_m = 0 \quad \frac{\sigma_a}{S_{nreal}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_r} = \frac{1}{n_f}$$

$$\frac{33,68}{101 \sigma_r^{0,735}} \leq \frac{1}{2,2} \quad \therefore \sigma_r \geq 345,04$$

Resposta: Aço ASTM A519 trabalhado a Frio

Exercício 9) $1,150 - 1,120 \rightarrow 0,93836 - 0,97096$
 $1,150 - 1,138 \rightarrow 0,9386 - A$

$$\therefore A = 0,9507$$

$$1,150 - 1,120 \rightarrow -0,25759 + 0,21796 \quad \therefore b = -0,2429$$

$$1,150 - 1,138 \rightarrow -0,25759 - b$$

$$K_c = 0,9507 + \left(\frac{1}{18}\right)^{-0,2429} \quad \therefore K_c = 1,918$$

$$q = \left(\frac{1 + 0,1357}{\pi}\right)^{-1} \quad \therefore q = 0,88 \quad \therefore K_F = 1,809$$

Exercício 5 Pré Prova)

Na figura E-3

$$2 - 1,33 \rightarrow 0,86331 - 0,84897$$

$$2 - 1,5 \rightarrow 0,86331 - A$$

$$\frac{D}{d} = \frac{1,5d}{d} = 1,5$$

$$A = 0,85261$$

$$2 - 1,33 \rightarrow -0,23865 + 0,23161$$

$$2 - 1,5 \rightarrow -0,23865 - b$$

$$b = -0,23340$$

$$K_T = 0,8521 \times (0,025)^{-0,23340}$$

$$\therefore K_T = 2,0168 \quad K_F = 0,9(2,0168 - 1) + 1$$

$$K_F = 1,9151$$

Para aço $S_n = 0,5 \sigma_r = 0,5 \times 580 \therefore S_n = 290 \text{ MPa} \times$

$S_n(\text{tabela}) = 179$

$$C_{CARREG} = 0,1577$$

$$C_{sup} = 1,58 \times 580^{-0,065}$$

$$C_{CONF} = 0,814$$

$$C_{sup} = 0,92$$

$$C_{DIV} = 0,77$$

$$C_{sup} = 0,92$$

$$S_{n\text{real}} = 63,02$$

$$C_{TAM} = 0,71$$

$$C_{TEMP} = 1,0$$

Dimensionamento de Eixos

Critério ASME:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} M_A}{S_{n_{real}}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{TT} T_M}{\sigma_e} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

K_{FF} : Fator de concentração ^{de tensão} dinâmico para eixos

K_{TT} : Fator de concentração de tensão estática • materiais dúcteis (σ_{cp}) = 1

n_f : Fator de segurança em relação à fadiga e ao escoamento

M : Momento Fletor na seção considerada (Nmm)

T : Torque na seção considerada (Nmm)

$S_{n_{real}}$: Limite de resistência à fadiga real (MPa)

σ_e : Limite de escoamento do material (MPa)

d : diâmetro (mm)

Cálculo de C_{DIV} para eixos:

$$C_{DIV} = \frac{1}{S} \quad S: \text{Fator de choques}$$

Fatores de concentração de tensão são obtidos experimentalmente

$$K = \frac{\sigma_{real}}{\sigma_{teorica}}$$

Fator K_{FF} : resultado dos efeitos de

• fixação dos elementos montados

x Interferência: 11-19 r_r ; Forma

x Chavetas/ranhuras: 11-21 r_r ; d

Obs: Se o elemento for usinado no eixo ou sofrer ajuste deslizante, $K_{FF} = 1$

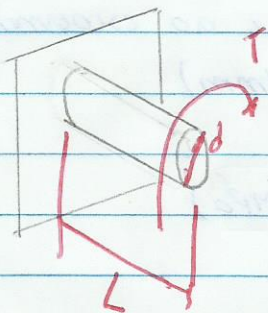
- Geometria do eixo 11-22 e 11-23

• Se houver alguma região na qual os dois fatores de concentração de tensão ocorram ao mesmo tempo.

$$K_{FF} = 1 + (K_{FF_{\text{Geometria}}} - 1) + (K_{FF_{\text{Furação}}} - 1)$$

Pré-Projeto:

- * Rigidez a torção:



$$\theta = \frac{TL}{J_p G} \quad ; \quad J_p = \frac{\pi d^4}{32} \quad , \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\theta = \frac{T}{L} = R_e$$

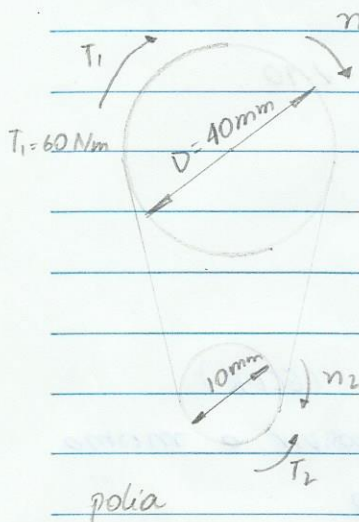
$$d_{\text{pré-projeto}} = \sqrt[4]{\frac{32T}{\pi G R_e}}$$

Abordagem sistêmica:

- Analisar o fluxo de energia
 - Entrada = saída
 - Rendimentos teóricos de 100%
- Determinar a seção de interesse
- Eixo está equilibrado estaticamente
 - A somatória de torque é nula
 - Todos elementos montados no eixo tem mesma rotação
 - É necessário determinar a relação de apoio?

- Relação de transmissão (i):
" Multiplicar ou reduzir "

$$i = \frac{d_{maior}}{d_{menor}}$$



$$i = \frac{D}{d} = \frac{40}{10} \therefore i = 4$$

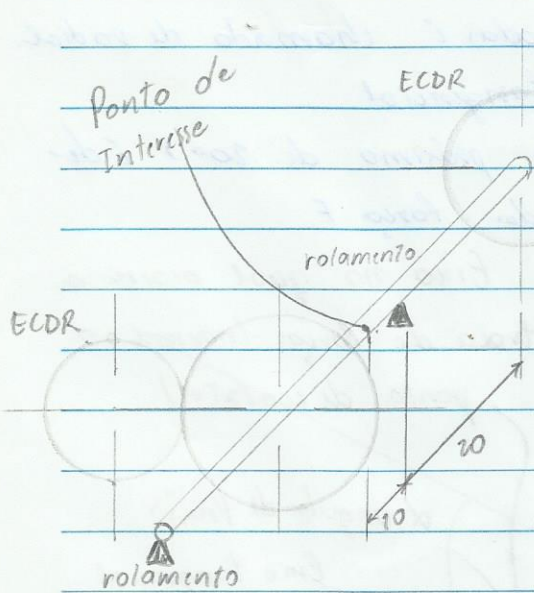
$$n_2 = 100 \times 4 \therefore n_2 = 400 \text{ rpm}$$

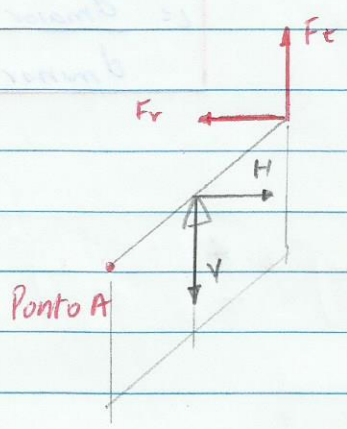
$$T_2 = \frac{60}{4} \therefore T_2 = 15 \text{ Nm}$$

No diametro maior → menor velocidade
maior torque

No diametro menor → maior velocidade
menor torque

Flexão Oblíqua (M): no cálculo do momento fletor da fórmula da ASME deve-se calcular o M como:





$$M_{A \text{ horizontal}} = F_r \cdot 30 - H \cdot 10$$

$$M_{A \text{ vertical}} = F_e \cdot 30 - V \cdot 10$$

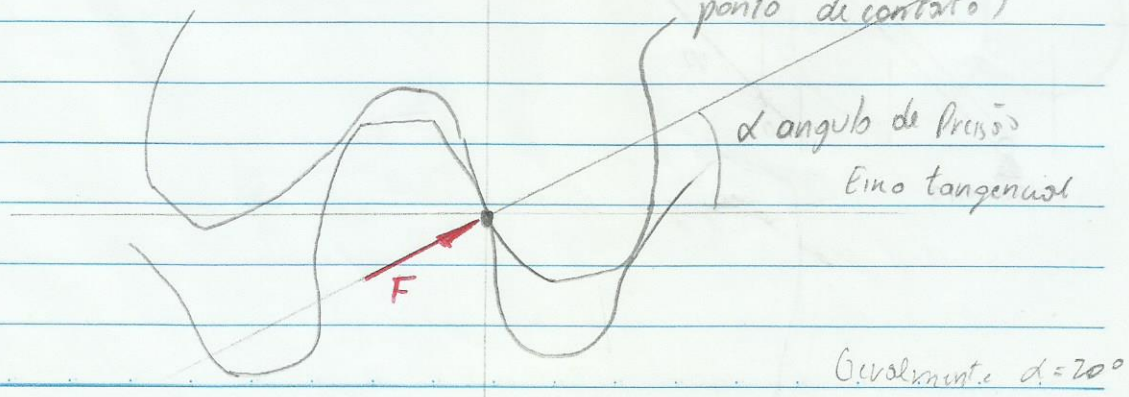
- Hipótese de engrenagens cilíndricas de dentes retos (ECDR)
 - Para estarem engrenadas as rodas devem possuir o mesmo módulo. A representação é feita através do d_p

$$d_p = m \cdot z$$

- A troca de forças é pontual. Como o dente tem perfil abaulado, a força F é trocada através de um eixo perpendicular ao ponto de contato.
 - O eixo que une os centros das rodas é chamado de radial. Perpendicular a este eixo temos o tangencial.
 - O ângulo de pressão (normalmente próximo de 20°) é definido entre os eixos tangencial e o da força F .

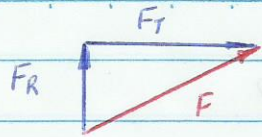
$$F_r = F_e \cdot \tan \alpha$$

Eixo no qual ocorre a troca de forças (normal ao ponto de contato)



Eixo radial

Geralmente $\alpha = 20^\circ$

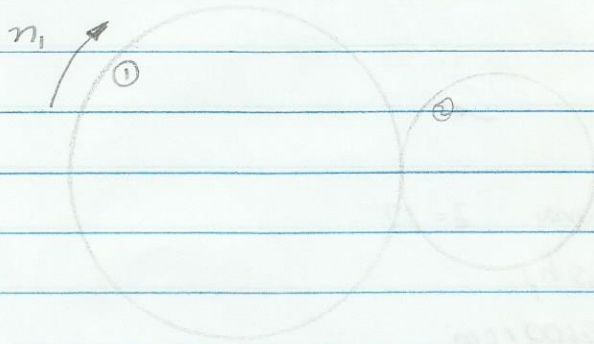


$$F_r = F_c \cdot \tan \alpha$$

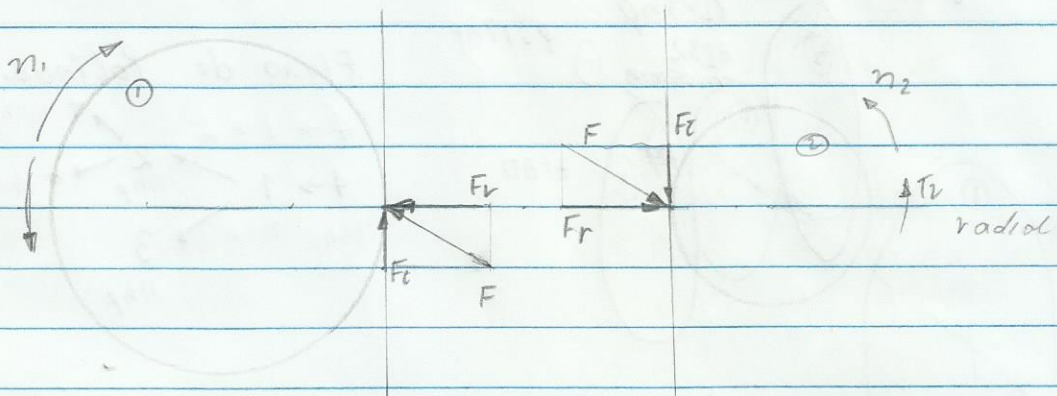
$$T = F_c \cdot \frac{d_p}{2}$$

1º Isolar os corpos

2º Manter as forças recebidas

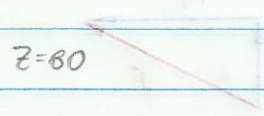


Motora

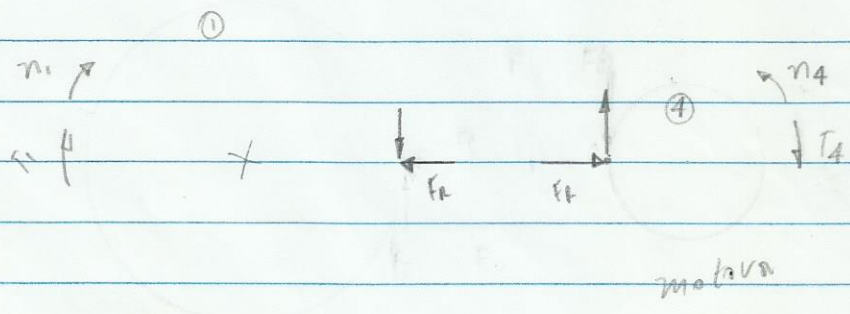
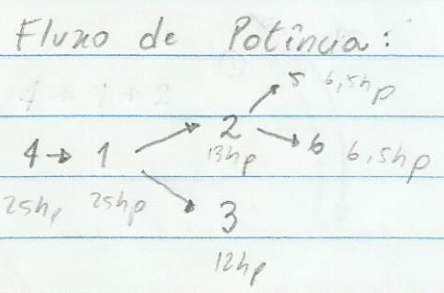
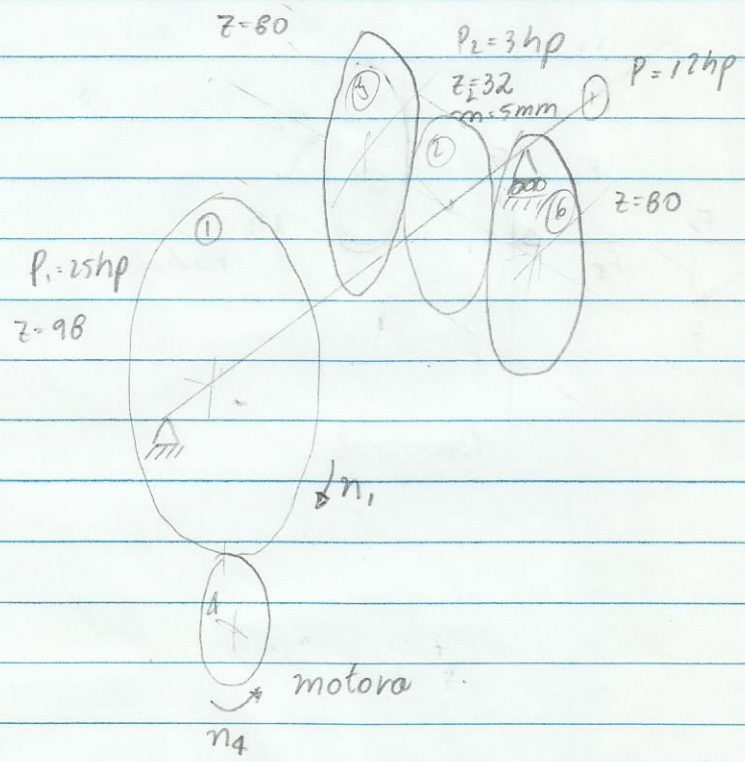


Motora

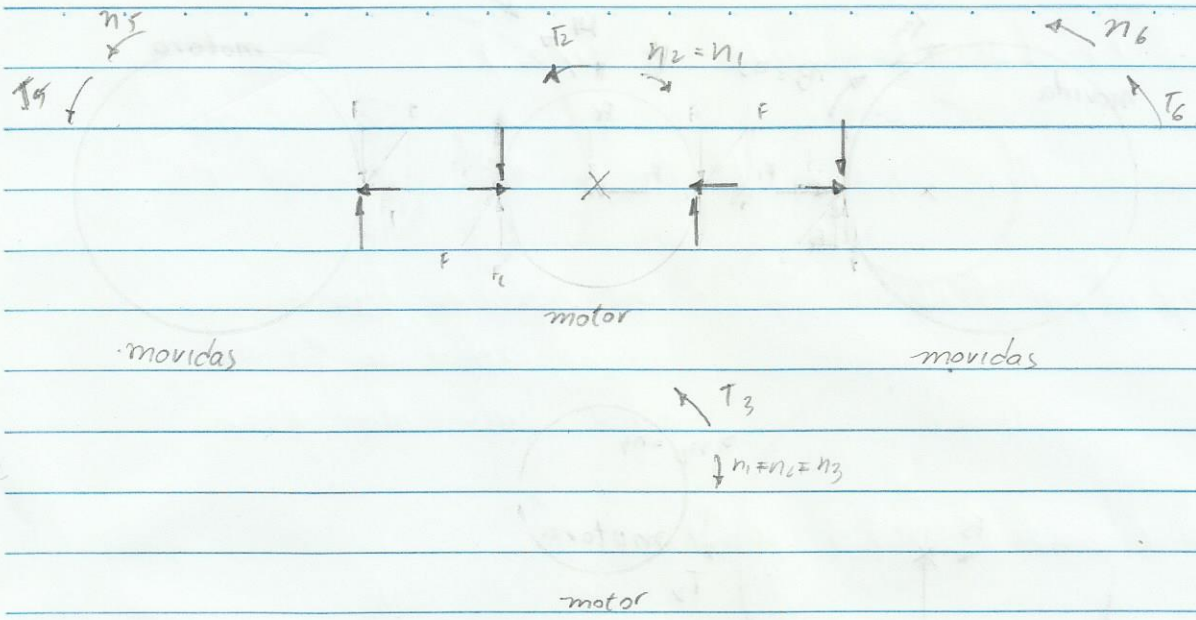
Exercício 1



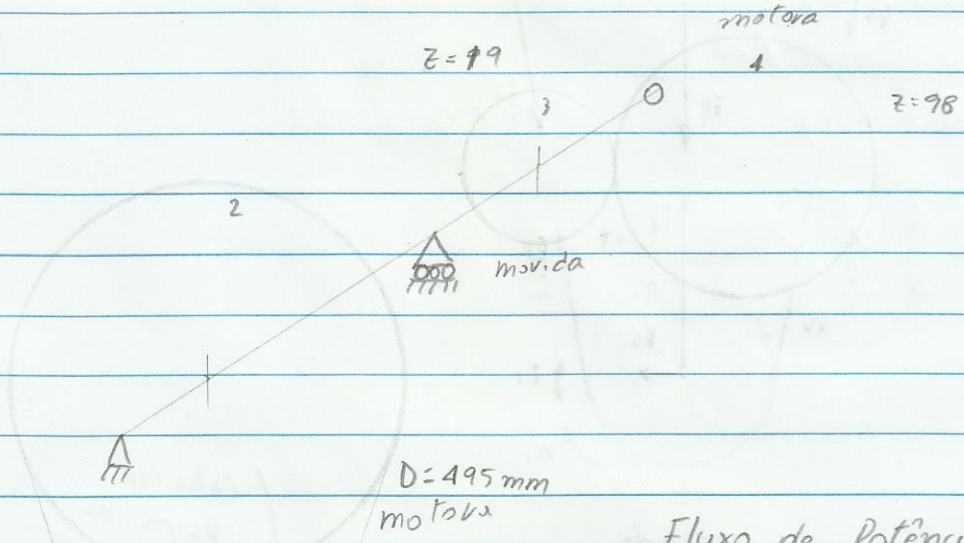
motoro $z=20$
 $P=25 \text{ hp}$
 $n=3600 \text{ rpm}$



motora



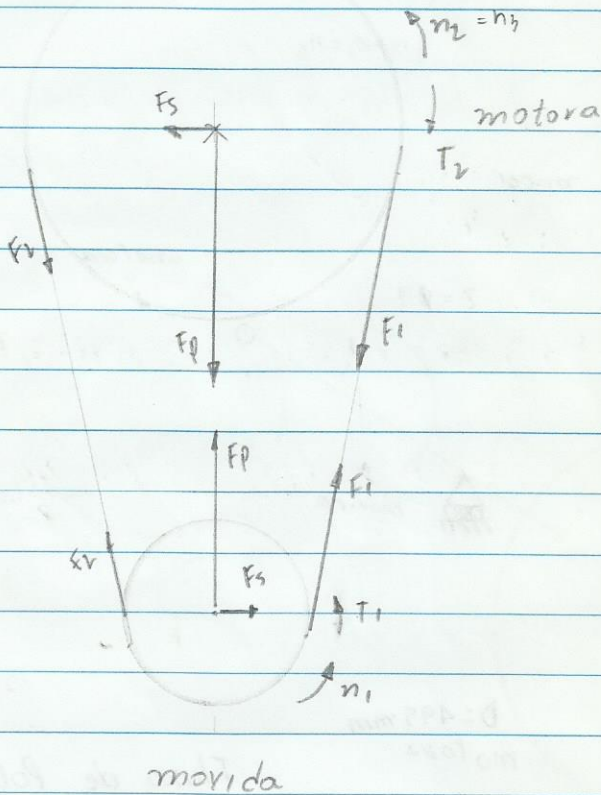
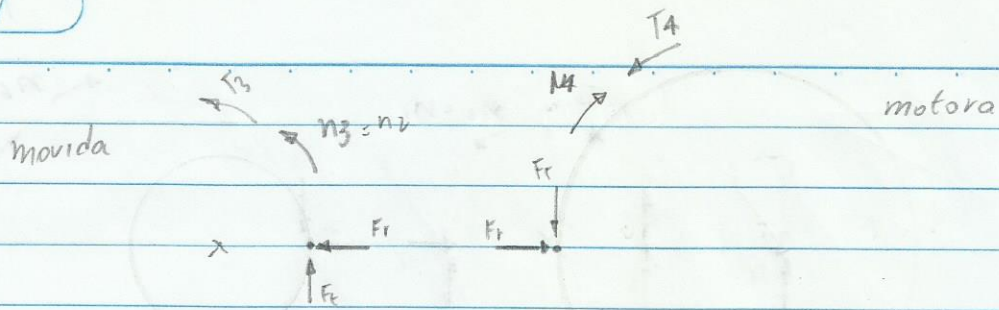
Exercício 6



Fluxo de Potência

4 → 3 → 2 → 1

movida
 $P = 16hp$
 $n = 1200rpm$
 $d = 110mm$



(calcular sempre na polia menor)

- Distancia entre centros Polia

$$d_c = \frac{3d + D}{2} = \frac{3 \times 110 + 495}{2} = 412,5 \text{ mm}$$

$$\theta = \pi - \frac{D-d}{d_c} = \pi - \frac{495-110}{412,5} \quad \theta = 2,208 \text{ rad}$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2,208}{\sin\left(\frac{40}{2}\right)} = 6,46 \text{ rad}$$

$$T_{\text{polia menor}} = \frac{16.745}{1200 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 94,9 \text{ Nm}$$

$$i = \frac{D}{d} = \frac{495}{110} = 4,5$$

$$T_{\text{polia maior}} = T_{\text{polia menor}} \cdot i = 94,9 \cdot 4,5 = 427,1 \text{ Nm}$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot T_{\text{polia menor}}}{d(1 - e^{-\mu\theta})} = \frac{2 \cdot 94,9 \cdot 10^3}{110(1 - e^{-0,32 \cdot 6,46})} = 1975,4 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 T_{\text{polia menor}}}{d(e^{\mu\theta} - 1)} = \frac{2 \cdot 94,9 \cdot 10^3}{110(e^{0,32 \cdot 6,46} - 1)} = 250 \text{ N}$$

$$F_p = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) = (1975,4 + 250) \cos\left(\frac{\pi - 2,208}{2}\right) = 1987,3$$

$$F_s = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) = (1975,4 - 250) \cos\left(\frac{\pi - 2,208}{2}\right) = 776,5$$

$$\sum \tau_{\text{eixo}} = 0$$

$$T_{\text{polia maior}} = T_{\text{eixo menor}}$$

$$F_t = \frac{2T}{d_p} = \frac{2 \cdot 427,1 \cdot 10^3}{4 \cdot 19} = 11240 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 11240 \tan 20^\circ = 4091 \text{ N}$$

Exercício 1) (Dimensionamento de eixos)

eixo : Aço classe de resistência 8.8 $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = 800 \text{ MPa} \\ \sigma_c = 690 \text{ MPa} \end{array} \right.$

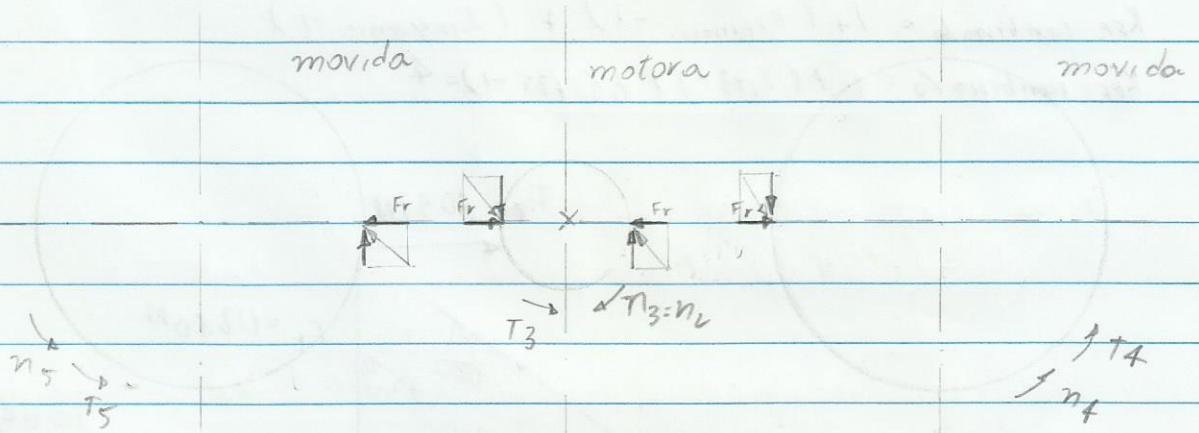
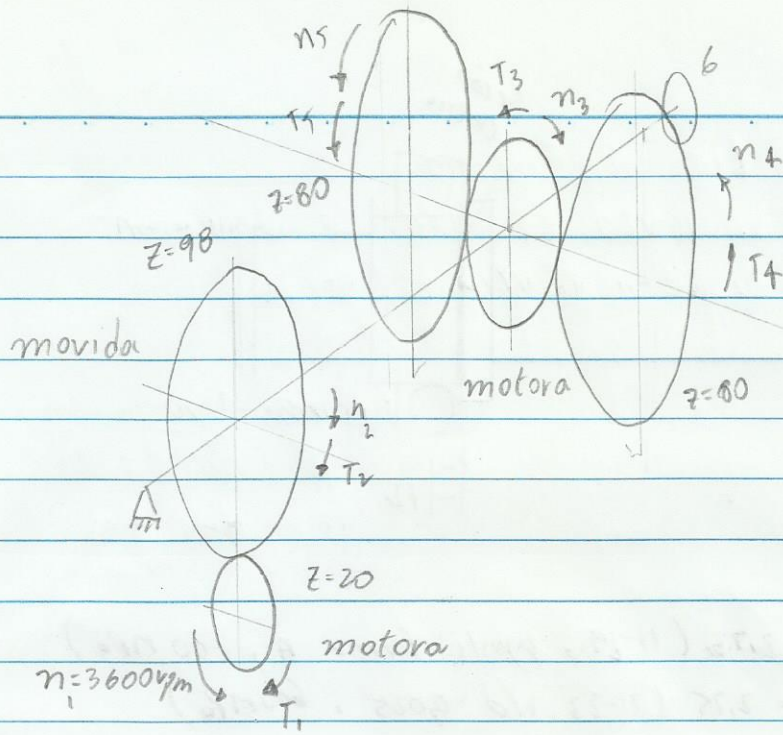
Engrenagem (ECDRs) :
- Interferência Tipo C
- Big: $m = 4 \text{ mm}$ $Z = 98$
- Smol: $m = 5 \text{ mm}$ $Z = 32$

Rolamentos: - Ajuste deslizante

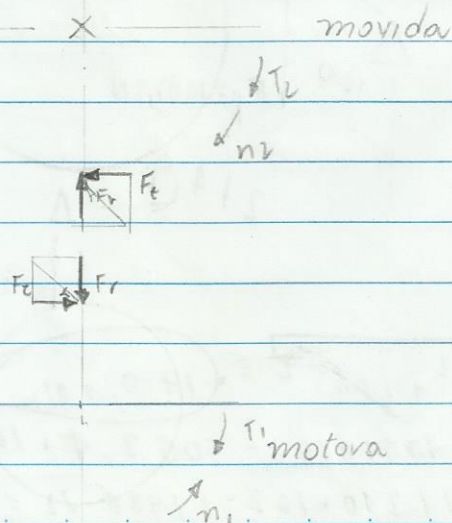
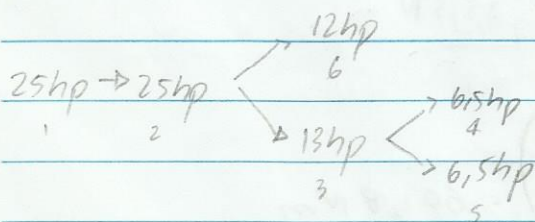
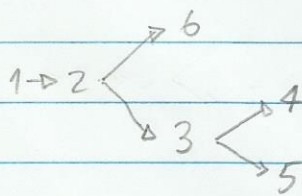
Conf: 99,99% (Chocques médios)
 $R_f = 0,125^\circ/\text{m}$ $n = 1,12$
 $P_e = 25 \text{ hp}$ $G = 816 \text{ PA}$

Rolam ECHR	Eixo	ECHR	Rolan
---------------	------	------	-------

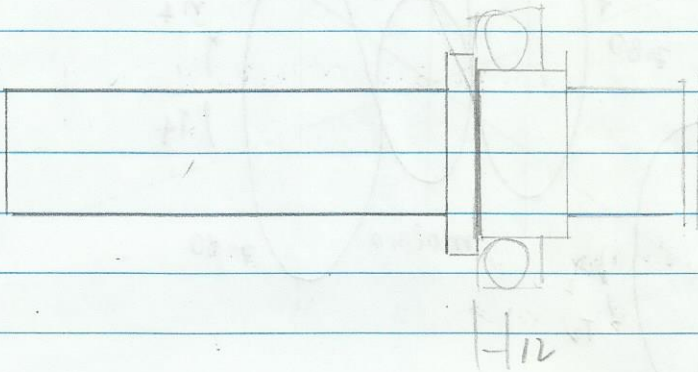
Geometria



Fluxo de Potência



Seção
circular

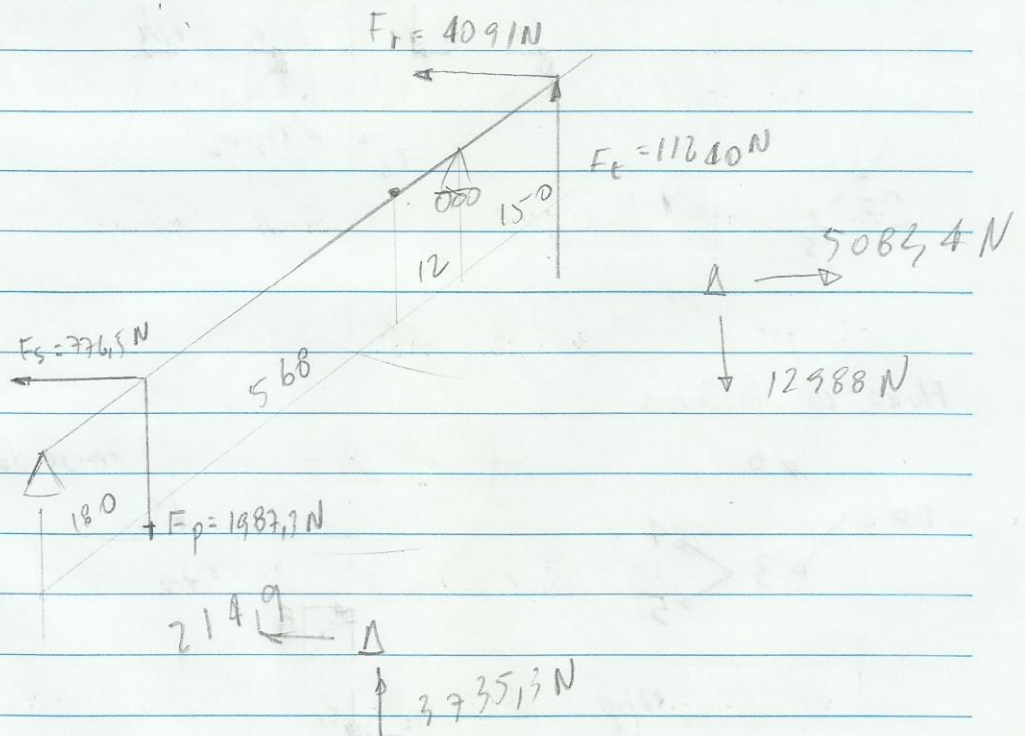


Fração: $K_{FF} = 2,73$ (11-19, ajuste forma A, 600 MPa)

Geometria: $K_{FG} = 2,25$ (11-22, $r/d = 0,025$, 600 MPa)

$$K_{FF \text{ combinado}} = 1 + (K_{FF \text{ fração}} - 1) + (K_{FF \text{ geometria}} - 1)$$

$$K_{FF \text{ combinado}} = 1 + (2,73 - 1) + (2,25 - 1) = 4$$



$$M = \sqrt{601,8^2 + 1665^2} = 1770,4 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{horizontal}} = 4091 \times 162 - 5082,4 \times 12 = 601,8 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{vertical}} = 11240 \times 162 - 12988 \times 12 = 1665 \text{ Nm}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32T}{\pi K_{f,6}}} \quad K_t = 0,25 \frac{\circ}{m} = 0,25 \frac{\pi}{180} \times \frac{1}{1000} = 4,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 427,1 \cdot 10^3}{\pi \times 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot 80,8 \cdot 10^3}} = 59 \text{ mm}$$

Limite de resistência à fadiga

• Coeficientes de correção

$C_{\text{carga}} = 1$ teoria

$C_{\text{temp}} = 1$ como não foi mencionado

$C_{\text{conf}} = 0,902$ confiabilidade 99,99%

$C_{\text{temp}} = 1,189 \cdot 59^{-0,087} = 0,8$

$C_{\text{sup}} = 4(\sigma_r)^b = 4,51(600)^{-0,265} = 0,828$

$$C_{dv} = \frac{1}{5} = \frac{1}{2,15} = 0,465 \quad S_{\text{nom}} = 65 \text{ MPa}$$

$$S_n = 0,5 \sigma_r = \frac{600}{2} = 300 \text{ MPa}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} \cdot M}{S_{n_{nom}}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{TF} \cdot T}{\sigma_c} \right)^2 \right]^{1/2}}^{1/3}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 1,8}{\pi} \left[\left(\frac{4 \cdot 1770,4 \cdot 10^3}{65} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 427,1 \cdot 10^3}{480} \right)^2 \right]^{1/2}}^{1/3}$$

$$d = 125 \text{ mm}$$

Lista de Exercício

DIMENSIONAMENTO DE EIXOS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

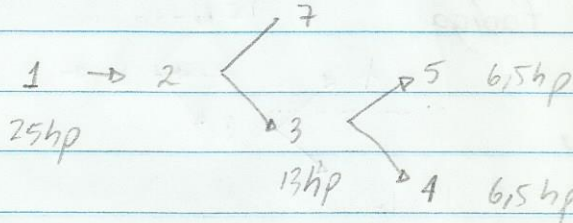
Exercício 1)

$$1 \text{ rpm} = \frac{1 \text{ rot}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \times} \frac{2 \text{ red}}{1 \text{ rot}}$$

Fluxo de potência

12hp

$$1 \text{ hp} = 746 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$



Sabendo que $P = T\omega = T \cdot 2\pi f$ (Potência)

Dados: $P_1 = 3600 \text{ rpm}$
 $P = 25 \text{ hp}$

$$25 \times 746 \cdot 10^3 = T \cdot 2\pi \cdot \frac{3600}{60} \quad \therefore \boxed{T = 49,5 \text{ Nm}}$$

$d = m \cdot z$ Para a ECDR motora temos:

$$d_2 = m_1 \cdot z_2 = 4 \times 98 \quad \therefore \boxed{d_2 = 392 \text{ mm}}$$

A relação de transmissão é $i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{z_2}{z_1}$

$$i = \frac{98}{20} = 4,9 \quad \text{Logo} \quad d_1 = \frac{d_2}{i} = \frac{392}{4,9} \quad \therefore \boxed{d_1 = 80 \text{ mm}}$$

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} = 2 \times \frac{49,5 \cdot 10^3}{80} \quad \therefore \boxed{F_t = 1236,8 \text{ N}}$$

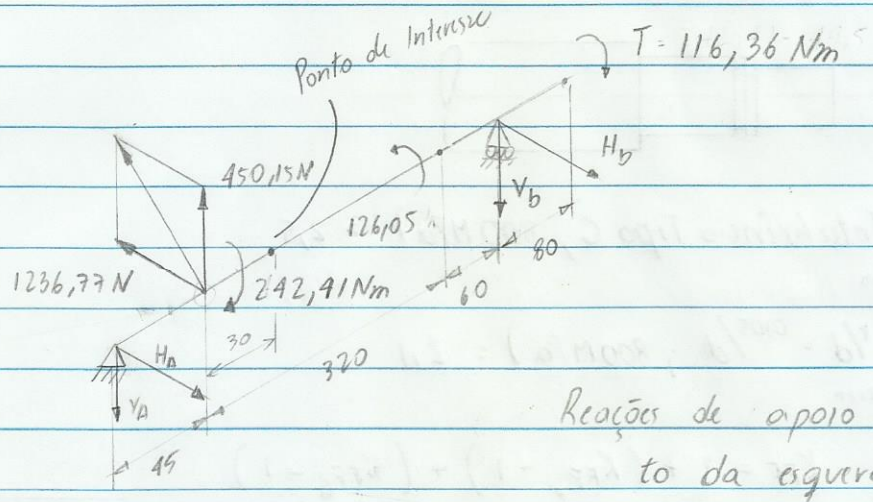
Sabendo que $F_R = F_T \operatorname{tg} \alpha = 1236,77 \times \operatorname{tg} 20^\circ$ $F_R = 450,15 \text{ N}$

Logo; Engrenagem motora Engrenagem movida

$T_1 = 49,5 \text{ Nm}$ $T_2 = 242,41 \text{ Nm}$

$F_T = 1236,77 \text{ N}$ $n_2 = 734,7 \text{ rpm}$

$F_R = 450,15 \text{ N}$



ECDR 3 ($Z=32$ e $m=5\text{mm}$)

$P_3 = 25 - 12 = 13 \text{ hp}$

$13 \times 746 \cdot 10^3 = T \times 2\pi \times 734,7$

$\therefore T_3 = 126,05 \text{ Nm}$

Plano Vertical

$V_A + V_B = 450,15 \text{ N}$ $\sum F = 0$

$425 V_A - 450,15 \times 380 = 0$ $\sum M_B = 0$

$V_A = 402,48 \text{ N}$

$V_B = 47,67 \text{ N}$

Acoplamento

$T = 242,41 - 126,05$

Plano Horizontal

$T = 116,36 \text{ Nm}$

$H_A + H_B = 1236,77$ $\sum F = 0$

$425 H_A - 1236,77 \times 380 = 0$ $\sum M_B = 0$

Momento Resultante

$H_A = 1105,81 \text{ N}$ $H_B = 130,96 \text{ N}$

no ponto de Intercese:

$M_H = 130,96 \times (320 + 60 - 30) = 45 836 \text{ Nmm}$

$M_V = 47,67 \times (320 + 60 - 30) = 16 684,5 \text{ Nmm}$

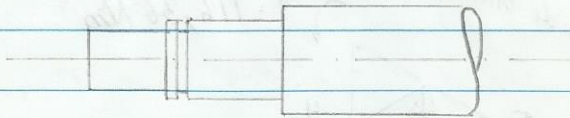
$M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$

$M = 48 177,5 \text{ Nmm}$

Para determinar d , temos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} M_A}{S_{n_{real}}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{TT} T_m}{\sigma_c} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

Primeiro, vamos determinar os fatores de concentração:



$$K_{FF} \text{ (Interkrümmung Typ C, 800 MPa)} = 2,5$$

Filização

$$K_{FF} \text{ (} r/d = 0,105/d \text{ ; 800 MPa)} = 2,1$$

Geometria

$$K_{FF} = 1 + (K_{FF_f} - 1) + (K_{FF_g} - 1)$$

$$= 1 + (2,5 - 1) + (2,1 - 1)$$

$$K_{FF} = 3,6$$

Determinar a Resistência a fadiga Real, para 1510 ciclos

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 T}{\pi G K_T}} \quad K_T = \frac{0,725^\circ}{m} \frac{\pi}{180} \frac{1 \text{ m}}{1000} = 4,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

$$G = 81 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

$$d_{\text{pre-projeto}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 292,41 \cdot 10^3}{\pi \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{-6}}} \quad d_p = 51,30 \text{ mm}$$

$$S_{n_{real}} = C_{\text{carga}} \cdot C_{\text{CONF}} \cdot C_{\text{DIV}} \cdot C_{\text{SUP}} \cdot C_{\text{TAM}} \cdot C_{\text{TEM}} \cdot S_n$$

$C_{carga} = 1$

$C_{CONF} = 0,702$

$C_{DIV} = 0,588$

$C_{SUP} = 4,51 \times 800^{-0,265} = 0,767$

$C_{IAM} = 1,189 \times 51,3^{-0,097} = 0,812$

$S_n = 0,5 \sigma_r = 0,5 \times 800 = 400$

$S_{n_{real}} = 0,702 \times 0,588 \times 0,767 \times 0,812 \times 400 \therefore S_{n_{real}} = 102,83 \text{ MPa}$

Portanto,

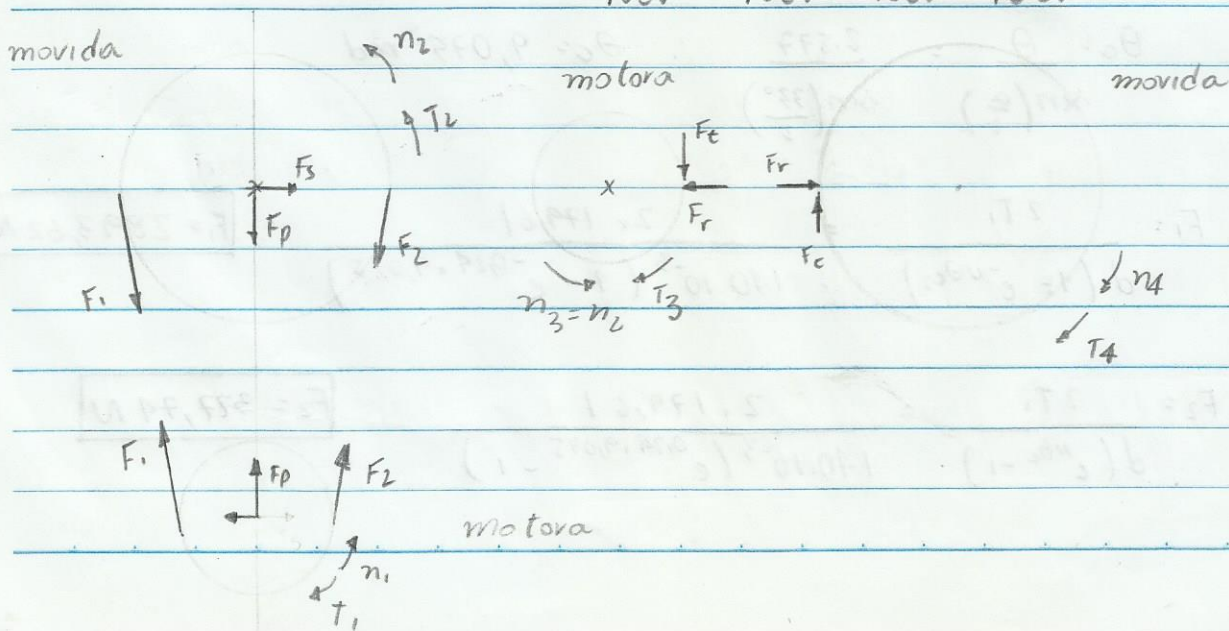
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1,2}{\pi} \left[\left(\frac{3,6 \times 48197,5}{102,83} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \times 242,41 \cdot 10^3}{640} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

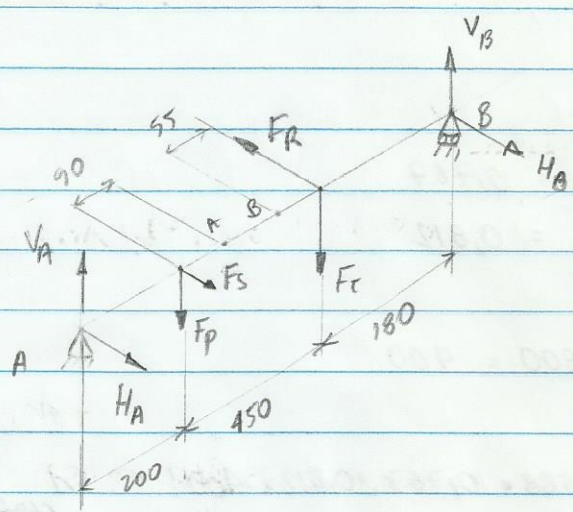
$d = 29,33 \text{ mm}$

Exercício 2)

Polia motora Polia movida ECDR
 $z=31$ $z=96$

Fluxo de potência 1 → 2 → 3 → 4
 46cv 46cv 46cv 46cv





Polia motoras ($d=140\text{mm}$)

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi f ; f = \frac{n}{60}$$

$$46.736 = T_1 \cdot 2\pi \cdot \frac{1800}{60} \therefore T_1 = 179,61 \text{ Nm}$$

Como D_c não é conhecido, temos:

$$D_c = \frac{3d + D}{2} = \frac{3 \times 140 + 360}{2} = 390 \text{ mm}$$

$$\theta = \pi - \left(\frac{D-d}{D_c} \right) = \pi - \left(\frac{360-140}{390} \right) \therefore \theta = 2,577$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2,577}{\sin\left(\frac{33^\circ}{2}\right)} \therefore \theta_c = 9,075 \text{ rad}$$

$$F_1 = \frac{2T_1}{d(1 - e^{-\mu\theta_c})} = \frac{2 \times 179,61}{140 \cdot 10^{-3} (1 - e^{-0,24 \times 9,075})} \quad \boxed{F_1 = 2893,62 \text{ N}}$$

$$F_2 = \frac{2T_1}{d(e^{\mu\theta_c} - 1)} = \frac{2 \times 179,61}{140 \cdot 10^{-3} (e^{0,24 \times 9,075} - 1)} \quad \boxed{F_2 = 327,74 \text{ N}}$$

$$F_p = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) = (2893,62 + 327,74) \cos\left(\frac{\pi - 9,075}{2}\right)$$

$$\therefore F_p = 3172,27 \text{ N}$$

$$F_s = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) = (2893,62 - 327,74) \sin\left(\frac{\pi - 9,075}{2}\right)$$

$$\therefore F_s = 446,23 \text{ N}$$

ECDR

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi f ; f = \frac{n}{60}$$

$$i = \frac{360}{140} = 2,57$$

$$140$$

$$\frac{n_1}{n_2} = 2,57 \therefore n_2 = \frac{1800}{2,57} = 700$$

$$46 \times 736 = T_3 \cdot 2\pi \cdot n_2 ; n_3 = n_2$$

$$46 \times 736 = T_3 \cdot 2\pi \cdot \frac{700}{60}$$

$$\therefore T_3 = 461,86 \text{ Nm}$$

$$T_3 = F_T \cdot \frac{d_3}{2} ; d_3 = m \cdot z = 5 \cdot 31 = 155 \text{ mm}$$

$$461,86 = F_T \cdot \frac{155 \cdot 10^{-3}}{2} \therefore F_T = 5959,5 \text{ N}$$

$$F_R = F_t \cdot \tan(\alpha) = 5959,5 \cdot \tan 20 \therefore F_R = 2169,07 \text{ N}$$

Plano Horizontal

Plano Vertical

$$F_R - F_s - H_A + H_B = 0$$

$$F_p + F_t - V_A - V_B = 0$$

$$200 F_s - 650 F_R + 830 H_B = 0$$

$$200 F_p + 650 F_t - 830 V_B = 0$$

$$\therefore H_B = 1524,4 \text{ N}$$

$$V_B = 5431,45 \text{ N}$$

$$\text{e } H_A = 131,69 \text{ N}$$

$$V_A = 3700,28 \text{ N}$$

$$M_{AH} = 290 H_A + 90 F_s = 78350,8 \text{ Nmm}$$

$$M_{BH} = 235 H_B - 55 F_R = 238935,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{AV} = 290 V_A - 90 F_p = 787576,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{BV} = 235 V_B - 55 F_t = 948618,25 \text{ Nmm}$$

$$\therefore M_A = 791,5 \text{ Nm}$$

$$\therefore M_B = 978 \text{ Nm}$$

Exercício 3)

$$K_{FF} = 1 + \left(K_{FF_{\text{Geometria}}} - 1 \right) + \left(K_{FF_{\text{Finição}}} - 1 \right)$$

$$K_{FF_{\text{Finição}}} (580 \text{ MPa}, \text{ tipo C}) = 2,1$$

$$K_{FF_{\text{Geometria}}} (0,95, 580 \text{ MPa}) \Rightarrow$$

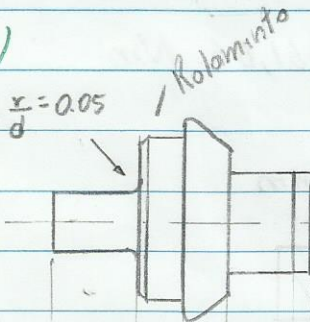
$$(600-500) - (1,8 - 1,75)$$

$$(600-580) - (1,8 - K_{FF}) \therefore K_{FF} = 1,79$$

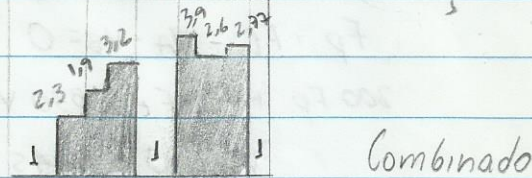
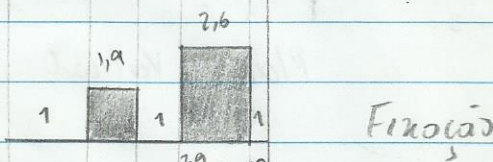
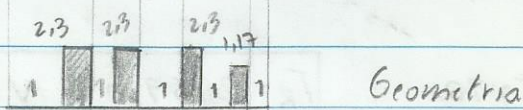
$$K_{FF} = 1 + (1,79 - 1) + (2,1 - 1) \therefore K_{FF} = 2,89$$

Exercício 4)

$$\sigma_R = 1000 \text{ MPa}$$

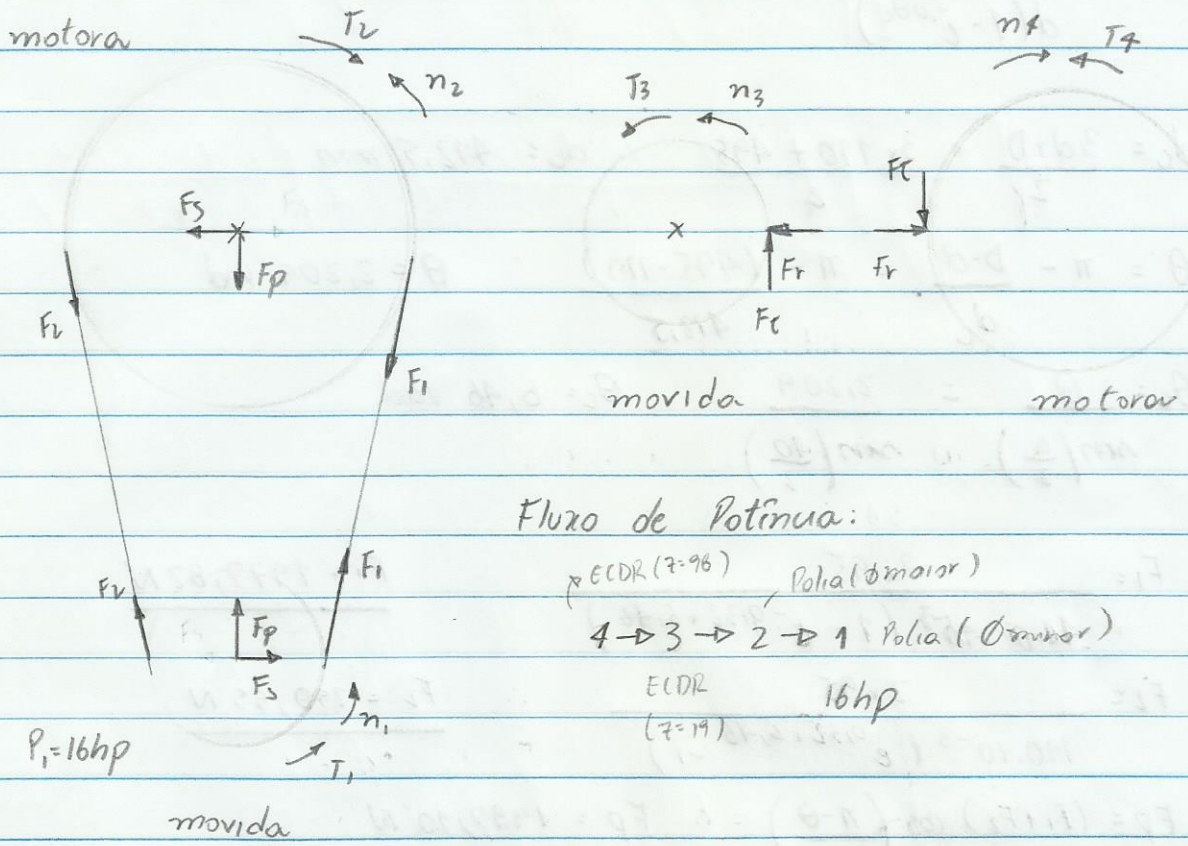


$$K_{FF} = 1 + (K_{FF_G} - 1) + (K_{FF_F} - 1)$$

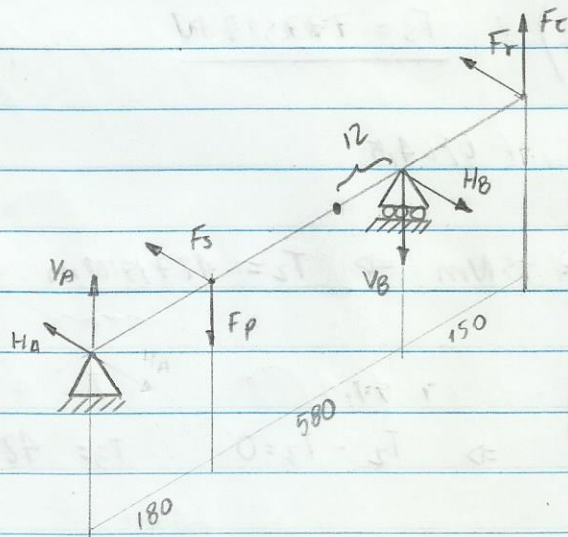
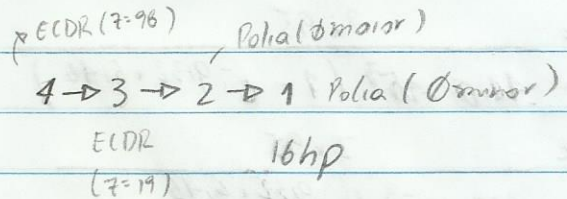


Fluxo de patinua : 1 → 2 → 3

Exercício 6)



Fluxo de Potência:



Polia 1: $P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi f$; $f = n/60$
 $16 \cdot 746 = T_1 \cdot 2\pi \cdot 1200 / 60$
 $\therefore T_1 = 95 \text{ Nm}$

$$F_1 = \frac{2T_1}{d(1 - e^{-\mu\theta_c})}$$

$$d_c = \frac{3d + D}{2} = \frac{3 \times 110 + 495}{2} \quad \therefore d_c = 412,5 \text{ mm}$$

$$\theta = \pi - \frac{D-d}{d_c} = \pi - \frac{495-110}{412,5} \quad \therefore \theta = 2,209 \text{ rad}$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2,209}{\sin\left(\frac{40}{2}\right)} \quad \therefore \theta_c = 6,46 \text{ rad}$$

$$F_1 = \frac{2 \times 95}{110 \cdot 10^{-3} (1 - e^{-0,32 \times 6,46})} \quad \therefore F_1 = 1977,82 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 \times 95}{110 \cdot 10^{-3} (e^{0,32 \cdot 6,46} - 1)} \quad \therefore F_2 = 250,55 \text{ N}$$

$$F_p = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_p = 1990,10 \text{ N}$$

$$F_s = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_s = 777,12 \text{ N}$$

$$\text{ECDR} \quad i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{495}{110} \quad \therefore i = 4,5$$

$$\frac{T_2}{T_1} = i \quad ; \quad T_1 = 95 \text{ Nm} \quad \Rightarrow \quad T_2 = 427,5 \text{ Nm}$$

$$\sum M_{no \text{ axis}} = 0 \quad \Rightarrow \quad T_2 - T_3 = 0 \quad \therefore T_3 = 427,5 \text{ Nm}$$

$$T_3 = F_t \frac{d_3}{2} \quad ; \quad d_3 = m z = 4 \times 19 = 76 \text{ mm}$$

$$427,5 = F_t \frac{76 \cdot 10^{-3}}{2} \quad \therefore F_t = 11250 \text{ N}$$

$$F_R = F_T \operatorname{tg}(\alpha) \quad F_R = 11250 \operatorname{tg} 20 \quad \therefore \quad \underline{F_R = 4094,67 \text{ N}}$$

Plano Horizontal

$$F_r + F_s + H_A - H_B = 0$$

$$180 F_s + 910 F_r - 760 H_B = 0$$

$$\therefore H_B = 5086,88 \text{ N}$$

$$H_A = 215,09 \text{ N}$$

Plano Vertical

$$F_t - F_p + V_A - V_B = 0$$

$$180 F_p + 910 F_t + 760 V_B = 0$$

$$V_B = 13941,73 \text{ N}$$

$$V_A = 4681,83 \text{ N}$$

$$M_H = 162 F_r - 12 H_B \quad \therefore \quad M_H = 602,3 \text{ Nm}$$

$$M_V = 162 F_T - 12 V_B \quad \therefore \quad M_V = 1655,2 \text{ Nm}$$

$$M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2} \quad \therefore \quad M = 1761,4 \text{ Nm}$$

(Pré-Proyecto)

$$d = 4 \sqrt{\frac{32T}{\pi G R_T}} = 4 \sqrt{\frac{32 \cdot 427,5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 80,8 \cdot 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{-6}}} \quad \therefore \quad d = 59,16 \text{ mm}$$

$$\frac{0,25^\circ}{m} \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 4,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{mm}}$$

Determinar S_n real

$$S_n = 0,15 \sigma_s = 0,15 \cdot 600$$

$$C_{\text{carga}} = 1,00$$

$$S_n = 300$$

$$C_{\text{CONF}} = 0,702$$

$$C_{\text{SUP}} = 4,51 \cdot 600^{-0,1265} = 0,828$$

$$S_{n_{\text{real}}} = 64,88 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{CAM}} = 1,189 \cdot 59,16^{0,097} = 0,8$$

$$C_{\text{temp}} = 1$$

$$C_{\text{DIV}} = \frac{1}{1} = \frac{1}{2,115} = 0,465$$

$$(0,05 - 0) - (1,8 - 2,7)$$

$$(0,05 - 0,025) - (1,8 - K_{FF_0})$$

$$\therefore K_{FF_0} = 2,25 \quad \text{e } K_{FF} = 2,7$$

$$K_{FF} = 3,94$$

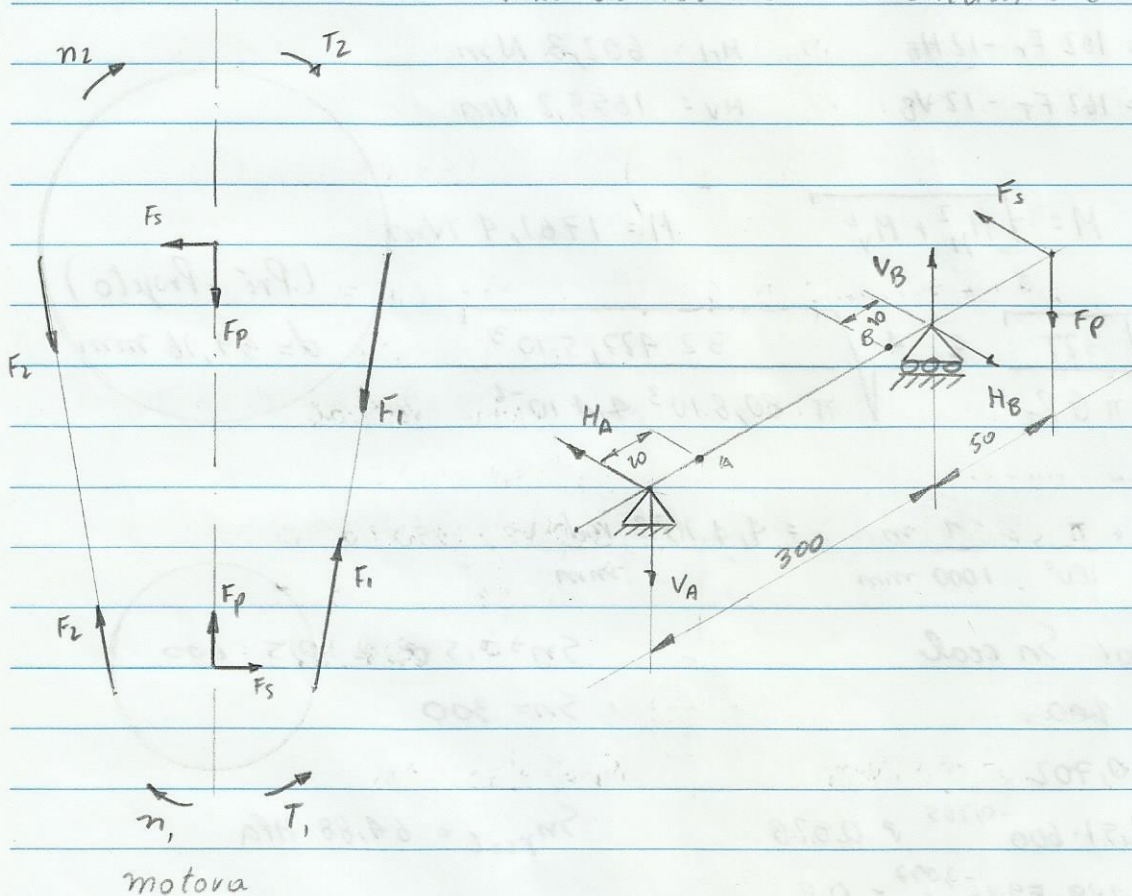
$$d = 3 \sqrt{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} M_a}{S_{n,real}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{TT} T_m}{\sigma_c} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$d = 3 \sqrt{\frac{32 \cdot 1,8}{\pi} \left[\left(\frac{3,94 \cdot 1761,4 \cdot 10^3}{64,88} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 427,5 \cdot 10^3}{480} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$d = 125,17 \text{ mm}$$

Exercício 7)

Fluxo de Potência: Unidirecional e Constante



Como d_c não é conhecido, temos: $d_c = \frac{3d+D}{2}$

$$d_c = \frac{3 \cdot 200 + 500}{2} \therefore d_c = 550 \text{ mm}$$

$$\theta = \pi - \frac{D-d}{d_c} = \pi - \frac{500-200}{550} \therefore \theta = 2,60^\circ$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2,6}{\sin\left(\frac{36}{2}\right)} \therefore \theta_c = 8,40 \text{ rad}$$

$$i = \frac{D}{d} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{500}{200} = \frac{T_2}{200} \therefore T_2 = 500 \text{ Nm}$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3}{200 (1 - e^{-0,3 \cdot 8,40})} \therefore F_1 = 2174,93 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3}{200 (e^{0,3 \cdot 8,40} - 1)} \therefore F_2 = 174,93 \text{ N}$$

$$F_p = (2174,93 + 174,93) \cos\left(\frac{\pi - 2,6}{2}\right) \therefore F_p = 2263,00 \text{ N}$$

$$F_s = (2174,93 - 174,93) \sin\left(\frac{\pi - 2,6}{2}\right) \therefore F_s = 538,72 \text{ N}$$

Plano Horizontal

$$F_s + H_A - H_B = 0$$

$$300 H_B - 350 F_s = 0$$

$$\therefore H_B = 628,5 \text{ N}$$

$$H_A = 89,79 \text{ N}$$

Plano Vertical

$$F_p + V_A - V_B = 0$$

$$300 V_B - 350 F_p = 0$$

$$V_B = 2640,17 \text{ N}$$

$$V_A = 377,17 \text{ N}$$

$$M_{AH} = 20 H_A = 1795,8 \text{ Nmm}$$

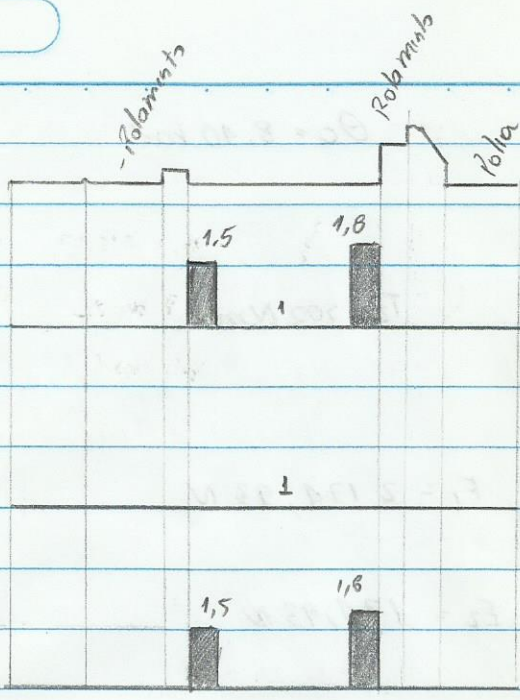
$$M_A = 7,75 \text{ Nm}$$

$$M_{AV} = 20 V_A = 7543,4 \text{ Nmm}$$

$$M_{BH} = 290 H_A = 26039,1 \text{ Nmm}$$

$$M_B = 112,4 \text{ Nm}$$

$$M_{BV} = 290 V_A = 109379,3 \text{ Nmm}$$



alço 6.8 } $\sigma_r = 600 \text{ MPa}$
 $\sigma_c = 480 \text{ MPa}$

Geometria

Fixação

Combinada

$$K_{FF} = 1 + (K_{FF_0} - 1) + (K_{FF_2} - 1) \therefore \left. \begin{array}{l} A \rightarrow K_{FF} = 1,5 \\ B \rightarrow K_{FF} = 1,8 \end{array} \right\}$$

Critério ASME

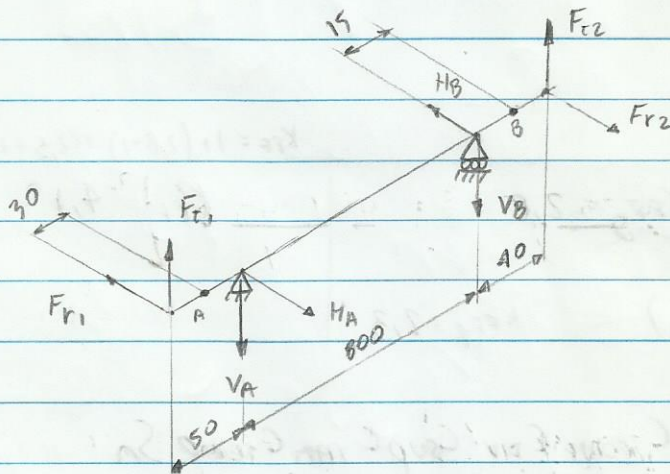
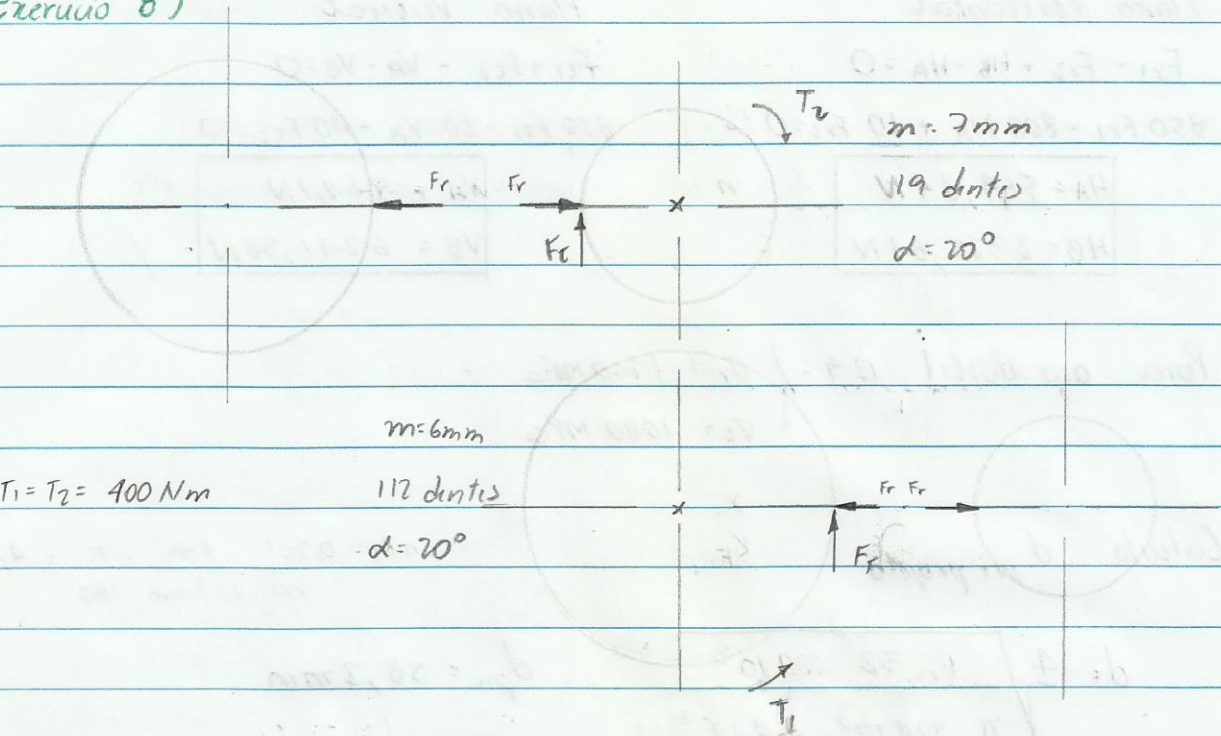
Para A: $35^3 = \frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{1,5 \cdot 7,75 \cdot 10^3}{85} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 500 \cdot 10^3}{480} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$

Para A $\rightarrow n_f = 4,01$

Para B: $35^3 = \frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{1,8 \cdot 112,4 \cdot 10^3}{85} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 500 \cdot 10^3}{480} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$

Para B $\rightarrow n_f = 1,62$

Exercício 8)



ECRD 1 $T_1 = F_{T1} \cdot \frac{d_1}{2}$, $d_1 = m \cdot z$

$$400 \cdot 10^3 = F_{T1} \cdot \frac{6 \cdot 112}{2} \therefore F_{T1} = 1190,48 \text{ N} \quad A$$

$$F_R = F_T \cdot \tan \alpha ; \alpha = 20^\circ \therefore F_{R1} = 433,3 \text{ N} \quad B$$

Para ECRD 2

$$\therefore 400 \cdot 10^3 = F_{T2} \cdot \frac{7 \cdot 19}{2} \therefore F_{T2} = 6015,04 \text{ N} \quad C$$

$$F_R = F_T \cdot \tan \alpha \therefore F_{R2} = 2189,3 \text{ N} \quad D$$

Plano horizontal

$$F_{r1} - F_{r2} + H_B - H_A = 0$$

$$850 F_{r1} - 800 H_A + 40 F_{r2} = 0$$

$$H_A = 569,84 N$$

$$H_B = 2325,84 N$$

Plano Vertical

$$F_{c1} + F_{c2} - V_A - V_B = 0$$

$$850 F_{c1} - 800 V_A - 40 F_{c2} = 0$$

$$V_A = 964,1 N$$

$$V_B = 6241,36 N$$

Para aço dúctil 12.9 $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = 1200 \text{ MPa} \\ \sigma_c = 1080 \text{ MPa} \end{array} \right.$

Calculo $d_{projeto}$

$$R_f = 0,75^\circ \cdot \frac{1 \text{ m}}{\text{m}} \cdot \frac{\pi}{180} = 4,4 \cdot 10^{-6}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 400 \cdot 10^3}{\pi \cdot 80,8 \cdot 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{-6}}} \therefore d_{proj} = 58,2 \text{ mm}$$

Contração de tensão

$$K_{FFg} (v/b = 0,05, \sigma_r = 1200) \therefore K_{FFg} = 2,8$$

$$K_{FF} = 1 + (2,8 - 1) + (2,8 - 1)$$

$$\therefore K_{FF} = 4,1$$

$$K_{FFr} (\sigma_r = 1200 \text{ e } d = 58,2 \text{ mm}) \therefore K_{FFr} = 2,3$$

Fadiga: $S_{n_{real}} = C_{CAROA} C_{CONF} C_{DIV} C_{SUP} C_{TAM} C_{TEMP} S_n$

$$C_{CAROA} = 1,0$$

$$S_n = 0,5 \sigma_r = 600 \text{ MPa}$$

$$C_{CONF} = 0,814$$

$$C_{DIV} = 0,714$$

$$S_{n_{real}} = 193 \text{ MPa}$$

$$C_{SUP} = 4,51 \cdot 1200^{-0,265} = 0,689$$

$$C_{TAM} = 1,189 \cdot 58,2^{-0,097} = 0,802$$

$$C_{TEMP} = 1,0$$

Momentos em A e B

$$A: \quad M_{AH} = 30 F_{r1} = 35\,714,29 \text{ Nmm} \quad \therefore M_A = 36 \text{ Nm}$$
$$M_{AV} = 30 F_{t1} = 12\,998,94 \text{ Nmm}$$

$$B: \quad M_{BH} = 25 F_{r2} = 54\,732,37 \text{ Nmm} \quad \therefore M_B = 160 \text{ Nm}$$
$$M_{BV} = 25 F_{t2} = 150\,375,94 \text{ Nmm}$$

Critério ASME

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,2}{\pi} \left[\left(\frac{4,1 \cdot 36 \cdot 10^3}{193} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 400 \cdot 10^3}{1080} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$\therefore d_1 = 26,90 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,2}{\pi} \left[\left(\frac{4,1 \cdot 160 \cdot 10^3}{193} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 400 \cdot 10^3}{1080} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$\therefore d_2 = 42,45 \text{ mm}$$

Para o $\varnothing 40 \text{ mm}$

$$K_{FFg1} \left(\sigma_r = 1200 \text{ MPa e } \frac{r}{\varnothing} = \frac{6}{40} = 0,15 \right) = 1,7 \quad \text{logo } K_{FF} = 1,7$$

Momentos Flutar no $\varnothing 40$ do lado Direito e Esquerdo

$$M_{EH} = 100 F_{r1} - 50 H_A$$

$$M_{DH} = 90 F_{r2} - 50 H_B$$

$$M_{EV} = 100 F_{t1} - 50 V_A$$

$$M_{DV} = 90 F_{t2} - 50 V_B$$

$$\therefore M_E = 72,38 \text{ Nm}$$

$$M_D = 243,09 \text{ Nm}$$

Portanto:

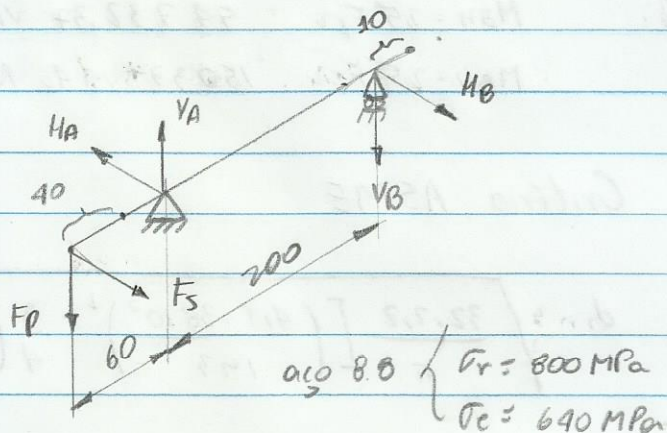
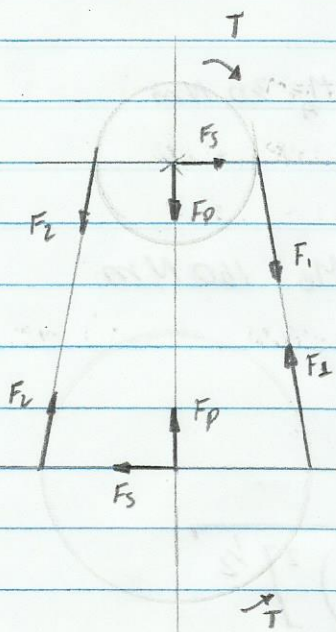
$$40 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,2}{\pi} \left[\left(\frac{1,7 \cdot 243,09 \cdot 10^3}{220} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 400 \cdot 10^3}{1080} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$n_f = 3,3$$

Exercício 9)

Fluxo de Potência:

40 hp através do manivel para polia menor e depois polia maior



Na polia menor:

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi f$$

$$40 \times 746 = T \cdot 2\pi \cdot \frac{660}{60} \quad \therefore T = 431,74 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\theta = \pi - \frac{D-d}{d_c} = \pi - \frac{400-200}{500} \quad \therefore \theta = 2,74^\circ$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin(\frac{\theta}{2})} = \frac{2,74}{\sin(\frac{2,74}{2})} \quad \therefore \theta_c = 7,32^\circ$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 431,74 \cdot 10^3}{200(1 - e^{-0,3 \cdot 7,32})} \quad \therefore F_1 = 4858,12 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 431,74 \cdot 10^3}{200(e^{0,3 \cdot 7,32} - 1)} \quad \therefore F_2 = 540,68 \text{ N}$$

$$F_p = (4858,12 + 540,68) \cos\left(\frac{\pi - 2,74}{2}\right) \quad \therefore F_p = 5291,18 \text{ N}$$

$$F_s = (4858,12 - 540,68) \sin\left(\frac{\pi - 2,74}{2}\right) \quad \therefore F_s = 857,74 \text{ N}$$

Plano Horizontal

$$F_s + H_b - H_a = 0$$

$$260 F_s - 200 H_a = 0$$

$$\therefore H_a = 1115,07 N$$

$$H_b = 257,32 N$$

Plano Vertical

$$F_p + V_B - V_A = 0$$

$$260 F_p - 200 V_A = 0$$

$$\therefore V_A = 6878,54 N$$

$$V_B = 1587,36 N$$

Diâmetro Pré-Projeto: $d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 431,74 \cdot 10^3}{\pi \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{1}{1000}}}$ $d = 49,94 mm$

Limite de resistência a fadiga

$$C_{\text{carga}} = 1$$

$$C_{\text{CONF}} = 1$$

$$S_n = 0,5 \cdot 800 = 400$$

$$C_{\text{DIV}} = 1/1,7 = 0,588$$

$$C_{\text{SUP}} = 0,81$$

$$C_{\text{TAM}} = 1,189 \cdot 49,94^{-0,097} = 0,814$$

$$C_{\text{TEMP}} = 1$$

+ Para Polia e Mancal:

$$S_{n_{\text{real}}} = 155,08 \text{ MPa}$$

+ Para o centro do eixo:

$$S_{n_{\text{real}}} = 162,89 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{TAM}} = 1,189 \cdot 30^{-0,097} = 0,855$$

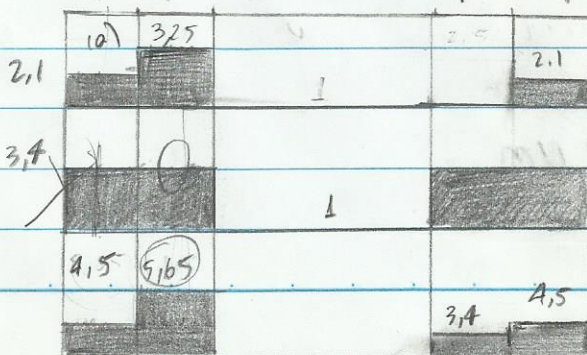
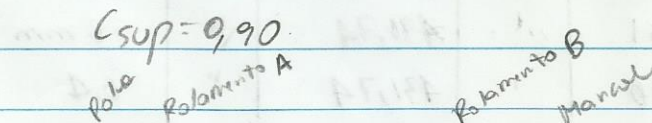
$$C_{\text{SUP}} = 0,81$$

+ Para $d = 35 mm$:

$$S_{n_{\text{real}}} = 178,23 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{TAM}} = 1,189 \cdot 35^{-0,097} = 0,842$$

$$C_{\text{SUP}} = 0,90$$



Fixação

Geometria

Combinado

Momentos Fletor

Para d_1 : $M_{H1} = 40 F_s \quad \therefore M_1 = 214,41 \text{ Nm}$

$M_{V1} = 40 F_p$

Para d_2 : $M_{H2} = 270 F_s - 210 H_A + 10 H_B \quad \therefore M_2 = 0$

$M_{V2} = 270 F_p - 210 V_A + 10 V_B$

Para item c: $M_{HC} = 72,5 F_x - 12,5 H_A \quad \therefore M_C = 301,51 \text{ Nm}$

$M_{VC} = 72,5 F_p - 12,5 V_A$

Para item d: $M_{HD} = 10 H_B \quad \therefore M_D = 16,00 \text{ Nm}$

$M_{VD} = 10 V_B$

Critério ASME:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} \cdot M_A}{S_{mreal}} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{TT} \cdot T_m}{\sigma_c} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

Determinar	n_f	K_{FF}	M_A (Nm)	K_{TT}	T_m (Nm)	σ_c	Resposta
d_1	2	4,5	214,41	1	431,74	640	50,31 mm
d_2	2	4,5	0	1	431,74	"	22,83 mm
n_f	$d=30$	1	160,81	1	431,74	"	2,31
d_r	2	5,165	301,51	1	431,74	"	58 mm
n_f	$d=35$	3,4	16,00	1	431,74	"	6,4

Para M item B:

$M_{HB} = 100 H_B \quad \therefore M_B = 160,81 \text{ Nm}$

$M_{VB} = 100 V_B$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 189,97 \cdot 10^3}{280 (1 - e^{-0,32 \cdot 7,65})} \quad \therefore F_1 = 1485,5 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 189,97 \cdot 10^3}{280 (e^{0,32 \cdot 7,65} - 1)} \quad \therefore F_2 = 128,59 \text{ N}$$

$$F_{p1} = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_{p1} = 1558,52 \text{ N} \quad A$$

$$F_{s1} = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_{s1} = 352,97 \text{ N} \quad B$$

Polia Sistema 2:

$$i = \frac{680}{280} = \frac{T_2}{T_1}; \text{ Para } T_1 = 189,97 \text{ Nm} \rightarrow T_2 = 461,35 \text{ Nm}$$

$$d_{c2} = \frac{3 \cdot 320 + 720}{2} \quad \therefore d_c = 840 \text{ mm}$$

$$\theta = \pi - \frac{720 - 320}{840} \quad \therefore \theta = 2,67^\circ$$

$$\theta_c = \frac{2,67}{\sin\left(\frac{40}{2}\right)} \quad \therefore \theta_c = 7,79$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 461,35 \cdot 10^3}{320 (1 - e^{-0,32 \cdot 7,79})} \quad \therefore F_1 = 3143,03 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 461,35 \cdot 10^3}{320 (e^{0,32 \cdot 7,79} - 1)} \quad \therefore F_2 = 258,48 \text{ N}$$

$$F_{p2} = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_{p2} = 3305,55 \text{ N} \quad C$$

$$F_{s2} = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \quad \therefore F_{s2} = 680,33 \text{ N} \quad D$$

Plano Horizontal

$$F_{s1} + F_{p2} - H_A - H_B = 0$$

$$620 F_{s1} + 250 F_{p2} - 420 H_A = 0$$

$$\therefore H_A = 2488,65 \text{ N E}$$

$$H_B = 1169,88 \text{ N F}$$

Plano Vertical

$$F_{p1} - F_{s2} - V_A + V_B = 0$$

$$620 F_{p1} - 250 F_{s2} - 420 V_A = 0$$

$$V_A = 1895,71 \text{ N X}$$

$$V_B = 1017,52 \text{ N Y}$$

Momentos nas dimensões d_1, d_2 e d_3

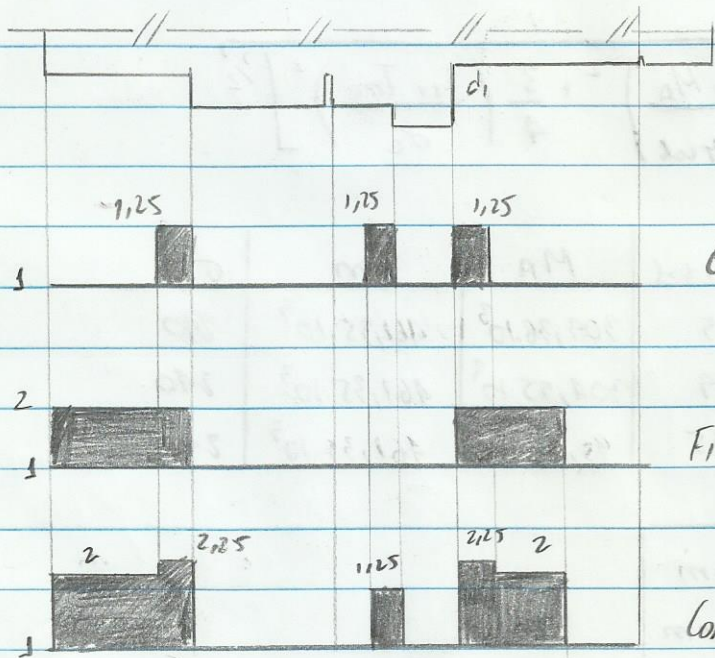
$$M_{D3} = [(60 F_{s1})^2 + (60 F_{p1})^2]^{1/2} \therefore M_{D3} = 95,88 \text{ Nm}$$

$$M_{D2} = [(222,5 F_{s1} - 22,5 H_A)^2 + (222,5 F_{p1} - 22,5 V_A)^2]^{1/2} \therefore M_{D2} = 304,95 \text{ Nm}$$

$$M_{D1} = [(325 H_B - 75 F_{p2})^2 + (325 V_B - 75 F_{s2})^2]^{1/2} \therefore M_{D1} = 309,38 \text{ Nm}$$

Contração de tensão Individuais

o10 classe 4.6 $\sigma_r = 400 \text{ MPa}$
 $\sigma_c = 240 \text{ MPa}$



Geometria

Fixação

Combinada

$$d_{\text{pré-projeto}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 461,35 \cdot 10^3}{\pi \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot \pi \cdot \frac{1}{180 \cdot 1000}}}$$

$$d_{\text{pré-projeto}} = 75,93 \text{ mm}$$

limite de resistência à fadiga

$$C_{\text{carga}} = 1$$

$$C_{\text{CONF}} = 0,702$$

$$C_{\text{DIV}} = 1/2,15 = 0,465$$

$$C_{\text{TEMP}} = 1$$

$$C_{\text{TAN}} = 9,189 \cdot 75,93^{-0,097} = 0,781$$

$$C_{\text{sup (rolamento)}} = 1,58 \cdot 400^{-0,065}$$

$$\therefore C_{\text{sup}_r} = 0,949$$

$$C_{\text{sup (dimensões)}} = 0,86$$

$$S_n = 0,5 \sigma_r = 200 \text{ MPa}$$

$$S_{n_{\text{real rolamento}}} = 48,39 \text{ MPa}$$

$$S_{n_{\text{real dimensões}}} = 43,85 \text{ MPa}$$

Critério ASME

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 n_f}{\pi} \left[\left(\frac{K_{FF} M_A}{S_{n_{\text{real}}}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{TT} T_m}{\sigma_c} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

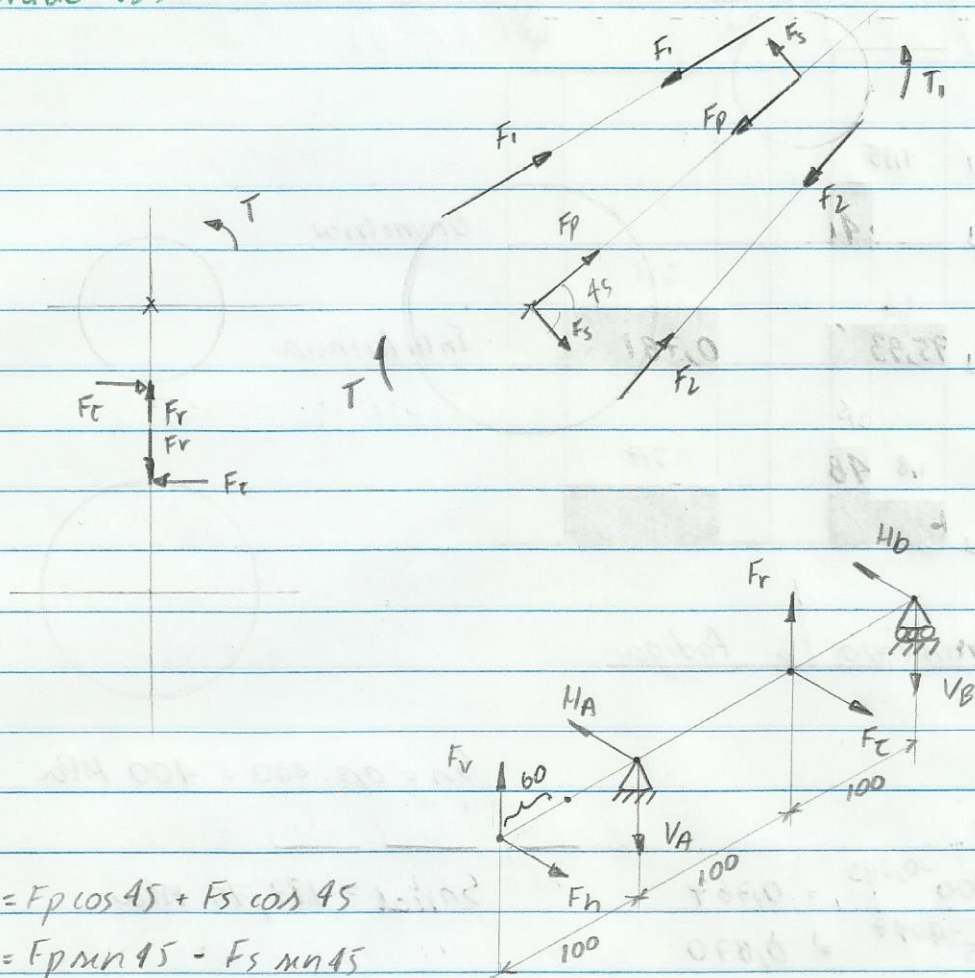
Cálculo	n_f	K_{FF}	$S_{n_{\text{real}}}$	M_A	T_m	σ_c
d_1	2,15	2,125	43,85	$309,78 \cdot 10^3$	$461,35 \cdot 10^3$	240
d_2	2,15	1,125	48,39	$304,95 \cdot 10^3$	$461,35 \cdot 10^3$	240
d_3	2,15	2,125	43,85	$95,88 \cdot 10^3$	$461,35 \cdot 10^3$	240

$$d_1 = 74,08 \text{ mm}$$

$$d_2 = 58,97 \text{ mm}$$

$$d_3 = 50,95 \text{ mm}$$

Exercício 15)



$$F_h = F_p \cos 45 + F_s \cos 45$$

$$F_v = F_p \sin 45 - F_s \sin 45$$

$$\therefore F_h = 2333,45 \text{ N}$$

$$F_v = 1202,08 \text{ N}$$

$$F_c = 4600 \text{ N}$$

$$F_r = 1500 \text{ N}$$

Plano Horizontal

$$F_h + F_c - H_A - H_B = 0$$

$$300 F_h + 100 F_c - 200 H_A = 0$$

$$\therefore H_A = 5800,18 \text{ N}$$

$$H_B = 1133,27 \text{ N}$$

Plano Vertical

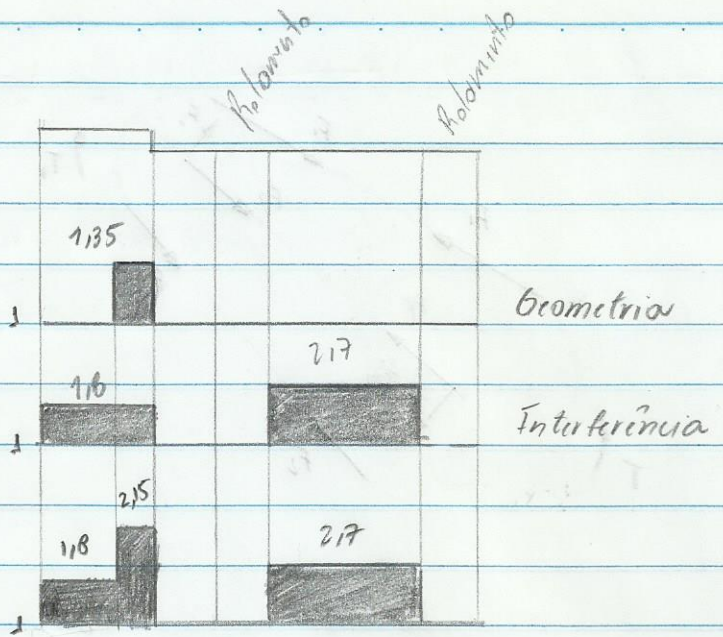
$$F_v + F_r - V_A - V_B = 0$$

$$300 F_v + 100 F_r - 200 V_A = 0$$

$$V_A = 2553,12 \text{ N}$$

$$V_B = 148,96 \text{ N}$$

$$T = \frac{F \cdot d}{2} = \frac{4600 \cdot 16,3}{2} \therefore T = 110,4 \text{ Nm}$$



Limite de resistência à fadiga

$C_{carga} = 1$

$S_n = 0,15 \cdot 800 = 400 \text{ MPa}$

$C_{CONF} = 0,814$

$C_{SUP} = 4,51 \cdot 800^{-0,265} = 0,767$

$S_{ncal} = 127,75 \text{ MPa}$

$C_{TAM} = 1,189 \cdot 25^{-0,0997} = 0,870$

$C_{TEMP} = 1,0$

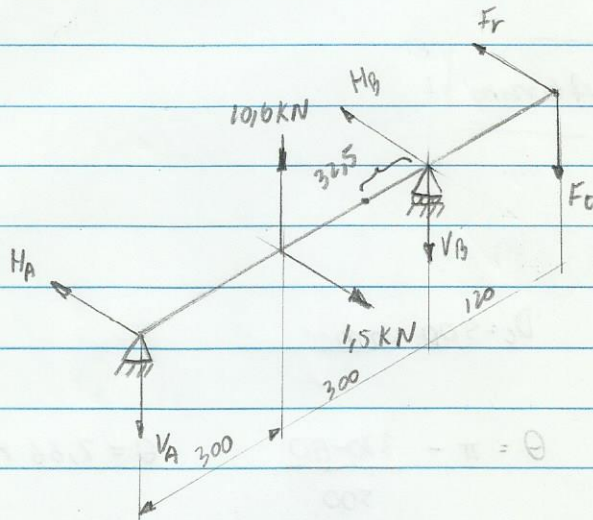
$C_{DIV} = 1/1,7 = 0,588$

$M = [(60F_H)^2 + (60F_V)^2]^{1/2} \quad \therefore M = 157,49 \text{ Nm}$

$$25 = \sqrt[3]{\frac{32 \eta_f}{\pi} \left[\left(\frac{2,15 \cdot 157,49 \cdot 10^3}{127,75} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 110,4 \cdot 10^3}{680} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$\therefore \eta_f = 0,58$

Exercício 16)



$$T = \frac{1,5 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{2} = 225 \text{ Nm} \quad T = \frac{F \cdot m^3}{2}$$

$$225 \cdot 10^3 = \frac{F \cdot 67 \cdot 6}{2} \quad \therefore F = 1119,4 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha \quad \therefore F_r = 407,43 \text{ N}$$

Plano Horizontal

$$F_r - 1500 + H_A + H_B = 0$$

$$720 F_r - 1500 \cdot 300 + 600 H_B = 0$$

$$\therefore H_B = 261,08 \text{ N}$$

$$H_A = 831,49 \text{ N}$$

Plano Vertical

$$F_c - 10600 + V_B + V_A = 0$$

$$720 F_c - 10600 \cdot 300 + 600 V_B = 0$$

$$\therefore V_B = 3956,72 \text{ N}$$

$$V_A = 5523,88 \text{ N}$$

$$K_{FF_{\text{geom}}} (800 \text{ MPa} ; 0,25) = 1,3$$

$$K_{FF_{\text{fix}}} (\text{TIPO D}) = 1,6 \quad \therefore K_{FF} = 1,9$$

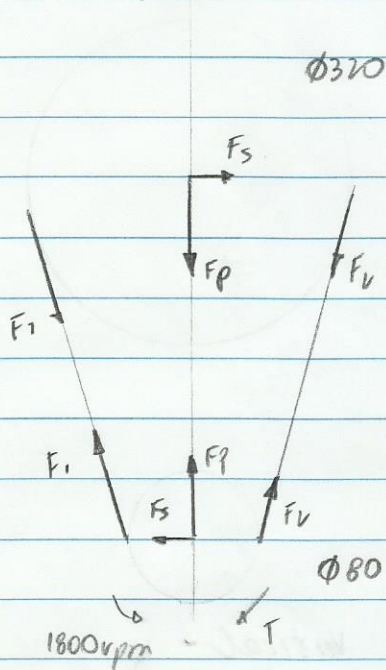
Momento em B

$$M = \left[(152,5 F_r + 32,5 H_B)^2 + (152,5 F_c + 32,5 V_B)^2 \right]^{1/2} \quad \therefore M = 307,5 \text{ Nm}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.3}{\pi} \left[\left(\frac{1.9 \cdot 10^3 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{190} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2.225 \cdot 10^3}{640} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$\therefore d = 45,75 \text{ mm} = 46 \text{ mm}$$

Exercício 13)



$D_c = 500 \text{ mm}$

$$\theta = \pi - \frac{320 - 80}{500} \therefore \theta = 2,66 \text{ rad}$$

$$\theta_c = \frac{2,66}{\pi \cdot 22} \therefore \theta_c = 7,11 \text{ rad}$$

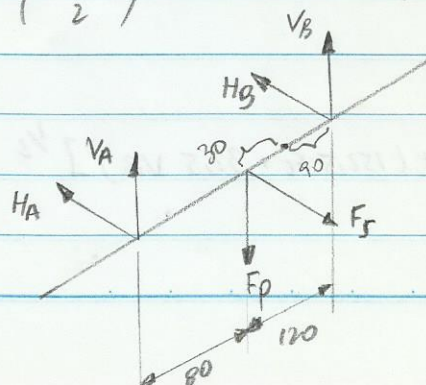
$$26.745 = T \cdot 2\pi \cdot \frac{1800}{60} \therefore T = 102,76 \text{ Nm}$$

$$F_1 = \frac{2 \cdot 102,76 \cdot 10^3}{80 (1 - e^{-0,36 \cdot 7,11})}$$

$$F_2 = \frac{2 \cdot 102,76 \cdot 10^3}{80 (e^{0,36 \cdot 7,11} - 1)} \therefore F_2 = 215,75 \text{ N}$$

$$F_p = (F_1 + F_2) \cos\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \therefore F_p = 2914,52 \text{ N}$$

$$F_s = (F_1 - F_2) \sin\left(\frac{\pi - \theta}{2}\right) \therefore F_s = 610,66 \text{ N}$$



Plano Horizontal

$$F_s - H_A - H_B = 0$$

$$80 F_s - 200 H_B = 0$$

$$\therefore H_B = 244,27 \text{ N}$$

$$H_A = 366,40 \text{ N}$$

Plano Vertical

$$F_p - V_A - V_B = 0$$

$$80 F_p - 200 V_B = 0$$

$$\therefore V_B = 1165,81 \text{ N}$$

$$V_A = 1748,7 \text{ N}$$

Contração de tensão

$$K_{FF_G} (\sigma_r = 600 \text{ MPa}, \frac{r}{d} = 0,05) = 1,8$$

$$K_{FF_F} (\sigma_r = 600 \text{ MPa}, d = 30) = 1,8$$

$$K_{FF} = 1 + (1,8 - 1) + (1,8 - 1) \quad \therefore K_F = 2,6$$

Limite de resistência a fadiga

$$C_{\text{orga}} = 1$$

$$S_n = 0,5 \cdot 600 = 300$$

$$C_{\text{rota}} = 0,814$$

$$C_{\text{sup}} = 4,51 \cdot 600^{-0,265} = 0,828$$

$$S_{n_{\text{real}}} = 123,44 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{TAM}} = 1,189 \cdot 30^{0,097} = 0,855$$

$$C_{\text{TEM}} = 1$$

$$C_{\text{DIV}} = \sqrt[3]{1,4} = 0,714$$

$$\text{Momento} \quad M = \left[(90 \cdot 244,27)^2 + (90 \cdot 1165,81)^2 \right]^{1/2} \quad \therefore M = 107,2 \text{ Nm}$$

$$\frac{T_2}{102,76} = \frac{320}{80} \quad \therefore T_2 = 411,04$$

$$30 = \sqrt[3]{\frac{32 \eta F}{\pi} \left[\left(\frac{2,6 \cdot 107,2 \cdot 10^3}{123,44} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1 \cdot 411,04 \cdot 10^3}{480} \right)^2 \right]} \quad \therefore \eta_f = 1,12$$

(Não fadiga)