

# MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

## Órgãos de Máquinas II

Elaborado e revisto por Paulo Flores, José Gomes, Nuno Dourado e Filipe Marques - 2017



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [pflores@dem.uminho.pt](mailto:pflores@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [jgomes@dem.uminho.pt](mailto:jgomes@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [nunodourado@dem.uminho.pt](mailto:nunodourado@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



Universidade do Minho  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus de Azurém  
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220  
Fax: +351 253 516 007  
E-mail: [fmarques@dem.uminho.pt](mailto:fmarques@dem.uminho.pt)  
URL: [www.dem.uminho.pt](http://www.dem.uminho.pt)



## T.03 – TRANSMISSÕES POR CORRENTES

1. Introdução
2. Nomenclatura
3. Relações Geométricas
4. Efeito Poligonal
5. Seleção de Correntes
6. Lubrificação e Manutenção
7. Análise Dinâmica
8. Avarias em Correntes
9. Referências Bibliográficas

## Tipos de Correntes

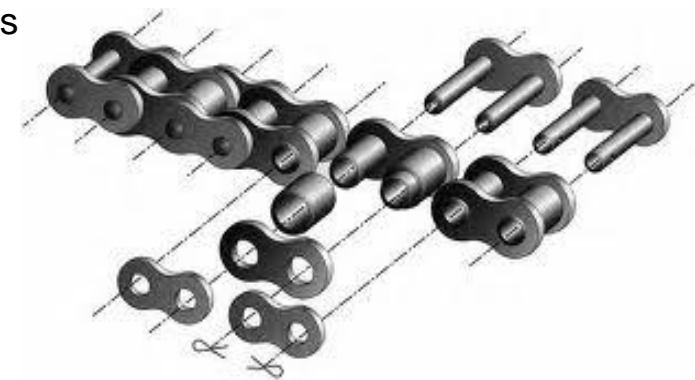
As correntes ocupam um lugar de destaque entre os sistemas de transmissão de movimento. Os principais tipos de correntes são: as correntes de **rolos**, as correntes de **buchas** e as correntes de **dentes**, tal como se ilustra na figura 1.



**Fig. 1** Principais tipos de correntes: correntes de rolos, correntes de buchas e correntes de dentes

As **correntes de rolos** são as mais comuns em aplicações industriais. Estas correntes são constituídas por **placas internas** e **externas ligadas por pinos**. Os pinos são envolvidos por **buchas** nas quais funcionam (rolam) os rolos. Os pinos, as buchas e os rolos são fabricados em aço de liga, cujas superfícies são, em geral, **cementadas e retificadas**.

A figura 2 mostra os **elementos constituintes** das correntes de rolos de uso mais frequente.



**Fig. 2** Constituintes das correntes de rolos

## Tipos de Correntes

As **correntes de buchas** (figura 3) diferem das de rolos pelo facto de **não possuírem rolos**. Este facto permite que as buchas e os pinos sejam de **dimensões maiores** e, por conseguinte, as correntes de buchas apresentam maior resistência à rotura.

As correntes de buchas são **menos silenciosas**, apresentam maior escorregamento (desgaste) e, por isso, uma maior **perda de rendimento**.



**Fig. 3** Corrente de buchas

As **correntes de dentes** (figura 4) são constituídas por **elos os quais são constituídos por várias placas** montadas lado a lado sobre pinos formando dentes que vão engrenar nos dentes da roda. Deste modo, podem obter-se correntes **bastante largas** e, conseqüentemente, **bastante resistentes**.

As correntes de dentes são **muito silenciosas** e apresentam baixos níveis de desgaste.



**Fig. 4** Corrente de dentes

## Tipos de Correntes

Há ainda **correntes de passo alongado**, tal como se mostra na figura 5.

A figura 6 ilustra **elos de uma corrente de rolos**. Na figura 7 estão representadas correntes de rolos **simples**, **dupla** e **tripla**.



**Fig. 5** Corrente de passo alongado



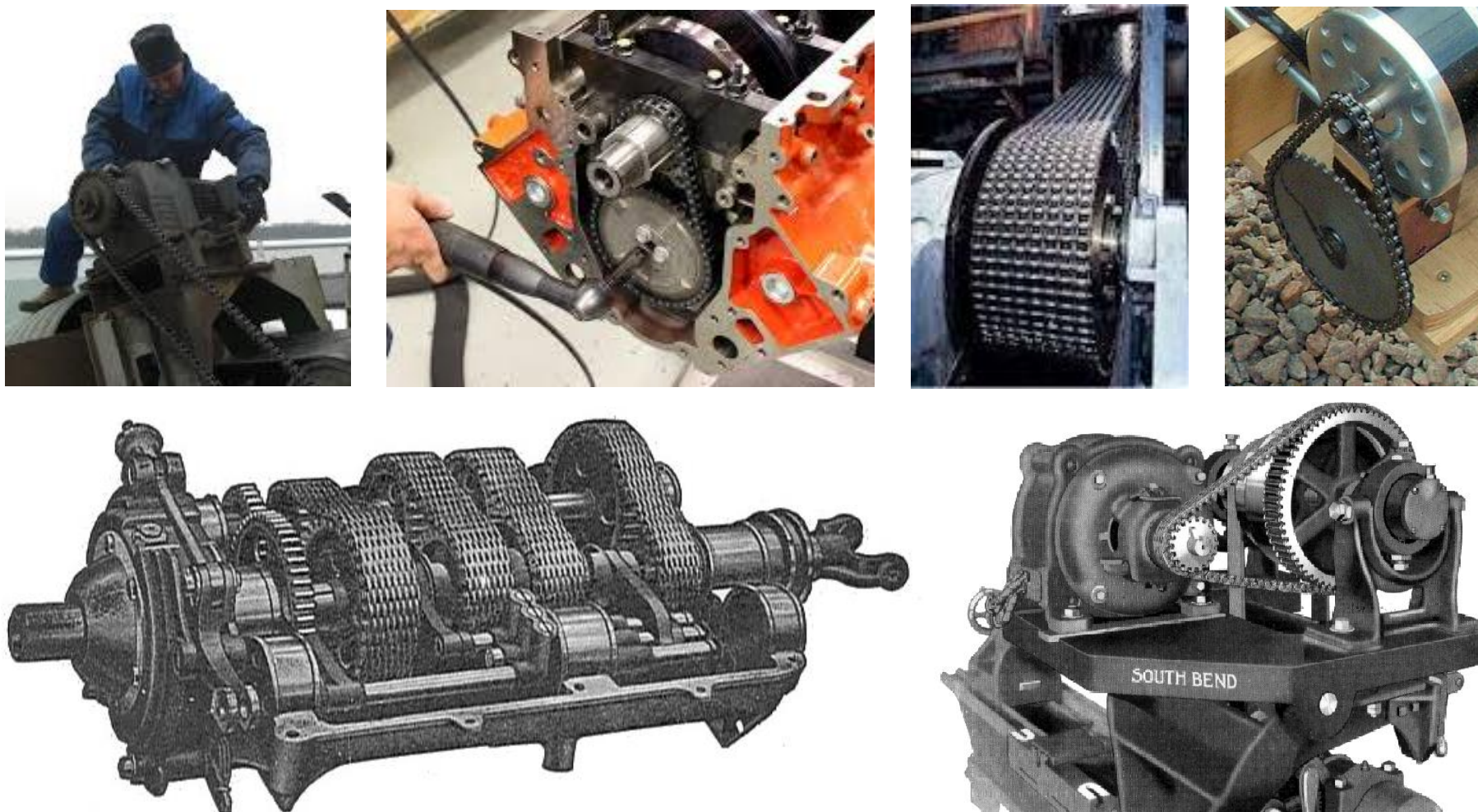
**Fig. 6** Elos de uma corrente de rolos



**Fig. 7** Correntes de rolos: simples, dupla e tripla

## Exemplos de Aplicação de Correntes

A figura 8 mostra alguns exemplos de aplicação de correntes de rolos e correntes dentadas.



**Fig. 8** Exemplos de aplicação de correntes de rolos e correntes dentadas

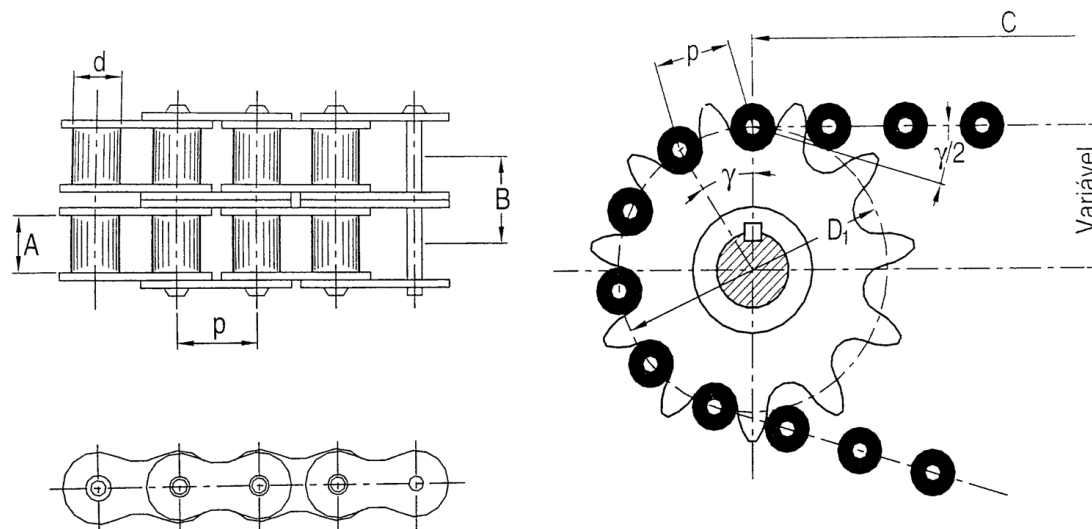
## Principais Características das Correntes

De seguida apresentam-se as principais características dos sistemas de transmissão por correntes:

- As correntes só devem operar entre **veios rigorosamente paralelos**
- As correntes requerem ainda um **perfeito alinhamento** entre o pinhão e a roda
- As correntes apresentam **baixa resistência às condições ambientais** e requerem frequentemente **sistemas de proteção**
- As correntes **requerem, em geral, lubrificação**, cujo modo depende das condições de funcionamento (potência e velocidade)
- Nas correntes as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **7**
- As correntes apresentam uma **duração longa** (até 15000 horas) sem necessidade de substituição de corrente e rodas
- As correntes **não apresentam capacidade de absorção de choques**, como acontece com as correias, dada a natureza metálica dos materiais envolvidos
- As correntes **não apresentam constância** do valor instantâneo da **relação de transmissão** de velocidade devido ao **efeito poligonal**
- Nas correntes a **manutenção** é, em geral, **fácil de realizar**
- As correntes apresentam um rendimento de **97-98%**
- No que diz respeito à transmissão de potência (binário, movimento), as correntes situam-se **entre as correias e as engrenagens**.

## Nomenclatura Básica

Na figura 9 apresentam-se os **principais parâmetros** que definem a geometria de uma corrente de rolos.



**Fig. 9** Geometria de uma transmissão por corrente de rolos

$p$  – Passo, distância entre os eixos de dois pinos adjacentes

$\gamma/2$  – Ângulo de inclinação, ângulo de rotação dos elos quando entram em contacto com o pinhão

$d$  – Diâmetro do rolo

$D_1, D_2$  – Diâmetros primitivos do pinhão e da roda

$Z_1, Z_2$  – Número de dentes do pinhão e da roda

$n_1, n_2$  – Velocidade de rotação do pinhão e da roda

$A$  – Largura entre placas

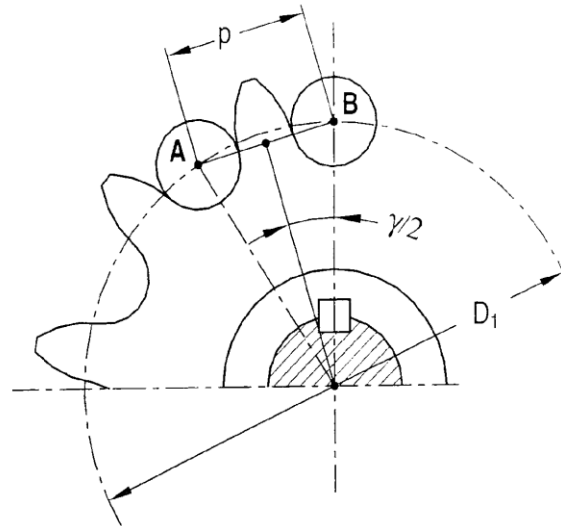
$B$  – Distância entre centros de rolos (para correntes dupla e tripla)

$C$  – Distância entre eixos



## Diâmetro Primitivo

Considere-se a figura 10 para estabelecimento das principais relações geométricas nas correntes de rolos.



**Fig. 10** Relação entre o passo  $p$ , o diâmetro primitivo  $D_1$  e o ângulo de inclinação  $\gamma/2$

Da análise da figura 10 podem escrever-se as seguintes relações geométricas

$$\gamma = \frac{2\pi}{Z_1} \qquad \frac{p}{2} = \frac{D_1}{2} \operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

Combinando as equações anteriores e eliminando  $\gamma$  obtém-se a seguinte relação para o **diâmetro primitivo**

$$D_1 = \frac{p}{\operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{Z_1}\right)}$$

## Comprimento Primitivo

O comprimento primitivo da corrente ( $L$ ) expresso em **número de elos** deve ser um número inteiro, de preferência **par**. Esta preferência tem como objetivo evitar a introdução de um **elo especial**.

O comprimento primitivo de uma corrente pode ser calculado utilizando a seguinte expressão:

$$L = \frac{\pi}{2p}(D_1 + D_2) + \frac{2C}{p} + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4Cp}$$

Para **valores muito pequenos de  $\gamma$** , as expressões para os diâmetros primitivos podem ser reescritas do seguinte modo

$$D_1 = \frac{pZ_1}{\pi} \qquad D_2 = \frac{pZ_2}{\pi}$$

Então, a expressão que permite calcular o **comprimento primitivo** é dada por

$$L = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2C}{p} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2 p}{4\pi^2 C}$$

Assim, em projeto e seleção de correntes, depois de calculado o comprimento primitivo, deve escolher-se o **valor inteiro par** superior ao obtido pela expressão anterior.

Seguidamente, deve **redefinir-se o valor do entre-eixo** ( $C$ ) utilizando a expressão supra mencionada para o comprimento primitivo.

## Engrenamento da Corrente no Pinhão

A figura 11 diz respeito a **duas posições consecutivas** e desfasadas angularmente de um ângulo  $\delta = \pi/Z_1$  do engrenamento da corrente com o pinhão.

Logo que o pinhão roda, no sentido indicado pela seta, de um ângulo  $AOB=2\delta$ , o ponto  $A$  desloca-se para a posição  $B$  e o ponto  $D$  para a posição  $A$ .

O elo representado por  $AD$ , durante este tempo, rodou um ângulo  $AOB$  em torno do ponto  $A$ , a uma velocidade angular igual à velocidade angular do pinhão  $\omega$ .

Assim, o **movimento relativo do elo é um movimento de rotação**, com velocidade angular  $\omega$ .

Em resultado deste movimento, o rolo  $D$  entra em contacto com o ponto  $C$  do pinhão, animado de uma velocidade linear  $\omega p$ .

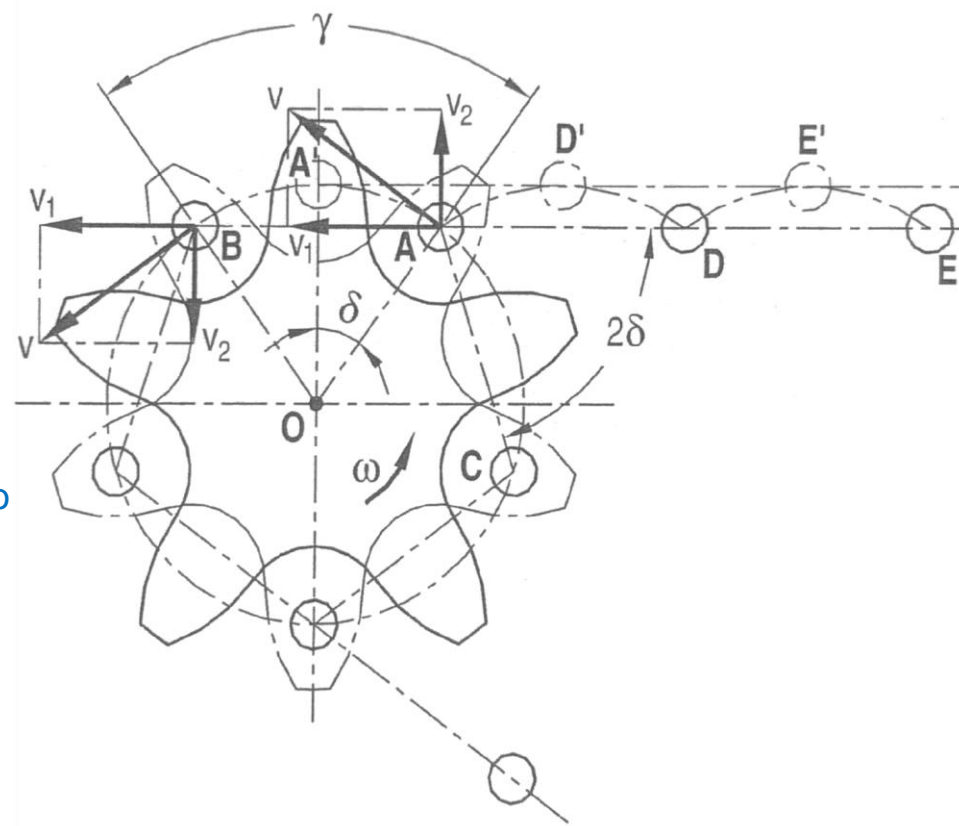


Fig. 11 Engrenamento da corrente com o pinhão

## Engrenamento da Corrente no Pinhão

Admitindo que o **pinhão roda com uma velocidade angular constante**, então, no círculo primitivo, tem-se que

$$v = \frac{D_1}{2} \omega = \frac{\pi D_1 n_1}{60}$$

Esta velocidade pode ser decomposta **nas direções da corrente e perpendicular a esta**, ou seja

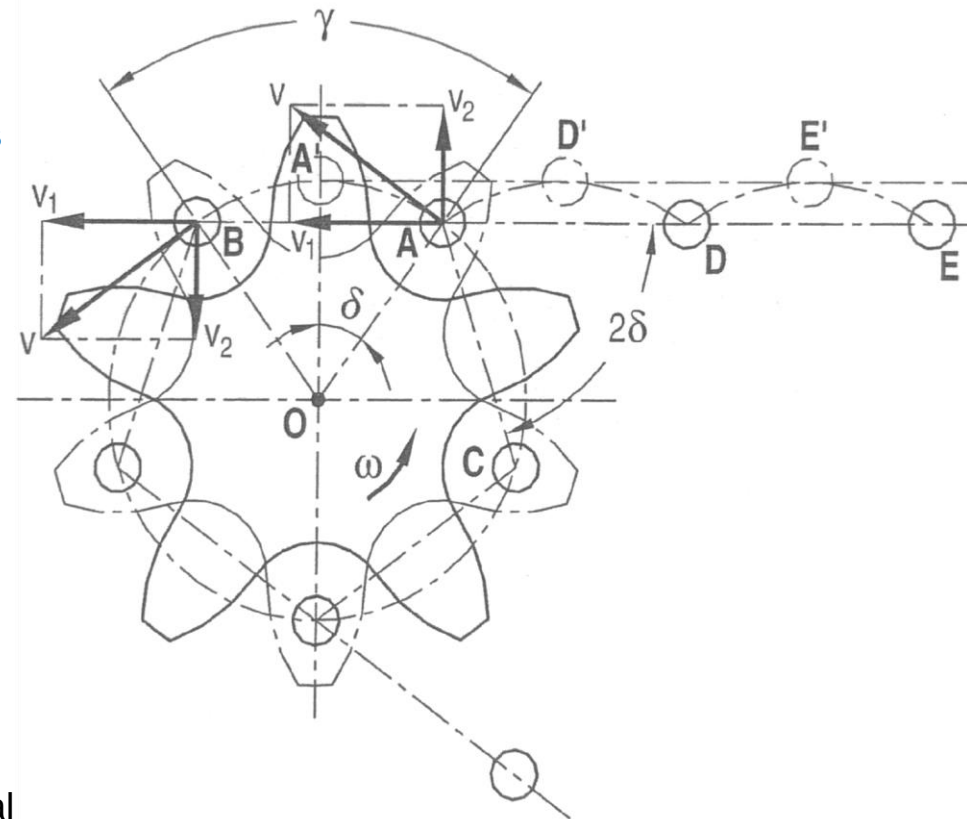
$$v_1 = v \cos \delta$$

$$v_2 = v \sin \delta$$

em que  $\delta$  varia entre  $\gamma/2$  e  $-\gamma/2$ .

Observa-se, portanto, que a corrente está sujeita a **dois movimentos simultâneos** de velocidades variáveis e desfasadas, ou seja:

- Um movimento de **avanço** no sentido longitudinal
- Um movimento de **oscilação** no sentido transversal



**Fig. 12** Engrenamento da corrente com o pinhão

### Variação da Velocidade Longitudinal – $v_1$

Durante o movimento correspondente ao ângulo  $AOB$ , a velocidade  $v_1$  varia entre um valor mínimo dado por

$$v_1 = v \cos \frac{\pi}{Z_1}$$

que se verifica nos extremos  $A$  e  $B$  onde

$$\delta = \pm \frac{\pi}{Z_1}$$

e um valor máximo dado por

$$v_1 = v$$

que se verifica para a posição  $A'$ , em que  $\delta = 0$ .

A figura 13 ilustra a influência do número de dentes do pinhão  $Z_1$  na oscilação da velocidade longitudinal.

Se o número de dentes for suficientemente grande, a oscilação da velocidade é muito pequena.

Observa-se que para  $Z_1 > 25$ , a oscilação na velocidade é, na prática, desprezável.

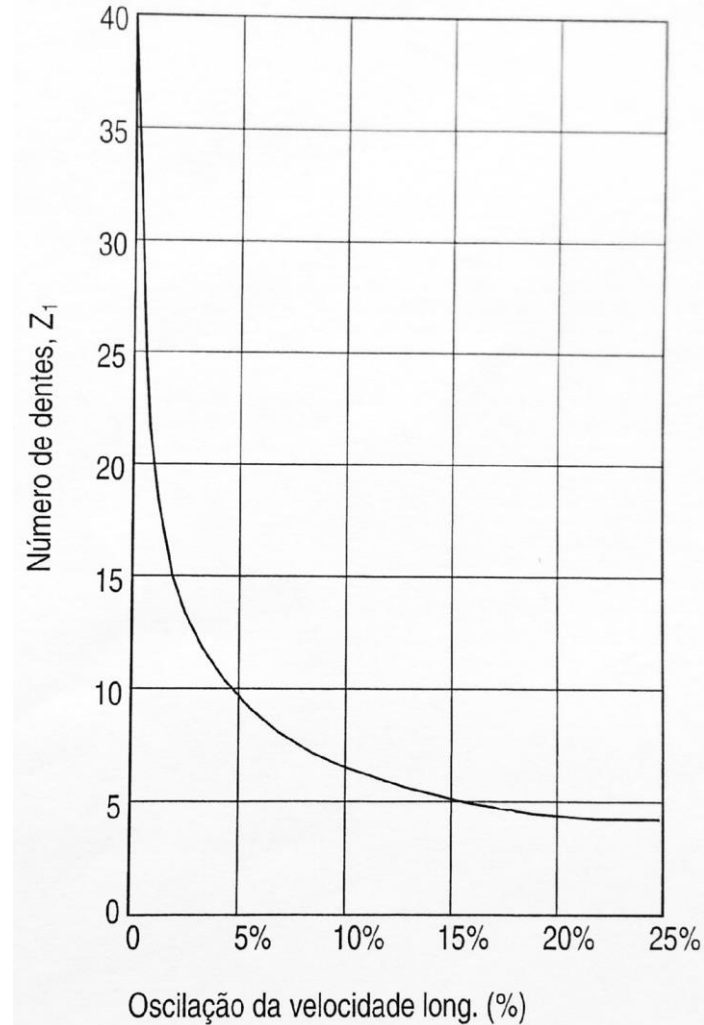


Fig. 13 Influência de  $Z_1$  na velocidade longitudinal

## Variação da Velocidade Transversal – $v_2$

A **velocidade transversal** da corrente é dada por

$$v_2 = v \operatorname{sen} \delta$$

Como a cada rotação de um ângulo  $AOB$  corresponde uma variação de  $\delta$  entre  $\pi/Z_1$  e  $-\pi/Z_1$ , ocorrem as seguintes **variações de  $v_2$**

em A:  $v_2 = v \operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1}$

em A':  $v_2 = 0$

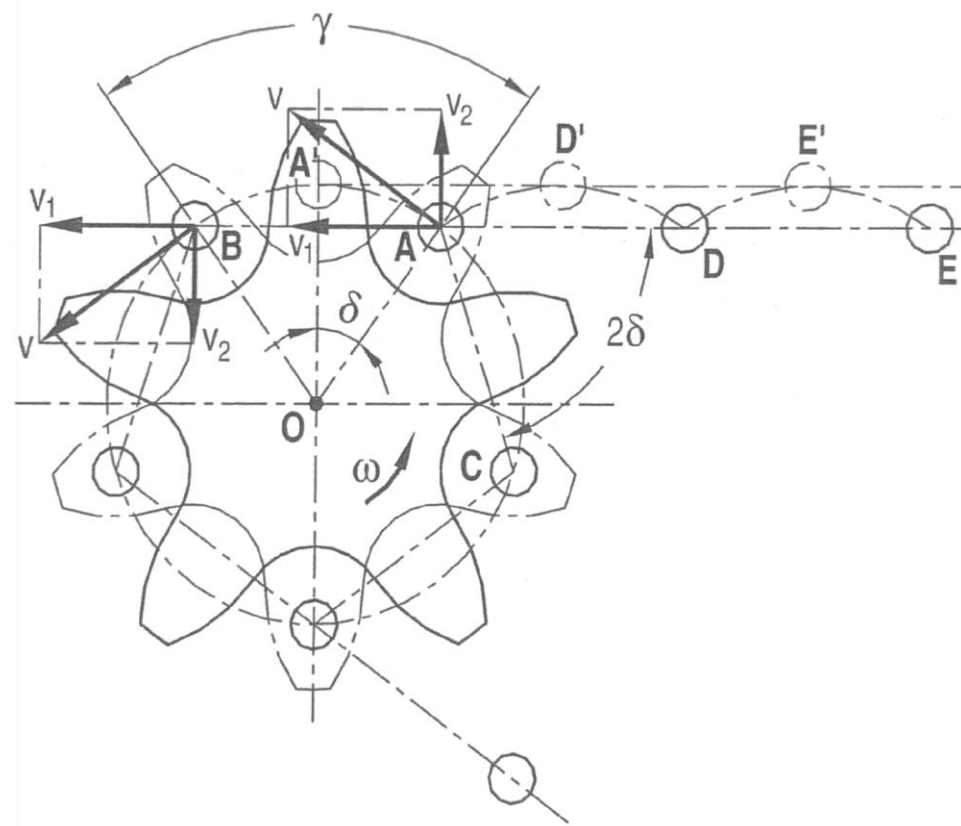
em B:  $v_2 = -v \operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1}$

Como

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60} \quad D_1 = \frac{p}{\operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1}}$$

então

$$\Delta v_2 = 2v \operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1} = \frac{2\pi n_1}{60} \frac{p}{\operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1}} \operatorname{sen} \frac{\pi}{Z_1} = \omega p$$



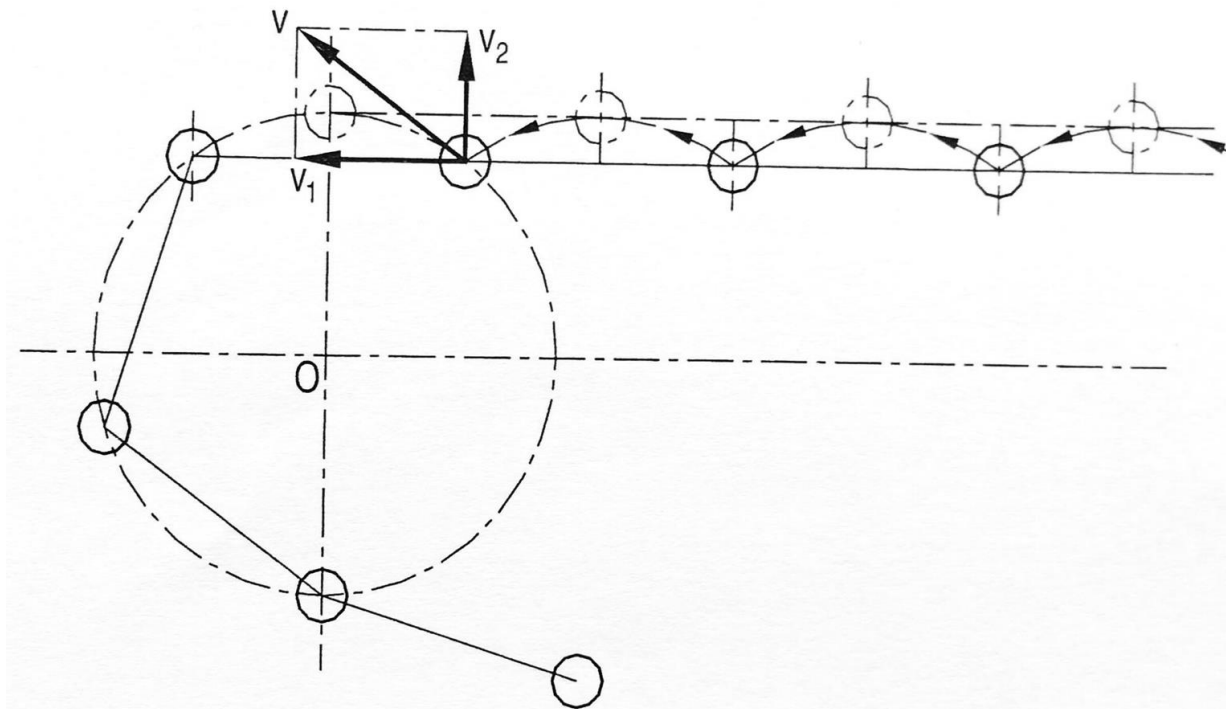
**Fig. 14** Engrenamento da corrente com o pinhão

## Variação da Velocidade Transversal – $v_2$

Finalmente, a **variação da velocidade transversal da corrente** é dada por

$$\Delta v_2 = \omega p$$

Observa-se, pois, que a variação transversal da corrente depende apenas da **velocidade angular do pinhão** e do **passo da corrente**. A figura 15 ilustra o movimento de uma corrente ao entrar em contacto com o pinhão.



**Fig. 15** Movimento de uma corrente ao entrar em contacto com o pinhão

## Choques, Velocidade Média e Relação de Transmissão

Para **reduzir o choque no início do engrenamento** de cada articulação é necessário reduzir a velocidade angular do pinhão ou diminuir o passo da corrente. Assim, pode concluir-se que

- Os **choques** são tanto maiores quanto maiores forem o passo da corrente e a velocidade angular do pinhão. Os choques são essencialmente absorvidos pelos rolos da corrente
- As **variações de velocidade** linear da corrente são tanto maiores quanto menor for o número de dentes do pinhão
- Nas **vibrações transversais**, a amplitude de vibração é tanto maior quanto menor for o número de dentes do pinhão
- Um **número de dentes elevado** para o pinhão resulta numa vida mais longa da corrente
- **Maiores diâmetros** das rodas, para um mesmo passo, originam menores esforços no ramo tenso.

A **velocidade média** de uma corrente  $v_m$  pode ser calculada pelo comprimento da corrente que passa numa das rodas por unidade de tempo

$$v_m = \frac{pZ_1n_1}{60} = \frac{pZ_2n_2}{60}$$

A **relação de transmissão**  $i$  não pode ser calculada em termos do quociente entre diâmetros primitivos, mas sim pela seguinte expressão

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$



## Elementos a Selecionar

A seleção de uma corrente de rolos consiste em definir os seguintes elementos

- **Passo** da corrente
- **Tipo de corrente** (simples, dupla e tripla)
- **Comprimento** da corrente expresso em número de elos
- **Número de dentes** do pinhão e da roda
- **Entre-eixo** exato
- **Tipo de lubrificação** recomendada.



Fig. 16 Fabricante de correntes

Para o efeito, é necessário saber

- **Potência a transmitir**
- **Velocidade de rotação** do pinhão e da roda
- **Condições de funcionamento**
- Valor aproximado da **distância entre eixos**.

No projeto e seleção de correntes devem ser **seguidas as instruções fornecidas pelos fabricantes**, uma vez que as correntes podem apresentar características diferentes de fabricante para fabricante. Este assunto será objeto de estudo detalhado nas aulas teórico-práticas.

## Lubrificação

As correntes devem ser **lubrificadas com regularidade** e com o método apropriado às condições de funcionamento. Caso assim não aconteça, as **articulações desgastar-se-ão** rapidamente. Por outro lado, o **atrito** que se gera sem lubrificação origina grande **perda de potência** devido ao calor produzido.

O **lubrificante** deve ser um **óleo mineral puro** com viscosidade escolhida de acordo com a temperatura ambiente, e de acordo com a seguinte tabela

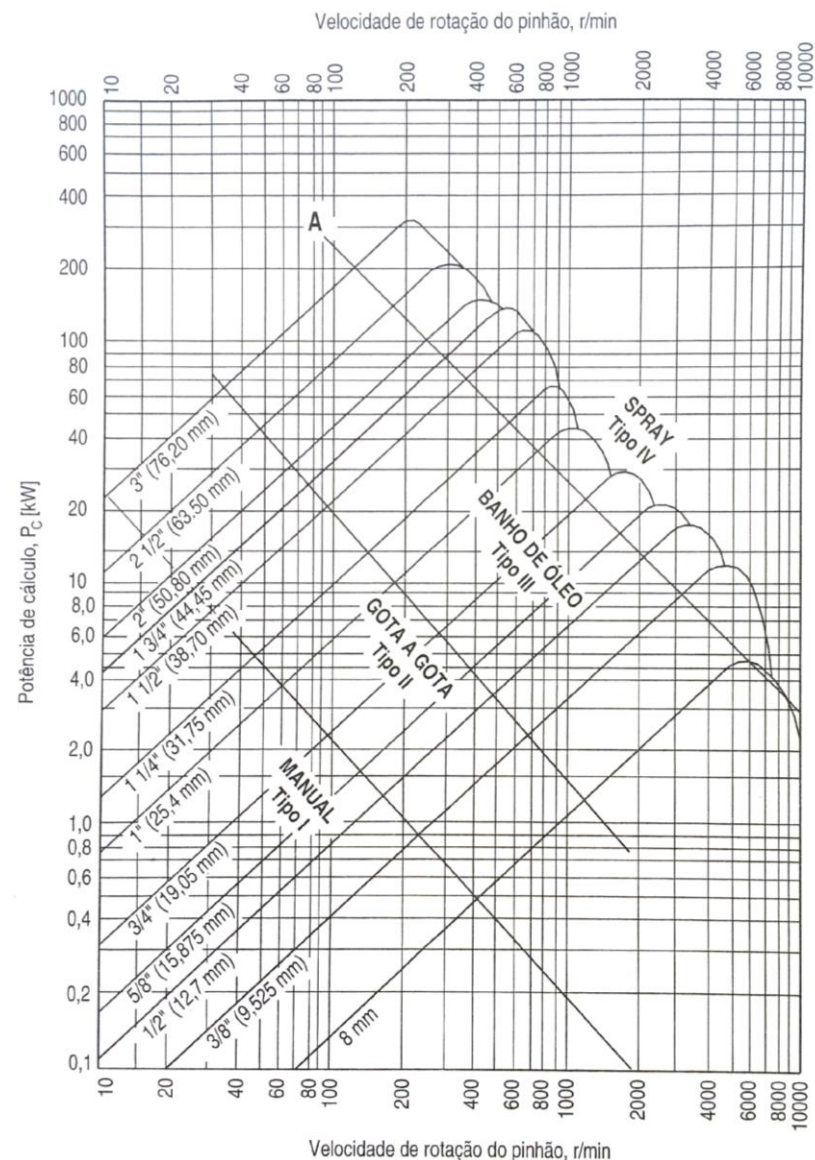
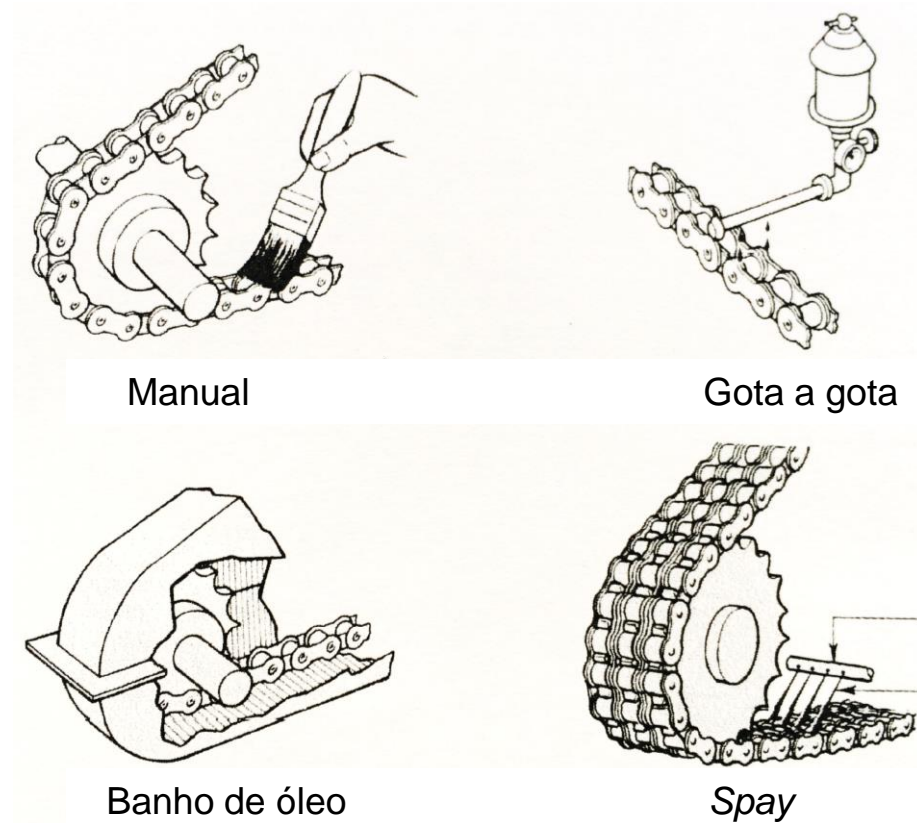
Temperatura ambiente [°C]	Classificação SAE
-5 a 25	SAE 30
25 a 45	SAE 40
45 a 56	SAE 50

O **tipo de lubrificação** a adotar depende da **potência** a transmitir e da **velocidade** linear da corrente, tal como se evidencia na seguinte tabela

Modo de lubrif.	I. Manual	II. Gota a gota	III. Banho de óleo	IV. Reservatório e bomba de óleo
<b>Potências</b>	Baixas	Até 37 kW	Até 37 kW	Quaisquer condições
<b>Velocidades</b>	Baixas	Até 6 m/s	Até 10 m/s	(potências superiores a 37 kW)

## Lubrificação

O modo de lubrificação das correntes pode ser escolhido a partir dos diagramas de potência e de velocidade, tal como o que se ilustra na figura 17.



**Fig. 17** Modos de lubrificação de correntes: (a) Manual; (b) Gota a gota; (c) Banho de óleo; (d) Spray

## Manutenção e Montagem

A **manutenção** de uma transmissão por corrente consiste simplesmente em **garantir que**

- As **condições de montagem** não sejam modificadas
- A **lubrificação** seja suficiente.

A **montagem** correta de uma transmissão por correntes é relativamente simples. No entanto, importa observar os seguintes aspetos

- Os veios do pinhão e da roda devem ser paralelos e preferencialmente horizontais
- O pinhão e a roda não devem ter excentricidade para evitar vibrações
- O alinhamento da roda e do pinhão deve ser medido com uma régua
- A corrente deve ser colocada em funcionamento sem pré-tensão
- A flecha nunca deve exceder 2% do entre-eixo
- Em caso de disposição vertical, deve assegurar-se que a corrente é suficientemente tendida de forma a engrenar corretamente nos dentes do pinhão.

## Manutenção e Montagem

A figura 18 ilustra o modo de **alinhamento do pinhão e da roda** com auxílio de uma régua e de um nível.

A figura 19 mostra a regulação para efetuar **o ajustamento da transmissão** de forma a garantir uma montagem correta e a permitir a compensação do desgaste.

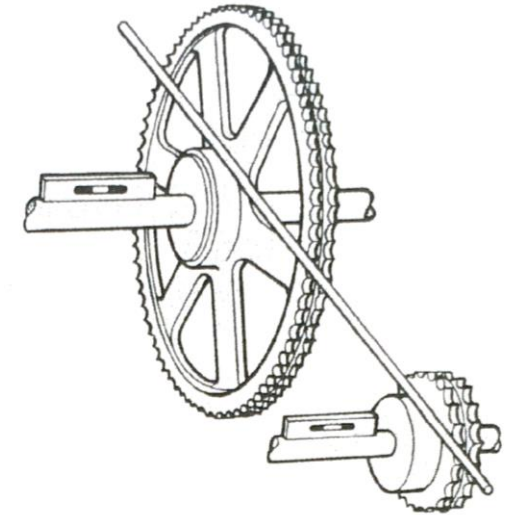


Fig. 18 Alinhamento do pinhão e da roda

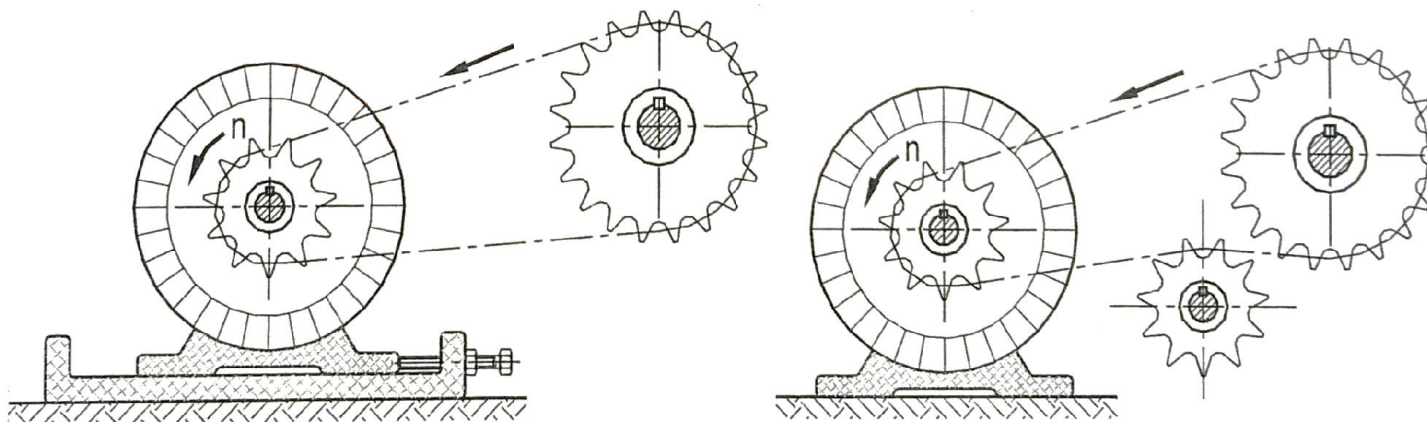
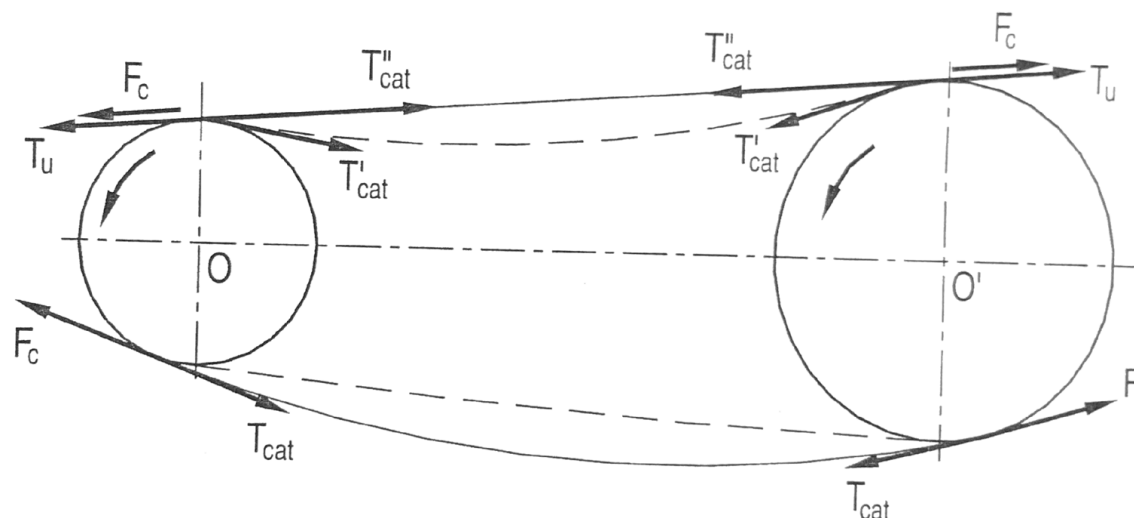


Fig. 19 Ajustamento de correntes: Deslocamento do entre-eixo e aplicação de uma tensão

## Tipos de Solicitações

Nas correntes devem ser consideradas as **forças centrífugas** e as **forças de catenária** (devido ao peso próprio). Tal como as correias dentadas, as correntes não necessitam de pré-tensão. Na figura 20 estão representadas as diversas forças que atuam num engrenamento por corrente.



**Fig. 20** Forças que atuam nos ramos de uma corrente

Com a transmissão em movimento, a corrente está sujeita às seguintes forças no **ramo tenso**: (i) a força útil devido à **transmissão de potência** ( $T_u$ ), e (ii) a força resultante da **aceleração centrífuga** dos elos engrenados ( $F_c$ ).

Com a transmissão em movimento, a corrente está sujeita às seguintes forças no **ramo bambo**: (i) a força **centrífuga** ( $F_c$ ), e (ii) a força devido ao **peso próprio** ( $F_{cat}$ ) da parte livre da corrente devido ao efeito de catenária.

## Tipos de Solicitações

Com a **transmissão parada**, as rodas motora e movida podem mover-se em qualquer sentido. Assim, as duas porções livres da corrente tomam uma forma encurvada devido ao efeito de catenária e ficam sujeitas a esforços representados, na figura, 20 por  $T_{cat}$  e  $T'_{cat}$  que se equilibram mutuamente.

Pondo a **transmissão em movimento**, o pinhão motor criará na corrente uma tensão  $T_u$ , sob a ação desta força, a corrente será posta sob tensão e a roda movida reagirá com uma força de frenagem oposta a  $T_u$ .

Logo que a **corrente atinga a sua posição de equilíbrio**, o ramo tenso, devido à ação de catenária, será submetido a uma força  $T''_{cat}$  nas extremidades do ramo tenso no pinhão e na roda. Esta força  $T''_{cat}$  é diretamente oposta à força  $T_u$  e à força  $F_c$ , pelo que qualquer ponto do ramo tenso estará apenas sujeito ao efeito de catenária que equilibra as outras duas forças diretamente opostas.

Pode, então dizer-se que o meio de transmissão de potência através do **ramo tenso** entre a roda motora e a roda movida é a força de catenária  $T''_{cat}$  vindo então que

$$T''_{cat} = T_u + F_c$$

Contrariamente, sobre o **ramo bambo**, o esforço  $F_c$  equilibra parcialmente o esforço  $T_{cat}$ , sendo a diferença equilibrada pela reação do último dente engrenado sobre as rodas. Portanto, os esforços no ramo tenso  $T_1$  e no ramo bambo  $T_2$  são dados por

$$T_1 = T_u + F_c$$

$$T_2 = F_c + T_{cat}$$

## Força Útil, Força Centrífuga e Força de Catenária

A **força útil** ( $T_u$ ) é a única força responsável pela transmissão de potência e é dada por

$$T_u = \frac{P}{v_m}$$

A **força centrífuga** é expressa do seguinte modo

$$F_c = \frac{qv_m^2}{g} = \frac{qZ^2n^2p^2}{36000 \cdot 10^6}$$

$F_c$  – Força centrífuga [N]

$q$  – Peso por unidade de comprimento [kgf/m]

$Z$  – Número de dentes da roda considerada

$n$  – Velocidade de rotação da roda considerada [rpm]

$p$  – Passo da corrente [mm]

A **força de catenária** é calculada da seguinte forma

$$F_{cat} = \frac{qC^2}{8000f} + \frac{qf}{2000} \quad f = \sqrt{0,5C(L_r - L)}$$

$q$  – Peso por unidade de comprimento [kgf/m]

$C$  – Entre-eixo [mm]

$f$  – Flecha [mm]

$L_r$  e  $L$  – Comprimento real e teórico da corrente [mm]



## Avarias Típicas em Correntes

A figura 21 ilustra alguns [exemplos de avarias típicas](#) em sistemas de transmissão por correntes.



**Fig. 21** Exemplos de falhas e avarias em sistemas de transmissão por correntes.

## Bibliografia Recomendada

Apresentam-se em seguida as [principais fontes bibliográficas](#) utilizadas na preparação deste documento:

- Branco, C.M., Ferreira, J.M., da Costa, J.D., Ribeiro, A.S. (2009) *Projecto de Órgãos de Máquinas*. 2ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Catálogo de Correntes Refª REN8/ENG/17/98/5K/2 (1998) *Renold Power Transmission Limited*.
- Juvinall, R.C., Marshek, K.M. (2006) *Fundamentals of Machine Component Design*. John Wiley and Sons, New York.
- Niemann, G. (1971) *Elementos de Máquinas*. Volume II, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil .
- Norton, R.L. (2013) *Machine Design*. Pearson Education, New York .
- Shigley, J.E., Mischke, C.R. (1989) *Mechanical Engineering Design*. 5th Edition, McGraw-Hill, New York
- Spotts, M.F., Shoup, T.E. (1998) *Design of Machine Elements*. 7th Edition Prentice-Hall, New Jersey.