

PMR 3103

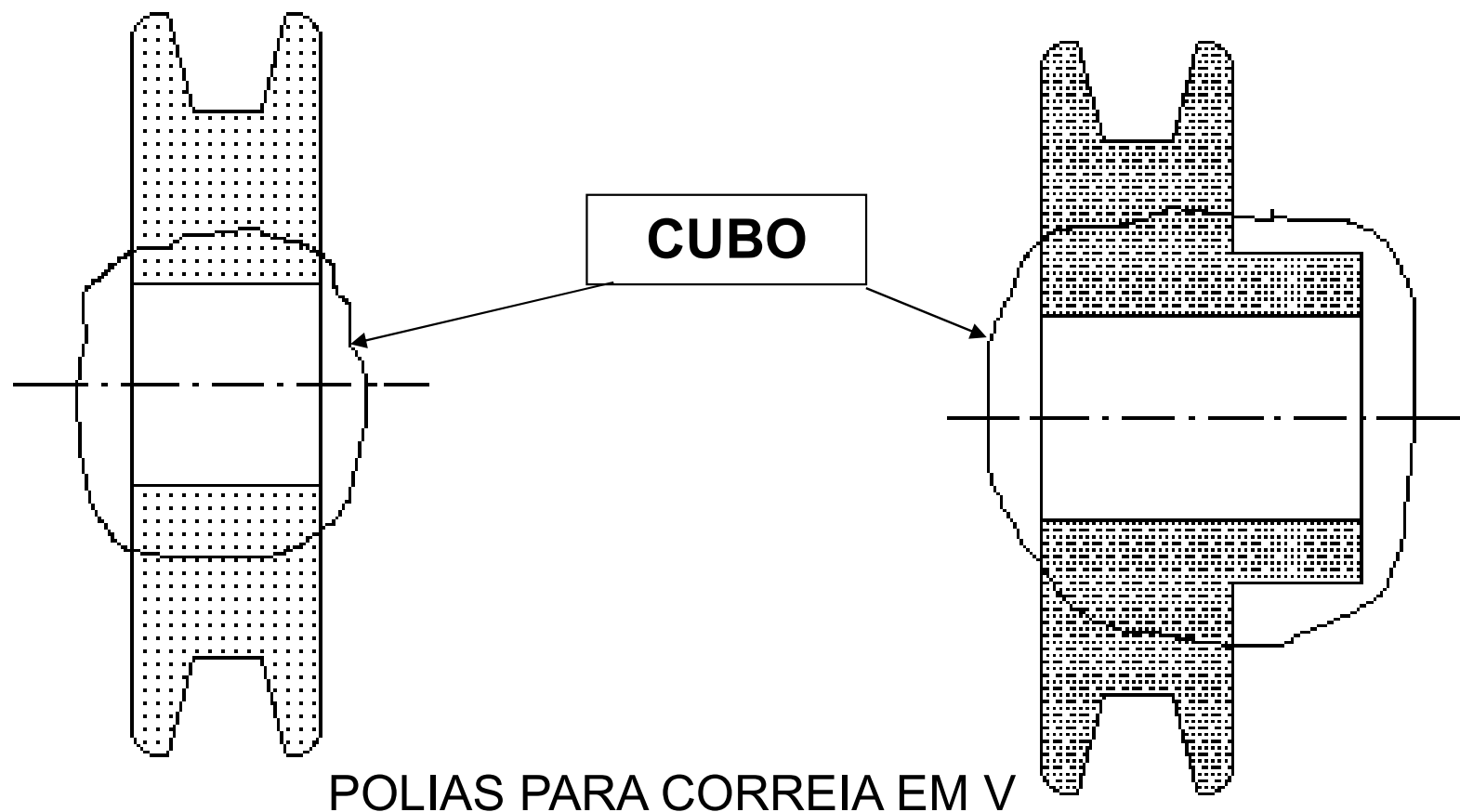
FIXAÇÃO CUBO-EIXO

Fixações Cubo-Eixo

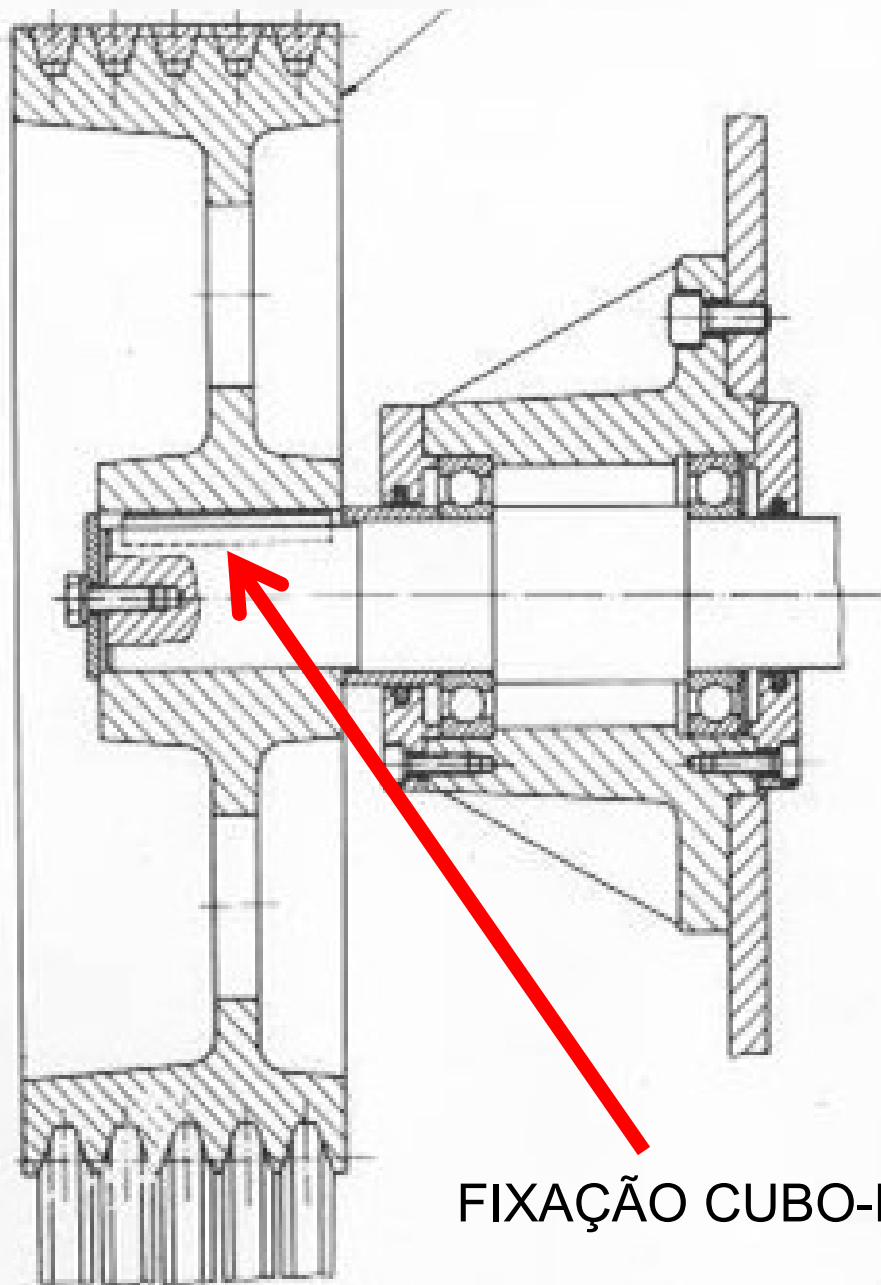
- **1. OBJETIVOS**

Uma fixação cubo-eixo tem como objetivo promover a vinculação entre peça qualquer e um eixo, geralmente para transmissão de potência (conjugado e rotação). Normalmente, esta vinculação não permite qualquer tipo de movimento relativo mas, em alguns casos, pode ocorrer translação entre as partes.

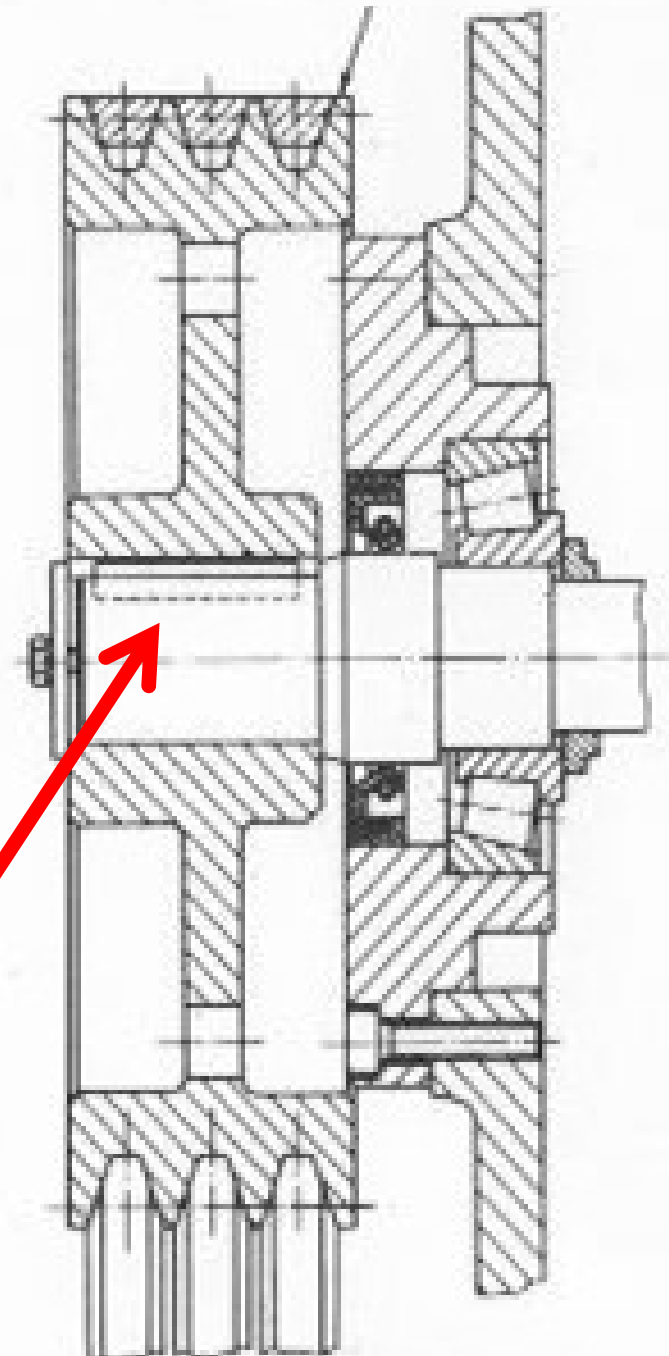
- **CUBO** – Define-se como CUBO, a região da peça cujo projeto tem como parâmetro fundamental sua fixação a um eixo. O cubo pode ou não destacar-se da geometria básica da peça, como mostra a figura abaixo:



Desenho de montagem do eixo intermediário, com polia conduzida, de uma transmissão ao tambor de um gancho de construção.

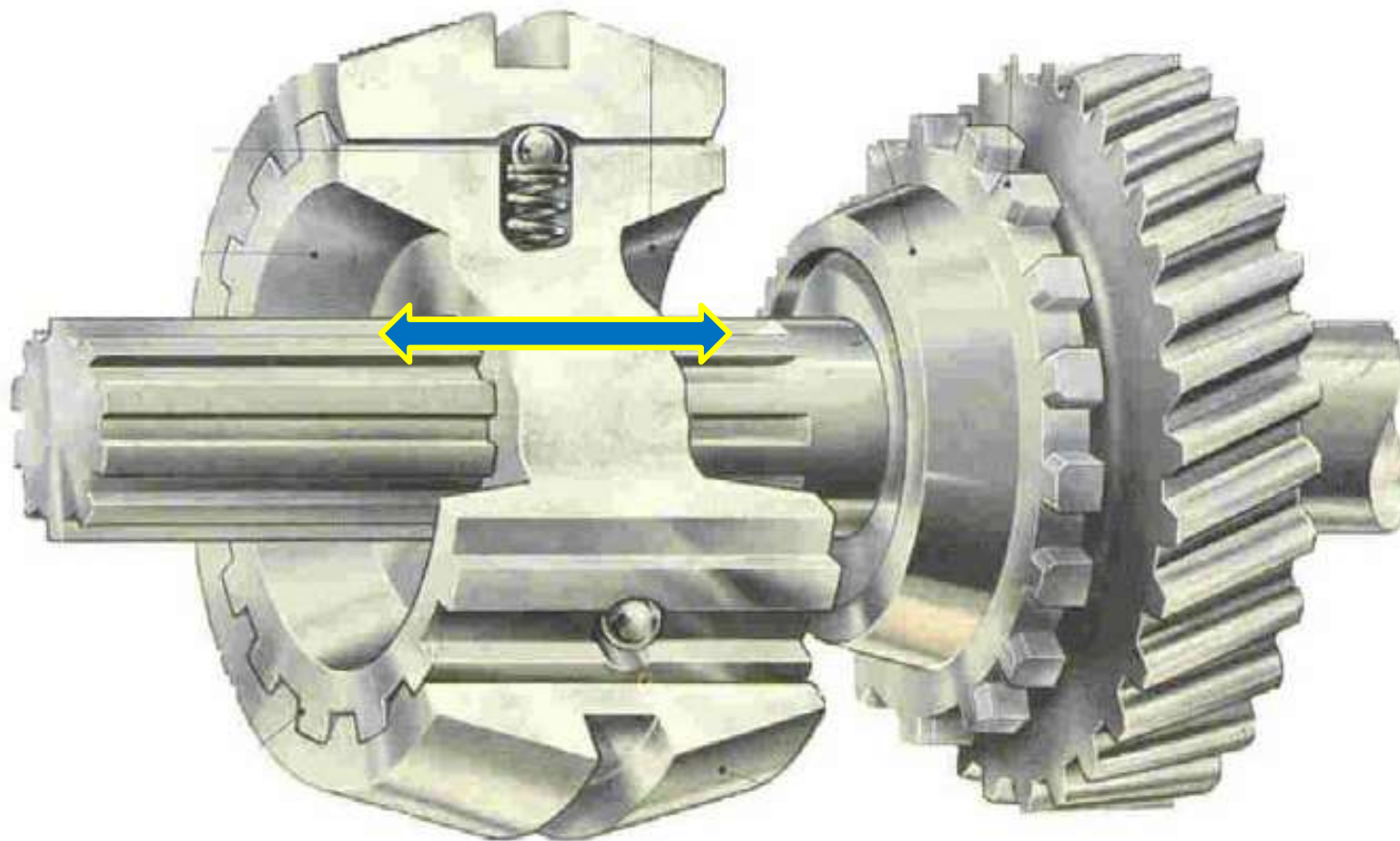


Desenho de montagem parcial do eixo de entrada de transmissão de um torno paralelo. A polia é completamente trabalhada para não dar lugar a desequilíbrio dinâmico.



FIXAÇÃO CUBO-EIXO

Normalmente, a fixação cubo-eixo não permite qualquer tipo de movimento relativo mas, em alguns casos, pode ocorrer translação entre as partes.



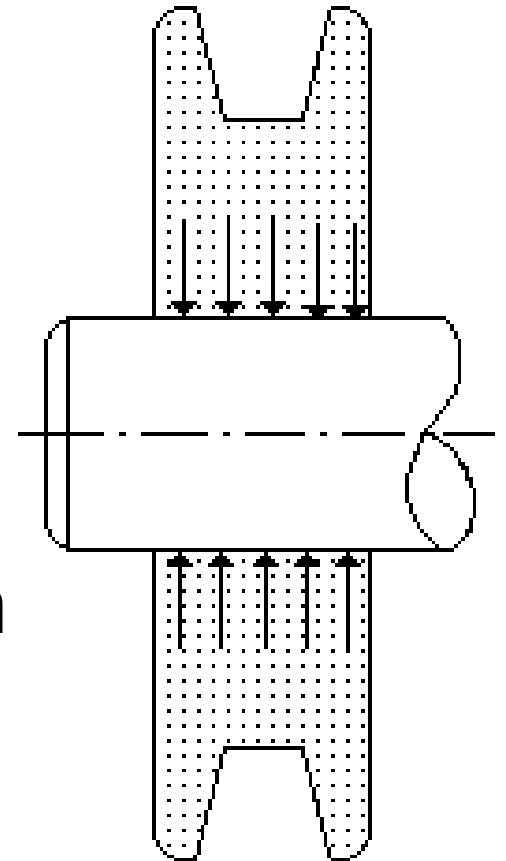
2. FIXAÇÃO CUBO-EIXO POR ATRITO

2.1 Interferência – Ajuste Forçado

Exemplo: H/p (P/h) , H/r (R/h)

CARACTERÍSTICAS:

- Limite Elástico dos Materiais
- Conjugados Leves a Moderados
- Pode causar danos na desmontagem
- Sem ajuste axial
- Não necessita de usinagem do eixo
- Sem concentradores de tensão
- Sem enfraquecimento eixo/cubo
- Baixo custo



Pressão na Interface da Montagem por Interferência (p)

Cubo e Eixo do mesmo material

$$p = \frac{E \delta_r}{R} \left[\frac{(r_o^2 - R^2)(R^2 - r_i^2)}{2R^2(r_o^2 - r_i^2)} \right]$$

Eixo é sólido

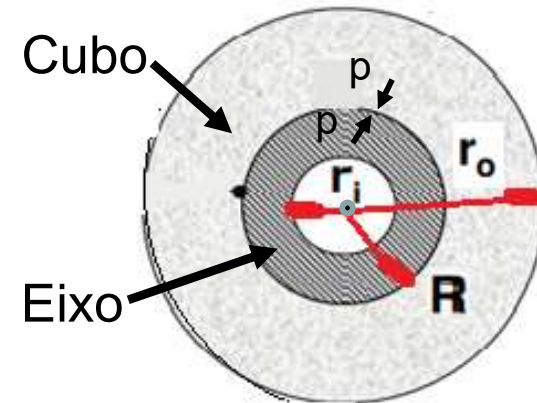
$$p = \frac{E \delta_r}{2R} \left[1 - \frac{R^2}{r_o^2} \right]$$

Cubo e Eixo de Materiais Diferentes

$$p = \frac{\delta_r}{\frac{R}{E_o} \left(\frac{r_o^2 + R^2}{r_o^2 - R^2} + \nu_o \right) + \frac{R}{E_i} \left(\frac{R^2 + r_i^2}{R^2 - r_i^2} - \nu_i \right)}$$

Tensão circunferencial no cubo

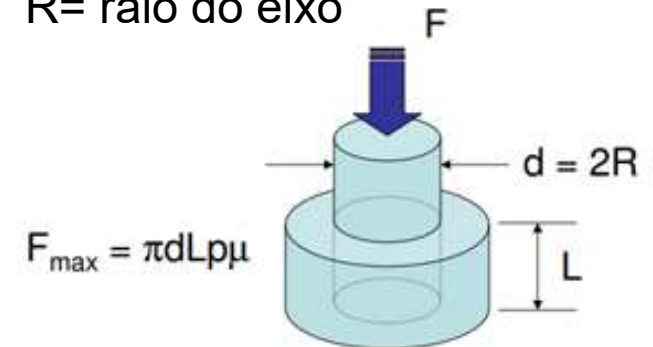
$$\sigma_{\theta_o} = p \frac{r_o^2 + R^2}{r_o^2 - R^2}$$



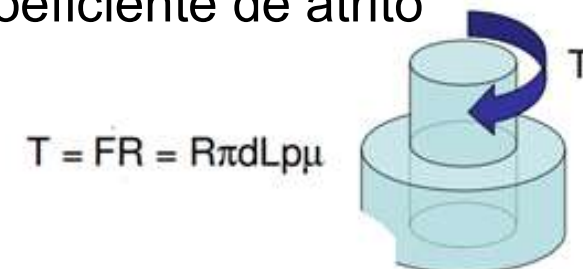
δ_r = interferência do ajuste
 E = módulo de elasticidade do material (E_o -cubo, E_i -eixo)
 r_i = raio do furo do eixo
 r_o = raio do cubo
 R = raio do eixo

Força necessária para montar a união por interferência (p = pressão na interface)

Torque capaz de ser transmitido pela união por interferência



μ = coeficiente de atrito

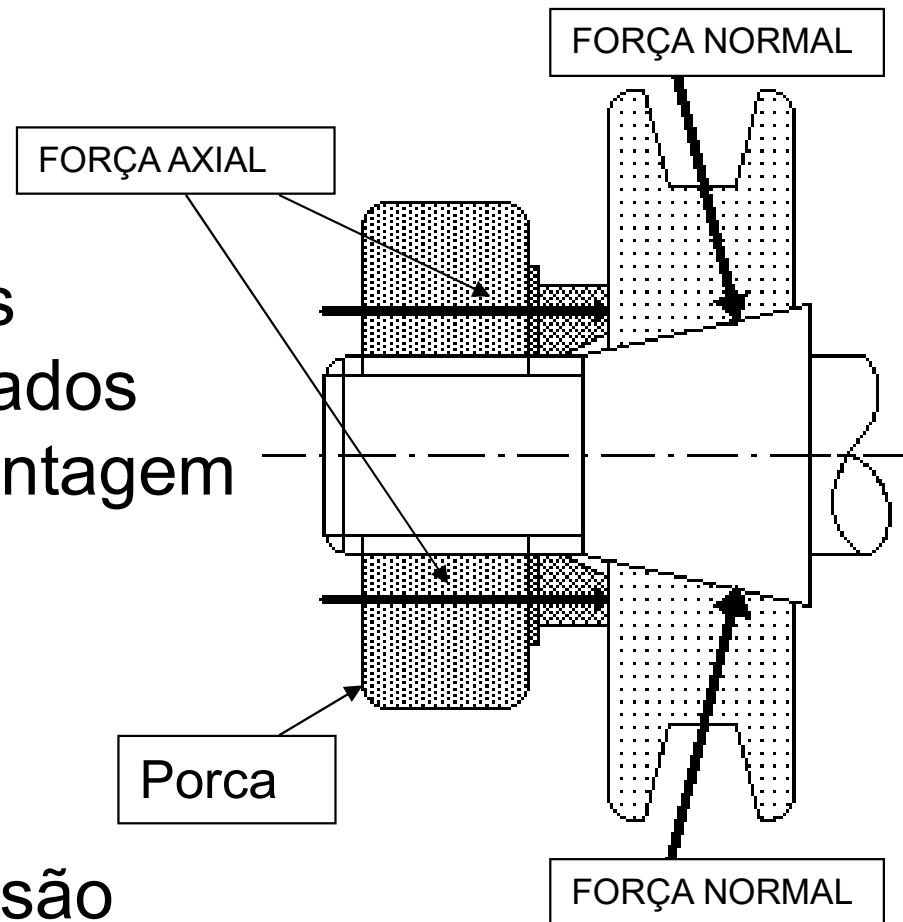


2. FIXAÇÃO CUBO-EIXO POR ATRITO

2.2 Assento Cônico

CARACTERÍSTICAS:

- Limite Elástico dos Materiais
- Conjugados Leves a Moderados
- Não causa danos na desmontagem
- Sem ajuste axial
- Ajuste angular eixo-cubo
- Necessita de usinagem do eixo e do cubo
- Gera concentradores de tensão
- Sem enfraquecimento eixo/cubo
- Alto custo



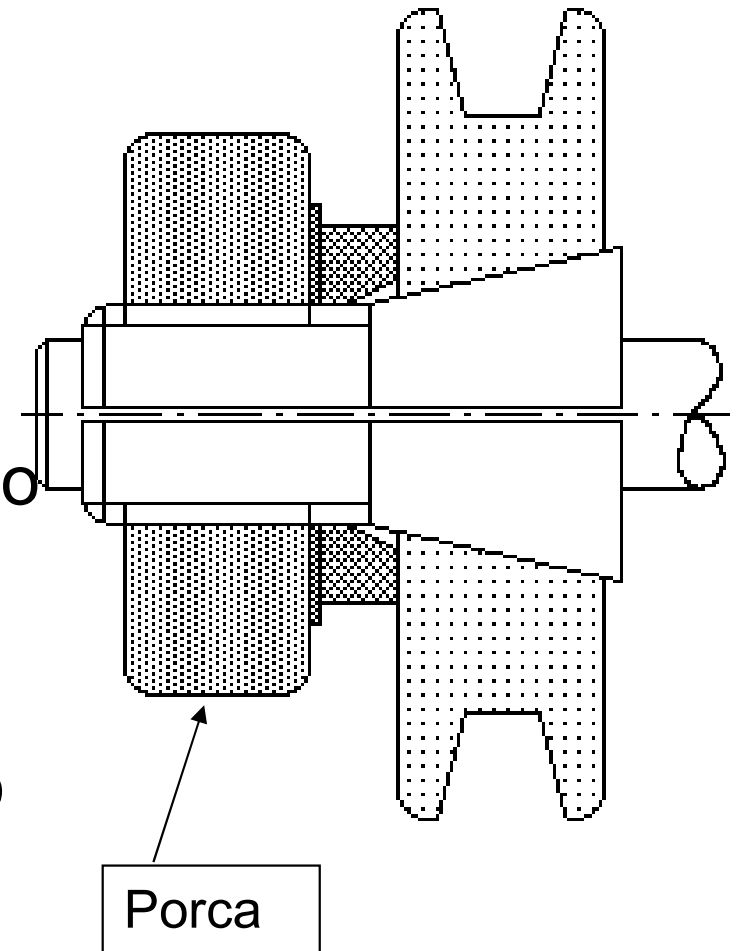
2. FIXAÇÃO CUBO-EIXO POR ATRITO

2.3 Bucha Cônica

Funcionamento similar ao de assento cônico

CARACTERÍSTICAS:

- Limite Elástico dos Materiais
- Conjugados Leves a Moderados
- Não causa danos na desmontagem
- Com ajuste axial e angular eixo-cubo
- Não necessita de usinagem do eixo
- Necessita de usinagem do cubo
- Não gera concentradores de tensão
- Sem enfraquecimento eixo/cubo
- Alto custo



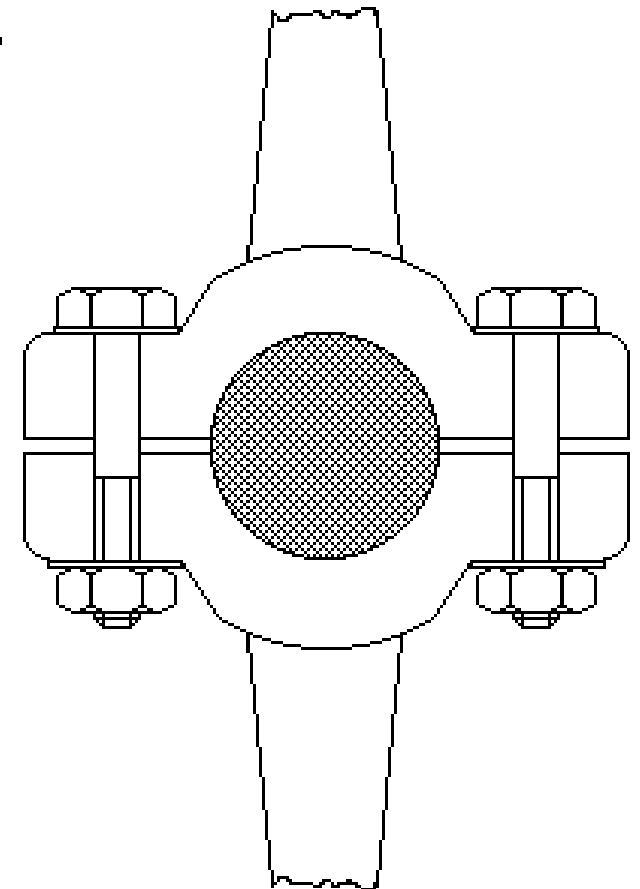
2. FIXAÇÃO CUBO-EIXO POR ATRITO

2.4 Cubo Bipartido

Funcionamento similar à fixação por Interferência (2.1), porém as tensões normais entre o cubo e o eixo podem ser ajustadas pelo aperto dos parafusos.

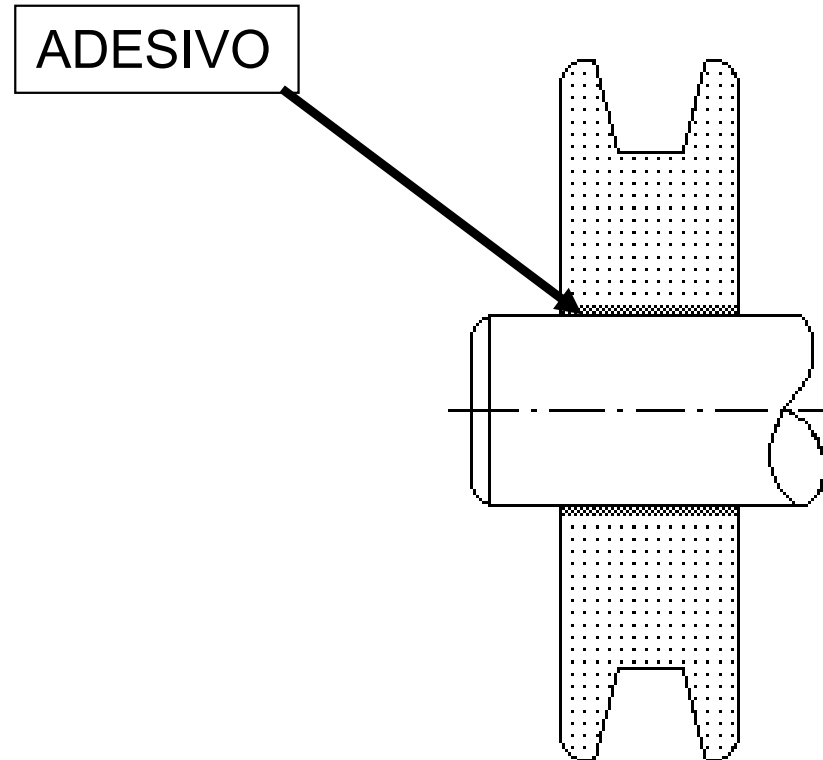
CARACTERÍSTICAS:

- Limite Elástico dos Materiais
- Conjugados Leves a Moderados
- Não causa danos na desmontagem
- Com ajuste axial e angular entre o cubo e o eixo
- Não necessita de usinagem do eixo
- Sem concentradores de tensão
- Sem enfraquecimento eixo/cubo
- Cuidados na usinagem do cubo: balanceamento
- Alto custo



3. FIXAÇÃO CUBO-EIXO POR ADESÃO

3.1 - Dimensionamento da União

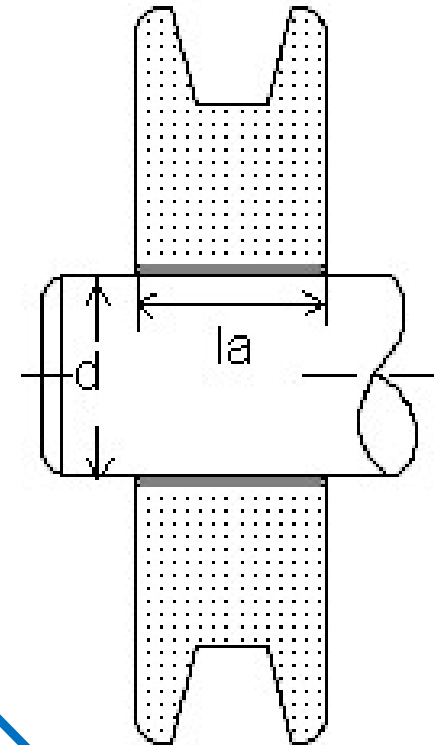


HIPÓTESE PARA CÁLCULO :

RUPTURA POR CISALHAMENTO DO ADESIVO

Dados para Cálculo da União Colada:

- Conjugado no eixo: M_t
- Diâmetro do eixo: d
- Tensão admissível ao cisalhamento do adesivo : t_a



Incógnita: Comprimento axial da união (l_a)

Área da união: $S_a = l_a \times \pi \times d$

Força de Cisalhamento na União: $F_t = 2.M_t / d$

Assumindo que a distribuição de tensões de cisalhamento no adesivo é uniforme:

Tensão de Cisalhamento: $t = F_t / S_a$

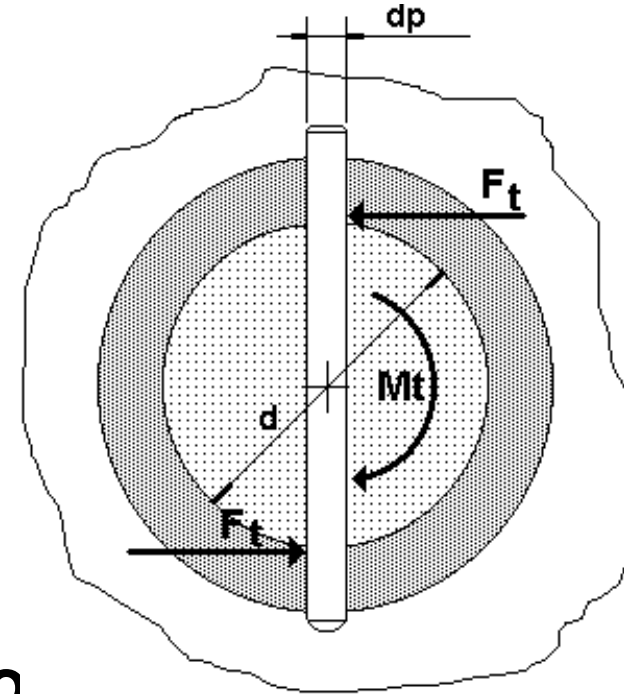
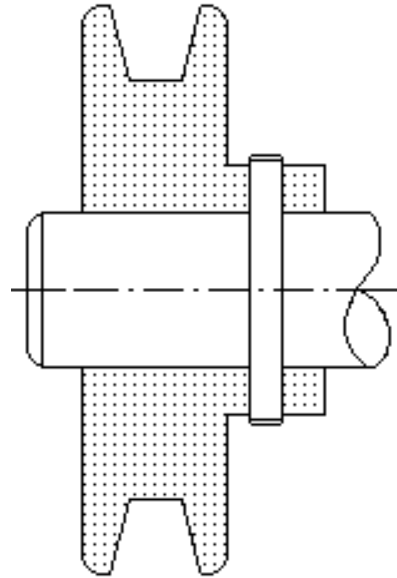
Sem ruptura do material $t \leq t_a$ assim $t_a \geq (2.M_t / d) / (l_a \times \pi \times d)$

Logo

$$l_a \geq 2.M_t / (d^2 \cdot t_a \cdot \pi)$$

4. Fixação por Travamento

4.1 – Pino Transversal



4.1.1 Dimensionamento da União

HIPÓTESE PARA CÁLCULO :

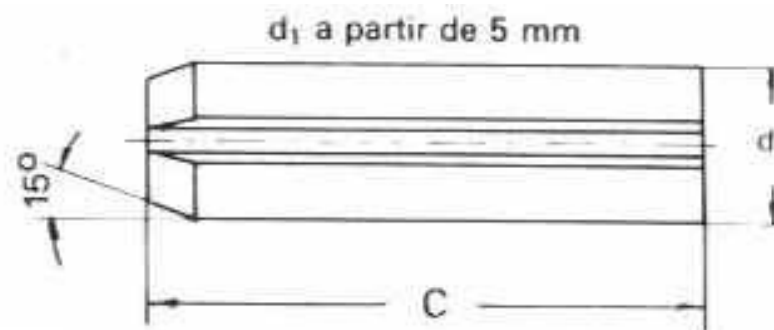
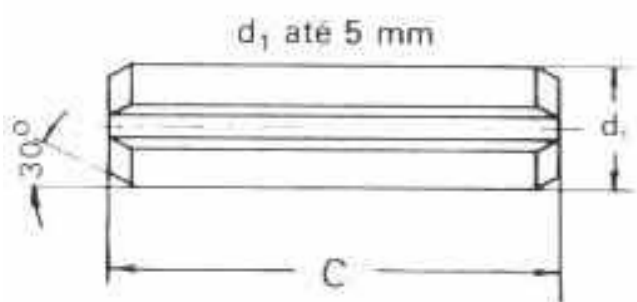
RUPTURA POR CISALHAMENTO DO PINO

Dados para Cálculo da União por Pino Transversal:

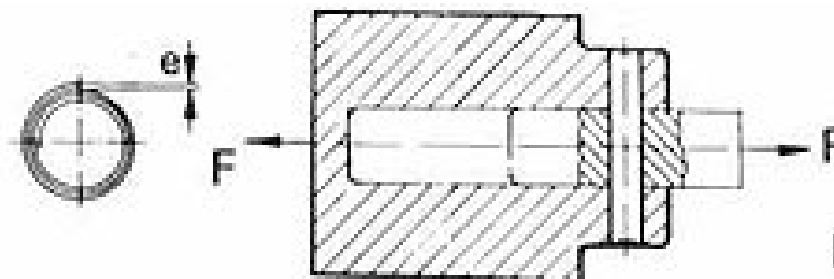
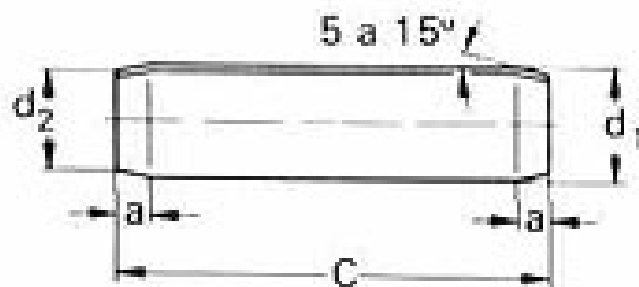
- Conjugado no eixo: M_t
- Diâmetro do eixo: d
- Tensão admissível ao cisalhamento do material do pino : t_a

Incógnita: Diâmetro do pino (d_p)

PINO ELÁSTICO



PINO ELÁSTICO ESPIRAL



$$F = \frac{2 \cdot R_{cis}}{\text{Fat. seg.}}$$

Área da união (secção transversal do pino): $S_p = (\pi \times d_p^2) / 4$

Força de Cisalhamento na União: $F_t = M_t / d$

Admitindo tensão de cisalhamento uniforme $t = F_t / S_p$

Sem ruptura do material $t \leq t_a$, assim $t_a \geq 4 \times (M_t / d) / (\pi \times d_p^2)$

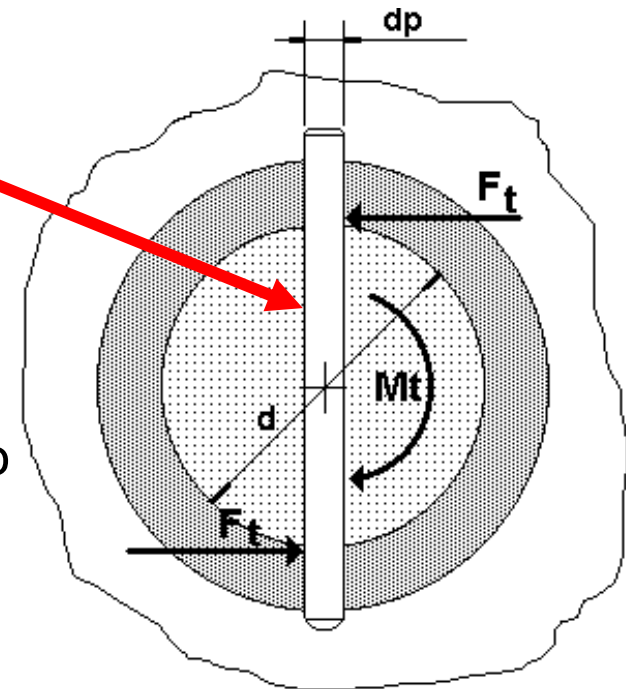
• Logo

$$d_p \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{M_t}{\pi \cdot d \cdot t_a}}$$

CUIDADO: com o aumento de d_p , a secção resistente do eixo diminui
=> PODE HAVER RUPTURA DO EIXO POR TORÇÃO/CISALHAMENTO
Em geral $d_p \leq 0,2 d$

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DA UNIÃO POR PINO:

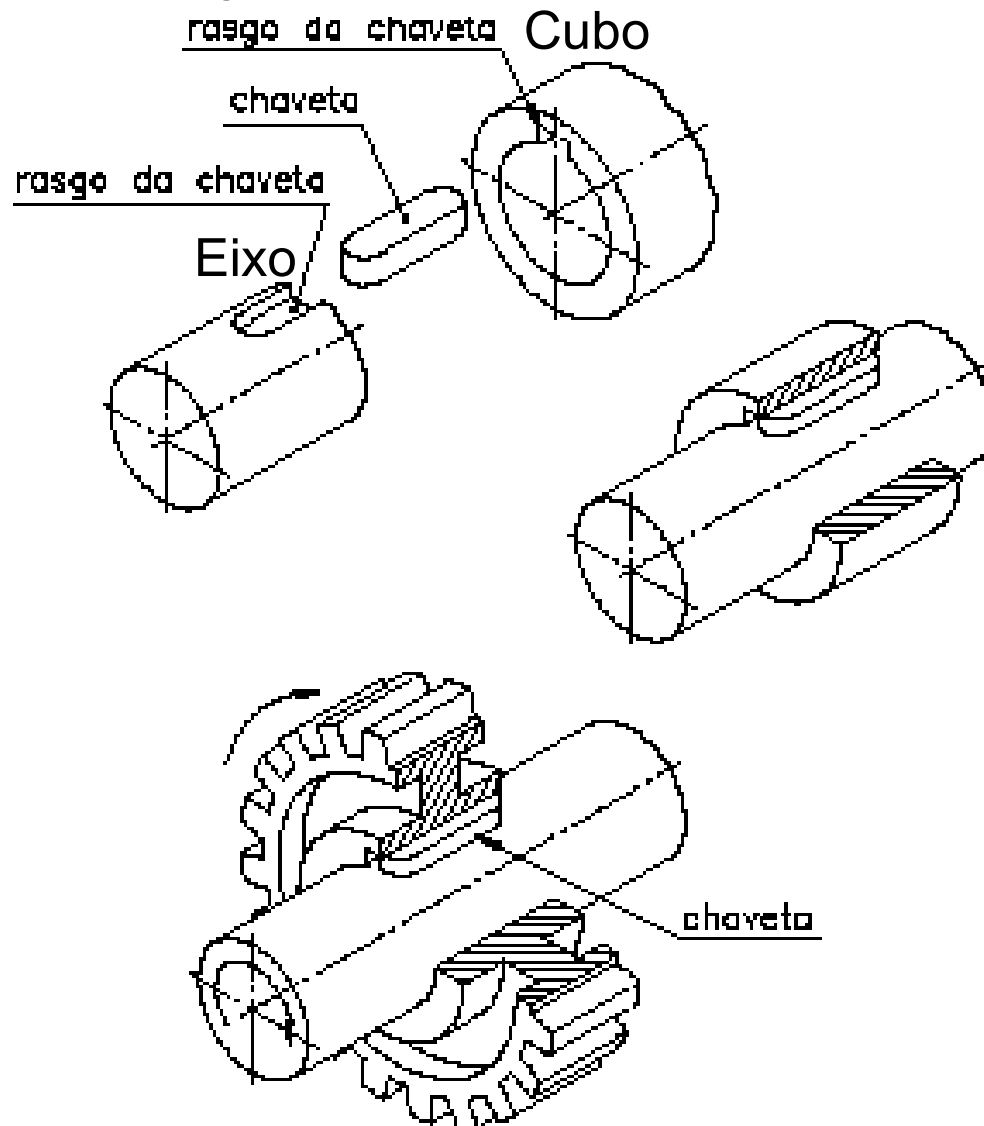
- Conjugados Leves a Moderados
- Desmontável facilmente
- Sem ajuste axial e angular entre o cubo e o eixo
- Necessita de usinagem simples do eixo e do cubo
- Gera concentradores de tensão
- Causa enfraquecimento eixo/cubo
- Utilizado como “fusível” mecânico de baixo custo
- Baixo custo



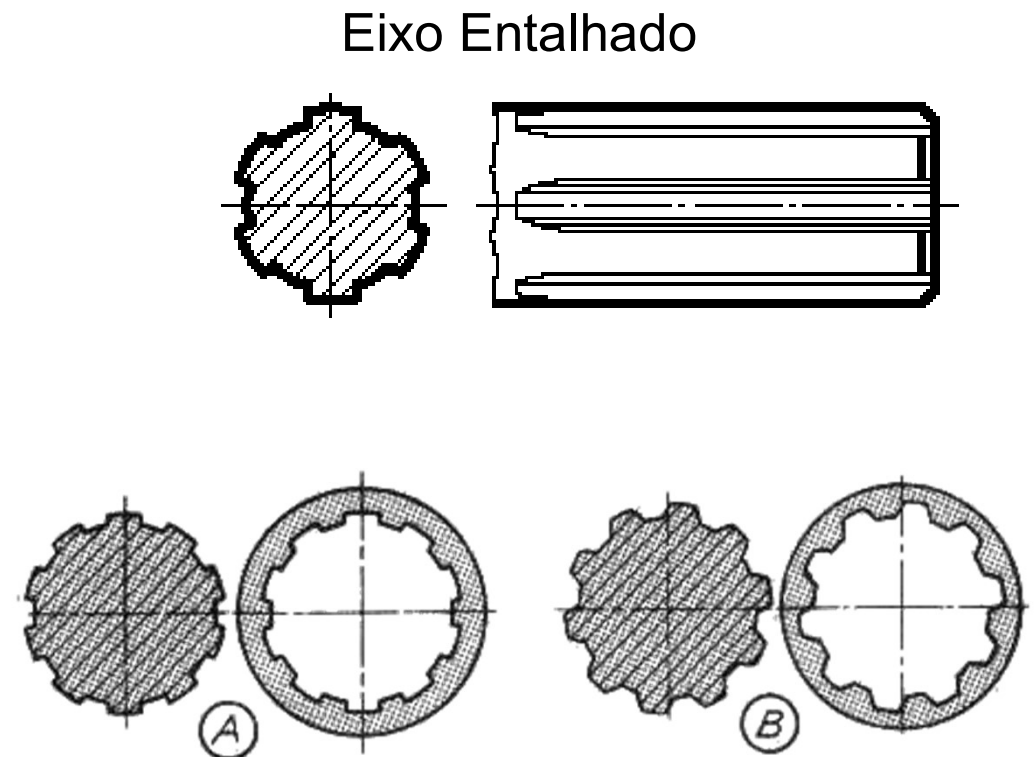
4.2 Fixação por Chavetas e Entalhados

SÃO AS FIXAÇÕES CUBO-EIXO MAIS UTILIZADAS NA INDUSTRIA

FIXAÇÃO POR CHAVETA



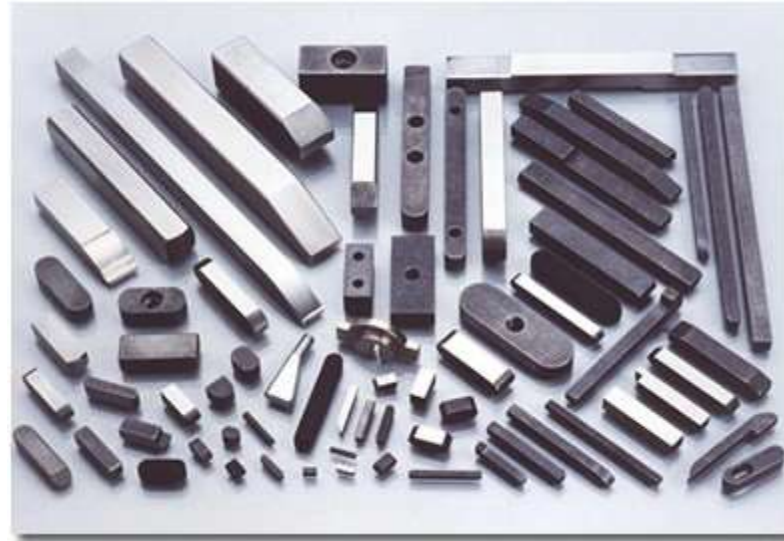
FIXAÇÃO POR ENTALHADO



Eixo Entalhado e Cubo
(A) Flanco reto
(B) Flanco evolvente

4.2.1 – Principais Tipos de Chavetas

- PLANAS



- INCLINADAS COM CABEÇA

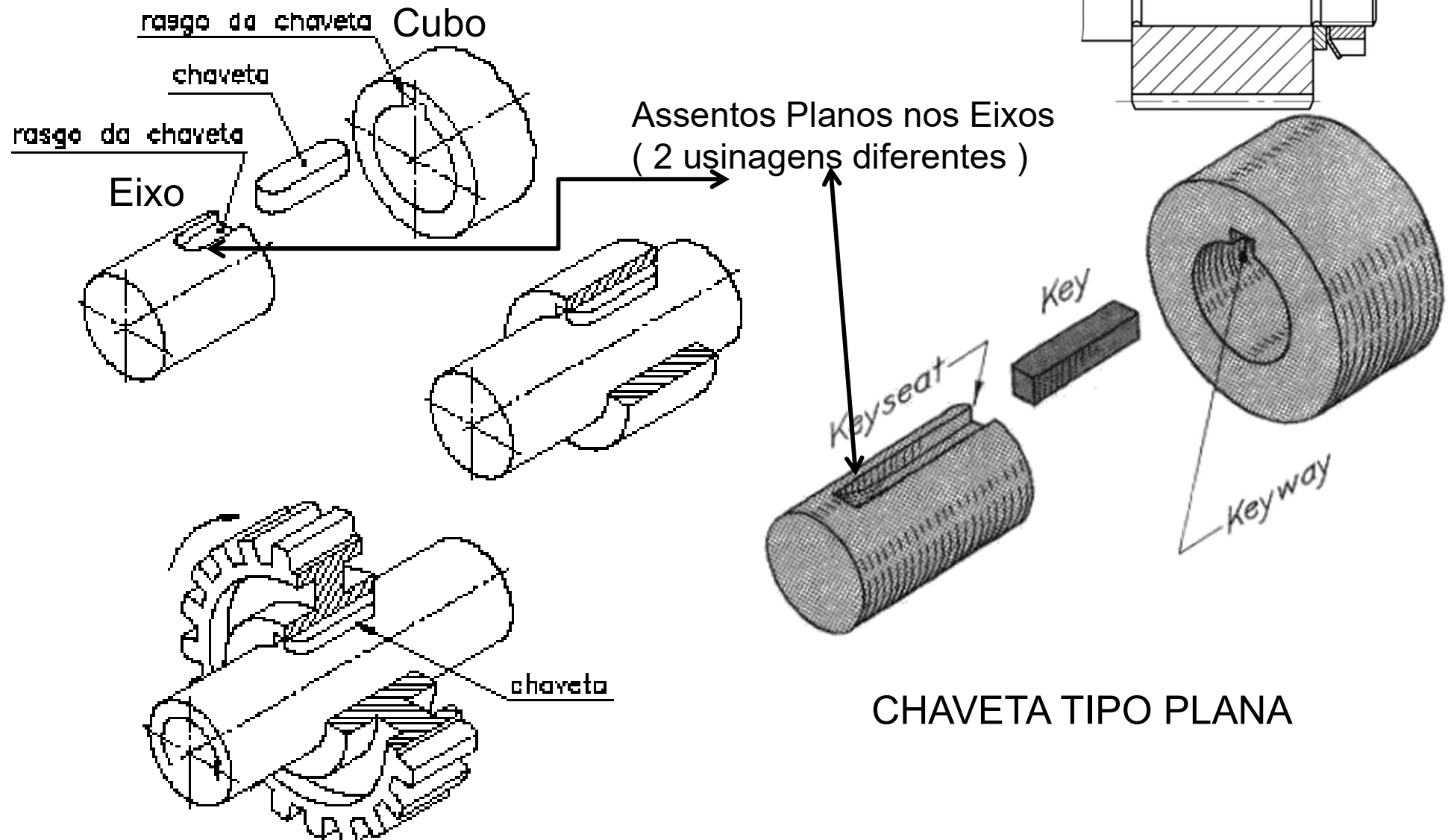


- MEIA – LUA OU “WOODRUFF”

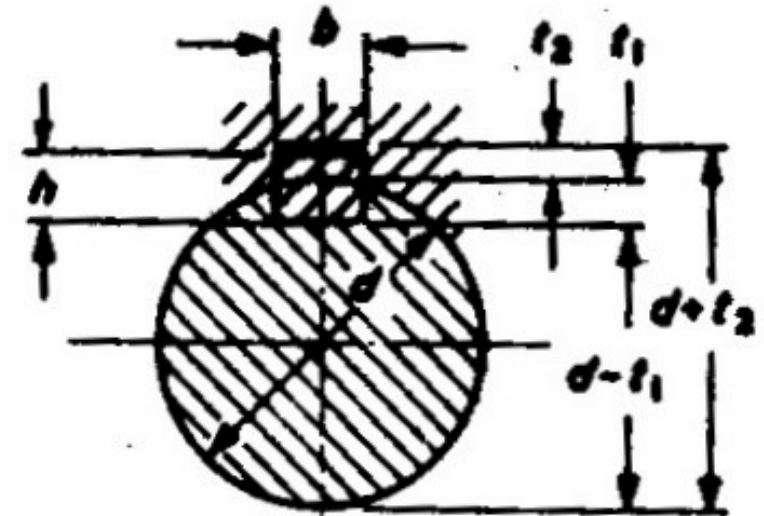
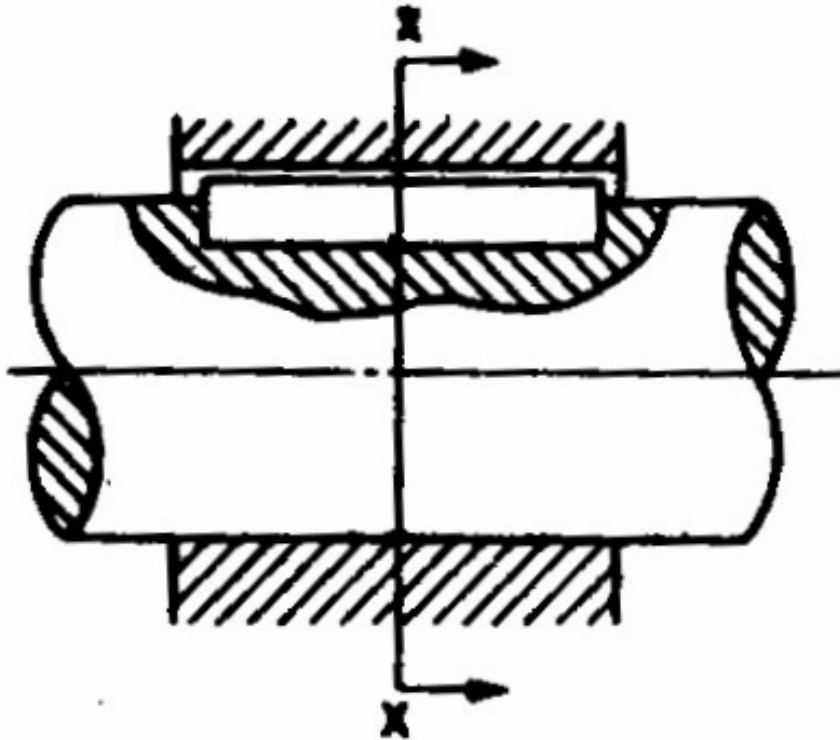


4.2.1 Fixação por Chaveta

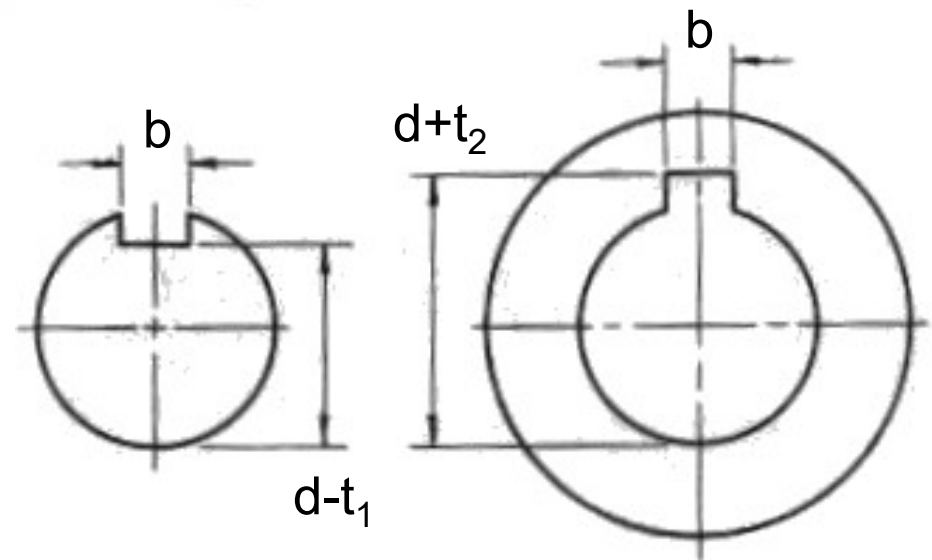
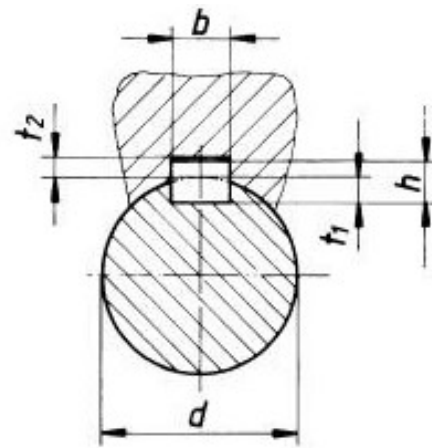
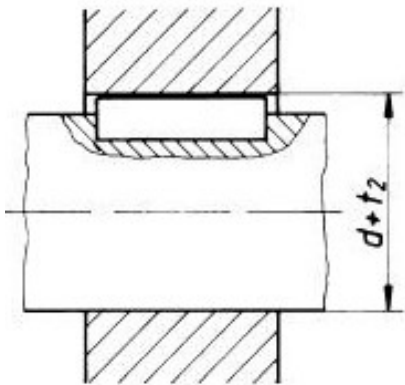
FIXAÇÃO POR CHAVETA TIPO PLANA



CHAVETA PLANA (DIMENSÕES DOS RASGOS)



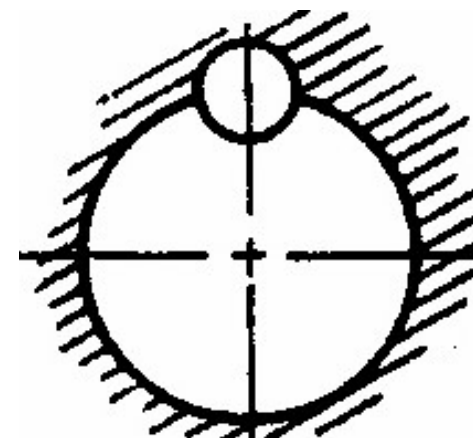
Secção X-X



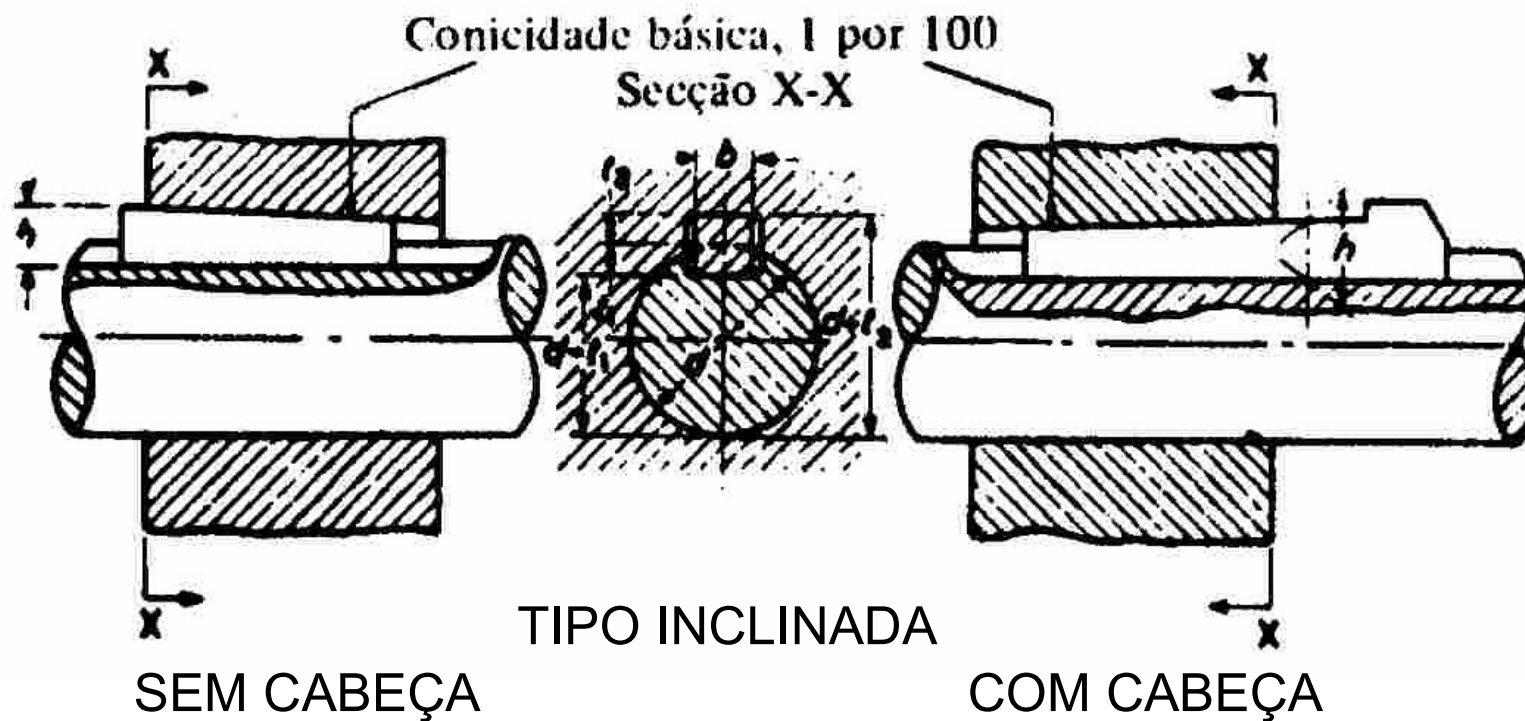
CHAVETAS



TIPO WOODRUFF (Meia-Lua/ Circular)



TIPO CILÍNDRICA

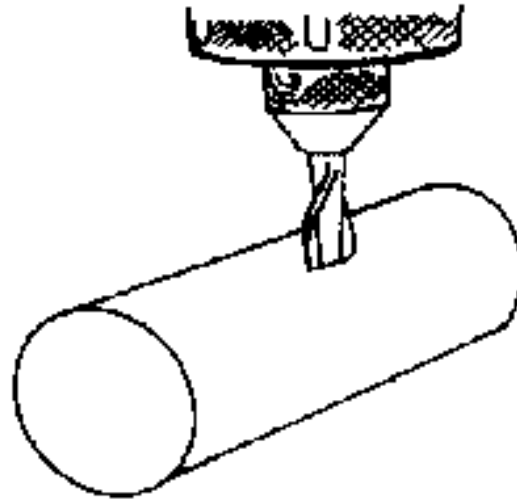


SEM CABEÇA

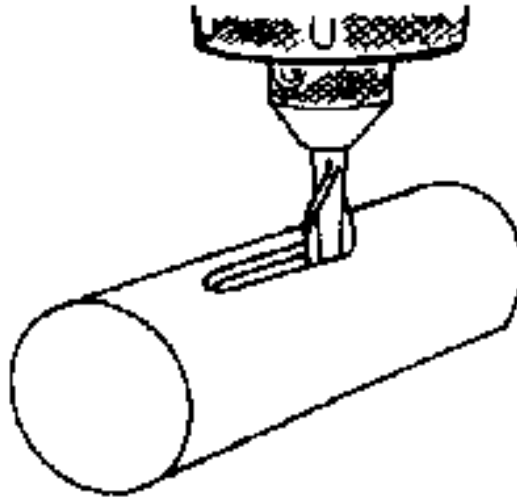
TIPO INCLINADA

COM CABEÇA

FRESAMENTO DE RASGO DE CHAVETA COM FRESA DE TOPO

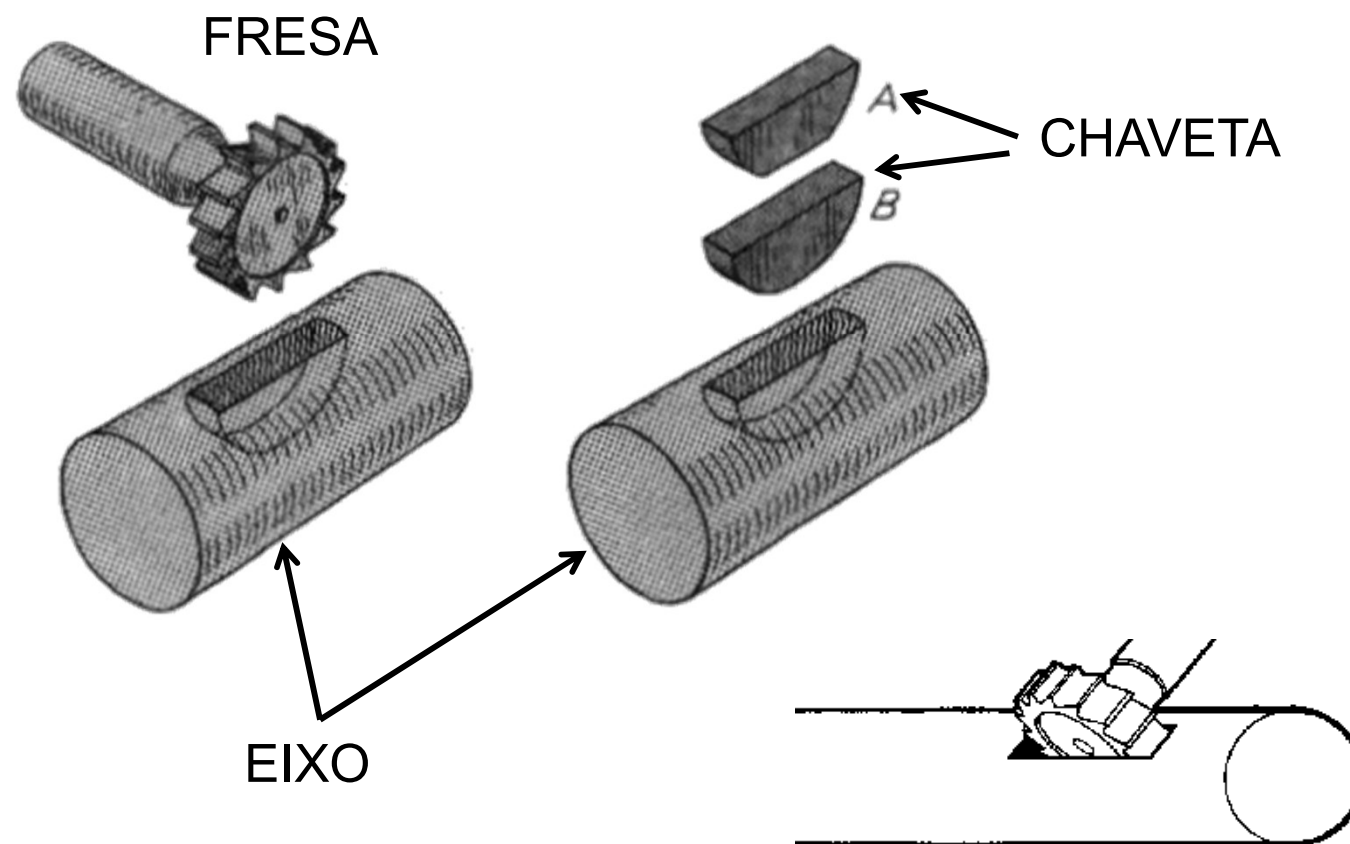


CUTTER CENTERED OVER THE SHAFT

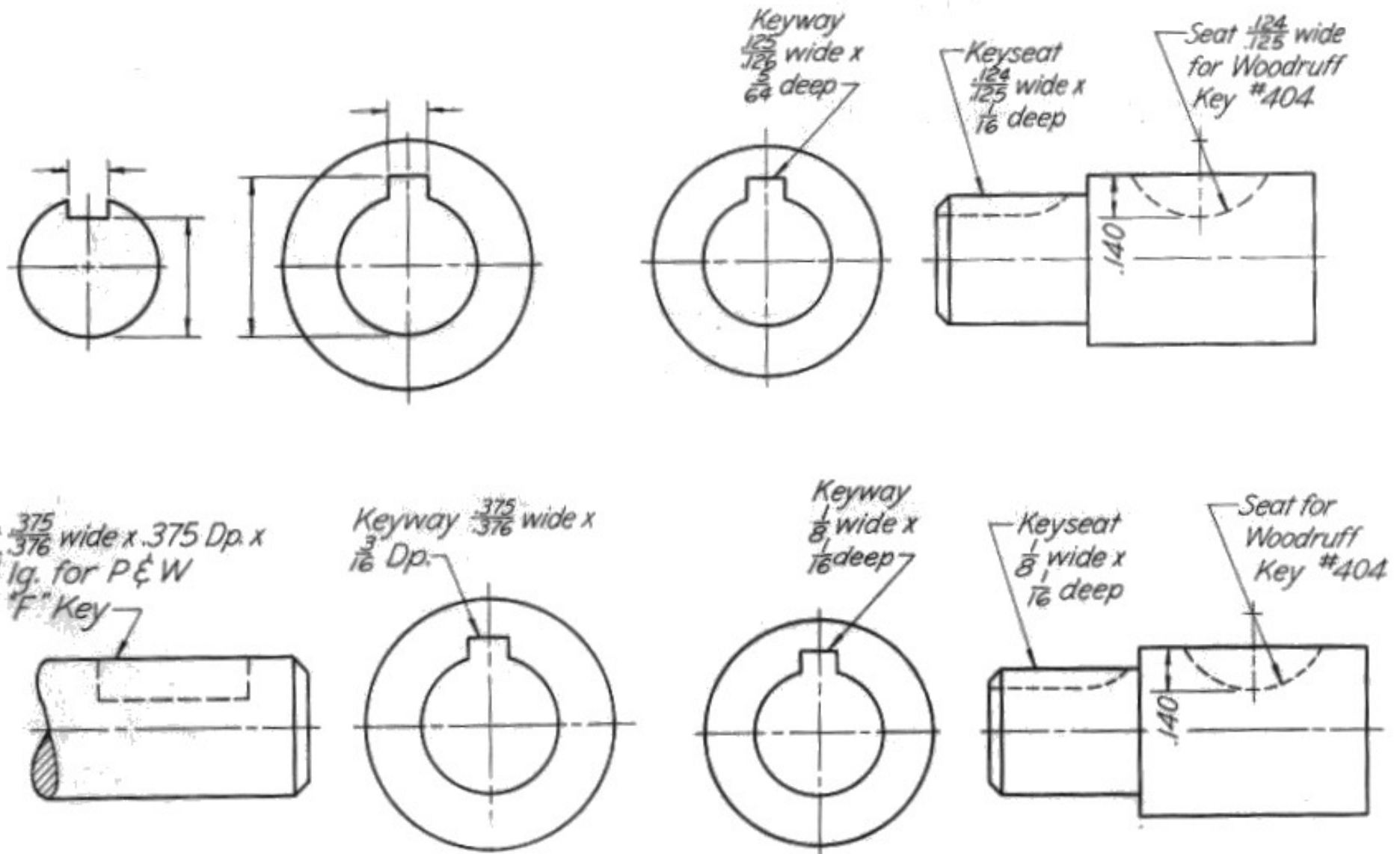


**AFTER CENTERING AND SETTING DEPTH,
KEY IS MILLED TO REQUIRED LENGTH.**

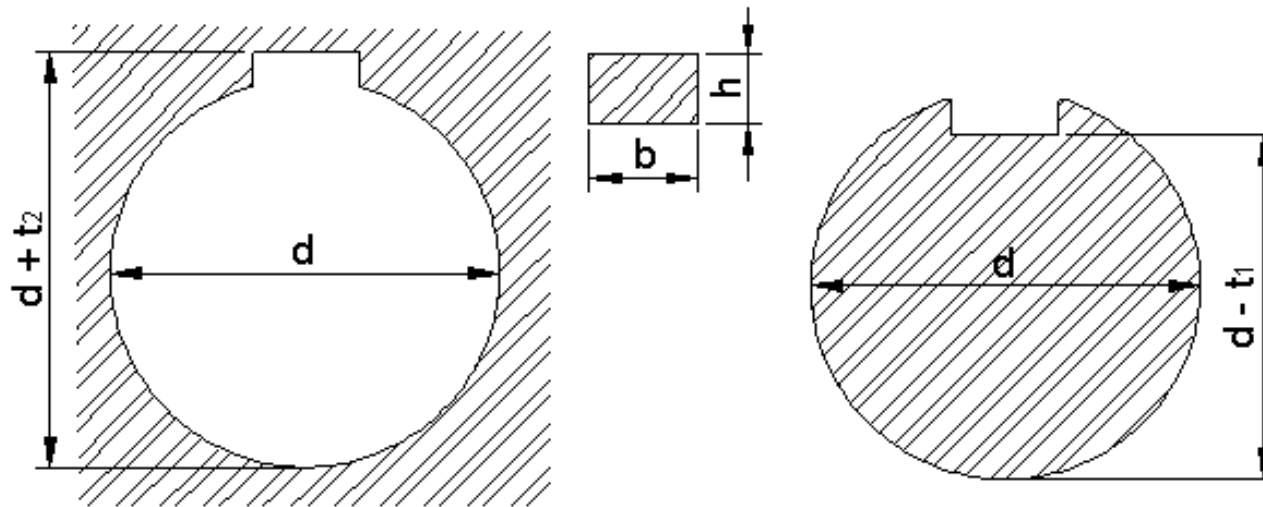
FRESAMENTO DE ASSENTO DE CHAVETA MEIA-LUA / WOODRUFF



FIXAÇÃO POR CHAVETA (Indicação de Dimensões)



4.2.2 - Norma Técnica – DIN 6885 (Chaveta Plana)

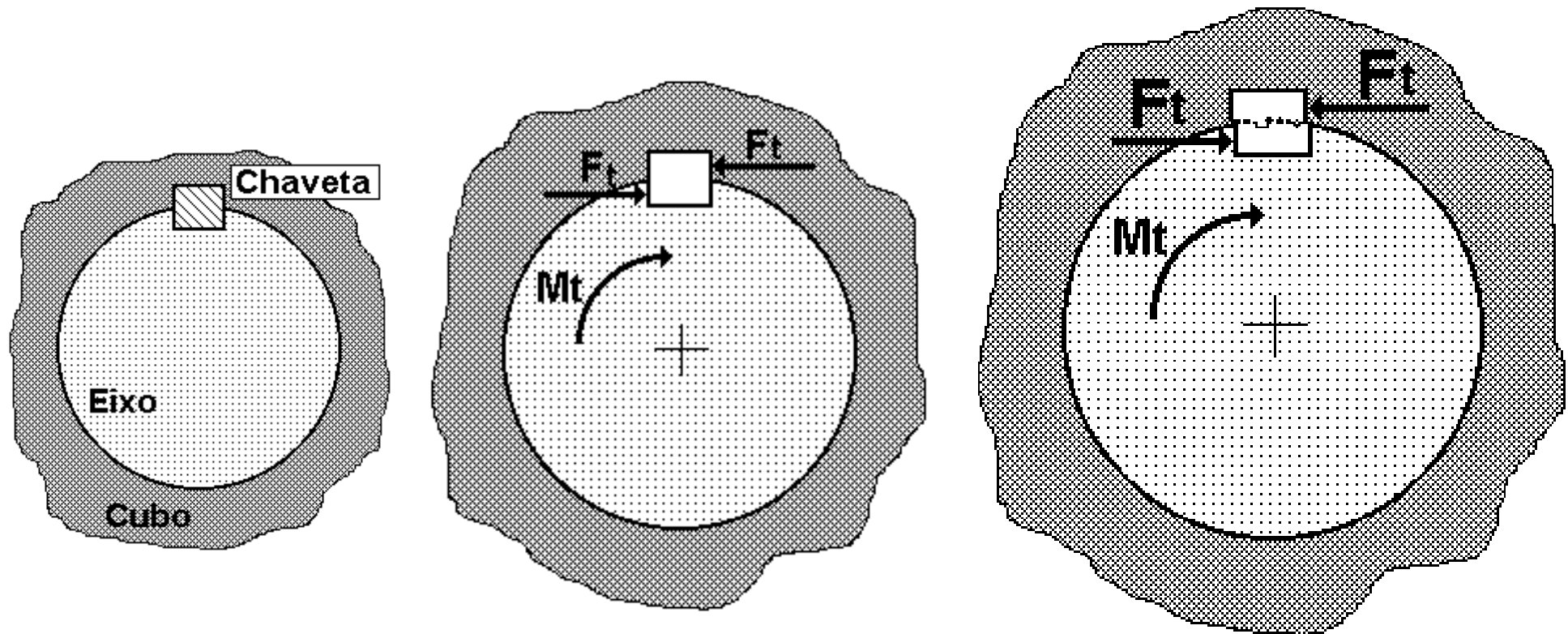


Eixo		Chaveta				Rasgo							
Diâmetro d		Seção $b \times h$				Largura						Profundidade	
de	até	b	h 9	h	h 11	Valor	Eixo $h9$	Cubo $D10$	Eixo $n9$	Cubo $JS9$	Eixo / cubo $p9P9$	Eixo $t1$	Cubo $t2$
6	8	2	0	2	0	2	0	0,06	-0	0,01	-0,006	1,2	1
8	10	3	-0,03	3	-0,03	3	0	0,02	-0	-0,01	-0,031	1,8	1,4
10	12	4	0	4	0	4	0	0,078	0	0,02	-0,012	2,5	1,8
12	17	5	-0,03	5	-0,03	5	0	0,03	-0	-0,02	-0,042	3	2,3
17	22	6		6		6						3,5	2,8
22	30	8	0	7	0	8	0	0,098	0	0,02	-0,015	4	3,3
30	38	10	-0,04	8	-0,09	10	0	0,04	-0	-0,02	-0,051	5	3,3

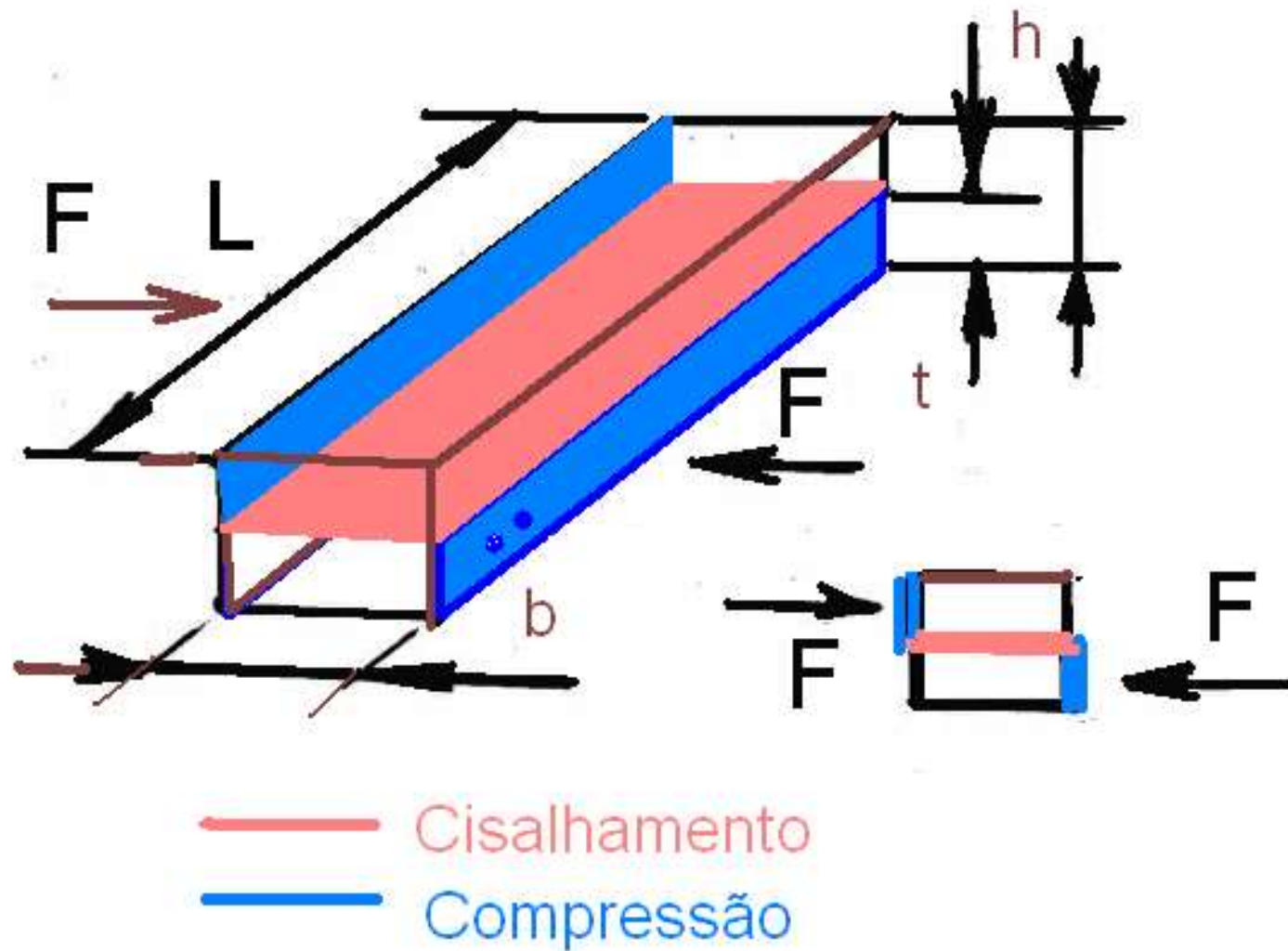
4.2.3 – Dimensionamento ao Cisalhamento de Chavetas

HIPÓTESE PARA CÁLCULO:

RUPTURA POR CISALHAMENTO DA CHAVETA

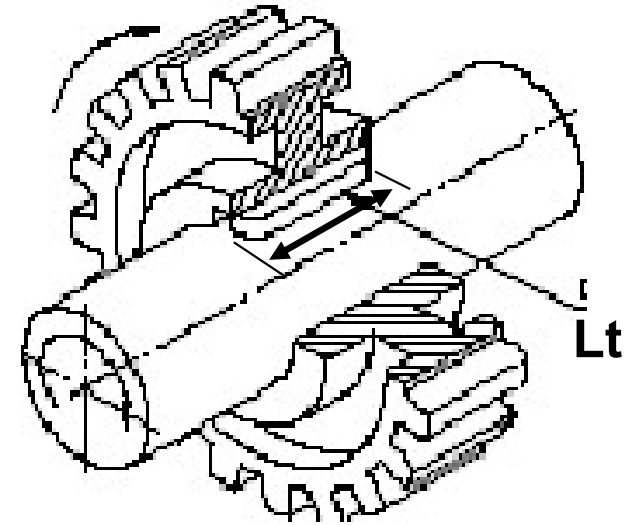


CISALHAMENTO E COMPRESSÃO NA CHAVETA / RASGO



Dados:

- Conjugado no eixo: M_t
- Diâmetro do eixo: d
- Tensão admissível ao cisalhamento do material da chaveta: t_a



Incógnita: Comprimento da chaveta (L_t)

{ b(largura) e h(altura) da chaveta são normalizados = f(d)}:

Área da união: $S_t = b \times L_t$

Força de Cisalhamento na União: $F_t = 2 \cdot M_t / d$

Admitindo tensão de cisalhamento uniforme: $t = F_t / S_t$

Sem ruptura do material $t \leq t_a$ assim $t_a \geq 2 \times (M_t / d) / b \times L_t$

Logo

$$L_t \geq \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot t_a \cdot b}$$

4.2.4 – Verificação quanto à Compressão de Chavetas

PODE OCORRER ESMAGAMENTO POR COMPRESSÃO DAS LATERAIS DO RASGO/CHAVETA.

Dados:

- Conjugado no eixo: M_t
- Diâmetro do eixo: d
- Tensão admissível à compressão do material da chaveta: σ_a

Incógnita: Comprimento da chaveta L_c

{b (largura) e h (altura) são normalizados = f(d)}:

Área da união: $S_c = (h/2) \times L_c$ (aproximando $t_1 = t_2$)

Força de Compressão na União: $F_c = 2 \cdot M_t / d$

Admitindo tensão de compressão uniforme) $\sigma = F_c / S_c$

Sem deformação do material $\sigma \leq \sigma_a$, assim $\sigma_a \leq [2 \times (M_t / d)] / [(h/2) \times L_c]$

$$\text{Logo } L_c \geq \frac{4 \cdot M_t}{d \cdot \sigma_a \cdot h}$$

Comprimento da Chaveta para resistir ao Cisalhamento= L_t
Comprimento da Chaveta para resistir ao Esmagamento= L_c

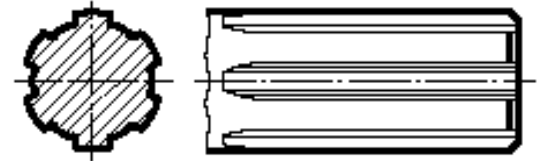
ADOA-SE O MAIOR ENTRE L_t e L_c

- QUANDO O COMPRIMENTO **$L_{chaveta}$** FOR MAIOR QUE O COMPRIMENTO **L_{cubo}** DISPONÍVEL, PODEM-SE COLOCAR ATÉ DUAS CHAVETAS OPOSTAS.
- Admite-se até um máximo de 03 chavetas, montadas a 120 graus.
PROBLEMA COM CHAVETAS “MULTIPLAS” – CARGA NÃO UNIFORME
DEVIDO A ERROS DE FABRICAÇÃO / MONTAGEM
- QUANDO FOR NECESSÁRIO UM COMPRIMENTO MAIOR DO QUE O CUBO DISPONÍVEL, UTILIZA-SE O ENTALHADO ou ESTRIADO, QUE EQUIVALE AO USO DE CHAVETAS “MULTIPLAS”.



4.2.5 Dimensionamento de Entalhados

- SIMILAR AO DIMENSIONAMENTO DE CHAVETAS



- ASSOCIA-SE UM FATOR DE CORREÇÃO DA UNIFORMIDADE DA CARGA EM CADA DENTE DO ENTALHADO

PARA CISALHAMENTO O COMPRIMENTO: $L_{et} \geq \frac{2.Mt.\eta}{d.ta.b.N}$

ONDE : **N** = NÚMERO DE DENTES DO ENTALHADO

η = COEFICIENTE DE CORREÇÃO DA CARGA.

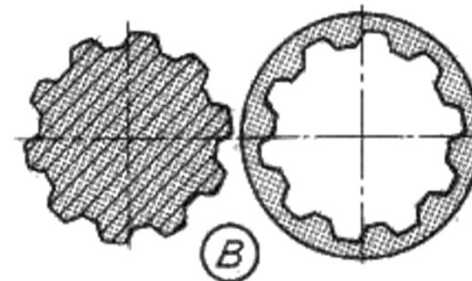
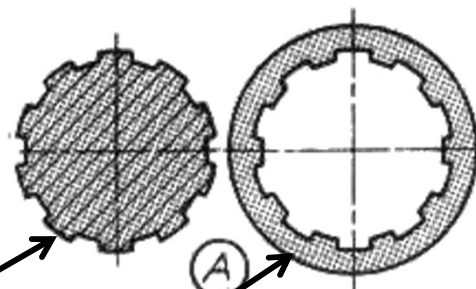
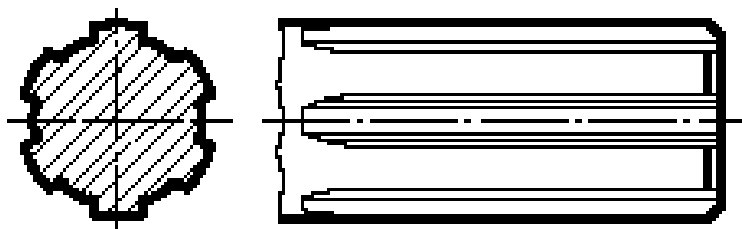
EM GERAL ADOTA-SE $\eta = 1,25$

PARA A COMPRESSÃO O COMPRIMENTO: $L_{ec} \geq \frac{2.Mt.\eta}{d.\sigma_a.he.N}$

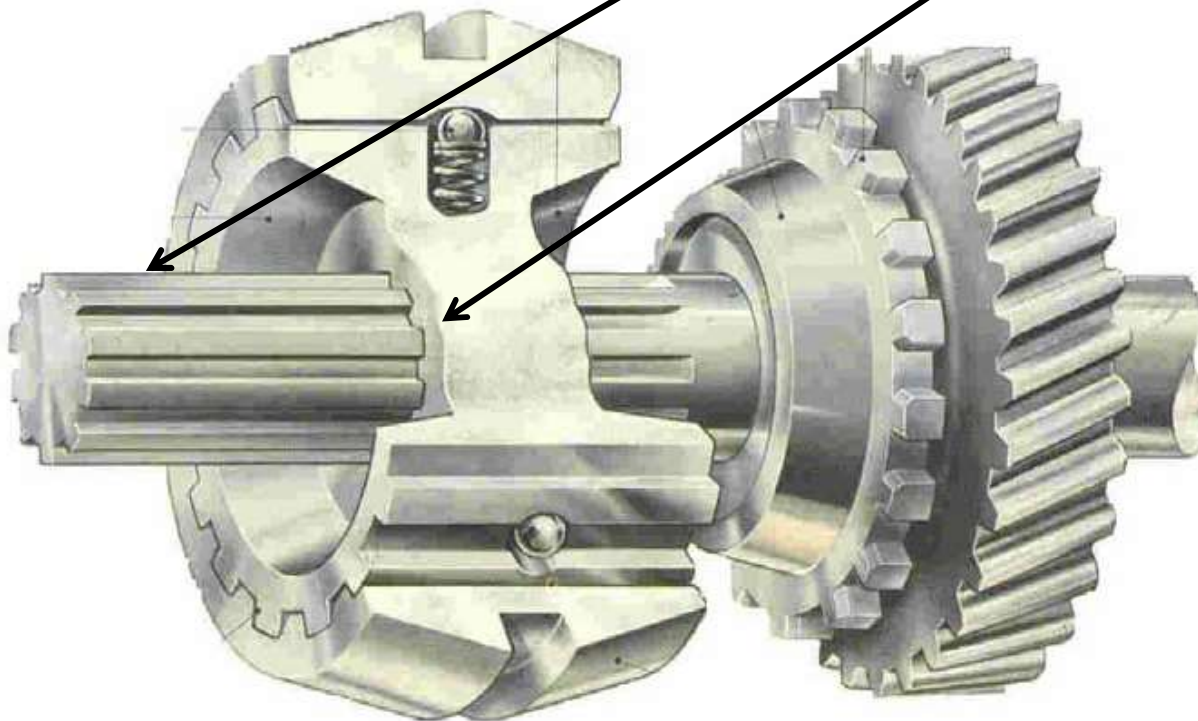
ADOTA-SE O MAIOR COMPRIMENTO ENTRE **L_{et}** e **L_{ec}**

FIXAÇÃO POR ENTALHADO

Eixo Entalhado



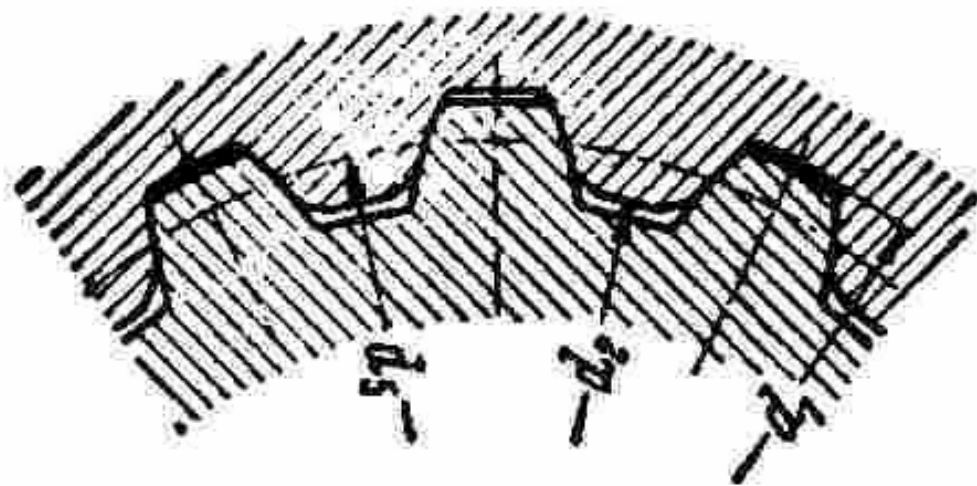
Eixo Entalhado e Cubo
(A) Flanco reto
(B) Flanco evolvente



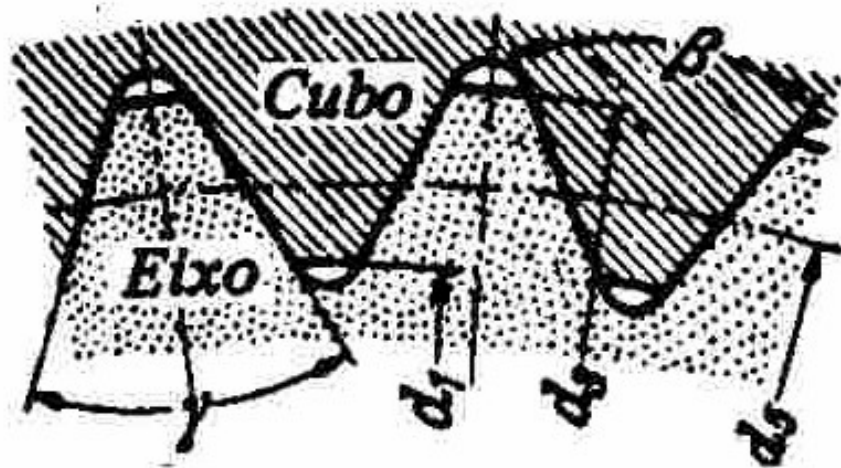
TIPOS DE ENTALHADOS



PERFIL RETO

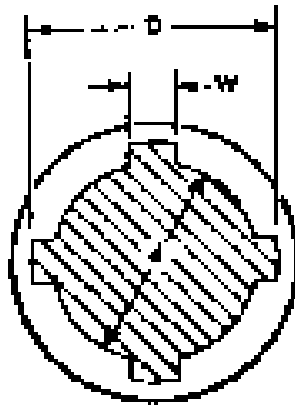


PERFIL DE EVOLVENTE

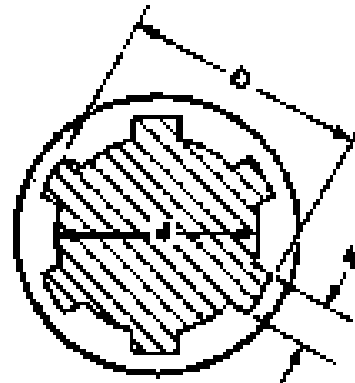


PERFIL TRIANGULAR

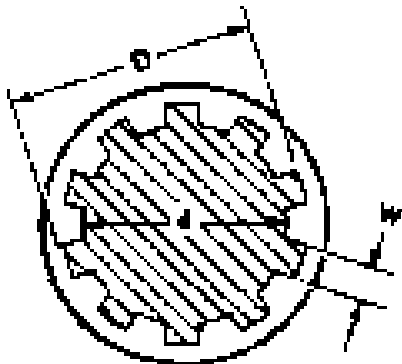
FRESAMENTO DE EIXO ENTALHADO



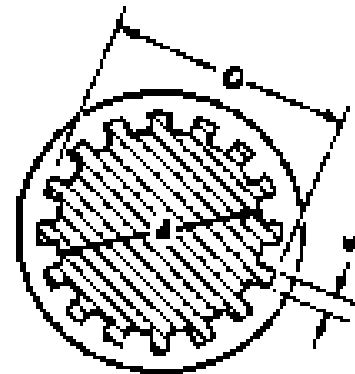
4-SPLINE



8-SPLINE



10-SPLINE

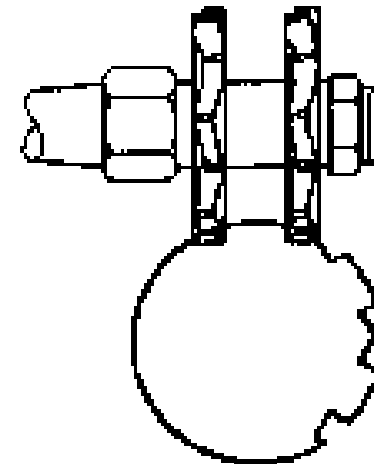


16-SPLINE

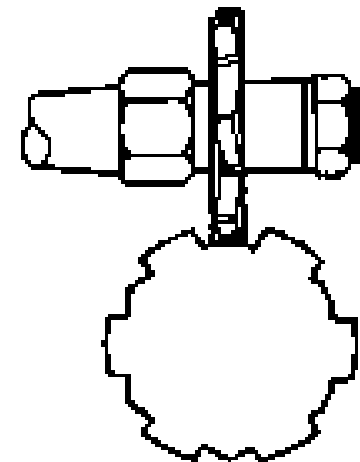
D= MAJOR DIAMETER

d= MINOR DIAMETER

w= WIDTH OF SPLINE



STRADDLE MILLING
SPLINES



FINISHING TO
MINOR DIAMETER

4.2.6 Fixação Cubo-Eixo com Chavetas e Entalhados

CARACTERÍSTICAS :

- Conjugados Moderados a Elevados
- Desmontável facilmente
- Sem ajuste axial e angular entre o cubo e o eixo
- Necessita de usinagem media /alta complexidade do eixo e do cubo
- Gera concentradores de tensão
- Causa pouco enfraquecimento eixo/cubo
- Pode permitir deslocamento axial entre cubo e eixo
- Custo médio a elevado

5. CONSIDERAÇÃO FINAL

FIXAÇÕES CUBO-EIXO

**A RUPTURA DE UMA UNIÃO CUBO-EIXO,
QUANDO E SE OCORRER
DEVE LOCALIZAR-SE SEMPRE
NO ELEMENTO DE FIXAÇÃO
E NÃO NO EIXO OU NO CUBO.**