



AULA 6

# EC e ECRF: SARKIS MELCONIAN

Professor: Dr. Paulo Sergio Olivio Filho

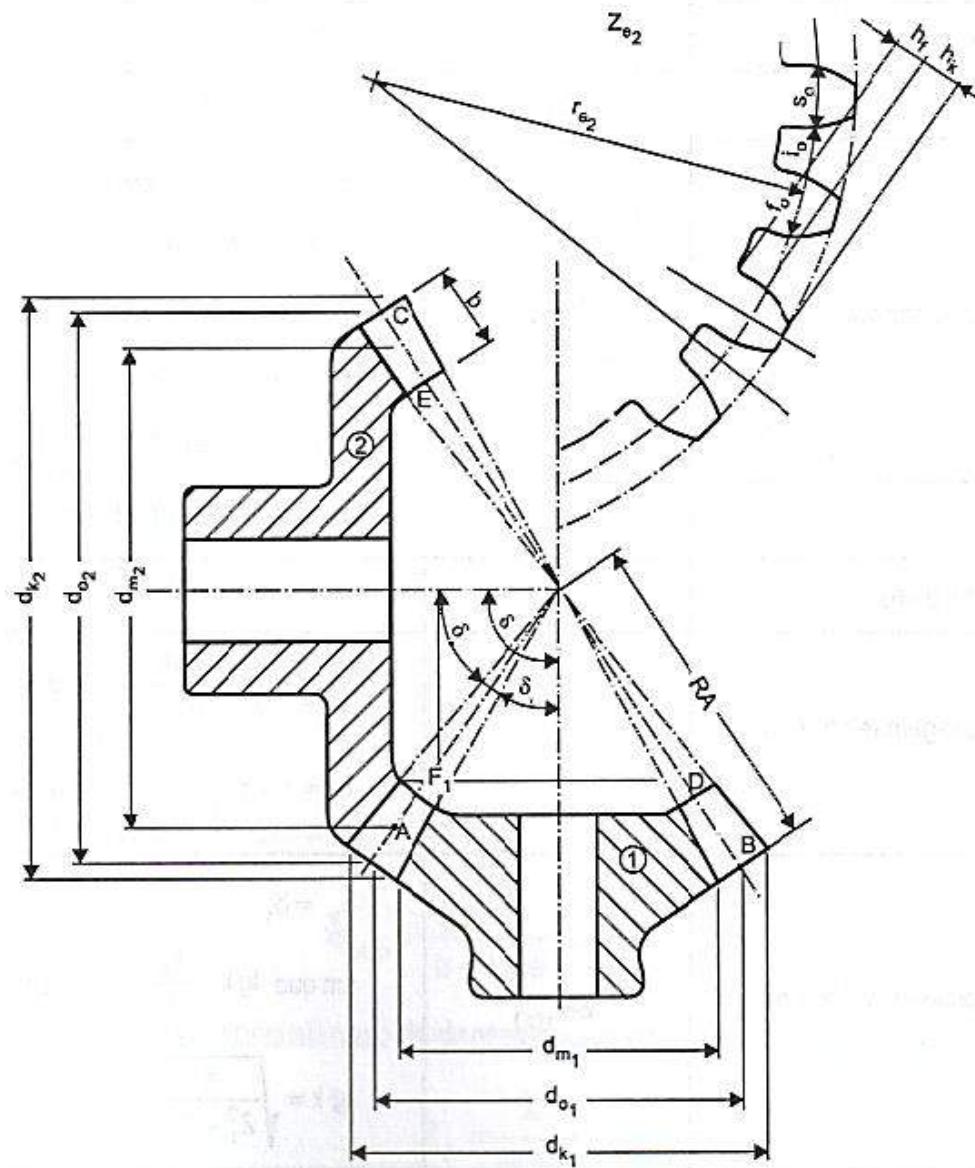
# CONTEÚDO DA AULA

## **DIMENSIONAMENTO BÁSICO DE ENGRENAGENS**

1. EC – Engrenagens Cônica
2. Dimensionamento pelo critério de desgaste e flexão do dente
3. ECSF – Engrenagens de Coroa e Sem Fim

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- As engrenagens cônicas de dentes retos possuem as seguintes características:
- São utilizadas em eixos reversos.
- A relação de transmissão máxima que deve ser utilizada é 1:6.



# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

## **Critério de Desgaste**

- Conicidade da engrenagem relativa ao primitivo - Para  $\delta=90^\circ$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\delta_1 = 90 - \delta_2$$

- Conicidade da engrenagem relativa ao primitivo

$$\tan \delta_2 = \frac{\sin \delta}{\cos \delta + Z_1/Z_2}$$

$$\delta_1 = 90 - \delta_2$$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

## **Critério de Desgaste**

- Torque no Pinhão

$$M_T = \frac{30000}{\pi} \frac{P}{n} [N \cdot mm]$$

- Relação de Transmissão

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

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

## **Critério de Desgaste**

- Fator de Durabilidade

$$W = \frac{60n_ph}{10^6}$$

- Cálculo de Pressão admissível

$$P_{adm} = \frac{0,487HB}{w^{1/6}}$$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Fator de Características elásticas ( $f$ )

Fator de características elásticas ( $f$ ), para ângulo de pressão  $\alpha = 20^\circ$

MATERIAL	E [Gpa]	FATOR ( $f$ )
Pinhão de aço	E = 210	1512
Coroa de aço	E = 210	
Pinhão de aço	E = 210	1234
Coroa de FoFo	E = 105	
Pinhão de FoFo	E = 105	1069
Coroa de FoFo	E = 105	

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

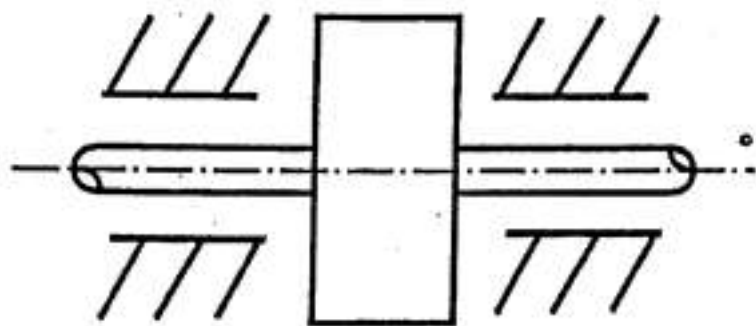
- Volume mínimo do Pinhão

$$b \cdot d_{m1}^2 = 0,2 \cdot f^2 \cdot \frac{M_T \cdot \cos \delta_1}{P_{adm}^2} \cdot \frac{i^2 + 1}{i^2}$$

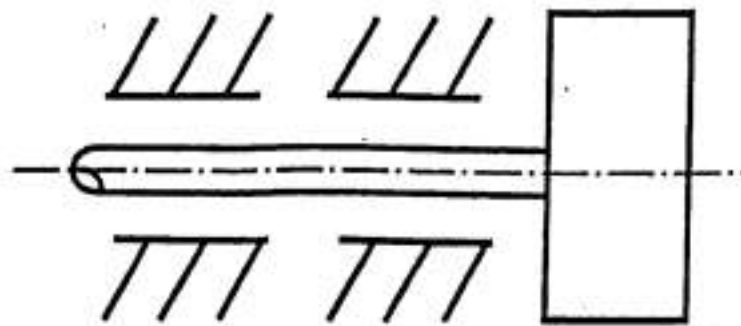
- Módulo de Engrenamento

$$b_1 d_{m1}^2 = x \quad e \quad \frac{b_1}{d_{m1}} = y$$

ENGRENAGEM BIAPOIADA  $b/d_0 \leq 1,2$



ENGRENAGEM EM BALANÇO  $b/d_0 \leq 0,75$





# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Módulo Médio

$$m_m = \frac{d_{m1}}{Z_1}$$

- Módulo do Engrenamento (Ferramenta)

$$m_n = \frac{m_m}{0,8}$$

- Recalculo Módulo Médio

$$m_{m(r)} = 0,8m_{no}$$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Normalizar o módulo do engrenamento.

Módulo (mm)	Incremento (mm)
0,3 a 1,0	0,10
1,0 a 4,0	0,25
4,0 a 7,0	0,50
7,0 a 16,0	1,00
16,0 a 24,0	2,00
24,0 a 45,0	3,00
45,0 a 75,0	5,00

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Recálculo do diâmetro médio

$$d_{m1(r)} = Z_1 m_{m(r)}$$

- Largura da Engrenagem

$$b_1 = \frac{x}{d_{m1(r)}^2}$$

## **Critério Resistência à Flexão no Pé do Dente**

Somente o dimensionamento ao critério de desgaste é insuficiente para projetar a engrenagem. É necessário que seja verificada a resistência à flexão no pé do dente. A engrenagem estará apta a suportar os esforços da transmissão quando a tensão atuante no pé do dente for menor ou igual à tensão admissível do material indicado.

- Força Tangencial

$$F_T = \frac{2M_T}{d_{m1}}[\text{N}]$$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Fator de forma (q)

Para encontrar o fator de forma, é utilizada a mesma tabela das ECDR, porém com o número de dentes equivalentes:

$$Z_e = \frac{Z_1}{\cos \delta_1}$$

- Fator de serviço (e)

Serviços leves e = 1,75;

Serviços normais e = 1,5;

Serviços pesados e = 1,25;

Engrenamento Externo								
nº de dentes	10	11	12	13	14	15	16	
fator q	5,2	4,9	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	
nº de dentes	17	18	21	24	28	34	40	
fator q	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	
nº de dentes	50	65	80	100				
fator q	2,8	2,7	2,6	2,5				
Engrenamento Interno								
nº de dentes	20	24	30	38	50	70	100	200
fator q	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

- Tensão máxima atuante no pé do dente

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_T \cdot q}{b \cdot m_m \cdot e} \leq \sigma_{mat}$$

MATERIAL	MP <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
FoFo cinzento .....	40
FoFo nodular .....	80
Aço fundido .....	90
SAE 1010/1020 .....	90
SAE 1040/1050 .....	120
SAE 4320/4340 .....	170
SAE 8620/8640 .....	200
Mat. Sintético - Resinas .....	35

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

Denominação	Símbolo	Fórmula
Número de dentes	$Z_1$	$Z_1 = d_{o_1} / m$
Módulo	$m$	$m = t_o / \pi$
Módulo médio	$m_m$	$m_m = \frac{d_m}{z} = \frac{R_a - b/2}{R_a} \cdot m \text{ ou}$ $m_m = 0,8m$
Passo	$t_o$	$t_o = m \cdot \pi$
Espessura no primitivo	$S_o$	$S_o = t_o / 2$ com folga de flanco nula
Vão entre os dentes no primitivo	$\ell_o$	$\ell_o = t_o / 2$ com folga de flanco nula
Diâmetro primitivo	$d_{o_1}$	$d_{o_1} = m \cdot Z_1$
Diâmetro primitivo médio	$d_{m_1}$	$d_{m_1} = d_{o_1} = b \cdot \sen \delta_1$ e $d_{m_2} = d_{m_1} \cdot i$
Altura comum do dente	$h$	$h = 2 \cdot m$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

Denominação	Símbolo	Fórmula
Altura da cabeça do dente	$h_k$	$h_k = m$
Altura do pé do dente	$h_f$	$h_f = 1,1 \text{ a } 1,3 \cdot m$
Altura total do dente	$h_z$	$h_z = 2,1 \text{ a } 2,3 \cdot m$
Folga na cabeça	$S_k$	$S_k = 0,1 \text{ a } 0,3 \cdot m$
Diâmetro externo ou de cabeça	$d_{k_{1(2)}}$	$d_{k_1} = d_{o_1} + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_1$ $d_{k_1} = m \cdot (Z_1 + 2 \cos \delta_1)$ $d_{k_2} = d_{o_2} + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_2$ $d_{k_2} = m \cdot (Z_2 + 2 \cos \delta_2)$ para $\delta = 90^\circ$ ; $\cos \delta_2 = \sin \delta$



# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

Denominação	Símbolo	Fórmula
Ângulo de pressão	$\alpha_o$	$\alpha_o = 20^\circ$ norma DIN 867
Abertura angular entre eixos	$\delta$	$\delta = \delta_1 + \delta_2$
Conicidade de engrenagem relativa no primitivo	$\delta_{1(2)}$	$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\operatorname{sen} \delta}{\cos \delta + Z_1/Z_2} \text{ para } \delta = 90^\circ,$ $\delta_1 = \delta - \delta_2 \qquad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = i$
Conicidade de engrenagem relativa no diâmetro externo	$\delta K_{1(2)}$	$\delta_{k_1} = \delta_1 + k$ $\text{em que } \operatorname{tg} k = \frac{h_k}{R_s} = \frac{m}{R_s} \text{ para } \delta = 90^\circ$ $\operatorname{tg} k = \sqrt{\frac{4}{Z_1^2 + Z_2^2}}$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

Denominação	Símbolo	Fórmula
Geratriz relativa no diâmetro primitivo	$R_a$	$R_a = \frac{d_{o_1}}{2 \cdot \sin \delta_1}$ <p>para <math>\delta = 90^\circ</math></p> $R_a = m \cdot \sqrt{\frac{Z_1^2 + Z_2^2}{4}}$ $R_a = d_{o_1} \cdot \sqrt{\frac{1 + i^2}{4}}$
Geratriz relativa no diâmetro primitivo médio	$R_m$	$R_m = d_{m_1} \sqrt{\frac{1 + i^2}{4}} \text{ para } \alpha = 90^\circ$
Largura do dente	$b$	$b \leq \frac{1}{3} R_a \leq 8 \cdot m$

# ENGRENAGENS CÔNICAS DE DENTES RETOS

Denominação	Símbolo	Fórmula
Número de dentes equivalente	$Z_{e_{1(2)}}$	$Z_{e_1} = \frac{Z_1}{\cos \delta_1} \quad \text{e} \quad Z_{e_2} = \frac{Z_2}{\cos \delta_2}$ <p>para <math>\delta = 90^\circ</math>, <math>Z_{e_2} = Z_{e_1} \cdot i^2</math></p>
Raio primitivo da engrenagem equivalente	$r_{e_{1(2)}}$	$r_{e_1} = \frac{d_{o_1}}{2 \cos \delta_1}$
Relação de multiplicação	$i$	$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_{o_2}}{d_{o_1}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1}$ <p>para <math>\delta = 90^\circ</math>  <math>i = \lg \delta_2</math></p>

# EXEMPLO 1

Dimensionar o par de engrenagens cônicas 1 e 2 da transmissão representada na figura abaixo. O acionamento da transmissão será por meio de motor elétrico, trifásico, assíncrono CA, com potência  $P=18,5kW$  e rotação  $n=880rpm$ .

O material das engrenagens é o SAE 8640, a dureza prevista é 58 HRC, *defasagem entre os eixos  $90^\circ$  e a vida útil do par especificada em  $\rightarrow 10.000 h$* . Características de serviço: *serviço normal “e”=1,5*

Considere:

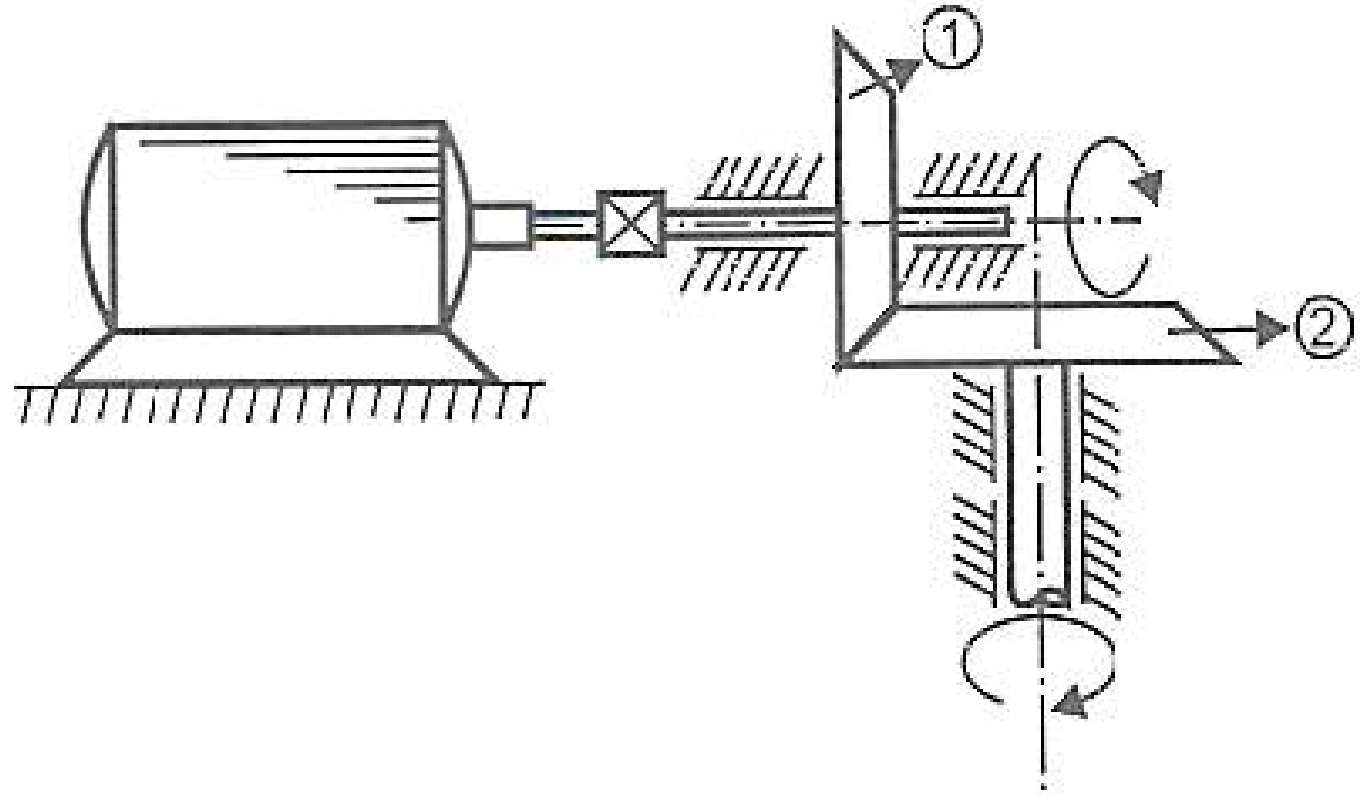
$Z_1 = 25$  dentes (pinhão);

$Z_2 = 75$  dentes (coroa);

$\alpha_{n_0} = 20^\circ$  (ângulo de pressão);

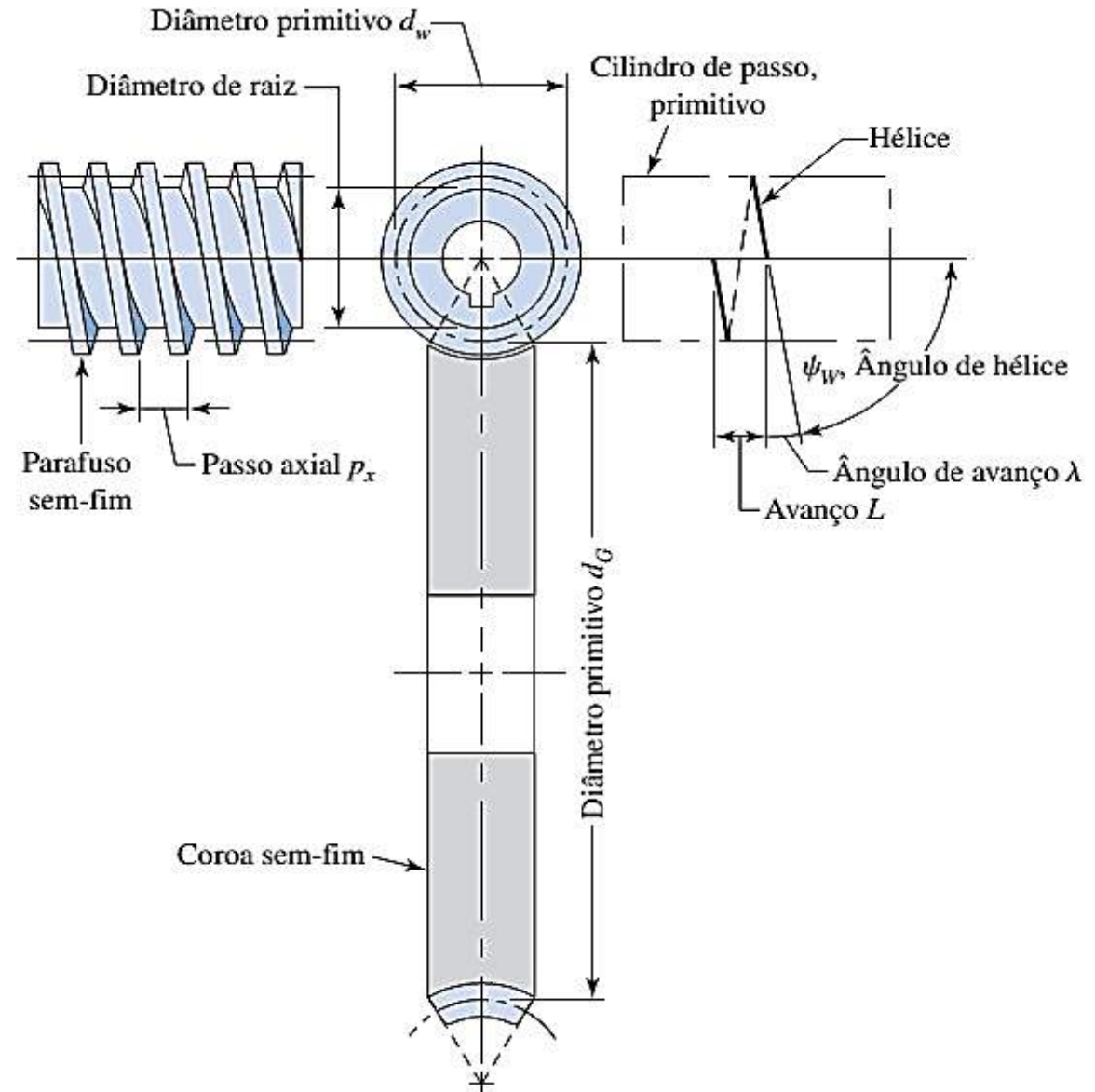
$\frac{b_1}{d_{m_1}} = 0,5$  (relação largura e diametro);

Desprezar as perdas na transmissão.



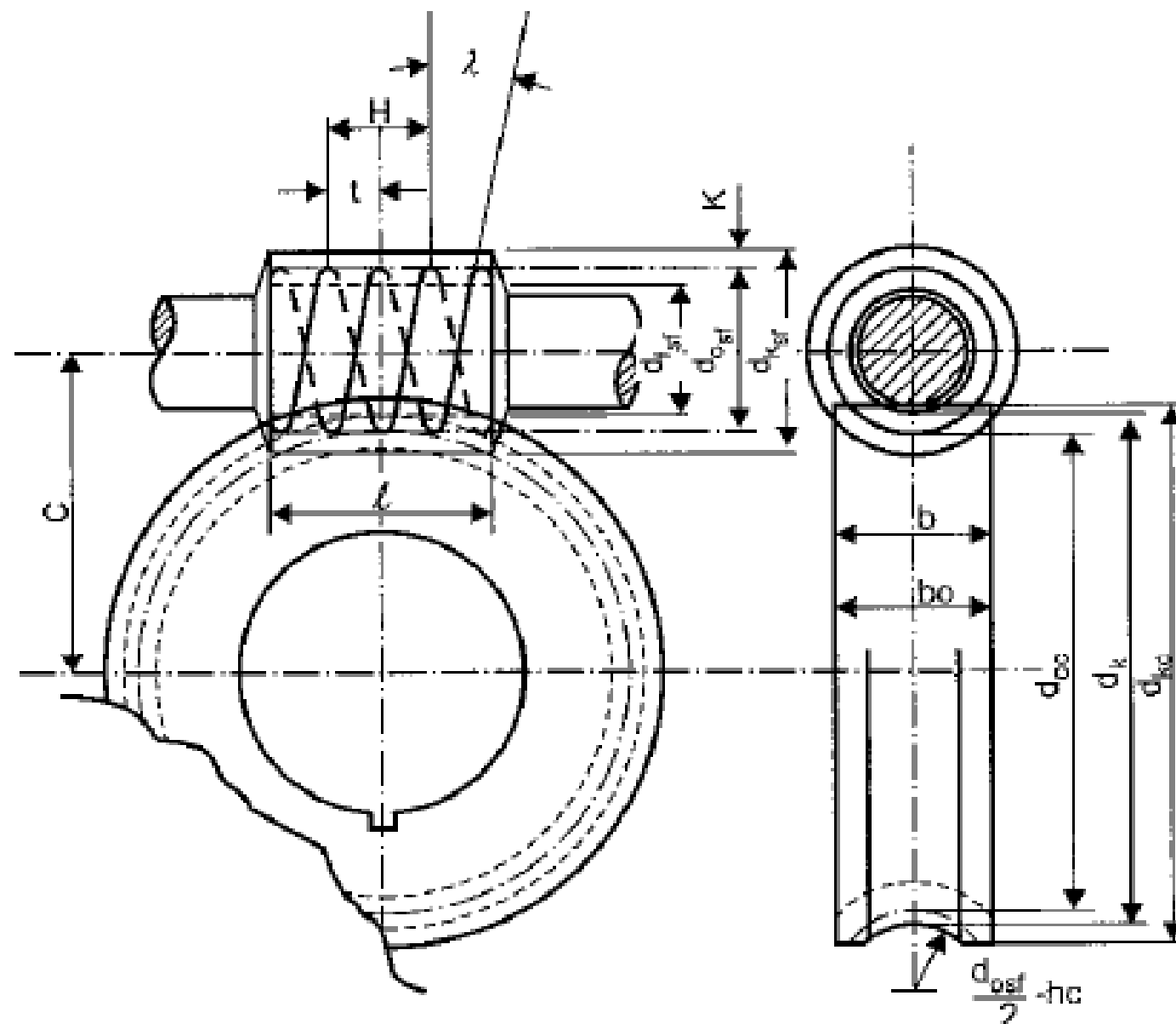
# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- a) O cruzamento dos eixos da coroa com o do sem fim é de  $90^\circ$  (na maioria dos casos).
- b) A relação de transmissão pode atingir em um único estágio até 1:100. Quanto menor a relação de transmissão, maior o número de entradas do sem fim.
- c) O rendimento diminui à medida que a relação de transmissão aumenta.
- d) São mais econômicas do que às engrenagens cilíndricas e cônicas.



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Denominação	Símbolo
Módulo	$m$
Passo do sem fim	$t$
Módulo normal	$m_n$
Passo normal	$t_n$
Ângulo da hélice	$\lambda$
Número de dentes da coroa	$Z_c$
Número de entradas do sem fim	$n_{esf}$
Avanço do sem fim	$H$
Diâmetro primitivo do sem fim	$d_{osf}$
Diâmetro primitivo da coroa	$d_{oc}$
Altura da cabeça do dente	$h_k$
Altura do pé do dente	$h_f$



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Os redutores de parafuso sem fim são constantemente utilizados em: guindastes, máquinas têxteis, pórticos, furadeiras radiais, plaina limadora, mesa de fresadoras, comando de leme de navios, pontes rolantes, elevadores, etc.

As grandezas máximas atingidas até hoje, são:

- Rotação do sem fim: 40000RPM;
- Velocidade periférica: 70m/s;
- Torque: 700000Nm;
- Força tangencial: 800kN;
- Potência: 1030kW.



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Reversibilidade

- Nas altas reduções, a rosca possui um único filete, que torna o mecanismo irreversível, isto é, sempre a rosca será a motora.
- Para que haja a reversão, é necessário que o ângulo seja igual ou maior que o ângulo de atrito dos filetes.

## Há três tipos de perfil de dentes:

- Cicloidal;
- Trapezoidal e;
- Envolverte.

PERFIL CICLOIDAL



PERFIL EVOLVENTE



PERFIL TRAPEZOIDAL





# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Materiais Utilizados

### Parafuso:

- Aços de baixo e médio Carbono (1010, 1020, 1045 e 1050) com têmpera e revenimento.

### Coroa:

- Utiliza-se bronze fundido em areia, em coquilhas e centrifugados.

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Pressão de Contato do Sem Fim

Material Parafuso Sem Fim	Velocidade de Deslizamento (m/s)				
	0,5	0,5 – 1,0	2,0 – 3,0	4,0	6,0
	Pressão Admissível $\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]				
ABNT 1020 Cementado	200	160 120	90	—	—
ABNT 1045 Temperado	180	150 110	70 220	180	120

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Pressão de Contato do Sem Fim

Material	Dureza do Parafuso Sem Fim	
	HRC < 45 $\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HRC $\geq$ 45 $\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Bronze Fundido em Areia SAE-65	130	150
Bronze Fundido em Coquilha SAE-65	190	210
Bronze Centrifugado DIN BZ 12	210	250

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Número de entradas do Sem Fim

A relação de transmissão pode ocorrer em uma faixa de:

- $10 \leq i \leq 100$

É recomendado utilizar as seguintes relações:

- $i \leq 30$  (utilizar 3 a 4 entradas)
- $i > 30$  (utilizar 1 a 2 entradas)



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Rendimentos

- Os rendimentos podem ser aproximados dependendo do número de entradas do sem fim:

Número de Entradas do Sem Fim	Rendimento Aproximado
1	0,7 – 0,75
2	0,75 – 0,82
3 a 4	0,82 – 0,92

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Dimensionamento

- O dimensionamento sempre é realizado na coroa, já que o sem fim sempre terá uma resistência maior, dada a solicitação menos contundente nos filetes da rosca.
- Torque no Parafuso sem fim

$$M_T = \frac{30000}{\pi} \frac{P}{n} [N.mm]$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Relação de Transmissão

$$i = \frac{n_{sf}}{n_c}$$

- Número de dentes da coroa

$$Z_o = n_{est} \cdot i$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Pressão máxima de contato ( $\sigma_{mc}$ )

- Número de ciclos de carga:

$$n_{ci} = 60h \cdot n_c \cdot n_{ev}$$

- Fator de Atuação de Carga K

$$k = \sqrt[8]{\frac{10^7}{n_{ci}}}$$

- Cálculo da Pressão de Contato

$$\sigma_{mc} = \sigma_c \cdot k$$



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Material	Dureza do Parafuso Sem Fim	
	HRC < 45 $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	HRC ≥ 45 $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Bronze Fundido em Areia SAE-65	130	150
Bronze Fundido em Coquilha SAE-65	190	210
Bronze Centrifugado DIN BZ 12	210	250

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Características do parafuso sem fim

- Ângulo de atrito “p”

$$tg(p) = \frac{tg\lambda}{\eta} - tg\lambda$$

- Número de módulos do diâmetro primitivo do sem fim ( $q^*$ )

$$q^* = \frac{n_{esf}}{tg\lambda}$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## Distância entre Centros

- Torque na coroa

$$M_{Tc} = M_{Tsf} \cdot i \cdot \eta$$

- Cálculo da Distância entre Centros

$$C = \left( \frac{Z_c}{q^*} + 1 \right) \cdot 2,17 \cdot \sqrt[3]{\left( \frac{54}{\frac{Z_c}{q^*} \cdot \sigma_{mc}} \right)^2 \cdot M_{Tc} \cdot k_c k_d}$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Fator de Concentração de Carga  $k_c$

- $k_c = 1$  para carga normal
- $k_c = 2$  para serviço pesado

Fator Dinâmico de Carga  $k_d$

- $k_d = 1$  a  $1,1$  para  $v_{coroa} < 3m/s$
- $k_d = 1,1$  a  $1,2$  para  $v_{coroa} \geq 3m/s$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Módulo do Engrenamento

$$r_{osf} + r_{oc} = C$$

$$\frac{mq^*}{2} + \frac{m \cdot Z_c}{2} = C$$

- Diâmetro primitivo da Coroa

$$d_{oc} = m \cdot Z_c$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Diâmetro primitivo do sem fim

$$d_{osf} = m \cdot q^*$$

- Recálculo do centro a centro

$$C_r = r_{osf} + r_{oc}$$

- Velocidade de deslizamento do sem fim

$$v_{desl} = \frac{\pi \cdot d_{osf} \cdot n_{sf}}{60000 \cdot \cos \lambda}$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Velocidade periférica da coroa

$$v_{pc} = \frac{\pi \cdot d_{oc} \cdot n_c}{60000}$$

- Comprimento do sem fim

$$l_{sf} = 2(1 + \sqrt{Z_c})m$$

- Comprimento mínimo do sem fim

$$l_m = 10 \cdot m$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

## **Critério Resistência à Flexão no Pé do Dente**

- Somente o dimensionamento ao critério de desgaste é insuficiente para projetar a engrenagem. É necessário que seja verificada a resistência à flexão no pé do dente. A engrenagem estará apta a suportar os esforços da transmissão quando a tensão atuante no pé do dente for menor ou igual à tensão admissível do material indicado.
- Força Tangencial

$$F_T = \frac{2M_{Tc}}{d_{oc}}[\text{N}]$$



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Fator de forma (q)

Para encontrar o fator de forma, é utilizada a mesma tabela das ECDR, porém com o número de dentes equivalentes:

$$Z_e = \frac{Z_c}{(\cos \lambda)^3}$$

- Fator de serviço (e)

Serviços leves e = 1,5;

Serviços normais e = 1;

Serviços pesados e = 0,8;

Engrenamento Externo								
nº de dentes	10	11	12	13	14	15	16	
fator q	5,2	4,9	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	
nº de dentes	17	18	21	24	28	34	40	
fator q	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	
nº de dentes	50	65	80	100				
fator q	2,8	2,7	2,6	2,5				
Engrenamento Interno								
nº de dentes	20	24	30	38	50	70	100	200
fator q	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

- Fator de correção de hélice  $\varphi_r$ .

Obtém-se por meio do ângulo de inclinação de hélice  $\beta_o$

$\varphi_r$	1,00	1,20	1,28	1,35	1,36
$\beta_o$	0°	5°	10°	15° a 25°	25° a 45°

- Largura útil da coroa

$$b_c = 2 \cdot m \cdot \sqrt{\frac{d_{osf} + 1}{m}}$$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

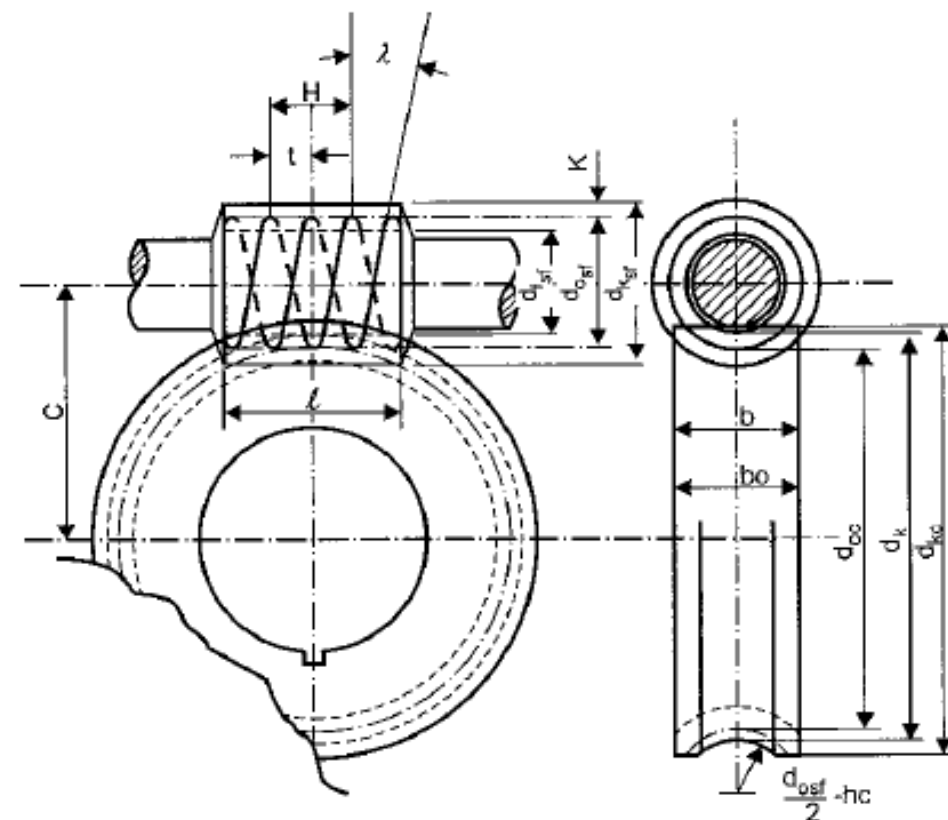
- Tensão máxima atuante no pé do dente

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_T \cdot q}{b \cdot m_n \cdot e \cdot \varphi_r} \leq \sigma_{mat}$$

Materiais	Tensão Admissível [N/mm <sup>2</sup> ]
Bronze fundido em areia SAE 65	30 a 40
Bronze fundido em coquilha SAE 65	40 a 60
Bronze centrifugado DIN BZ 124	45 a 65

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Denominação	Símbolo	Fórmula
Módulo	$m$	$m = t/\pi$
Passo do sem fim	$t$	$t = m\pi$
Módulo normal	$m_n$	$m_n = m \cdot \cos \lambda$
Passo normal	$t_n$	$t_n = m_n \cdot \pi$
Ângulo da hélice	$\lambda$	$\operatorname{tg} \lambda = \frac{m \cdot n_{\text{esf}}}{d_{\text{kst}}}$
Número de dentes da coroa	$Z_c$	$Z_c = \frac{d_{\text{oc}}}{m}$
Número de entradas do sem fim	$n_{\text{esf}}$	$n_{\text{esf}} = \frac{H}{t}$
Avanço do sem fim	$H$	$H = n_{\text{esf}} \cdot t$
Diâmetro primitivo do sem fim	$d_{\text{osf}}$	$d_{\text{osf}} = \frac{m_n \cdot n_{\text{esf}}}{\operatorname{sen} \lambda}$
Diâmetro primitivo da coroa	$d_{\text{oc}}$	$d_{\text{oc}} = m \cdot Z_c$
Altura da cabeça do dente	$h_k$	$\lambda < 15^\circ h_k = m$ $\lambda \geq 15^\circ h_k = m_n$
Altura do pé do dente	$h_f$	$\lambda < 15^\circ h_f = 1,2m$ $\lambda \geq 15^\circ h_f = 1,2m_n$



# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Denominação	Símbolo	Fórmula
Altura total do dente	$h$	$\lambda < 15^\circ h = 2,2m$ $\lambda \geq 15^\circ h = 2,2m_n$
Diâmetro externo do sem fim	$d_{\text{osf}}$	$d_{\text{osf}} = d_{\text{osf}} + 2hk$
Diâmetro interno ou diâmetro do pé do sem fim	$d_{\text{isf}}$	$d_{\text{isf}} = d_{\text{osf}} - 2hf$
Diâmetro externo da coroa (aprox.)	$d_{\text{ec}}$	$D_{\text{ec}} = d_{\text{ke}} + m$
Diâmetro da cabeça da coroa (externo)	$d_{\text{ke}}$	$d_{\text{ke}} = d_{\text{oc}} + 2hk$
Diâmetro interno da coroa	$d_{\text{ic}}$	$d_{\text{ic}} = d_{\text{oc}} - 2hf$
Largura útil da coroa	$b$	$b = 2m\sqrt{\frac{d_{\text{osf}}}{m} + 1}$

# ENGRENAGENS COROA E SEM FIM

Denominação	Símbolo	Fórmula
Largura da coroa	$b_o$	$b_o \cong b + m$
Comprimento do sem fim	$\ell$	$\ell = 2\left(1 + \sqrt{Z_c}\right)m$
Comprimento mín. do sem fim	$\ell_{\min}$	$\ell_{\min} \geq 10 \cdot m$
Relação de transmissão	$i$	$i = \frac{n_{sf}}{n_c}$
Distância entre centro	$C$	$C = \frac{d_{osf} + d_{oc}}{2}$

# EXEMPLO 2

Dimensionar uma transmissão coroa/parafuso sem fim com as seguintes características. O parafuso será acionado por um motor elétrico com potência  $N = 22\text{kW}$  e rotação  $n = 1140\text{ rpm}$ . A rotação do eixo de saída será  $60\text{ rpm}$ ;

- Características do parafuso:
  - Material ABNT 1045;
  - Número de entradas  $z_{sf} = 3$ ;
  - Dureza superficial: 50 HRC;
  - Ângulo de inclinação da hélice  $17^\circ$ .
- Característica da coroa:
  - Material bronze SAE65 fundido em coquilha.
- Característica da transmissão:
  - Duração 10000h; Serviço Normal;
  - Rendimento da transmissão 0,92;
  - Eixos cruzados a  $90^\circ$ , 1 engrenamento por volta.

