



PMR2560 – Robótica

Sistemas de Transmissão de Movimento

Eduardo L. L. Cabral

elcabral@usp.br

Objetivos

- Sistemas de transmissão de movimento.
 - Características;
 - Tipos:
 - Redutores de velocidade angular (não está incluído nessa aula);
 - Correia dentada;
 - Cabos;
 - Hastes;
 - Eixo cardan;
 - Fuso de esferas recirculantes.



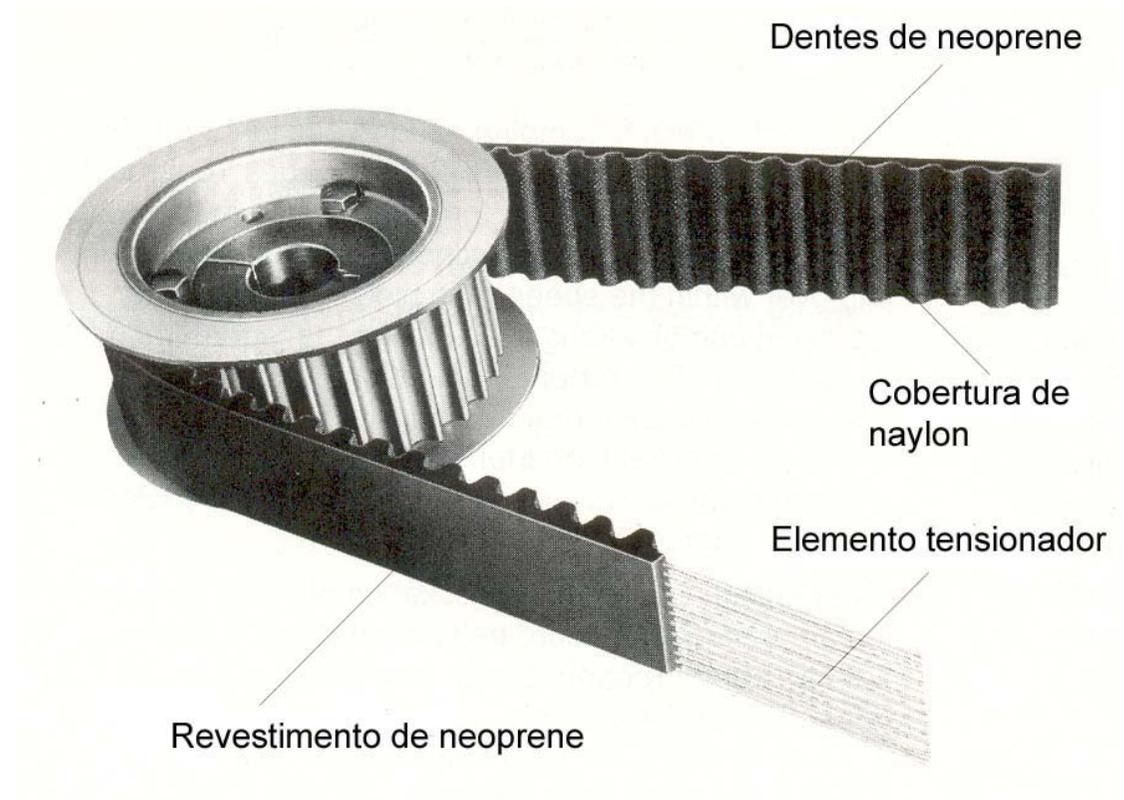
Características desejadas

- Alta rigidez;
- Alta precisão (sem folga);
- Alta qualidade de movimento (baixa flutuação de velocidade);
- Compacto (pequeno volume);
- Baixo peso e baixa inércia;
- Deve permitir movimentos amplos;
- Alta eficiência (rendimento).



Correia dentada

- Reduções até 7:1.
- Elemento flexível.
- Partes principais:
 - Correia dentada;
 - Polia dentada.



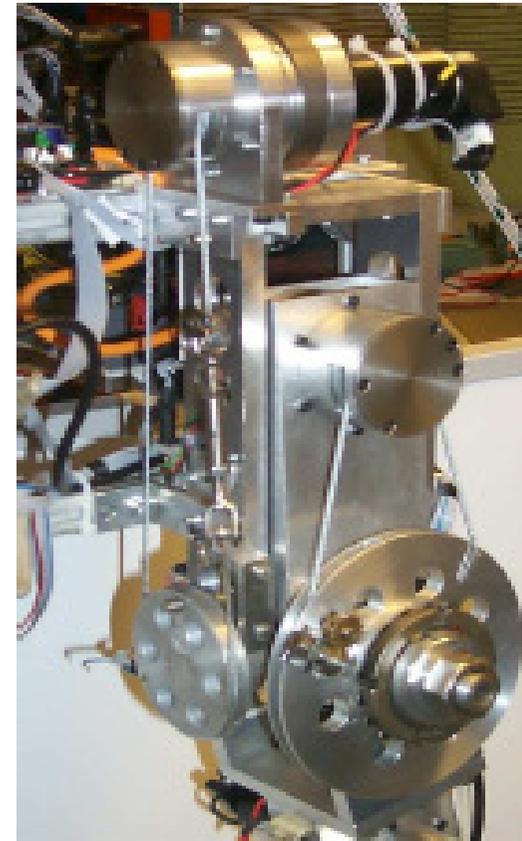
Correia dentada

- Vantagens:
 - Boa capacidade de carga;
 - Altas velocidades de deslocamento;
 - Sem necessidade de lubrificação;
 - Possibilidade de acionamento de múltiplos eixos;
 - Sem limitação de movimento.
- Desvantagens:
 - Flexibilidade baixa;
 - Utilizada na robótica quando os esforços envolvidos são baixos;
 - Presença dos dentes provoca flutuação de velocidade.



Cabos

- Reduções até 7:1.
- Elemento flexível.
- Partes principais:
 - Cabos;
 - Polias.



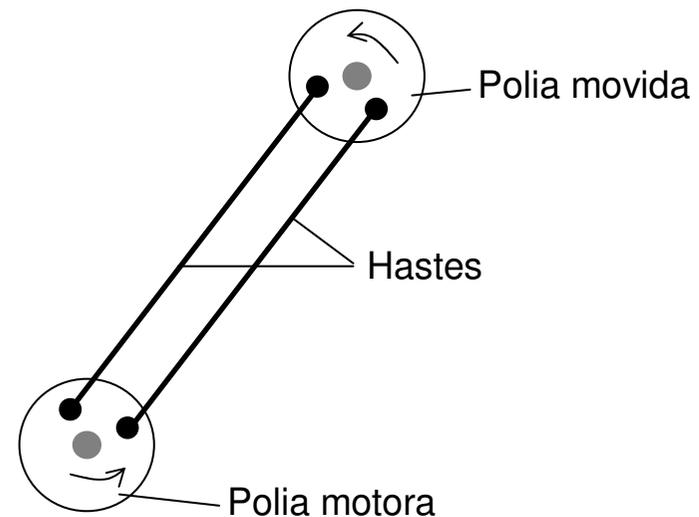
Cabos

- Vantagens:
 - Boa capacidade de carga;
 - Rigidez controlada \Rightarrow rigidez desejada obtida no projeto;
 - Alta qualidade de movimento;
 - Alta precisão;
 - Sem necessidade de lubrificação;
 - Possibilidade de acionamento de múltiplos eixos.
- Desvantagens:
 - Movimento limitado;
 - Sistema não compacto \Rightarrow presença das polias e de múltiplos cabos.



Hastes

- Reduções até 3:1.
- Elemento rígido.
- Partes principais:
 - Hastes;
 - Polias.



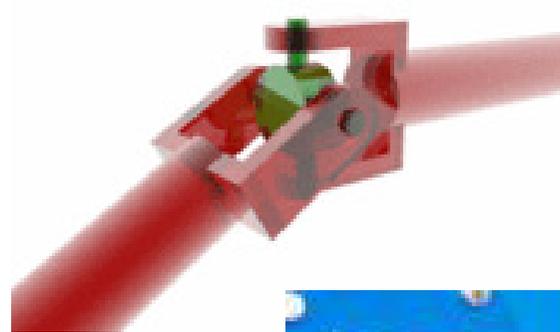
Hastes

- Vantagens:
 - Boa capacidade de carga \Rightarrow limitada pela flambagem das hastes;
 - Alta rigidez \Rightarrow rigidez desejada é obtida no projeto;
 - Alta qualidade de movimento;
 - Alta precisão.
- Desvantagens:
 - Movimento muito limitado.



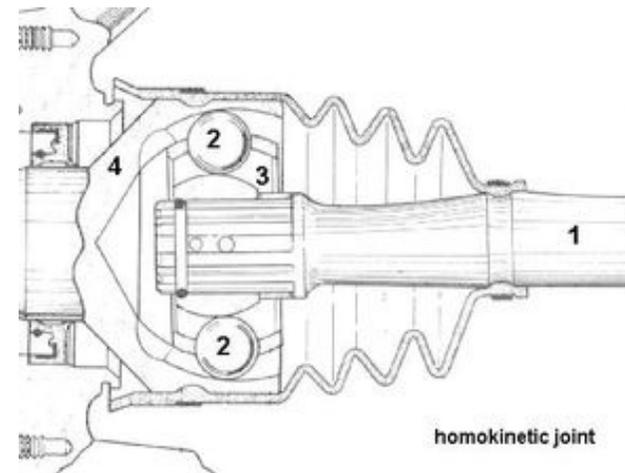
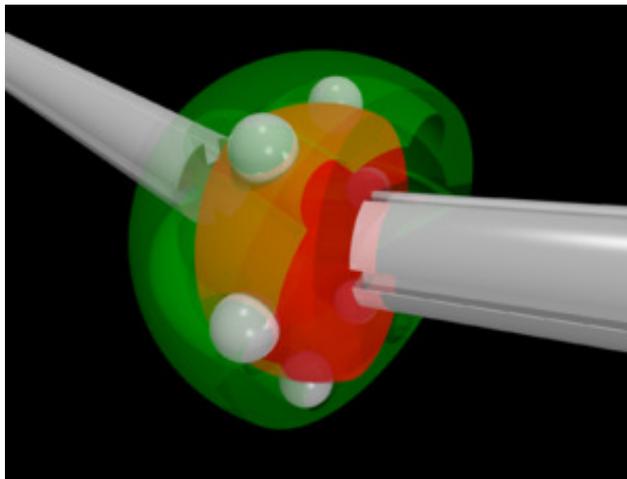
Eixo cardan

- Sem reduções.
- Elemento rígido.
- Partes principais:
 - Eixos;
 - Juntas universais ou homocinéticas.
 - Possui dois pares de articulações e dois eixos.



Eixo cardan

- Junta homocinética
⇒ junta esférica com rolamentos de esferas.



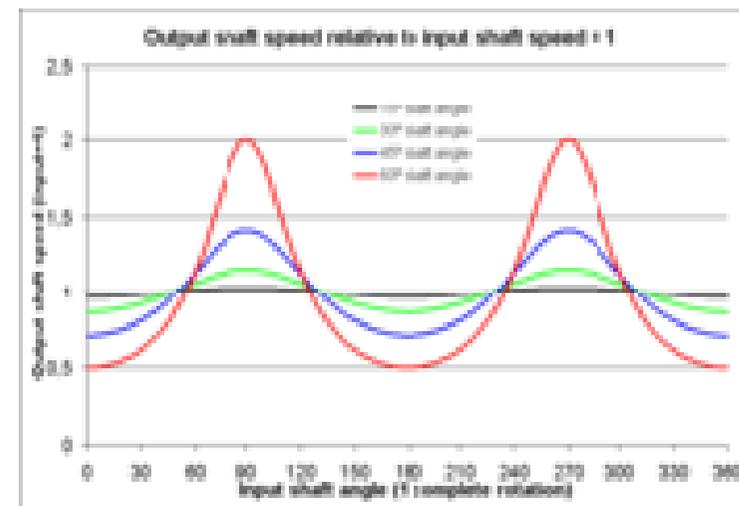
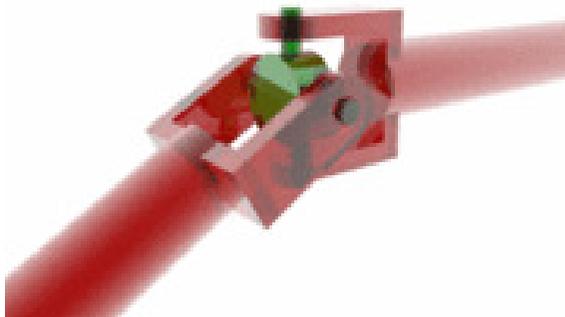
Eixo cardan

- Vantagens:
 - Alta capacidade de carga;
 - Alta rigidez;
 - Sem limitação de movimento.
- Desvantagens:
 - Não é compacto;
 - Ocorre flutuação de velocidade quando os eixos ficam desalinhados;
 - Pequena folga na articulação universal ou homocinética.



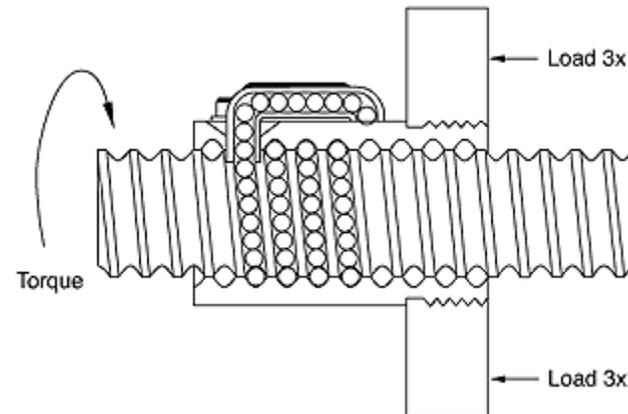
Eixo cardan

- Flutuação de velocidade \Rightarrow depende do ângulo de inclinação entre os dois eixos.



Fuso de esferas recirculantes

- Altíssimas reduções \Rightarrow dispensa uso de redutor.
- Elemento rígido.
- Partes principais:
 - Fuso;
 - Esferas;
 - Cubo.



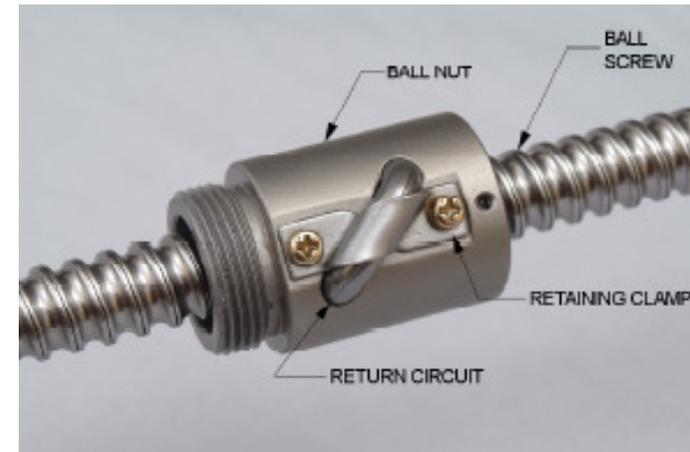
Fuso de esferas recirculantes

- Vantagens:
 - Altíssima capacidade de carga;
 - Altíssima rigidez;
 - Boa qualidade de movimento;
 - Boa precisão;
 - Compacto.
- Desvantagens:
 - Movimento limitado;
 - Presença de folga:
 - Pré-carga diminui folga mas não elimina;
 - Pré-carga aumenta atrito \Rightarrow dificulta controle de precisão.



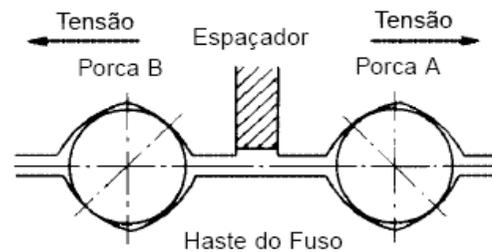
Fuso de esferas recirculantes

- Funcionamento:
Cubo se movimenta \Rightarrow
fazendo as esferas
recircularem por canais
internos ao cubo.

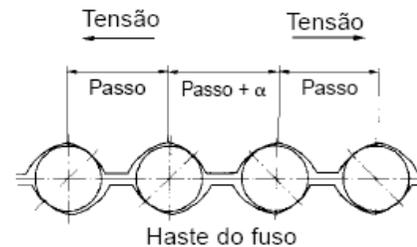
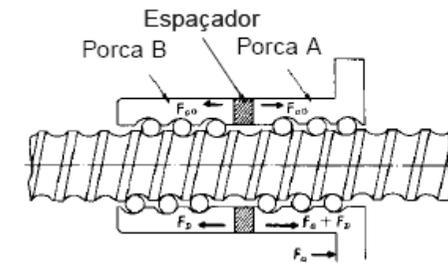


Fuso de esferas recirculantes

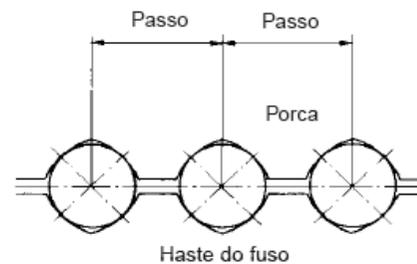
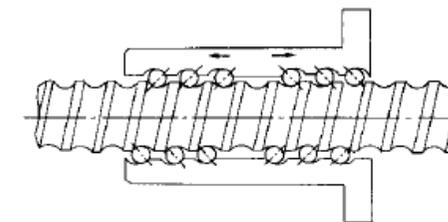
- Métodos de pré-carregamento (NSK):
 - Uso de espaçador;
 - Uso de tolerância geométrica no cubo;
 - Uso de tolerância geométrica nas esferas.



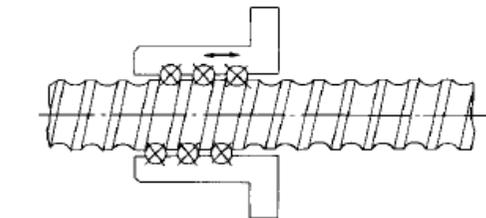
Porca dupla com espaçadores (tipo D)



Porca simples com "off set" no passo (tipo Z)

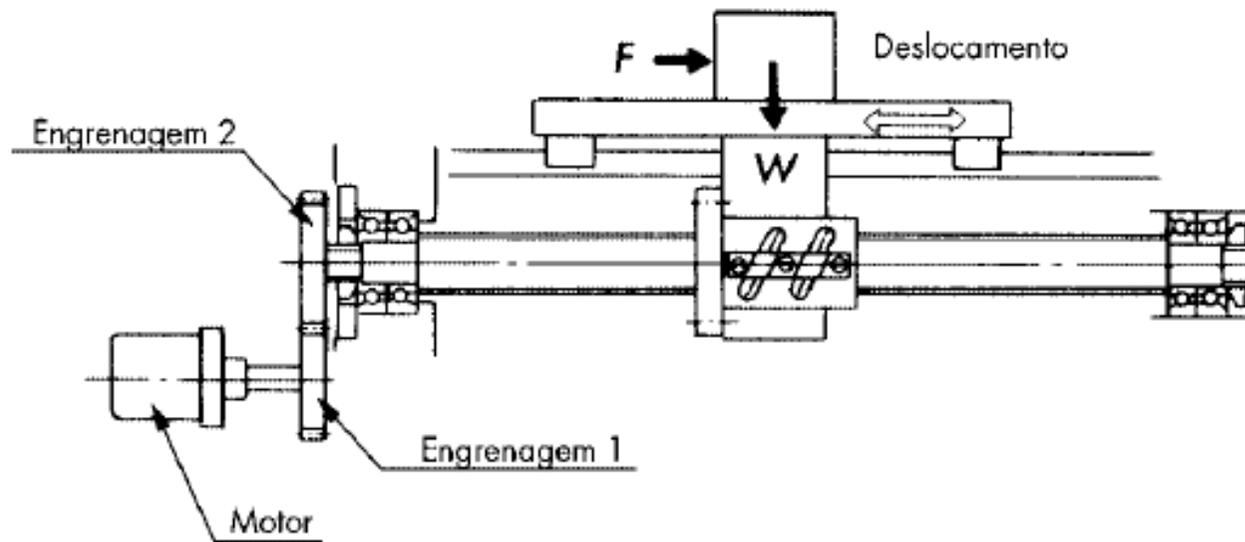


Interferência das esferas (Tipo P)



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento básico:
 - Esquema de uso.



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento básico:
 - Determinação das forças das cargas:
 - Forças peso, esforços de operação, forças de inércia, forças de atrito etc;
 - Podem existir esforços diferentes para diferentes intervalos de tempo;
 - Determinação da força axial efetiva no fuso;
 - Torque efetivo de operação;
 - Velocidades (rotação) de operação;
 - Velocidade efetiva de operação;
 - Seleção do fuso \Rightarrow resistir aos esforços de operação e ter a vida desejada.



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento básico:

- Força axial no fuso (F_a) $\Rightarrow F_a = F + \mu W$

- Força axial efetiva no fuso (F_f) $\Rightarrow F_f = \frac{\sum_i F_{ai} \Delta t_i}{\sum_i \Delta t_i}$

F = força axial devido as cargas;

Δt = intervalo de tempo com esforço F_{ai} ;

W = carga sobre a mesa;

μ = coeficiente de atrito mesa-guia.



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento básico:

- Rotação do fuso (ω) $\Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{l} v$

- Rotação efetiva do fuso (ω_f) $\Rightarrow \omega_f = \frac{\sum_i \omega_i \Delta t_i}{\sum_i \Delta t_i}$

ω = rotação em rad/s;

v = velocidade de translação da mesa (m/s);

l = passo do fuso (m).



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento básico:
 - Torque no fuso devido aos esforços de operação (T_a):

$$T_a = \frac{F_a l}{2\pi\eta}$$

- Torque de operação (T_f) $\Rightarrow T_f = T_a + T_p + T_u$

T_p = torque de pré-carga no fuso;

T_u = torque de pré-carga nos rolamentos.



Fuso de esferas recirculantes

- Dimensionamento mecânico básico:
 - Vida em fadiga (semelhante a rolamentos).

$$L = \left(\frac{C_a}{F_f f_w} \right)^3 10^6 \text{ (ciclos)} \quad L_h = \frac{L}{60n_f} \text{ (horas)}$$

n_f = rotação efetiva do fuso (rpm);

C_a = capacidade de carga dinâmica do fuso (dado de fabricante - N);

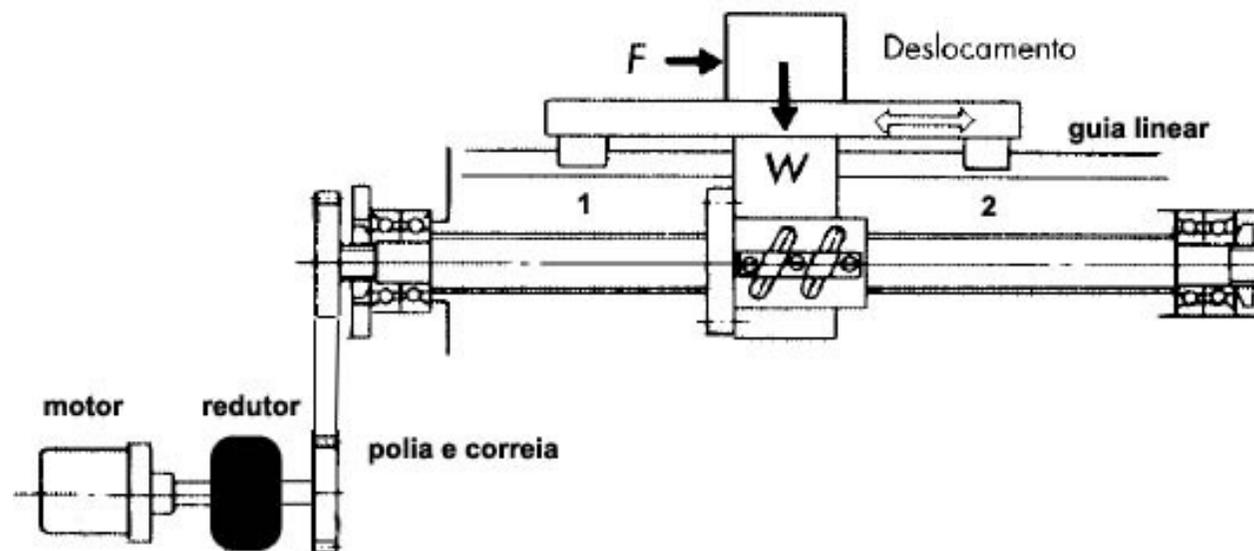
f_w = fator de operação (1,0 – 3,0);

F_f = força axial efetiva sobre o fuso (N).



Exemplo

- 1) Dado o sistema de transmissão esquematizado a seguir.



Exemplo

Pede-se:

- a) Sabendo-se que o motor gira com rotação máxima de 3600rpm, determine a relação de transmissão do redutor para uma condição de velocidade máxima de deslocamento da mesa de 2,5m/min.
- b) Calcule o passo do fuso para a condição de operação do item (a).
- c) Admitindo que a força devido ao esforço de avanço da ferramenta é 200Kgf e que o peso do carro longitudinal é 50Kgf, calcule a capacidade de carga dinâmica do fuso em operação com velocidade constante.
- d) Calcule o torque de acionamento do fuso em velocidade constante. Qual a potência consumida nesta condição?

Dados: relação de transmissão das polias 2;1; diâmetro do fuso 25mm; vida estimada do sistema 10.000h; coeficiente de atrito da guia com o trilho 0,02; rendimento do sistema 95%; fator de operação 1,2; torque de pré-carga do fuso 0,8 kgfcm.

