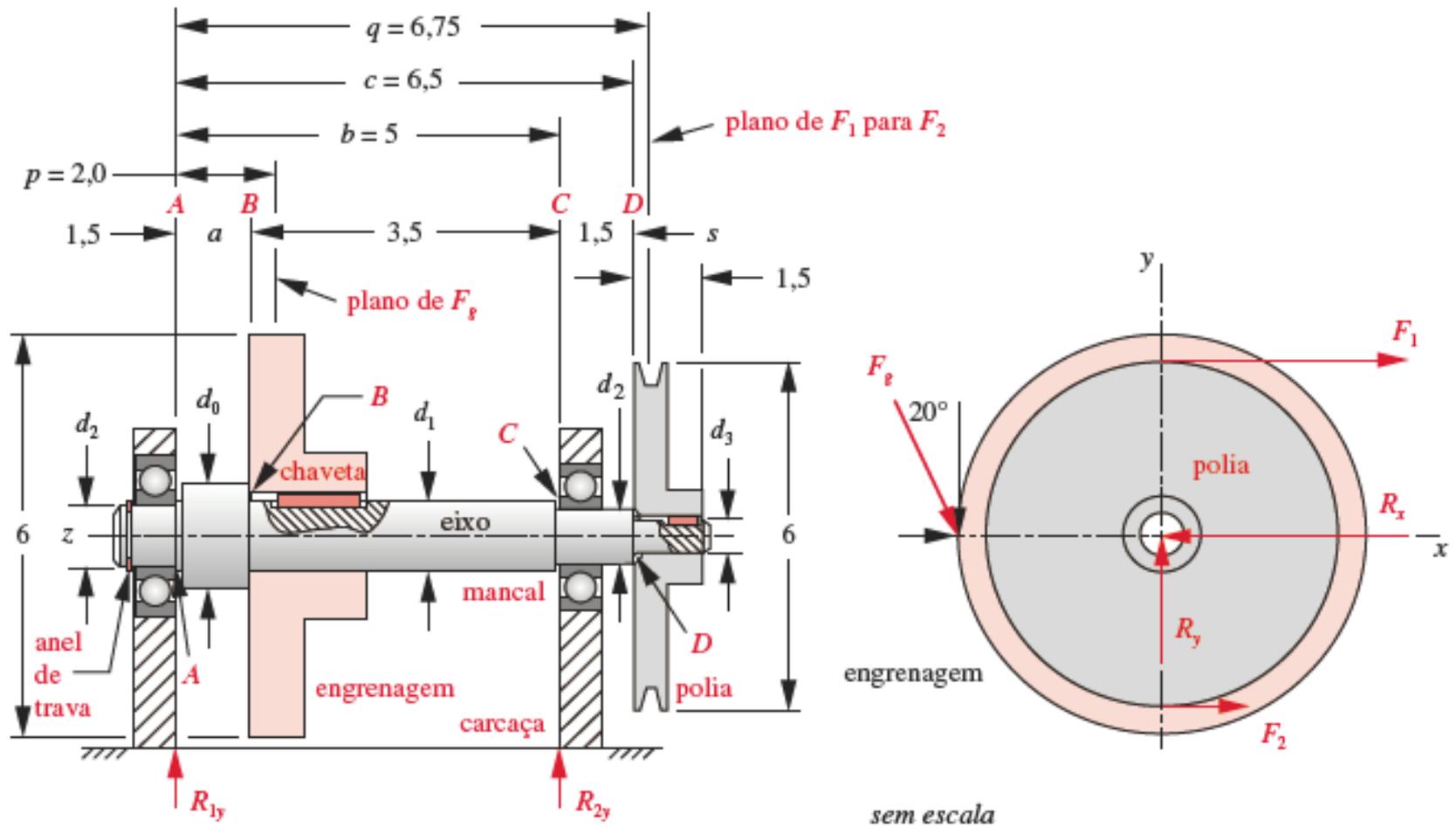
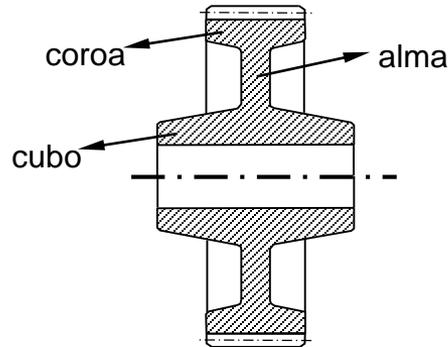


### 7 - UNIÕES EIXO - CUBO



## 7 - UNIÕES EIXO - CUBO

### 7.1 – Introdução



### Tipos de União

#### I - UNIÕES POR ATRITO

- através de ajuste com interferência transversal
- através de ajuste com interferência longitudinal
- com cubo bipartido
- com assento cônico

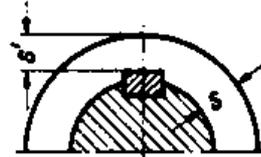
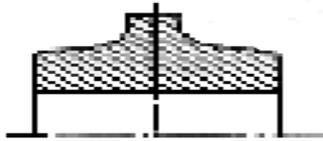
#### II - UNIÕES ENCAIXADAS (adaptação de forma)

- pino transversal
- chaveta
- ranhuras múltiplas
- dentes
- perfil K

#### III - UNIÕES ENCAIXADAS SOB TENSÃO

- pino tangencial
- chaveta meia-lua inclinada
- chaveta inclinada embutida
- chaveta inclinada de cravação
- chavetas tangenciais

valores orientativos de dimensões do cubo



$$L \cong x \cdot \sqrt[3]{M_t} \quad \text{largura}$$

$$S \cong y \cdot \sqrt[3]{M_t} \quad [\text{cm}]$$

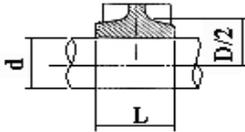
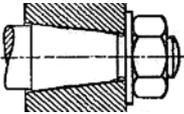
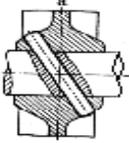
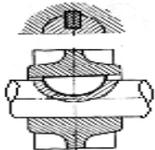
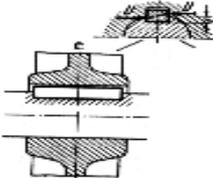
$$S' \cong y' \cdot \sqrt[3]{M_t} \quad M_t : [\text{Kgf.cm}]$$

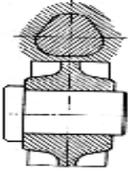
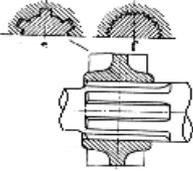
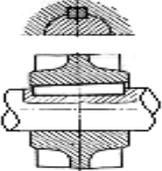
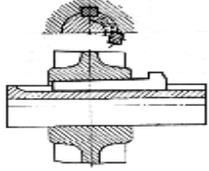
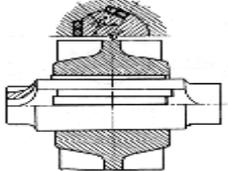
Tabela 18.1 Niemann

União	Cubo de Ferro Fundido			Cubo de aço fundido / aço		
	X	Y	Y'	X	Y	Y'
Ajuste térmico e forçado assento cônico, união por atrito	0.42 – 0.53	0.21 – 0.30	0.21 – 0.30	0.21 – 0.35	0.18 – 0.26	0.18 – 0.27
Chaveta inclinada, plana, ajuste forçado sem interferência, uniões encaixadas	0.53 – 0.70	0.18 – 0.21	0.15 – 0.18	0.35 – 0.46	0.14 – 0.18	0.11 – 0.15
Eixo chavetado DIN 5462	0.34 – 0.42	0.14 – 0.18	0.13 – 0.16	0.21 – 0.30	0.125 – 0.16	0.11 – 0.15
Eixo chavetado DIN 5463	0.21 – 0.30	0.14 – 0.18	0.12 – 0.15	0.13 – 0.21	0.125 – 0.16	0.10 – 0.14
Eixo chavetado DIN 5464	0.14 – 0.21	0.14 – 0.18	0.11 – 0.14	0.08 – 0.13	0.125 – 0.16	0.09 – 0.13

$$L_{\text{cubo}} = \max(L_{\text{min critério 1}}, L_{\text{min crit 2}}, L_{\text{min crit 3}}, \text{etc})$$

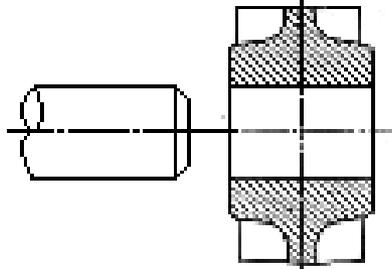
$$\text{também :} \quad 2 \cdot L_{\text{engrenagem}} \geq L_{\text{cubo}} \geq L_{\text{engrenagem}}$$

ESQUEMA	UNIÃO EIXO CUBO
	Interferência Longitudinal Interferência Transversal
	Assento Cônico Assento Cônico c/ chave Assento Cônico c/ chave, arruela e porca
	Pino Cônico Transversal Pino Ranhurado Transversal
	Chaveta Meia-Lua
	Chaveta Plana Embutida

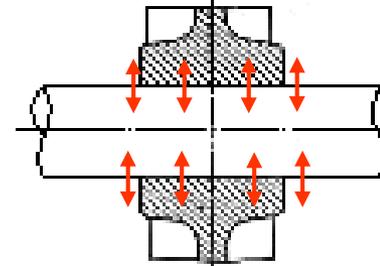
ESQUEMA	UNIÃO EIXO CUBO
	<p>Perfil K Perfil K, arruela e porca</p>
	<p>Ranhuras Ranhuras, arruela e porca Dentes Dentes, arruela e porca</p>
	<p>Chaveta Inclinada Embutida</p>
	<p>Chaveta Inclinada c/ cabeça</p>
	<p>Chaveta Tangencial Chaveta Tangencial Cubo bi-partido</p>

## 7.2 – Uniões por atrito

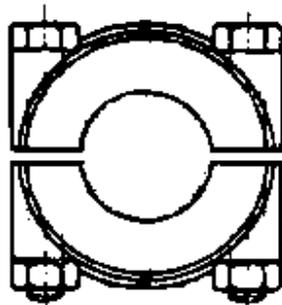
Montagem com prensa



Montagem com dilatação térmica

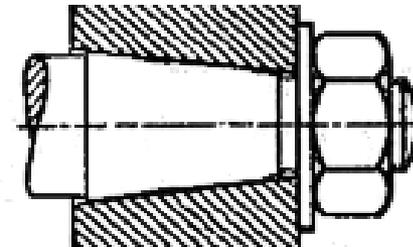


Interferência longitudinal



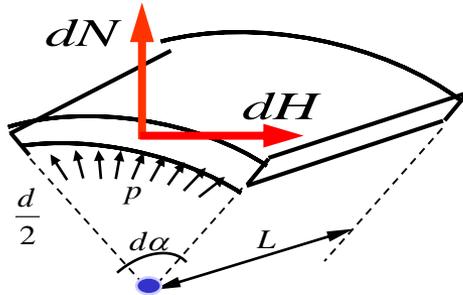
Cubo bipartido

Interferência transversal



Ajuste cônico

## 7.2.1 - Equacionamento Básico das Uniões por Atrito



- pressão distribuída -  $p$
- diâmetro do eixo -  $d$
- comprimento cubo -  $L$
- coeficiente atrito -  $\mu$

$$dH = \mu \cdot dN$$

$$dN = p \cdot dA$$

$$dN = p \cdot L \cdot \text{arco} = p \cdot L \cdot \frac{d}{2} \cdot d\alpha \Rightarrow N = p \cdot L \cdot \frac{d}{2} \cdot \int_0^{2\pi} d\alpha$$

$$N = p \cdot L \cdot \frac{d}{2} \cdot 2\pi \Rightarrow \boxed{N = p \cdot \pi \cdot d \cdot L}$$

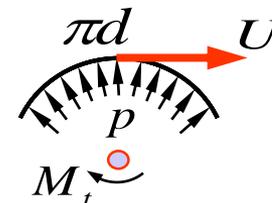
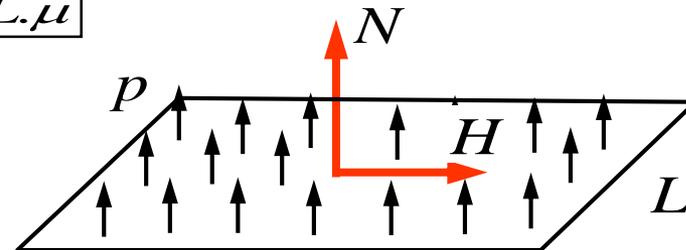
$$H = \mu \cdot N \Rightarrow \boxed{H = p \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \mu}$$

Força de retenção devida ao atrito -  $H$

$$M_t \leq H \cdot \frac{d}{2}$$

Força tangencial no eixo devida a  $M_t$  -  $U$

$$U = \frac{2 \cdot M_t}{d}$$



$$U \leq H, \text{ no limite, } U = H$$

Pondo

$$M_t = W_t \cdot \tau_{\max} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot \tau_{\max}$$

$$\frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot \tau_{\max} \cdot \frac{2}{d} = p \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \mu$$

$\Rightarrow$

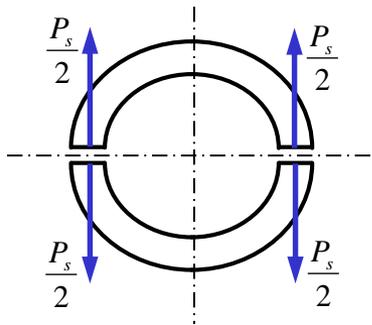
$$\frac{L}{d} = \frac{1}{8 \cdot \mu \cdot p} \cdot \tau_{\max}$$

Também de

$U \leq H$  vem que :

$$U \leq p \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \mu \Rightarrow p \cdot d \cdot L \geq \frac{U}{\pi \cdot \mu}$$

Área projetada



$$P_s = p \cdot d \cdot L \geq \frac{U}{\pi \cdot \mu} = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot d \cdot \mu}$$

$P_s$  - força de separação do cubo

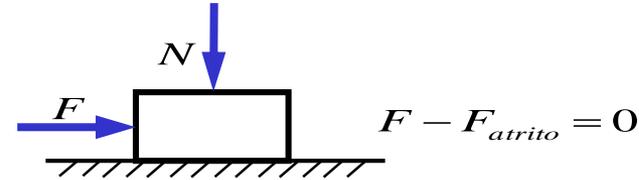
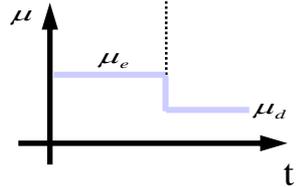
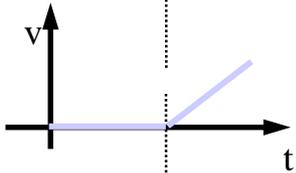
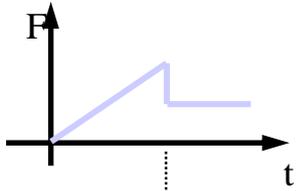
A pressão específica na área projetada deve obedecer :

$$p \leq p_{adm} \Rightarrow L_{\min} = \frac{P_s}{p_{adm} \cdot d}$$

Tab. 11.4 : Valores admissíveis ( respectivamente em  $[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  e  $[\text{MPa}]$  para uniões com pinos para solicitação pulsantes ):

	St37 〔 ABNT 1020 〕	St50 〔 ABNT 1030 〕	St60 〔 ABNT 1040 〕	St70 〔 ABNT 1050 〕	GS 〔 fofo nodular 〕	GG 〔 fofo cinzento 〕
$p_{\text{adm}}$	650 65	880 88	1050 105	1200 120	550 55	450 45
$\sigma_{\text{fadm}}$	550 55	700 70	850 85	1000 100	- -	- -
$T_{\text{adm}}$	360 36	480 48	580 58	680 68	- -	- -

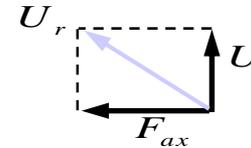
- Para solicitação alternada multiplicar por 0,7
- Para solicitação estática multiplicar por 1,5
- No caso de cavilhas, multiplicar por 0,7 os valores de  $p_{\text{adm}}$



$\left. \begin{matrix} \mu_{est} > \mu_{din} \\ H > H_r \end{matrix} \right\}$  por isso adota-se :  $U \leq H_r$   
 $H_r$  : força de deslizamento

$U \cong H \Rightarrow$  qualquer sobrecarga causará deslizamentos

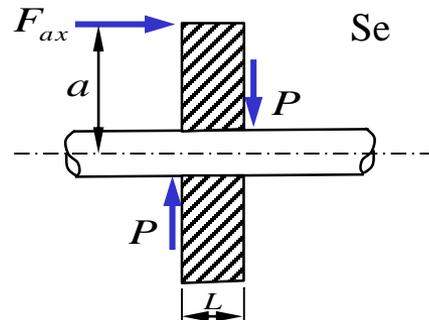
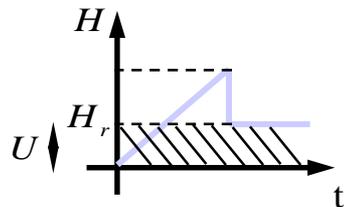
Se houver também força axial, considerar  $U_r$  em vez de  $U$



Se houver só força axial :  $U = F_{ax}$

Havendo  $F_{axial} \Rightarrow F_{ax} \cdot a = P \cdot L$

ocorrerá **auto-retenção** (mesmo para ajuste auto desliz.)

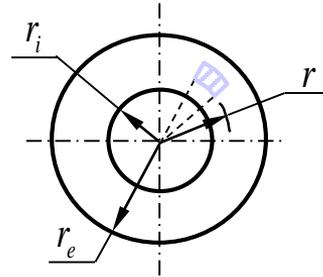


Se  $H \geq F_{ax}$   $H = 2P\mu$

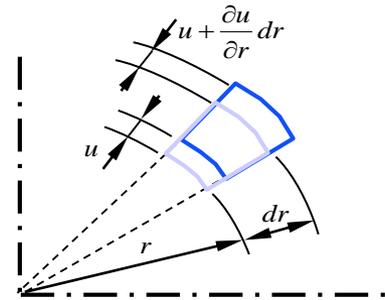
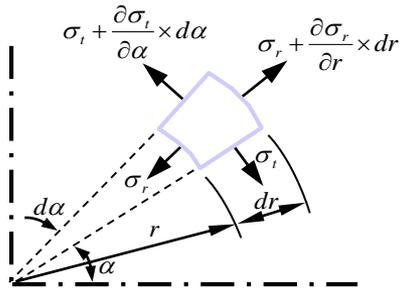
$$H = 2F_{ax} \cdot \frac{a}{L} \cdot \mu \geq F_{ax} \Rightarrow \boxed{\frac{a}{L} \geq \frac{1}{2\mu}}$$

(condição para auto-retenção)

## Tensões e deformações



$$r \in [r_i, r_e]$$



$$\text{Axissimetria} \Rightarrow \frac{\partial \sigma_t}{\partial \alpha} = 0$$

$$\sum F_r = 0, \quad \text{Assumindo largura unitária (b = 1)}$$

$$0 = -\sigma_r \times d\alpha + \left( \sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} \times dr \right) (r + dr) d\alpha - 2\sigma_t \cdot dr \cdot \text{sen}\left(\frac{d\alpha}{2}\right)$$

$$\text{Mas : } \text{sen}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \cong \frac{d\alpha}{2} \Rightarrow \frac{\partial(\sigma_r \cdot r)}{\partial r} - \sigma_t = 0 \quad \text{I} \quad \text{Condição de equilíbrio}$$

$$\varepsilon_t = \frac{(r + u)d\alpha - r \cdot d\alpha}{r \cdot d\alpha} = \frac{u}{r}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\left( u + \frac{\partial u}{\partial r} dr + dr - u \right) - dr}{dr} = \frac{du}{dr} = \frac{d(\varepsilon_t \cdot r)}{dr} \quad \text{II} \quad \text{Condição de compatibilidade}$$

Relação entre tensão e deformação :

$$\sigma_r - \nu \cdot \sigma_t = E \cdot \varepsilon_r$$

$$\sigma_t - \nu \cdot \sigma_r = E \cdot \varepsilon_t \quad \textcircled{\text{III}}$$

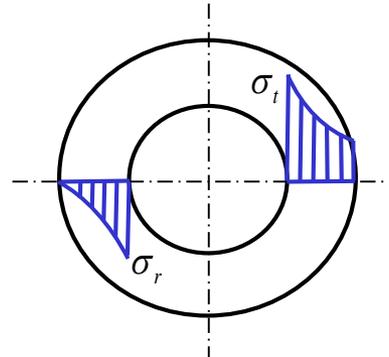
De I, II e III :

$$r \frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + 3 \frac{d\sigma_r}{dr} = 0$$

Cuja solução é do tipo :

$$\sigma_r = \frac{A}{r^2} + B$$

## Cubo



Pressão interna

$$\begin{cases} r = r_i \Rightarrow \sigma_r = -p \\ r = r_e \Rightarrow \sigma_r = 0 \end{cases}$$

$$\sigma_r = p \frac{\left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2} \left[ 1 - \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right]$$

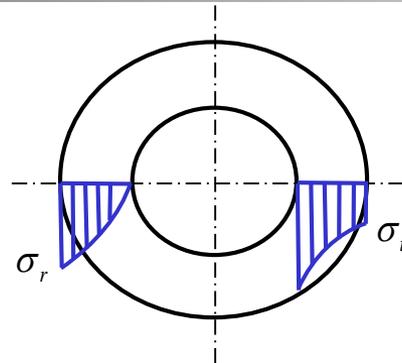
$$\sigma_t = p \frac{\left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2} \left[ 1 + \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right]$$

Deslocamento  
em  $r = r_i$

$$\frac{u_i}{r_i} = \frac{p}{E} \left[ \frac{1 + \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2} + \nu \right]$$

$E = \text{módulo de elasticidad e}$   
 $\nu = \text{coeficient e de poisson}$

Eixo



Pressão externa  $\begin{cases} r = r_i & \Rightarrow & \sigma_r = 0 \\ r = r_e & \Rightarrow & \sigma_r = -p \end{cases}$

$$\sigma_r = -p \frac{1 - \left(\frac{r_i}{r}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}$$

$$\sigma_t = -p \frac{1 + \left(\frac{r_i}{r}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}$$

Deslocamento em  $r = r_e$

$$\frac{u_e}{r_e} = -\frac{p}{E} \left[ \frac{1 + \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2} - \nu \right]$$

$r_i = 0 \Rightarrow \sigma_r = \sigma_t = -p$

Interferência :

$$u_r = u_{ic} - u_{eE}$$

$$\frac{u_r}{r} = \frac{p}{E_c} \left[ \frac{1 + \left( \frac{r_{ic}}{r_{ec}} \right)^2}{1 - \left( \frac{r_{ic}}{r_{ec}} \right)^2} + \nu_c \right] + \frac{p}{E_E} \left[ \frac{1 + \left( \frac{r_{iE}}{r_{eE}} \right)^2}{1 - \left( \frac{r_{ie}}{r_{eE}} \right)^2} - \nu_E \right]$$

Para :

$$\left. \begin{aligned} E_c &= E_E = E \\ \nu_c &= \nu_E = \nu \end{aligned} \right\} \text{mesmo material}$$

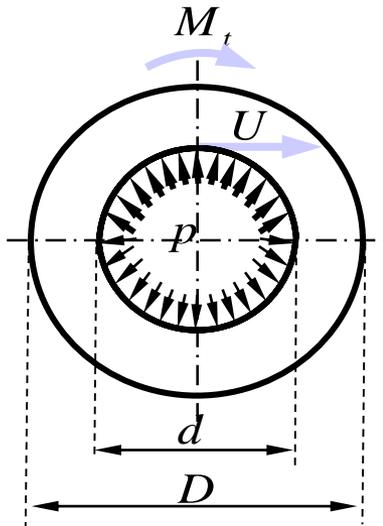
$$r_{iE} = 0 \quad \text{eixo maciço}$$

$$r_{cE} = r_{ic} = \frac{d}{2}$$

$$r_{ec} = \frac{D}{2}$$

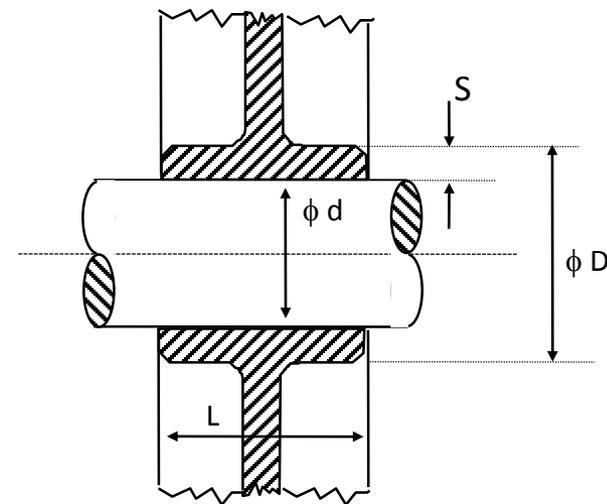
$$\frac{u_r}{r} = \frac{u_d}{d} = \frac{p}{E} \cdot \frac{2}{1 + \left( \frac{d}{D} \right)^2}$$

### 7.2.2 - Uniões Eixo-Cubo através de ajuste com Interferência Transversal



- $d_e$  - diâmetro eixo
- $d_1$  - diâmetro do furo ( $d_1 < d_e$ )
- $u = d_e - d_1 \rightarrow$  interferência

Força Tangencial : 
$$U = \frac{2 \cdot M_t}{d}$$



**Forças de deslizamento e retenção :**

Força de deslizamento igual à força a ser transmitida ao eixo

$$H_R = U \qquad H_R = 0,47 \cdot H \quad \Rightarrow \quad H = \frac{U}{0,47}$$

**Interferência mínima necessária  $p$ / transmitir  $M_t$  :**

$$H = u_m \cdot q_1 \cdot L \cdot [1 - (\frac{d}{D})^e] \geq U = \frac{2 \cdot M_t}{d}$$

- $u_m \Rightarrow$  interferência mínima necessária
- $q_1, e \Rightarrow$  tab. 18.4 pag. 66 Niemann v.2

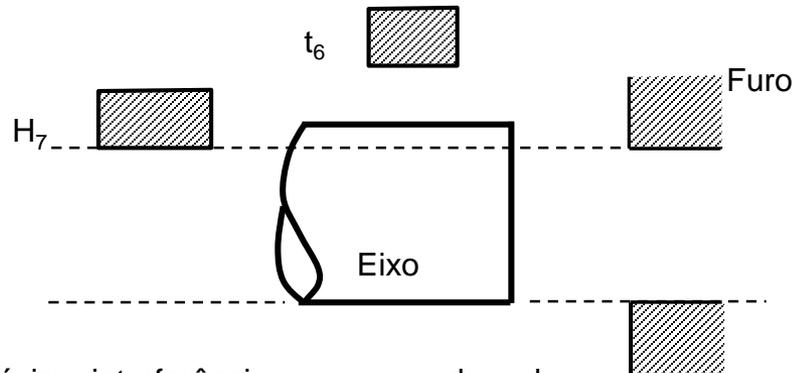
$$u_m = \frac{H}{q_1 \cdot L \cdot [1 - (\frac{d}{D})^e]}$$

**Valor da máxima interferência elástica :**

$u_m < u_e$  , senão há deformações plásticas no ajuste

$u_e$  : tab. 18.4 (interferência máxima)

**Escolha do ajuste que satisfaz :**



• Eixo :  $t_6 - d_{eM}, d_{em}$

• Furo :  $H_7 - d_{1M}, d_{1m}$

• máxima interferência :  $u_{\max \text{ aj.}} = d_{eM} - d_{1m}$

• mínima interferência :  $u_{\min \text{ aj.}} = d_{em} - d_{1M}$

$$u_{\max \text{ aj}} < u_e$$

$$u_{\min \text{ aj}} > u_m$$

Devemos ter :

Ex :

Eixo 40  $H_7 t_6$   $\longrightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{eixo} \\ \text{furo} \end{array} \right.$

$u_e = 140 \mu\text{m}$   $40^{+64}_{+48}$

$u_m = 20 \mu\text{m}$   $40^{+25}_{+0}$

$u_{\max \text{ aj.}} = 64 - 0 = 64 \text{ } [\mu\text{m}]$   $64 < 140 \text{ OK!}$

$u_{\min \text{ aj.}} = 48 - 25 = 23 \text{ } [\mu\text{m}]$   $23 > 20 \text{ OK!}$

TABELA 11.4 – Valores admissíveis de  $p$ ,  $\tau_f$  e  $\tau$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) para junções por pinos, segundo a Tab. 11.3, com solicitação “pulsante”. Para solicitações “alternantes”, multiplicar por 0,7, para estáticas, por 1,5. Para movimento de escorregamento, adotar  $p$  segundo o Cap. 15.6. Para pinos ranhurados, multiplicar os valores de  $p$  também por 0,7 (pressão elevada de ranhura).

Material	St 37	St 50	St 60	St 70	GS	GG
$p$	650	880	1050	1200	550	450
$\sigma_f$	550	700	850	1000	—	—
$\tau$	360	480	580	680	—	—

NIEMANN, G. (1971) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.1, p.185

TABELA 18.4 – Coeficientes para ajustes forçados, segundo experiências [18/9], [18/10]

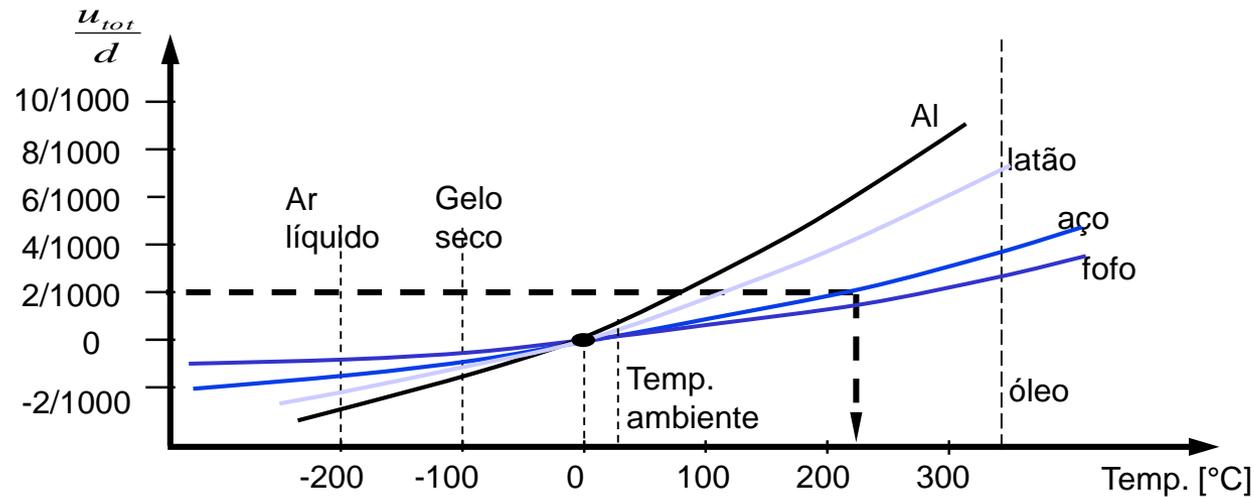
Material		$u_e$	$q_1$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$e$	$q_2$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$B$	$C$
Eixo	Cubo	(cm)	da Eq. (8)		da Eq. (9)	da Eq. (10)	
St 50	St 50	$d \cdot 3,5/1\ 000$	$5 \cdot 10^5$	2	$2,1 \cdot 10^5$	112	450
St 50	GG	$d \cdot 2,2/1\ 000$	$3,7 \cdot 10^5$	1	$1,12 \cdot 10^5$	510	0
St 50	elétron	$d \cdot 2/1\ 000$	$1,4 \cdot 10^5$	1	$0,72 \cdot 10^5$	225	0

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.2, p.66

Determinação da temperatura de montagem :

$$u_{tot} = u_{\max aj} + u_f \quad u_f = \frac{d}{1000} \text{ (folga para montagem)}$$

$\frac{u_{tot}}{d}$  = dilatação térmica relativa



Exemplo :  $\frac{u_{tot}}{d} = \frac{2}{1000}$ ; Material Aço  $\rightarrow$   $t_{montagem} = 220^{\circ}\text{C}$

OBS.:

$u_{total}$  pode ser maior que  $u_e$  só na montagem, a união neste caso vai trabalhar com  $u_{\max ajuste}$

**Alguns dados importantes :**

a) Pressão específica admissível -  $p_{adm}$

$$p_{adm} \begin{cases} \bullet 30 \text{ a } 60 \text{ [MPa]} & \text{para ferro fundido (fofo)} \\ \bullet 50 \text{ a } 90 \text{ [MPa]} & \text{para aço} \end{cases}$$

Ver também tabela 11.4

b) Coeficiente de atrito

$\mu$

**estático**



$$\mu_{est} = 0,15 \sim 0,30$$

depende :

- lubrificação
- pressão específica
- acabamento superficial

com pó Carborundum :

$$\mu_{est} = 0,65$$

**dinâmico**



$$\mu_{din} = 0,5 \cdot \mu_{est}$$

c) Máxima interferência para se ter regime elástico :

Eixo	Cubo	Interferência [ $\mu\text{m}$ ]
Aço	Aço	3.5d
Aço	FoFo	2.2d
Aço	Celeron	2.0d

### Temperaturas de referência

$u_t$  máximo possível de ser conseguida

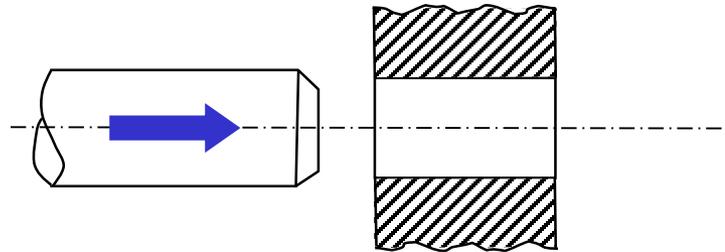


<b>Aquecimento do Cubo</b>	Chapa quente Óleo quente Forno	Até 100°C Até 370°C Até 700°C	$\frac{3.5d}{1000}$
<b>Resfriamento do eixo</b>	Gelo seco (CO <sub>2</sub> líq.) O <sub>2</sub> líq. , N <sub>2</sub> líq	Até -80°C Até -196°C	$\frac{0.67d}{1000}$

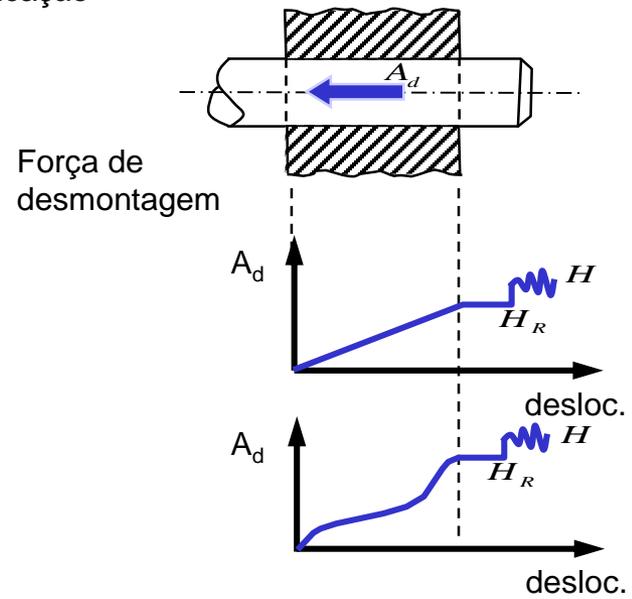
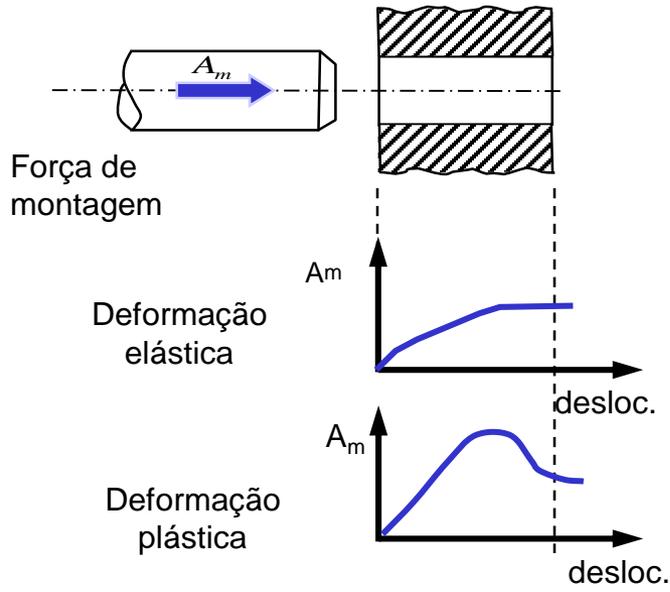
Se  $u_t > u_{t_{\max}}$  possível , aquecer cubo e resfriar eixo

### 7.2.3 - União Eixo-Cubo através de Ajuste com Interferência Longitudinal

$$H_R = 0.66H$$



- furo acabado com alargador H7
- eixo retificado IT6
- chanfro ( 10° a 15°)
- lubrificação



Força desmont. = H , H<sub>R</sub> !

**Interferência mínima necessária :**

a) No regime elástico :

$$u \leq u_e = \frac{3,5 \cdot d}{1000}$$

$$H \geq u_m \cdot q_2 \cdot L \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^e\right) \quad q_2, e \rightarrow \text{tab 18.4 – Niemann, v.2, p.66}$$

$$u_m = \frac{H}{q_2 \cdot L \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^e\right)}$$

$$H = \frac{U}{0.66} \text{ int. longitudinal} \rightarrow \text{amassa rugosidade}$$

$$H = \frac{U}{0.47} \text{ interferência transversal}$$

b) No regime plástico :

$$u > u_e = \frac{3,5 \cdot d}{1000}$$

$$H_{\text{possível}} = L \cdot (B \cdot d + C) \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)\right) \quad ; B, C \rightarrow \text{tab 18.4 - Niemann, v.2, p.66}$$

garantindo-se  $u$  pouco acima de  $u_e$ ,  $H$  não depende de  $u$ .

$$u_m = 1,1 \cdot u_e$$

Se  $H_{\text{necessário}} > H_{\text{possível}}$  então união eixo-cubo não pode ser feita com ajuste longitudinal

Interferência total :

$$u_t = u_m + u_v$$

$u_v$  → compensar perda de interferência por alisamento na montagem

$u_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	0.7	1	2	3	4	5	6	7
Acab. furo	▽▽▽▽		▽▽▽		▽▽		▽	~

Escolha do ajuste :

<b>Ajuste</b>	H <sub>7</sub> S <sub>6</sub>	H <sub>7</sub> t <sub>6</sub>	H <sub>7</sub> u <sub>6</sub>	H <sub>7</sub> x <sub>6</sub>	H <sub>7</sub> Z <sub>6</sub>	H <sub>7</sub> Z <sub>a6</sub>	H <sub>7</sub> Z <sub>b6</sub>	H <sub>7</sub> Z <sub>c6</sub>
$u_t \frac{1000}{d}$	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	3.15	4.00	5.00

$$u_{\min \text{ aj}} > u_t$$

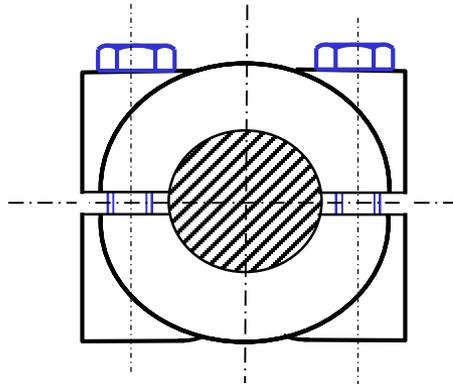
$$u_{\max \text{ aj}} < u_e$$

p/ regime elástico

$$u_{\min \text{ aj}} > u_e$$

p/ regime plástico

### 7.2.4 - União por Atrito com Cubo bi-partido



$$H = \pi \cdot d \cdot L \cdot p \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_t}{d}$$

$$P_s = p \cdot d \cdot L = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot d \cdot \mu}$$



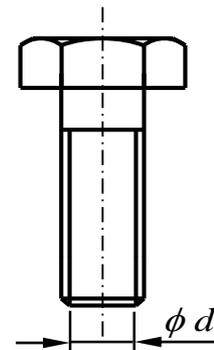
$P_s$  = número de parafusos  $\times$  carga admissível por parafuso

$$P_s = n \cdot P_p$$

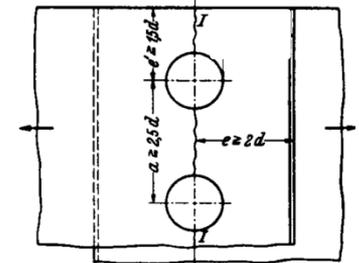
$$P_p = S_p \cdot \sigma_{adm}$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

$$\sigma_{adm} = 10 \text{ [kgf/mm}^2\text{]} (\textit{usual})$$



Distribuição orientativa:



$$n = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot d \cdot \mu \cdot S_p \cdot \sigma_{adm}}$$

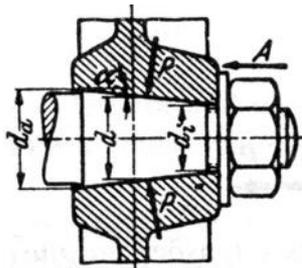
$$L_{\min} = \frac{P_s}{p_{adm} \cdot d}$$

### 7.2.5 - União por Atrito com Assento Cônico

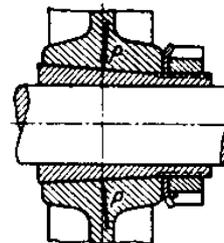
Vantagem



facilidade de desmontagem



eixo cônico



cone postiço

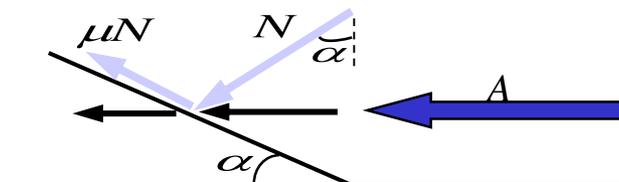
Escolha de  $\alpha$  :

Uso do cubo



$\alpha$  : tab 18.5 - NIEMANN v.2, p.68

Força Axial necessária ( A ) :



$$A = N \sin \alpha + \mu \cos \alpha$$

$$A = N (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad ; \alpha \text{ pequeno}$$

$$A = N (\tan \alpha + \mu) \quad ; H = \mu N$$

$$A = H \cdot \frac{(\tan \alpha + \mu)}{\mu}$$

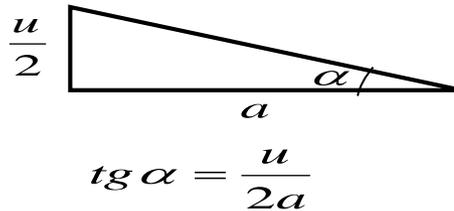
$$H = \frac{2.M_t}{0,47.d_{medio}}$$

$$H_R = U = 0,47.H$$

- Interferência mínima necessária :

$$H = u_m \cdot q_1 \cdot L \cdot \left( 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^e \right)$$

- Deslocamento axial necessário :

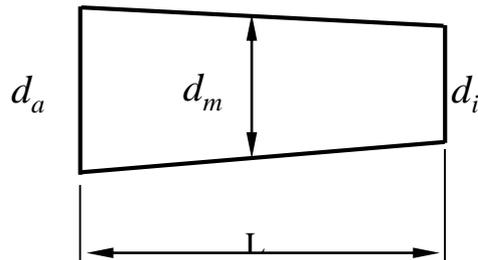


$$a = \frac{u_m}{2 \cdot tg \alpha}$$

- Pressão específica :

$$p = \frac{H}{\mu \cdot \pi \cdot d_{med} \cdot L} \leq P_{adm}$$

- Dimensões do cone :



$$d_a = d_m + L \cdot tg \alpha$$

$$d_i = d_m - L \cdot tg \alpha$$

$$tg \alpha = \frac{d_a - d_i}{2 \cdot L}$$

TABELA 18.5 – *Inclinações comuns para cones.*

Cone $(d_a - d_i)/L$	Inclinação $\text{tg } \alpha$	$\alpha$	Empregado para
1 : 5	1 : 10	5° 42' 38"	cubos facilmente desmontáveis sobre eixos
1 : 10	1 : 20	2° 51' 45"	cubos desmontáveis sobre eixos e buchas reajustáveis para mancais
1 : 12	1 : 24	2° 23' 10"	buchas cônicas para mancais de êmbolo
1 : 15	1 : 30	1° 54' 30"	hélices, hastes do êmbolo
1 : 20	1 : 40	1° 25' 56"	cone métrico; DIN 233 para ferramentas

*Valores práticos:*  $\text{tg } \alpha$ , segundo Tab. 18.5; coeficiente de atrito  $\mu = \text{tg } \rho = 0,15$  a  $0,25$ .

NIEMANN, G. (1995) Elementos de Máquinas. Ed. Edgard Blücher Ltda. V.2, p.68



## Exemplo de cálculo – União por polia bipartida

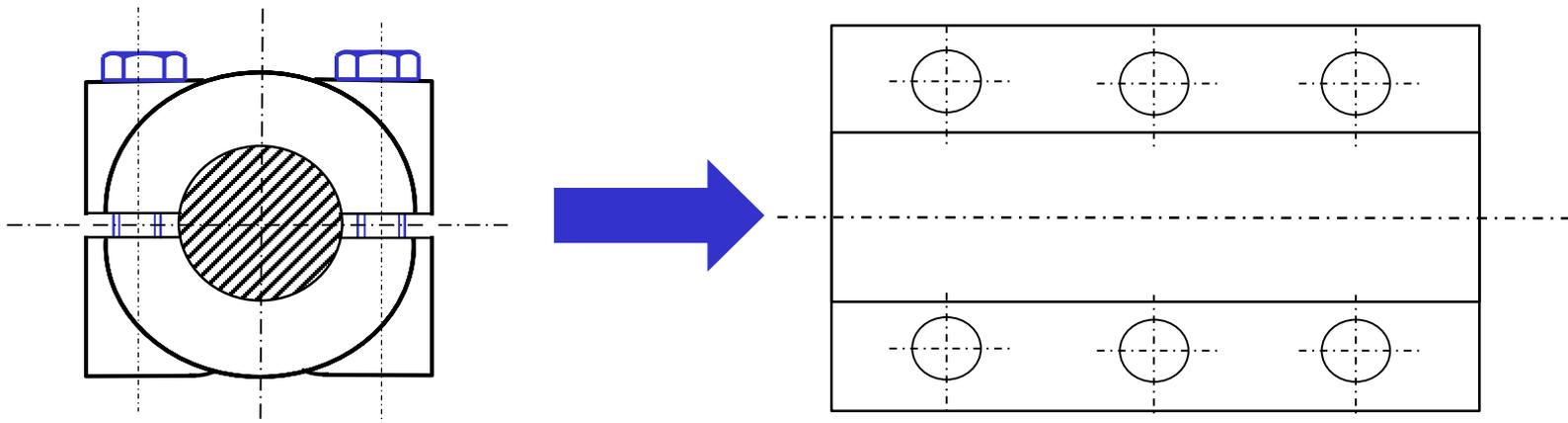
Uma polia bipartida deve ser acoplada a um eixo de diâmetro  $d = 40$  [mm] para a transmissão por atrito de um momento de torção  $M_t = 3.000$  [kgf.cm]. O eixo é de aço e a polia de ferro fundido. Pretende-se usar na fixação das duas partes da polia 6 parafusos (3 de cada lado) M10.

Pede-se:

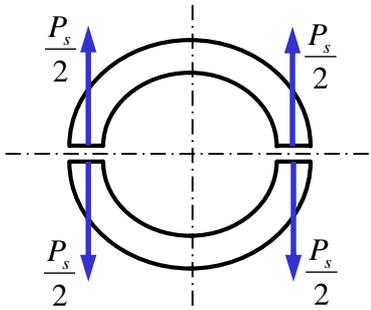
- a) verificar a resistência dos parafusos se a tensão admissível dos mesmos for :  
 $\sigma_{adm} = 500$  [kgf/cm<sup>2</sup>], coeficiente de atrito = 0,25;
- b) determinar o comprimento (axial) mínimo do cubo da polia.

## Resolução

Exemplos



## a) Resistência dos parafusos



$$P_s = p \cdot d \cdot L \geq \frac{U}{\pi \cdot \mu} = \frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot d \cdot \mu}$$

$P_s$  - força de separação do cubo

A pressão específica na área projetada deve obedecer :

$$p \leq p_{adm} \rightarrow L_{min} = \frac{P_s}{p_{adm} \cdot d}$$

$$P_s = p \cdot d \cdot L \geq \frac{U}{\pi \cdot \mu} = \frac{2 \cdot 3000}{\pi \cdot 4,0 \cdot 0,25} = 1909,85 \text{ Kgf}$$

$$p_{adm} = 450 \text{ Kgf/mm}^2 \quad \Rightarrow \quad L_{min} = \frac{P_s}{p_{adm} \cdot d} = \frac{1909,85}{315,40} = 1,26 \text{ mm}$$

(Tab. 11.4)

(Considerando solicitação alternada:  $p_{adm} = 450 \cdot 0,7 = 315 \text{ Kgf/mm}^2$ )

Força de tração por parafuso ( $P_p$ ): 
$$P_p = \frac{P_s}{n_p} = \frac{1909,85}{6} = 318,31 \text{ Kgf}$$

Tensão no parafuso:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_p} = \frac{318,31}{\pi \cdot d_p^2 / 4} = \frac{4 \cdot 318,31}{\pi \cdot 8,05^2} = 6,25 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} = 625 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} > 500 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{REPROVADO !!}$$

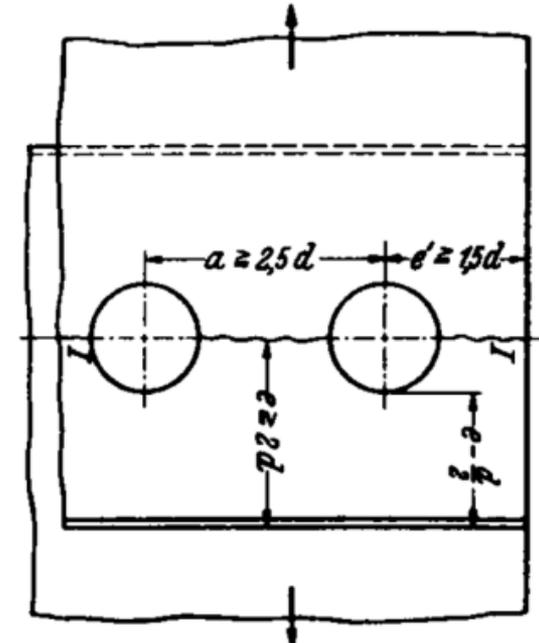
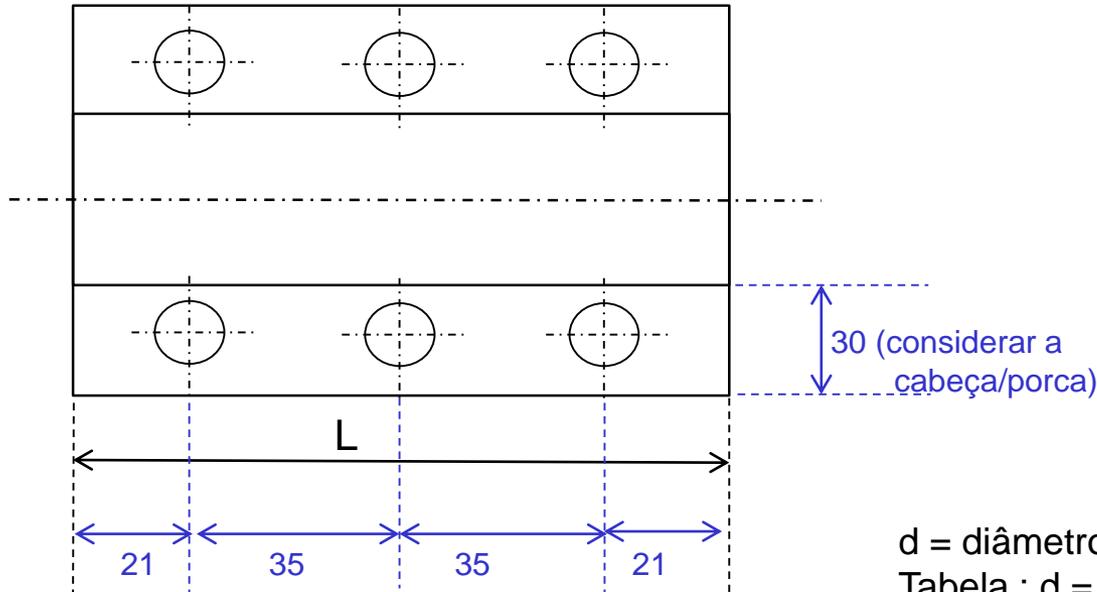
Opções: - mudar material do parafuso;  
- alterar parafuso, p. ex. M12

Para M12:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_p} = \frac{318,31}{\pi \cdot d_p^2 / 4} = \frac{4 \cdot 318,31}{\pi \cdot 9,73^2} = 4,28 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} = 428 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} < 500 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{OK !!}$$

Portanto serão usados 6 parafusos M12

b) Comprimento do cubo



$d$  = diâmetro do furo para o parafuso:  
 Tabela :  $d = 14$  mm (usinado com broca) para M12