

TRANSMISSÕES

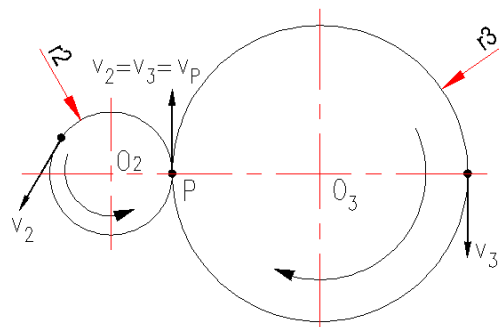
Transmissões e Engrenagens.

Transmissões mecânicas são os dispositivos que se empregam para transferir energia (torque e rotação) desde o motor até os órgãos de trabalho de uma máquina, isto normalmente acontece com transformação das velocidades, das forças ou dos momentos, e até com a transformação das leis do movimento. Há dois tipos principais de transmissões mecânicas:

- Transmissões por atrito (Por exemplo: sistemas de polias e correias)
- Transmissões por engrenamento. (por exemplo: sistemas de engrenagens)

Transmissões por engrenamento.

O estudo das transmissões começa analisando uma transmissão simples por atrito, esta transmissão elemental é teórica e não existe na prática, veja a figura abaixo:



velocidades tangenciais dos pontos da periferia das rodas em contato

A figura acima apresenta duas formas cilíndricas em contato, as duas “rodas” giram nos seus respectivos centros O_2 e O_3 , a forma cilíndrica de raio menor (roda motora) transfere potência (torque e movimento) para a forma cilíndrica maior (roda movida). Consideremos não haver escorregamento no ponto de contato P durante a transmissão de movimento.

Analisando este caso de uma transmissão teórica, vemos que, não havendo escorregamento, no ponto de contato as velocidades tangenciais das rodas são iguais.

$$v_2 = v_3 = v_P$$

Da definição de velocidade tangencial sabemos que:

$$v_2 = \omega_2 \cdot r_2 \quad \text{e} \quad v_3 = \omega_3 \cdot r_3$$

Igualando os segundos membros destas igualdades teremos.

$$\omega_2 \cdot r_2 = \omega_3 \cdot r_3$$

Arranjando estes valores podemos expressar uma nova igualdade:

$$\omega_2 / \omega_3 = r_3 / r_2 = i_{23}$$

Onde i_{23} é a relação de transmissão entre as rodas 2 e 3. A relação de transmissão é um número sem unidade e maior que 1 para redutores de velocidades. No caso acima a velocidade angular na roda menor (motora) é maior que na roda movida. Os redutores de velocidade são dispositivos que reduzem a rotação da entrada para ter menos rotação na saída e multiplicam o torque da entrada para obter maiores torques na saída. Raramente acontecem os multiplicadores de velocidade, onde se multiplica a rotação e se reduz o torque. Em ambos os casos (redutores e multiplicadores) a potência se mantém constante nos sistemas ideais, isto é: não há multiplicação ou redução da potência entre entrada e saída. A potência se mantém constante desde que não sejam consideradas perdas no sistema. As perdas são consequência de resistências passivas, principalmente perdas por atrito entre os elementos móveis da transmissão, estas perdas não serão consideradas no início do estudo de transmissões. Para nosso estudo a eficiência das transmissões é 100%.

A relação de transmissão pode ser expressa de outras formas:

$$i = \omega_2 / \omega_3 = n_2 / n_3 = r_3 / r_2 = d_3 / d_2$$

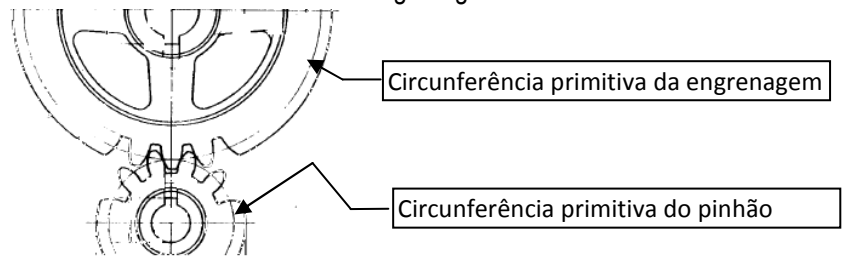
Num redutor de velocidades com dois (ou mais) estágios a relação de transmissão total é igual ao produto das relações de transmissão de cada estágio: Para dois estágios será:

$$i_{\text{total}} = i_{23} \cdot i_{45} \quad (\text{para um redutor com dois engrenamentos})$$

Em redutores de velocidade, a relação de transmissão é o fator que expressa quanto a velocidade de saída será reduzida respeito da velocidade de entrada, e quanto será multiplicado o torque de entrada para obter o torque ampliado na saída.

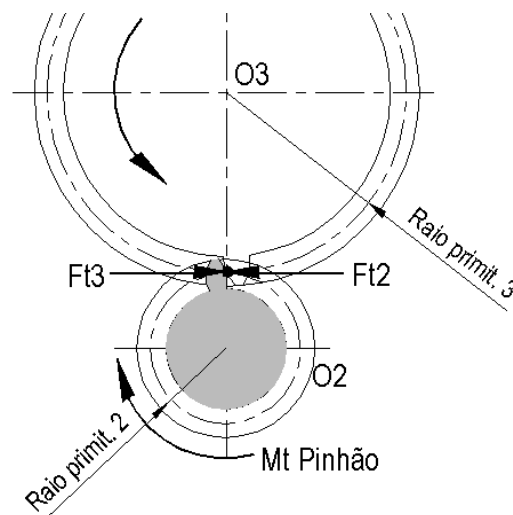
Engrenagens:

Na prática, para garantir que uma roda transmita torque para a outra, sem escorregamento, se talham dentes nas superfícies cilíndricas de ambas as rodas, parte dos dentes da roda 2 (pinhão) adentra na circunferência primitiva da roda 3 (engrenagem) e vice-versa. As formas cilíndricas teóricas iniciais passam a ser “rodas dentadas” ou engrenagens.



O traçado dos flancos dos dentes é feito de tal forma que garante transmissão de velocidade angular constante ($\omega = \text{cte}$) de uma engrenagem para a outra. Para conseguir a transmissão de velocidade constante (sem flutuações) é usada uma curva especial (curva de evolvente) no traçado dos flancos dos dentes das engrenagens.

Durante a transmissão de potência por engrenamento surgem forças nos pontos de contato entre os dentes das engrenagens, uma dessas forças é a tangencial. Força tangencial é a força responsável pela transmissão de torque e acontece no ponto de contato, sobre o diâmetro primitivo das engrenagens. O ponto de contato, chamado de ponto primitivo, é o lugar geométrico onde as circunferências das engrenagens tangenciam. Para que ambas engrenagens girem com velocidade constante, neste ponto primitivo se deve verificar o equilíbrio em face à ação das duas forças tangenciais que nele agem.



Para simplificar nossa análise das transmissões por engrenagens vamos introduzir a nomenclatura básica e algumas fórmulas que permitam calcular os parâmetros fundamentais de acionamento das engrenagens (forças e torques).

Z = número de dentes de uma engrenagem

O número de dentes é a quantidade de extensões de uma roda dentada que adentra na outra roda com a que trabalha conjugada (transmitindo torque e rotação). A cada dente corresponde um vão de dente, esse vão recebe a entrada dos dentes da engrenagem conjugada. Veja a figura abaixo.

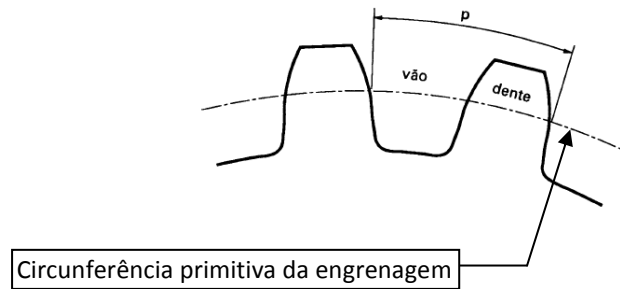
d ou dp = diâmetro primitivo de uma engrenagem.

O diâmetro primitivo das engrenagens é o diâmetro das circunferências primitivas, corresponde ao diâmetro das rodas lisas da transmissão teórica inicial. No nosso caso, o diâmetro primitivo será calculado como $dp = m \cdot Z$ (módulo multiplicado pelo número de dentes da engrenagem). O raio da engrenagem será $r = dp/2$, ou $r = (m \cdot Z) / 2$

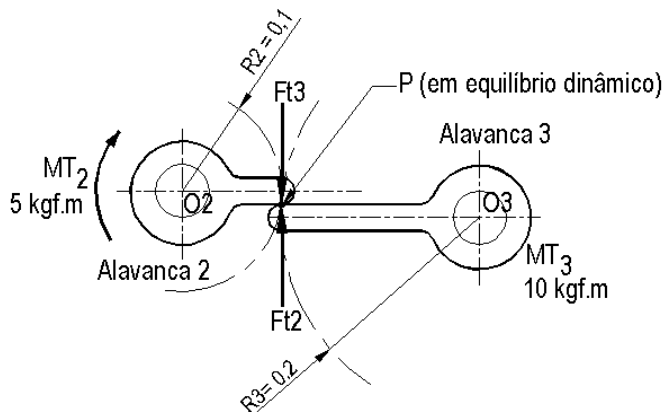
M= módulo de uma engrenagem. É um comprimento em mm, padronizado pela normas ABNT. O módulo de uma engrenagem é calculado como $m = p/\pi$.

p = Passo da engrenagem. É o arco de circunferência que se estende entre dois pontos correspondentes de dois dentes consecutivos, medido sobre a circunferência primitiva da engrenagem (ver figura abaixo). O passo da engrenagem é a soma de um vão de dente com a espessura de um dente ($p = v + e$, vão de dente mais espessura de dente).

Para que duas engrenagens trabalhem conjugadas é necessário que tenham o mesmo módulo, o mesmo passo e o mesmo ângulo de pressão (20° segundo ABNT).



Num engrenamento simples (**pinhão e coroa**) as forças acontecem de forma muito parecida com o esquema de alavancas mostrado abaixo (que é similar a duas engrenagens de um só dente). Nesta transmissão a alavanca 2 gira sobre o centro O_2 e a alavanca 3 gira sobre o centro O_3 , se considerarmos velocidades angulares constantes para as alavancas e baixas rotações de modo a manter o ponto de contato P em equilíbrio dinâmico, podemos afirmar que as forças de ação e reação no contato das alavancas devem estar em equilíbrio ($F_{t2} = F_{t3}$, intensidades iguais).



ω = Constante para as duas alavancas e baixa rotação
Desconsiderar o efeito dinâmico no encontro das duas alavancas

$$Mt_2 = F_{t2} \cdot r_2 ; F_{t2} = Mt_2 / r_2 = 5 \text{ kgf.m} / 0,1 \text{ m} = 50 \text{ kgf}$$

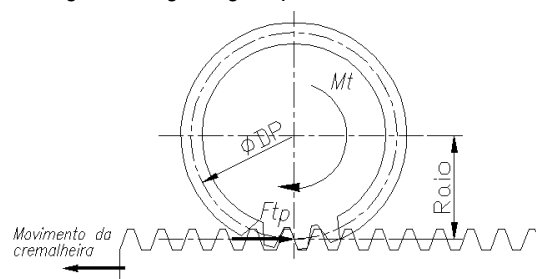
$$Mt_3 = F_{t3} \cdot r_3 ; Mt_3 = 50 \text{ kgf} \cdot 0,2 \text{ m} = 10 \text{ kgf.m}$$

Lembrando a definição de momento ($M = F \cdot d$) podemos calcular a força que age na alavanca 2 (F_{t2}) e também o momento que age na alavanca 3 (Mt_3). O momento na segunda alavanca é o dobro do momento na alavanca 2, porque há relação de 2 entre os braços das alavancas, ou seja: a relação de transmissão 2 multiplica por 2 o momento da alavanca motora.

$$Mt_3 = Mt_2 \cdot i_{23} \text{ onde a relação de transmissão é } i_{23} = r_3 / r_2.$$

Esta relação pode ser usada em engrenagens para calcular o momento no segundo eixo se conhecemos o momento que aciona o pinhão.

No caso particular de **pinhão e cremalheira**, o engrenamento tem a finalidade de transformar movimento circular do pinhão em movimento retilíneo na cremalheira (ver figura abaixo). A cremalheira funciona como uma engrenagem de número de dentes infinito, assim a circunferência primitiva da segunda engrenagem passa a ser uma linha reta, como mostrado na figura seguinte.



A figura acima mostra, o Mt (momento torçor) que age no pinhão (com indicação de sentido de giro), a F_{tp} (força tangencial que age no pinhão), o raio do pinhão e o sentido de deslocamento da cremalheira. No ponto de contato entre pinhão e cremalheira agem duas forças (ação e reação): uma força age sobre o pinhão F_{tp} (está indicada no desenho), a outra age na cremalheira (não aparece no desenho) estas duas forças tem mesmo ponto de aplicação, mesma reta de ação, mesmo módulo, porém tem sentidos opostos. Se estas duas forças ficam em equilíbrio (como no nosso caso) o pinhão gira com velocidade angular constante ($\omega = \text{cte}$) (MCU) e a cremalheira se desloca com velocidade "linear" constante (MRU).

A força que desloca a cremalheira é calculada com base no momento torçor no pinhão e o raio do pinhão.

$$M_{tp} = F_{tp} \cdot R_p > F_{tp} = M_{tp} / R_p.$$

O raio do pinhão é calculado como: $r_p = d_p / 2 = (m \cdot Z) / 2$

Potência

Potência no movimento circular uniforme (MCU) $N = M_T \cdot \omega$ (torque multiplicado pela velocidade angular)

Potência no movimento retilíneo uniforme (MRU) $N = F \cdot v$ (força multiplicada pela velocidade “retilínea” ou tangencial)

Velocidade angular $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60$, onde “n” é a rotação medida em [RPM], a velocidade angular é medida em [rad / s]

Torque ou momento torçor

Torque é o esforço que faz girar um eixo ou um corpo em torno de um ponto (ou eixo). O torque, ou simplesmente momento, é sempre o produto de uma força pela distância, medida perpendicularmente à reta de ação desta força, até o centro de giro.

Para calcular o torque que aciona um eixo conhecendo a rotação em [RPM] e a potência de acionamento (em cv) usamos as seguintes relações:

Para o torque em [N.mm], a potência em [cv] e a rotação em [RPM]

$$M_T [\text{N.mm}] = 7,0235 \cdot 10^6 \cdot N [\text{cv}] / n [\text{RPM}]$$

Para o torque em [kgf.cm], a potência em [cv] e a rotação em [RPM]

$$M_T [\text{kgf.cm}] = 71.620 \text{ N} [\text{cv}] / n [\text{RPM}]$$

Para o torque em [kgf.m], a potência em [cv] e a rotação em [RPM]

$$M_T [\text{kgf.m}] = 716,2 \text{ N} [\text{cv}] / n [\text{RPM}]$$

Equivalência de unidades

$$1 \text{ N} = 0,10197 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kfg} = 9,80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ cv} = 0,98632 \text{ HP}$$

$$1 \text{ cv} = 735,5 \text{ w}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ w}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$1 \text{ cv} = 75 \text{ kgf.m/s}$$

$$1 \text{ w} = 1 \text{ J} / \text{s}$$

$$1 \text{ w} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{s}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ kgf.m} = 9,8 \text{ J}$$

$$1 \text{ GPa} = 10^3 \text{ MPa} = 10^3 \text{ N} / \text{mm}^2$$