

Obs: mancal hidrostático → para diminuir ao máximo o atrito entre o mancal e o eixo, são colocadas bombas que mandam óleo pressurizado para que o filme de óleo seja formado. Isto ocorre com o eixo desligado. Após a elevação do eixo as bombas são desligadas e o eixo consegue a rotacionar.

• Tipos de Lubrificação: ↗ máquinas que só tram para bus e partidas frequentes

→ Lubrificação Limite: o filme de óleo lubrificante não tem espessura suficiente para separar as superfícies do eixo e do mancal, havendo contato e sendo o coef de atrito elevado. ↗ regime de transição

→ Lubrificação Mistia: a pressão de óleo é suficiente para sustentar parcialmente a carga, havendo a separação parcial das superfícies mas não o suficiente para evitar o contato metal-metálico.

→ Lubrificação Hidrodinâmica: ocorre o total separação entre as superfícies do eixo e do mancal, sendo a condição ideal de operação dos mancais hidrodinâmicos.

• Vantagens:

- o mais simples / baixo custo
- alta capacidade de carga
- atinge altas velocidades / rotações
- baixo ruído / vibrações

→ Mancais de deslizamento a ar (aerostáticos).

det: a superfície entre o mancal e o eixo → é composta de ar, que serve para separar o eixo e o mancal. O ar é injetado de forma pressurizada (contrátil ao óleo no mancal hidrostático).

↗ este mancal é utilizado em máquinas que exigem alta rotaividade do eixo (a componente aerada junta ao eixo precisa)

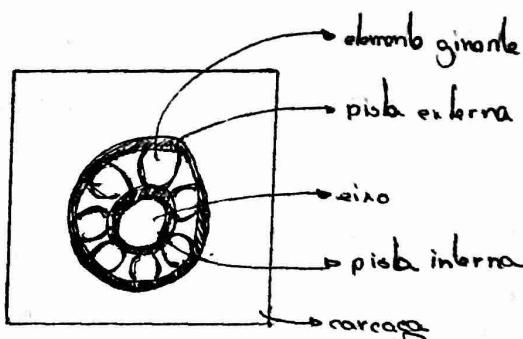
eixo consegue a ficar rígido com o aumento da rotação).

↳ em máquinas que exijam grandes estórgos do eixo e que consequentemente grandes cargas são aplicadas sobre este, não é recomendado a utilização de mancais aerostáticos pois pode haver danos ao eixo.

• Vantagens:

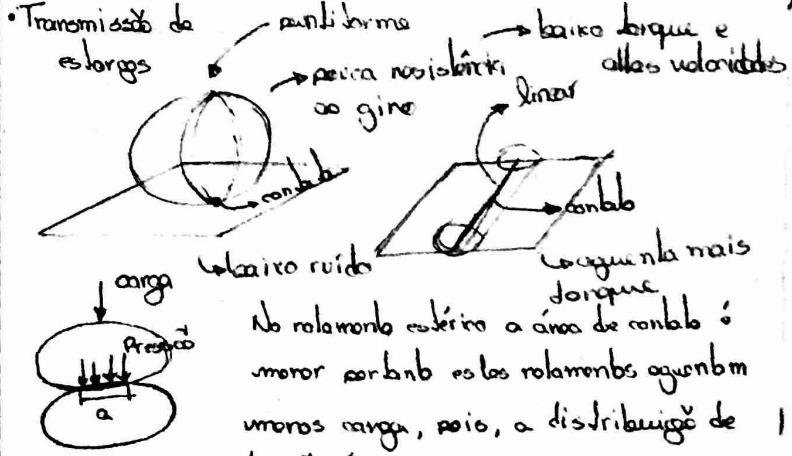
- atrito de partida muito e atrito viscoso muito pequeno
- gasto de óleo desprezível, mesmo em altas velocidades
- ausência de desgaste, pois as peças do mancal não estão em contato
- possibilidade de ser usado onde a contaminação dos materiais deve ser evitada
- não há necessidade de equipamentos para colha e uso posterior.

→ Mancais de Rolamento



Obs: atrito de rolagem é menor que o atrito de deslizamento. Portanto, os mancais de rolamento trabalham com menor atrito que os mancais de deslizamento.

• Transmissão de



• roloamento rígido de duplo carreiros de esteras

Obs: roamentos rígidos são aqueles que as esteras ou os rolos são abrangidos pelas pistas → resistem bem a estórgos axiais.

→ esteras

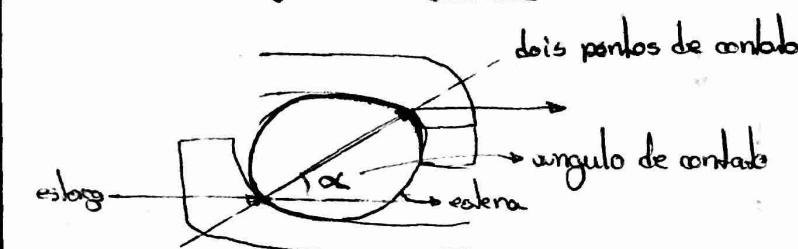
- os mancais devem ser lubrificados para que a temperatura seja controlada e o mancal continue funcionando.

de mancaia eficiente.

- roloamento autorroscandor de eixo : para cargas radiais elevadas



- roloamento de contato angular : para cargas axiais elevadas



Caso a carga axial seja muito elevada e mude de sentido então devemos utilizar pelo menos dois roloamentos de contato para resistir a estas cargas que pode variar de sentido. Caso não haja mudança de sentido e a carga axial não seja tão elevada usamos mancais estáticos, rígidos.

- roloamentos de rolo : não resistem tão bem para cargas axiais, e há um pouco mais de atrito. Mas, como visto, são mais eficientes para cargas radiais.

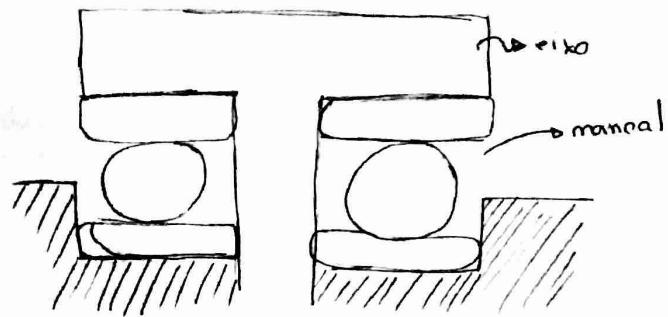
↳ roloamentos de rolo cilíndricos : semelhante aos roloamentos estéricos rígido.

↳ roloamento autorroscandor de rolo cônico : semelhante aos roloamentos autorroscandores estéricos.

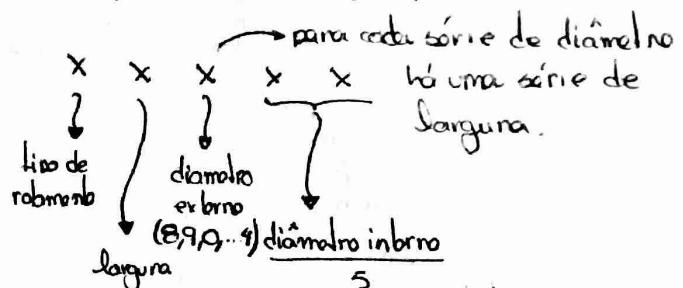
↳ roloamento de contato angular de rolo estético : semelhante ao roloamento de contato angular estéricos.

↳ roloamento de agulhas : rolos cilíndricos de diâmetro reduzido. Maior número de cilindros com maiores comprimentos (em relação ao roloamento de rolo cilíndrico), resistindo a cargas radiais elevadas. Mas falham para cargas axiais.

- roloamento axial de estera :



- Como especificar um roloamento ?



- Lubrificação de mancais

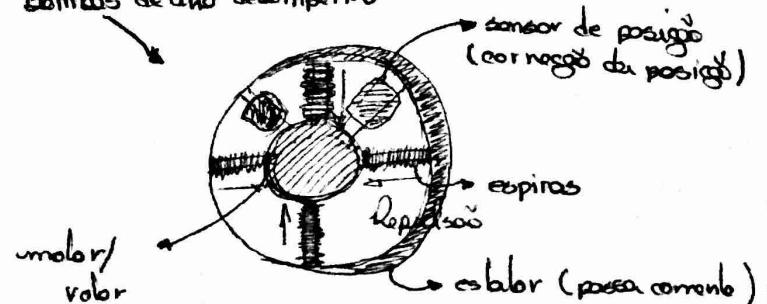
↳ vedação com anel de gomita : por ser passível de utilização em mancais com rolagens pequenas, é muito pouco preciso ser lubrificada. No entanto é mais difícil de vedar. Também não é tão eficiente para grandes rolagens.

↳ óleos : embora seja mais difícil de vedar, é mais otimizado no controle da temperatura. É utilizado em mancais com grandes rolagens.

- Mancais Magnéticos

↳ parte fixa, sem contato com a móvel (adaptador de eixo) : baseado no princípio de atracção e repulsão gerado por um campo magnético (associado ao campo elétrico)

- Bombas de alto desempenho



• Não há o contato entre o rotor e o eixo devido às forças de repulsão.

• Necessário a utilização de lock-ups unicamente para que não haja o contato do mancal com o eixo, caso haja falta de energia.

• Elevada capacidade de carga e rigidez.

→ Mancal linear (variação do mancal de rolagem):

↳ permite a translação do mancal ao longo do eixo devido a presença de esterços dentro desse mancal linear.

↳ eixos devem ter grande dureza.

↳ utilizados para possibilitar a vinculação de um componente que executa um movimento linear a um eixo (que serve de guia para o movimento) possibilitando a transmissão de cargas e um movimento linear com atrito reduzido.

→ Guias Lineares:

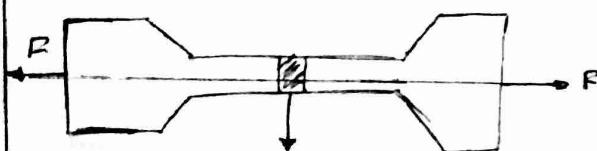
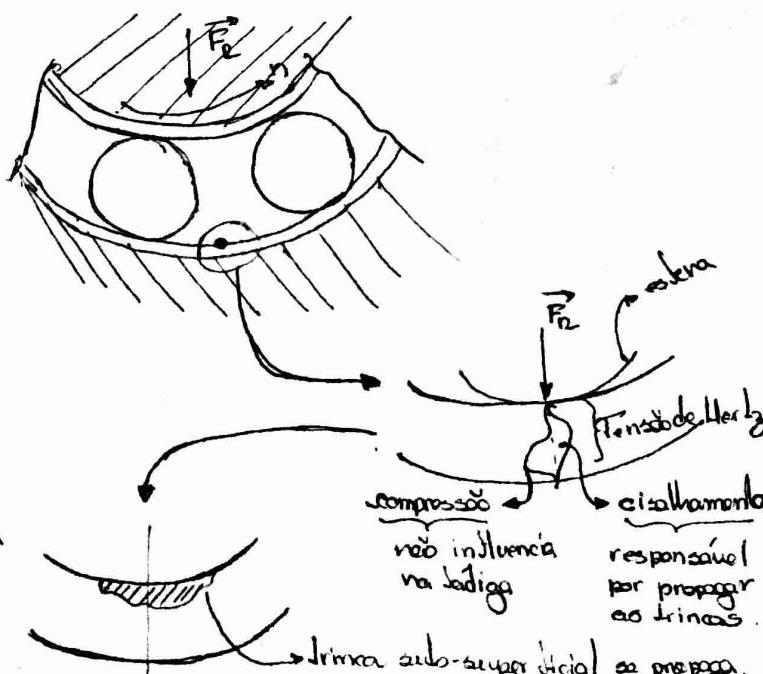
↳ são utilizadas em máquinas operatrizes em substituição ao barramento de deslizamento.

↳ quando a carga é conduzida pelos guias lineares, o contato entre a carga e o trilho é realizado sob movimento relativo de esterços. O coeficiente de atrito é bem pequeno.

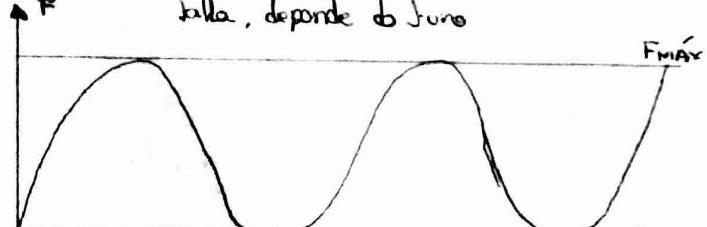
Obs: Jogo de esterços recíprocos → substitui o para-jogo de potência (atraito muito elevado). Como o jogo de esterços tem menos atrito podemos trabalhar com maiores acelerações.

↳ utilizados em operatrizes com comando numérico
↳ apresentam um certo jogo, portanto, não servem para máquinas de precisão.
↳ pré-carga ameniza mas aumenta o atrito
↳ movimento similar → vibrações (influência de rebote ressonância).

Obs: os mancais de rolagem sóligo de contato diferentemente dos mancais hidrodinâmicos.

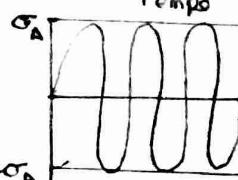


Número de ciclos de carregamento até a falha, depende do fator



σ_a (tensão alternada)

Experimental



Límite de falha

Ciclo

F_{Fe}

Número de ciclos até a falha.

50% 90% de vida

"Capacidade de vida que expressa (Número de Carga Dinâmica) a carga de trabalho constante que permitindo o rolagem a vida nominal" → 3 - rolagem de esterços atingir

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \cdot 10^6 \quad \begin{cases} = 3 - \text{rolagem de esterços atingir} \\ = 10^6 \text{ - rolagem de rolos revoluções} \end{cases}$$

Vida com 90% de confiabilidade (milhões de revoluções)

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot m} \left(\frac{C}{P} \right)^3 \text{ (horas)}$$

↳ rolagem em rpm

a_1 = fator de confiabilidade
 a_2 = fator de material
 a_3 = fator de serviço - lubrificação

Exemplo:

$$F_r = 5500 \text{ N}$$

$$m = 320 \text{ cm}$$

$$\text{Mancal: } 6208$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$B = 18 \text{ mm}$$

$$C = 30700 \text{ N}$$

$$L_{10h} = 1 \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 1 \cdot \left(\frac{30700}{5500} \right)^3 = 173,911 \cdot 10^6 \text{ revoluções de 90% de durabilidade}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10h}}{60 \cdot m} = \frac{173,911 \cdot 10^6}{60 \cdot 320} \approx 9058 \text{ horas}$$

$$(L_3) = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3 = 0,44 \cdot \left(\frac{30700}{5500} \right)^3 =$$

$$97\% \text{ de confiabilidade}$$

= $76,521 \cdot 10^6$ revoluções

$$Lsh = \frac{L_3}{60n} = \frac{76,521 \cdot 10^6}{60 \cdot 320} = 3985 \text{ horas}$$

para obter esta confiabilidade devemos diminuir o momento de inércia.

Vinculação entre uma peça qualquer e um eixo.

(1) Fixação Cubo-Eixo

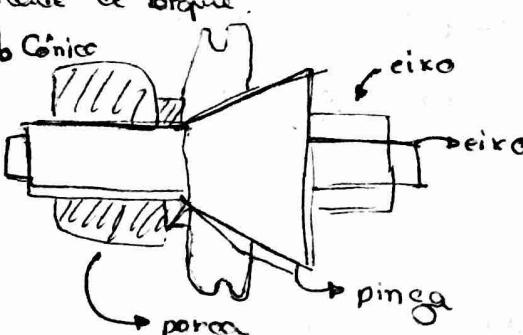
Normalmente a fixação entre o cubo e o eixo não permite o movimento relativo entre os componentes. Mas em alguns casos pode haver deslocamento entre as partes.

Típos de fixação: Cubo: região da peça cujo projeto tem como parâmetro fundamental seu fixação a um eixo.

(2) Interferência - ajuste forçado

- deve respeitar o limite elástico dos materiais para não soltar / conjugas leves a moderados
- pode causar danos na desmontagem
- som ajuste axial
- não necessita de usinagem do eixo
- som concentrações de tensão
- som enrijecimento eixo/cubos
- alto custo
- usado em elementos que não transmitem grande quantidade de torque.

(2) Assento Cônico



A medida que apertamos a porca a pinça "abraça" o eixo de modo a fixá-lo.

Ferramentas presas em fresas ou em juntas.

utilizamos um jogo de pinças para cada ferramenta para que o diâmetro da pinça não seja deformado.

a área de contato com a ferramenta permite que ocorra baixo torque.

deve respeitar o limite elástico dos materiais

conjugas leves a moderados

não cause danos na desmontagem

som ajuste axial

ajuste angular eixo-eixo

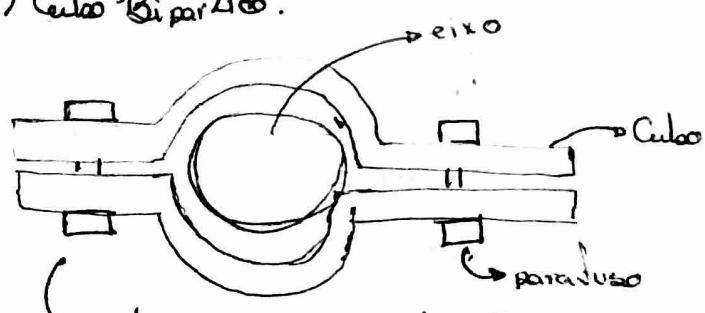
necessita de usinagem do eixo e do cubo

som concentrações de tensão

som enrijecimento eixo/cubos

alto custo

3) Cubo Bipartido.

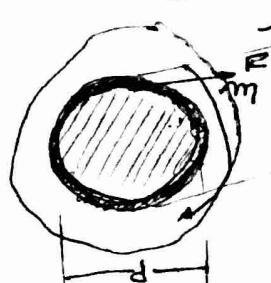
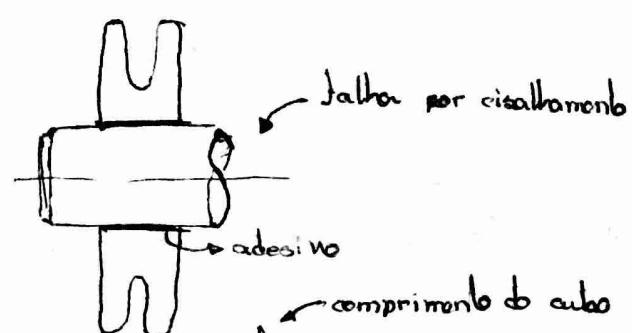


deslocamentos normais entre o cubo e o eixo podem ser ajustados pelo aço das parafusos

Junctionamento por interferência

- pode deformar o eixo
- não causa danos na desmontagem
- com ajuste axial e angular entre o cubo e o eixo
- não necessita de usinagem do eixo
- som concentrações de tensão
- som enrijecimento eixo/cubos
- cuidado na usinagem do cubo: balanço
- alto custo.

(4) Fixação por adesão: Dimensionamento da união



$$\text{Área} = \pi d l$$

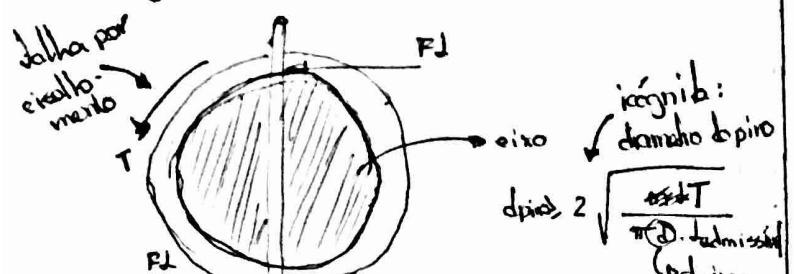
$$Z = \frac{F}{A} = \frac{l}{\text{Área}} = \frac{2 \cdot m}{\frac{\pi d l}{4}} = \frac{2 \cdot m}{\frac{\pi d l}{4}} = Z$$

$$\text{com } m = \frac{F_d}{2} \rightarrow F = 2 \cdot m \cdot \frac{d}{l}$$

$\Sigma \leq \text{Zadmissível}$

↳ a incógnita é o comprimento axial da união (l)

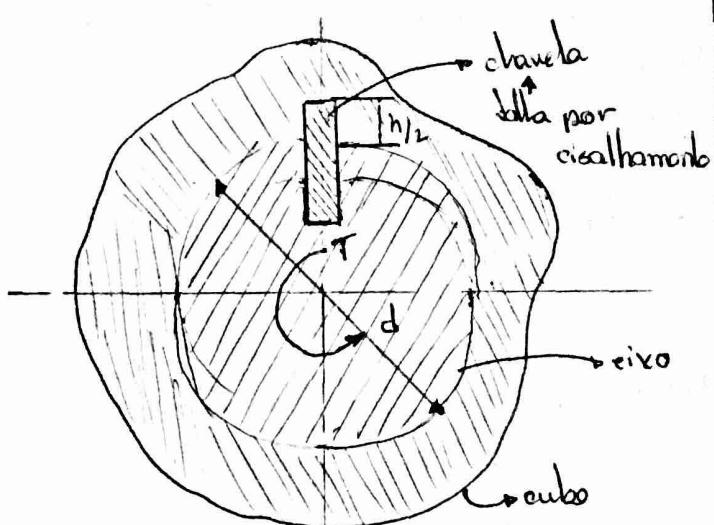
(5) Fixação por travamento - pino transversal



↳ pino exerce uma força contra a parede do eixo → aumento de dp causa diminuição da resistência do eixo

- ↳ encurta o eixo e o cubo devido ao furo
- desmontável facilmente
- utilizado como "jusante" mecânico de baixo custo.
- baixo custo → durabilidade pior
- usinagem do eixo e do cubo
- gera concentrações de tensão
- sem ajuste axial e angular entre o cubo e o eixo.

(6) Fixação por travamento - Chaveis e Entalhados

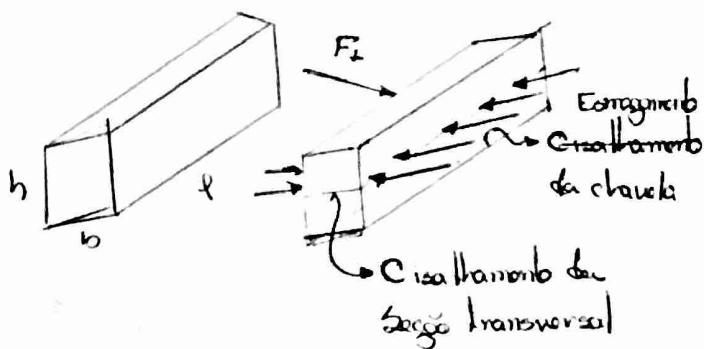


↳ de 3 chaves → carga não uniforme

↳ Acima de 3 chaves, utilizamos os entalhados. Nos entalhados não há uma chaveira a parte, as chaves estão inseridas no cubo e móveis no eixo.

↳ Chaveira tipo Woodruff é fácil e rápido de fazer → utilizado em instrumentos de medição.

↳ Podemos utilizar brochadeiras para produzir o furo das chaves. Quanto maior o número de pegs dentes na brocha, maior é a altura da pegs.



$$F_L \cdot \frac{d}{2} = T \Rightarrow F_L = \frac{2T}{d} \rightarrow \text{deslizamento}$$

$$\text{Eixo} = \frac{F_L}{b} \leq \text{Zadmissível}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{F_L}{Q \cdot \pi \cdot \frac{h}{2}} \leq \text{Zadmissível}$$

↳ I. esmagamento

Obs: Esmagamento > Deslizamento → devemos calcular o comprimento de esmagamento.

Obs: para entalhados:

$$I^{\text{ciclagem}} = I^{\text{esmagamento}} \cdot \eta$$

$$I^{\text{eslizamento}} = \frac{I^{\text{eslizamento}} \cdot \eta}{N}$$

$\eta = 1,25$
Fator da Correção

II) Fixação eixo - eixo (acoplamentos)

Def - I.W → torque é o que importa



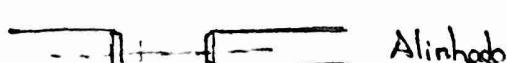
Ligação entre os eixos

→ Compensar e/ou absorver desalinhamentos entre eixos

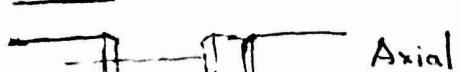
→ Absorver ou isolar vibrações e choques

→ Permitir a montagem, desmontagem e/ou manutenção de equipamentos.

Desalinhamento:



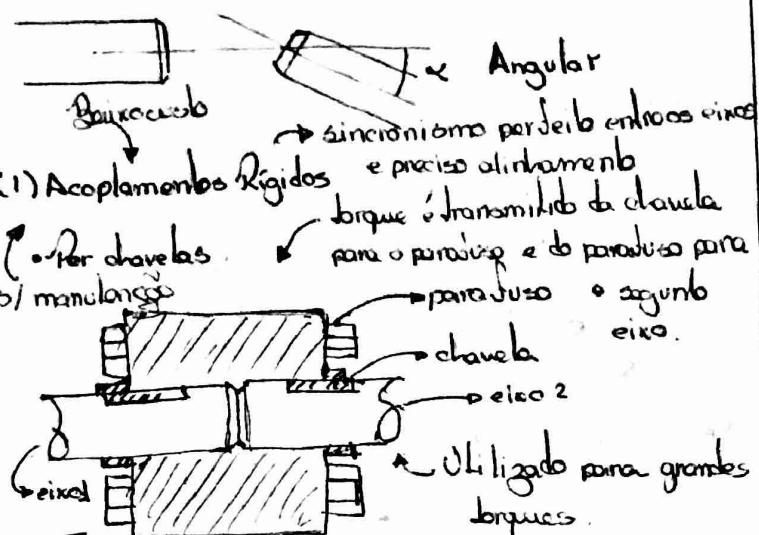
Alinhado



Axial

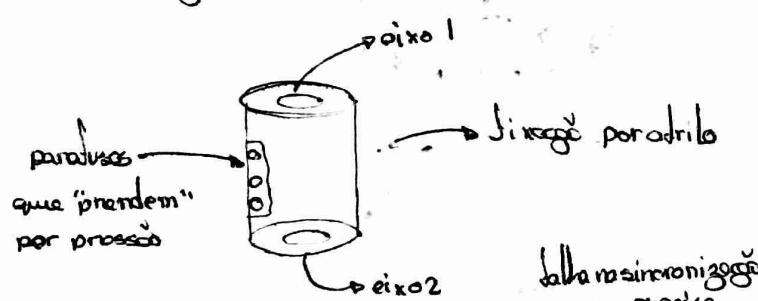


Radial

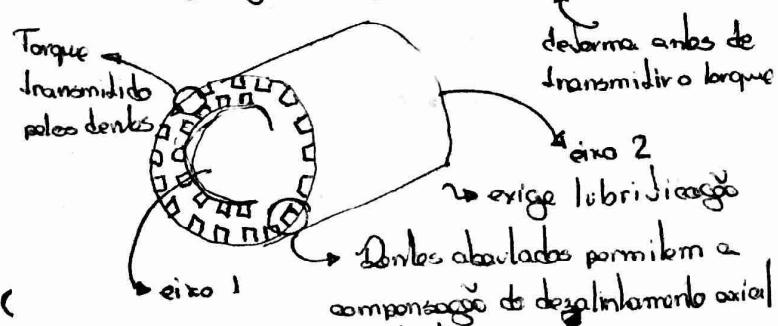


Necessita que os eixos estejam alinhados.
Obs: os acoplamentos rígidos não isolam choques e vibrações.

- Por borgagem:



- Por engrenagens (rígido quanto à longo)



→ Não isola a vibração e tem peso elevado.
(ou é ligeiro pouco)

- (2) Acoplamentos Flexíveis:
- Juntas elásticas ou flexíveis

Semelhante a um leiroide e feito de borracha vulcanizada. Susceptíveis a longo. Sem sincronismo.
Absorve choques e vibrações. Sincronismo
se a rotação for muito elevada o acoplamento é cen-

trilhado e acaba se deformando.

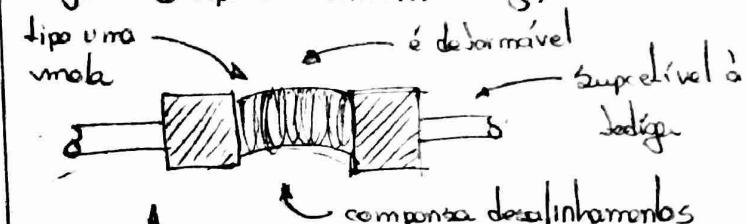
- permitem desalinhamento radial, angular e axial.
- Junta Elástica Radial: axial.

As partes do acoplamento são fixadas através de uma

Junta de polímero

- Junta do tipo laminas (flexível em argiloso).
- Junta do tipo sole (flexível em argiloso).

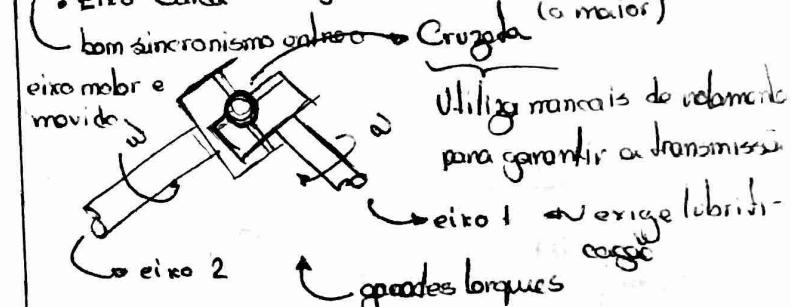
Tipo uma
mola



custo elevado → apresenta sincronismo

- (3) Acoplamentos para grandes distâncias e máquinas

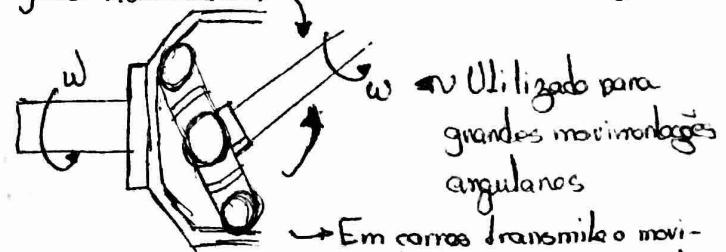
Eixo Cardan



Utilizado para transmissão da caixa de câmbio para os eixo(s).

Obs: esses tipos de acoplamento não absorvem/isolam os choques e vibrações.

- Junta Homocinética



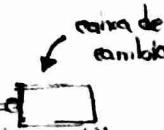
- Direcionais / móveis

→ permitir rápido desacoplamento entre os eixos

- Embreagem:

transmissão por atrito → discos da embreagem se desgastam
Pedal de embreagem solto temos o desacoplamento dos discos. Quando pisamos no pedal temos o desacoplamento dos discos. Então quando trocamos a marcha, trocamos a relação de redução. Em seguida acoplamos o eixo novamente (pedal solto)
gradativamente aumentamos a longe-

anica! para simero higarmos os elcos.



→ Selección de acoplamientos: horario -
vertical - La circ. cardia

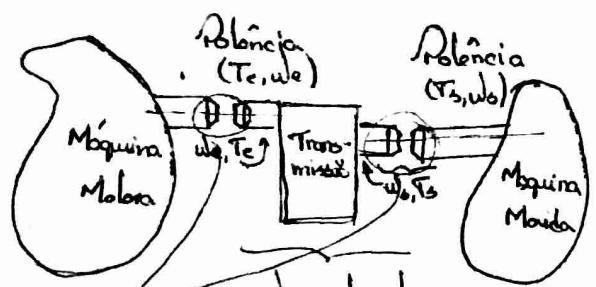
-) Seleccionamos siempre pensando en torque y no
en potencia!

-) tipo de desalinhamento e sua amplitude
 -) necessidade de rigidez torsional
 -) torque máximo a ser transmitido e rolagem máxima
 -) cubo e condições de operação

Acoplamentos Flexíveis → soluções de um elemento pré-fabricado

Acoplamentos rígidos no pode-se operar por dobrar o acoplamento.

12) Transmissions



Normalmente
ao fBs: necessitamos de um ele-
mento que compatibilize as
velocidades angulares. Também
Eixo - Eixo podem ser utilizadas para aju-

Transmissão ideal: dar o sentido de rolagem ou parar
disponível de eixos distantes entre si

Polônia Entrada - Polônia Saída

$$\frac{T_0}{T_e} = \frac{W_e}{W_b} \rightarrow \text{normalmente a relação é maior}$$

Graduação que! → brinquedos de saída

$$\frac{w_o}{w_s} = i \rightarrow \text{redução de resistência} \rightarrow \text{redução}$$

é maior que a de entrada.

Transmissões reais:

(Polonia Entrada) \neq Polonia Saída

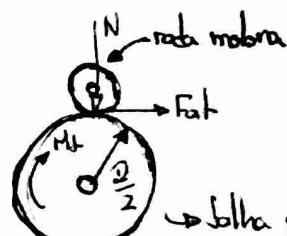
↳ rendimento da transmissão

T_c we n̄ = T₀. w₀ →

$$\rightarrow T_0 - T_c \left(\frac{w}{w_0} \right)^n \rightarrow T_S = T_c \left(\frac{w}{w_0} \right)^n$$

↳ notação de redução - mui lo rom e
pouco torque precisamos reduzir o
rom e aumentar o torque

J. Rodos do Atrib

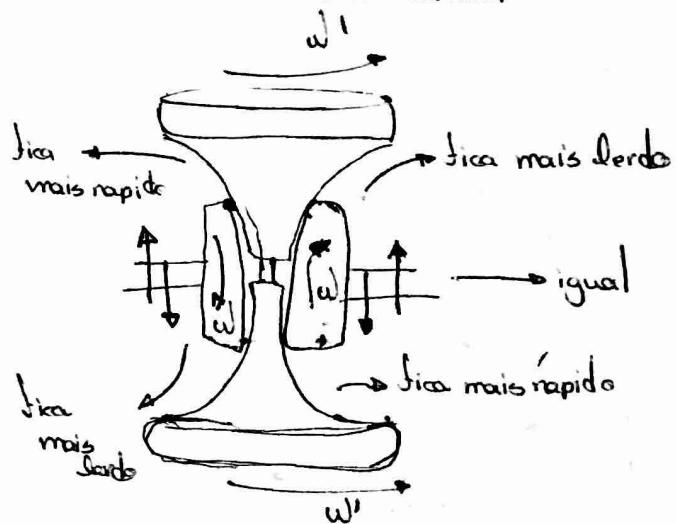


$$F_a = \mu \cdot N$$

M1-Fat. Q (longue)

→ bolha por badiça e devido ao atrito comeca a girar em torno

→ Transmissão continuamente variavel

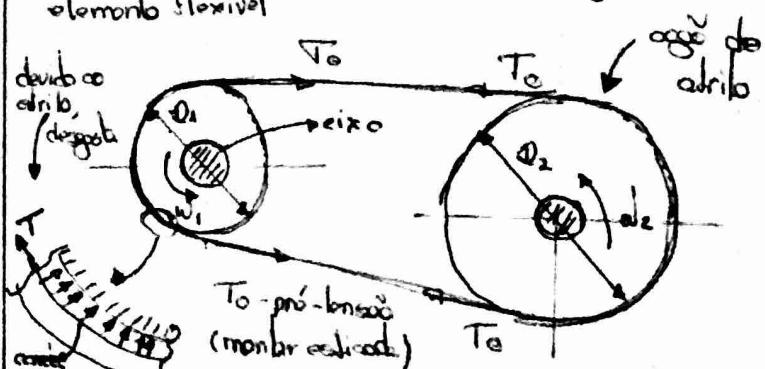


Características básicas:

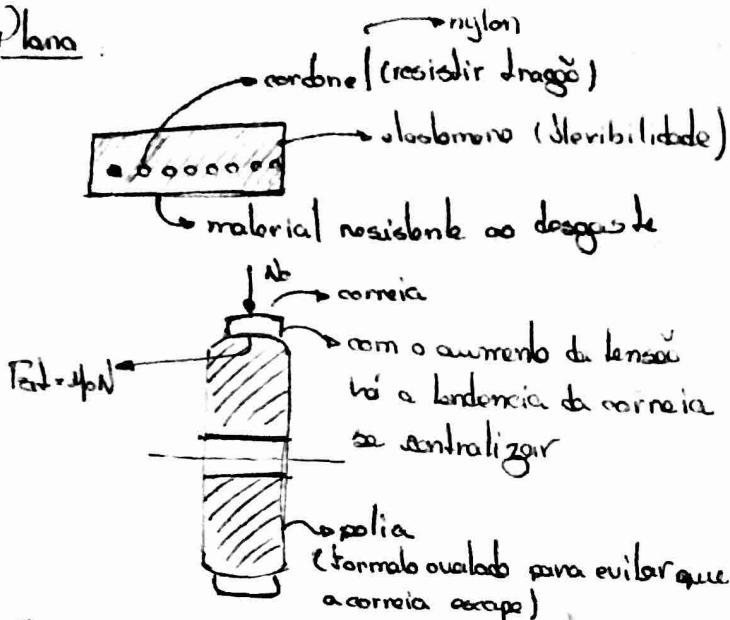
- projeto não compacto
 - monogram entre círcos paralelos devido ao atrito
 - relação de transmissão não constante
 - distância entre ventanas precisa
 - relação de transmissão até 6
 - potência de transmissão até 200 W
 - velocidade longitudinal de operação até 20 m/s
 - elemento não padronizado uma solução para cada problema.

2. Transmisión por correo.

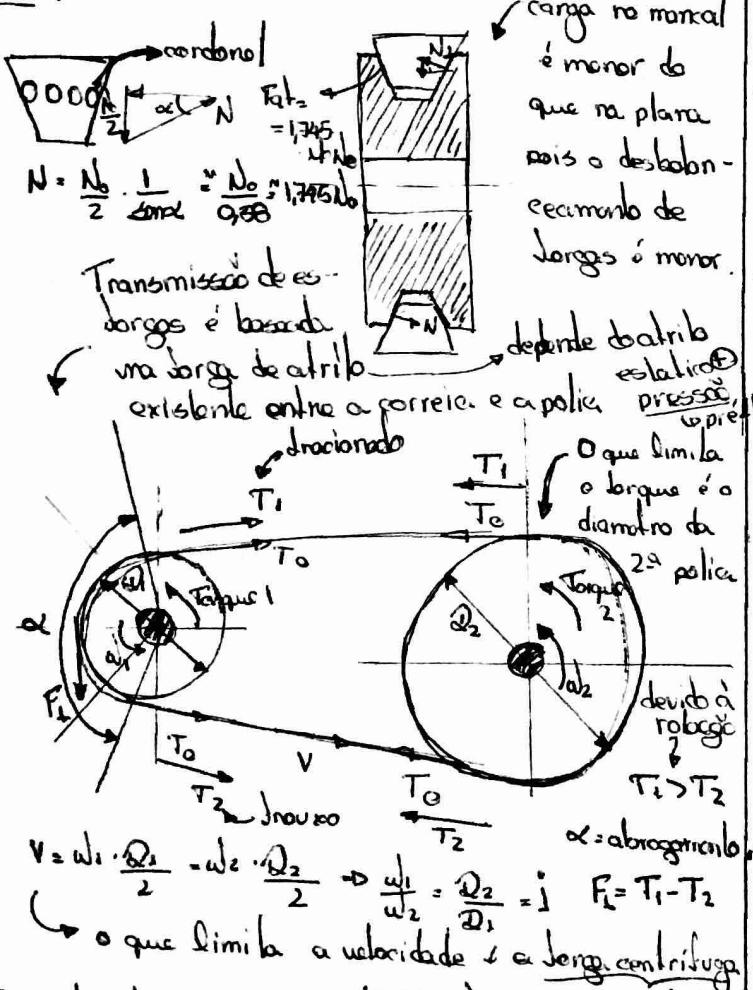
→ não é contínuo (às vezes
exorreca)



Plana



"V"



Características básicas:

- projeto não compacto
- projeto simples (elementos padronizados, correias/polias)
- montagem em eixos paralelos
- escorregimento
- potência de transmissão até 1500 kW
- velocidade marginal de operação: até 26 m/s
- rendimento elevado e funcionamento silencioso
- vida reduzida das correias
- correia (cor厚厚ível) absorve choques e vibrações
- sem sincronização

3. Correias Sincronizadas.

~~elástico~~ ~~elástico~~

Correia (metal) e polia (metal) têm materiais diferentes para reduzir a inércia e poder trabalhar com maiores velocidades. Esse torque é grande correia o círculo.

→ não depende da atrito, por isso, grande sincronização → aplicação em máquinas operatrizes.

Características básicas:

- sincronismo entre eixo e motor movido
- menor peso vs maior velocidade (motor em borga centrífuga)
- maiores velocidades
- menores torques
- maior custo (correia e polia)

4) Correntes: → é possível largar e mandar uma roda dentada

É a alternativa para a correia quando precisamos trabalhar com grandes torques (corrente e corrente de metal).

→ Necessita de lubrificação (molal/molal)

→ Falta de lubrificação no desgaste (cimento da distância dos centros) → corrente sai

→ que mesmo com a sincronização ocorre algumas flutuações de velocidade → essa flutuação é menor quanto maior o número de dentes.

13) Transmissões por engrenagens

Diferentemente das correias e correias as transmissões por engrenagem não criam grandes distâncias entre os centros, sendo assim mais compactas.

As engrenagens podem transmitir potência entre eixos paralelos ou não paralelos.

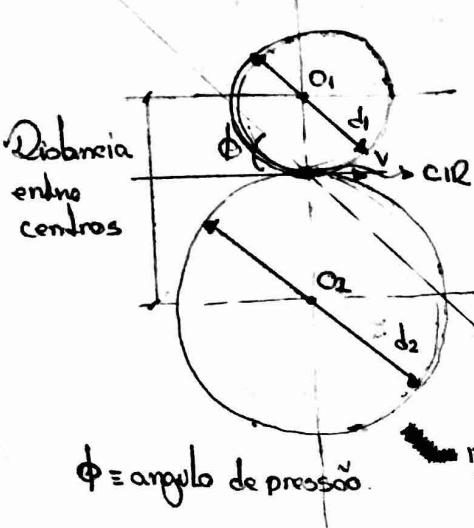
Obs: pinhão é a engrenagem menor e coroa é a maior.

Obs: sistema pinhão - coroa transforma rotação em translado (direção do carro).

→ Geometria do dente de uma engrenagem cilíndrica de dentes retos:



Linha de aço da biela



d_1, d_2 - diâmetro primário

$$V_1 = V_2 = cte$$

$$\frac{w_1 \cdot Q_1}{2} = \frac{w_2 \cdot Q_2}{2}$$

$$\frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{Q_2}{Q_1} = i$$

(relação de redução)

ϕ = ângulo de pressão.

perfil evolutivo

perfil do dente da engrenagem (altura)

Ao projetarmos engrenagens desse tipo (e cilíndricas de dentes helicoidais), devemos garantir que o contato seja exatamente nesse ponto (diâmetro primário).

Obs : o perfil evolutivo deriva do círculo de base (como se eu desenrolando um só). → todo modelo geométrico deve garantir $V_1 = V_2$

p = passo frontal

sobre o diâmetro primário
diâmetro primário falso

$$Zp = \pi Q \rightarrow Z = \frac{\pi Q}{p} \quad \text{ou} \quad p = \pi \left(\frac{Q}{Z} \right)$$

$\frac{Q}{Z}$ = módulo - m (propriedade da engrenagem) mm

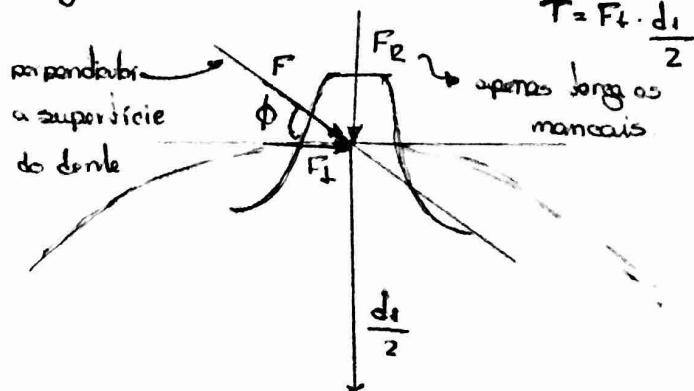
→ normalizada, pois, assim padronizamos também as ferramentas (evita que tenhamos que comprar a ferramenta).

→ quanto maior o módulo menor será o número de dentes (maior a espessura e altura do dente).

$$\frac{Z}{Q} = D \quad (\text{passo diametral}) \quad \frac{1}{pol}$$

$$L = \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} \rightarrow L = \frac{mZ_1}{2} + \frac{mZ_2}{2}$$

Condição de engrenamento: mesmo módulo e mesmo ângulo de pressão.

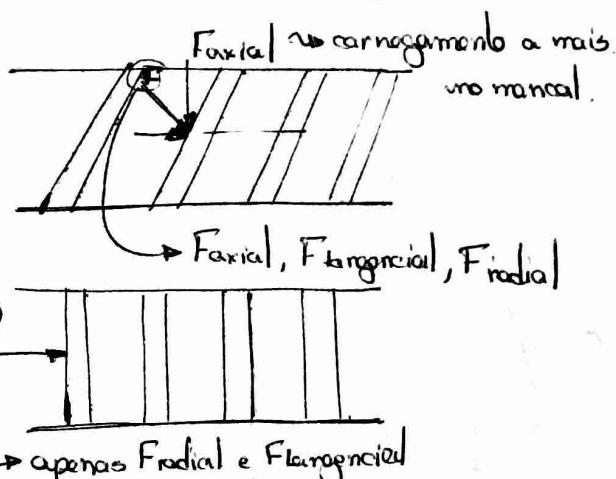


$$F_t = F \cos \phi \quad e \quad F_a = F \sin \phi$$

relaciona-se com o círculo primitivo

Obs : nas engrenagens cilíndricas de dentes reto o engrenamento é feito aos poucos, portanto, faz mais barulho que a helicoidal.

Obs : na cilíndrica helicoidal temos uma melhor distribuição de dentes devido à largura dos dentes



A "espuma de poeira" compensa a tangencial mas é mais cara. ↗

→ Características:

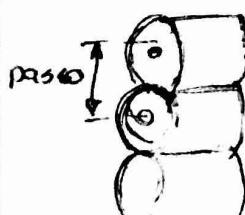
- projeto compacto
- relação de transmissão clássica ~ CIR
- distância entre centros precisa caso contrário, não há engrenamento
- relação de transmissão clássica por par de engrenagens (exceção coroa sem-dente é muito mais)
- elementos não padronizados (uma solução para cada problema)
- custo elevado
- potência de transmissão até 2500 HP

Obs : os dentes da engrenagem saltam por fadiga.

→ Continuação (4) Correntes:

Correntes são elementos padronizados, portanto, os dentes da roda também são.

→ especificadas de acordo com seu passo (distância entre os pontos de articulação de um dente)



$$v_{\text{saída}} = v_{\text{motor}} \cdot \frac{1}{(z_{\text{corrente}} \cdot z_{\text{eng 1+2}} \cdot z_{\text{eng 3+4}})}$$

De logo Gerar da Redução

$$\text{geral} = (z_{\text{corrente}} \cdot z_{\text{eng 1+2}} \cdot z_{\text{eng 3+4}})$$

c) Qual o torque no eixo de saída do redutor?

Solução:

$$T_{\text{saída}} = T_{\text{motor}} \cdot \frac{\omega_{\text{saída}}}{\omega_{\text{motor}}}$$

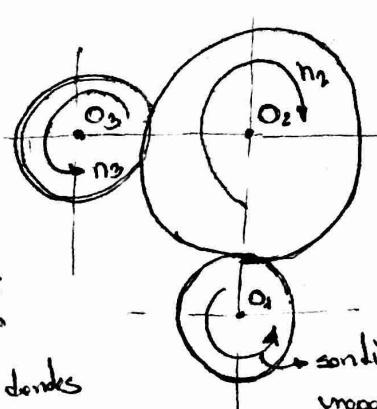
$$\begin{matrix} ? \\ \omega \\ N \cdot m \end{matrix} \quad \begin{matrix} 2 \\ 60 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{rad/s} \\ \text{rpm} \end{matrix}$$

$$5123,74 = T_{\text{saída}} \cdot 2\pi \cdot 160,18 \Rightarrow T_{\text{saída}} = 205,46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Este torque tende a desacelerar o motor se não for equilibrado.

O equilíbrio é feito pelo torque de atracamento da máquina movida.

2)



$$\text{Potência } 1 = 2500 \text{ W}$$

$$n_1 = 1750 \text{ rpm}$$

$$r_m = 2,5$$

$$\phi = 20^\circ$$

$$Z_3 = 20 \text{ dentes}$$

$$Z_2 = 50 \text{ dentes}$$

$$Z_1 = 20 \text{ dentes}$$

Quais os torques que actuam na engrenagem 2?

Solução:

Engrenagem 1:



$$T_1 \cdot F_t^1 \cdot \frac{d_1}{2} \Rightarrow \frac{\text{Pot 1}}{\left(\frac{2\pi n_1}{60}\right)} \cdot T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{2500}{\left(\frac{2\pi \cdot 1750}{60}\right)} =$$

$$= 13,64 \text{ N} \cdot \text{m} \therefore T_1 = F_t^1 \cdot \frac{(m \cdot Z_1)}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 13,64 = F_t^1 \cdot \frac{(25 \cdot 20 \cdot 10^{-3})}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_t^1 = \frac{13,64 \cdot 2}{(2,5 \cdot 20 \cdot 10^{-3})}$$

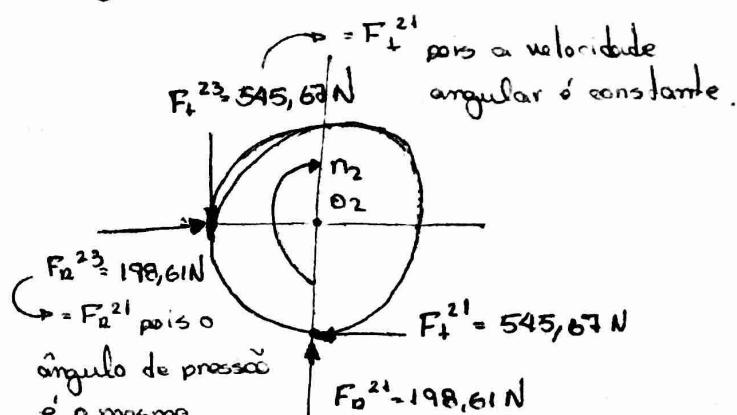
$$\Rightarrow F_t^1 = 545,67 \text{ N}$$

$$F_R^1 = F_t^1 \cdot \cos \phi$$

$$F_R^1 = 545,67 \cdot \cos(20^\circ)$$

$$F_R^1 = 198,61 \text{ N}$$

Engrenagem 2:



Supondo $\eta = 100\%$, a potência em 2 será zero pois, os torques têm sentidos opostos. (serve como um exemplamento). \Rightarrow Potência de Saída = Potência de Entrada