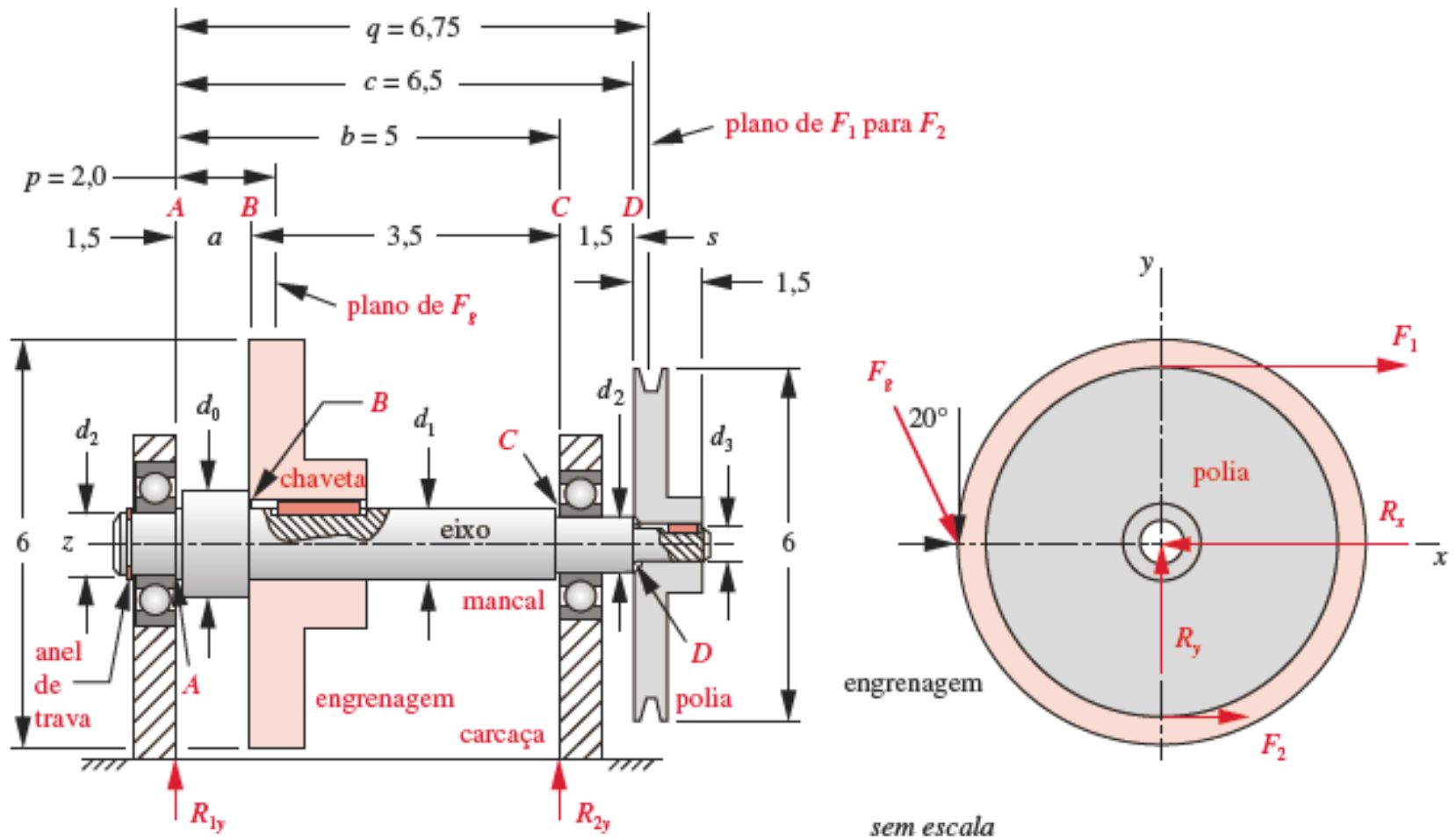
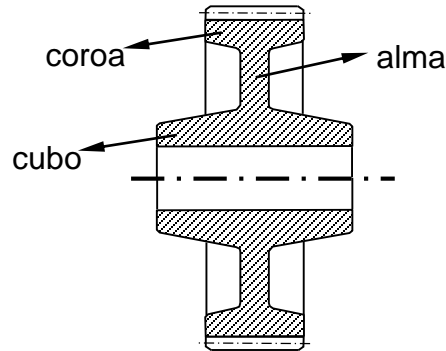


7 - UNIÕES EIXO - CUBO



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

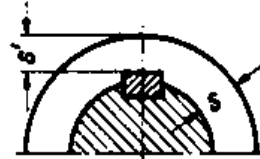
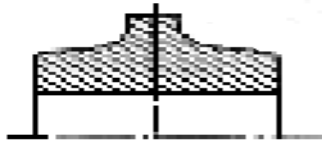
II - UNIÕES ENCAIXADAS (adaptação de forma)

- 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



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

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

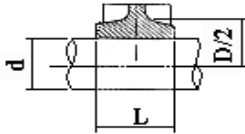
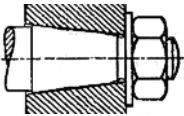
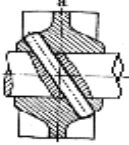
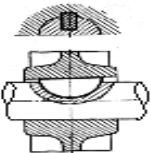
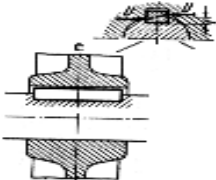
$$S' \cong y' \cdot \sqrt[3]{M_t} \quad M_t : [\text{Kgf.cm}]$$

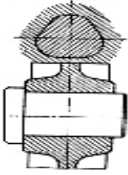
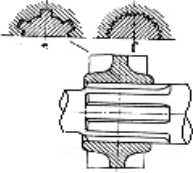
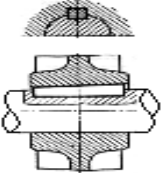
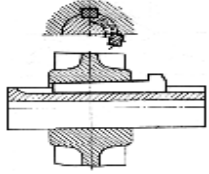
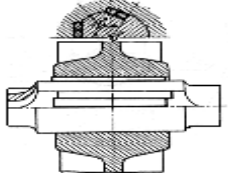
Tabela 18.1 Niemann

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

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

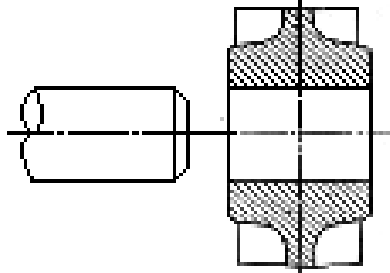
$$\text{também :} \quad 2 \cdot L_{\text{engrenagem}} \geq L_{\text{cubo}} \geq L_{\text{engrenagem}}$$

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

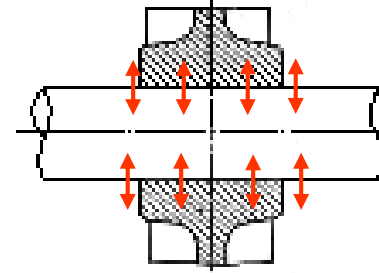
ESQUEMA	UNIÃO EIXO CUBO
	<p>Perfil K Perfil K, arruela e porca</p>
	<p>Ranhuras Ranhuras, arruela e porca Dentes Dentes, arruela e porca</p>
	<p>Chaveta Inclinada Embutida</p>
	<p>Chaveta Inclinada c/ cabeça</p>
	<p>Chaveta Tangencial Chaveta Tangencial Cubo bi-partido</p>

7.2 – Uniões por atrito

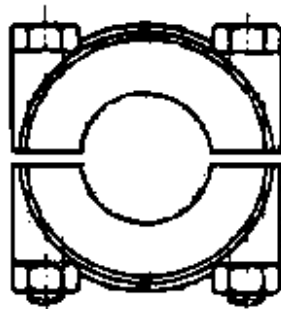
Montagem com prensa



Montagem com dilatação térmica

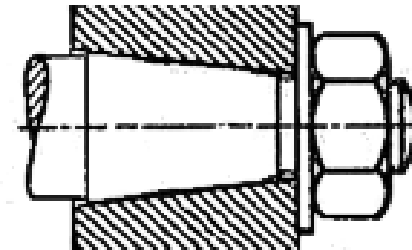


Interferência longitudinal



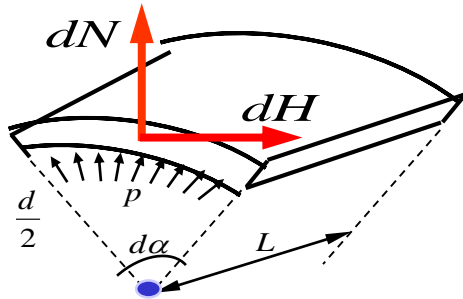
Cubo bipartido

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 - μ

$$dH = \mu \cdot dN$$

$$dN = p \cdot dA$$

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

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

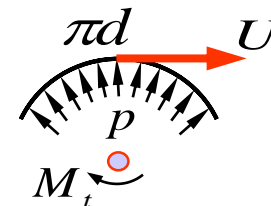
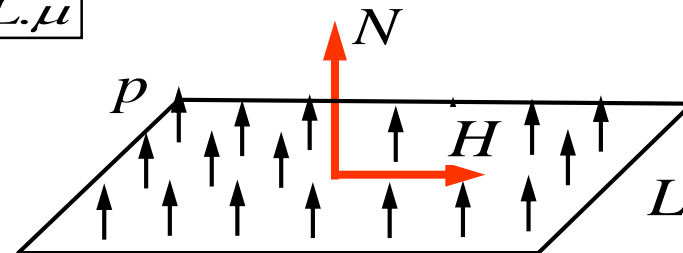
$$H = \mu \cdot N \Rightarrow \boxed{H = p \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \mu}$$

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

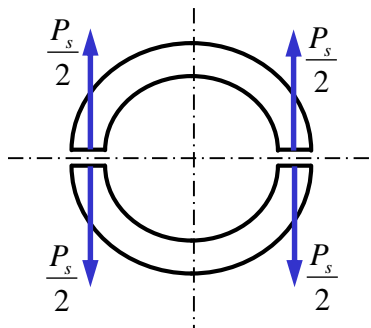
$$\frac{L}{d} = \frac{1}{8 \cdot \mu \cdot p} \cdot \tau_{\max}$$

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

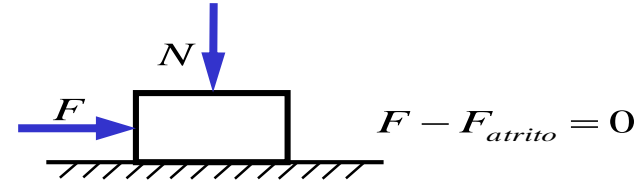
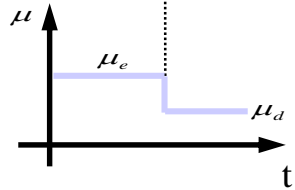
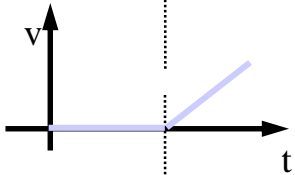
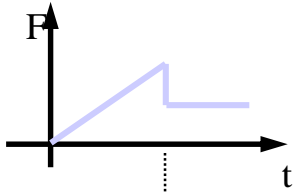
A pressão específica na área projetada deve obedecer :

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

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_{adm}	650 65	880 88	1050 105	1200 120	550 55	450 45
σ_{fadm}	550 55	700 70	850 85	1000 100	- -	- -
T_{adm}	360 36	480 48	580 58	680 68	- -	- -

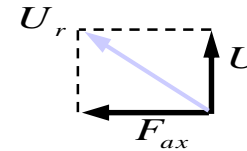
- Para solicitação alternada multiplicar por 0,7
- Para solicitação estática multiplicar por 1,5
- No caso de cavilhas, multiplicar por 0,7 os valores de p_{adm}



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

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

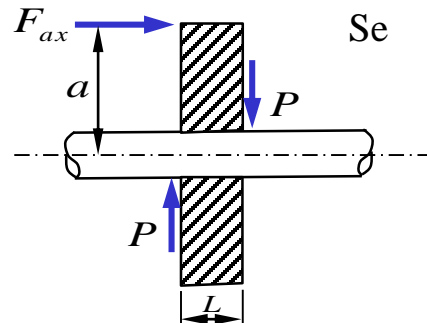
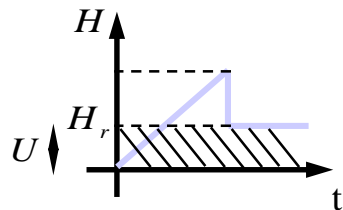
Se houver também força axial, considerar U_r em vez de U



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.)

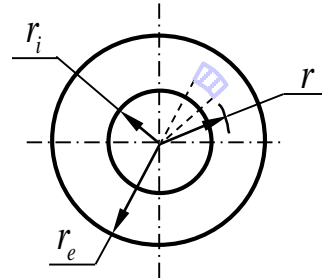


Se $H \geq F_{ax}$ $H = 2P\mu$

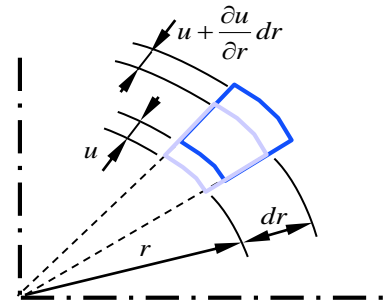
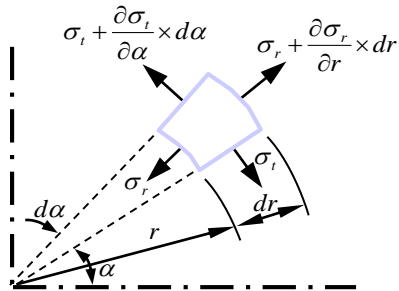
$$H = 2F_{ax} \cdot \frac{a}{L} \cdot \mu \geq F_{ax} \Rightarrow \boxed{\frac{a}{L} \geq \frac{1}{2\mu}}$$

(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 :

$$\begin{aligned} \sigma_r - \nu \cdot \sigma_t &= E \cdot \varepsilon_r \\ \sigma_t - \nu \cdot \sigma_r &= E \cdot \varepsilon_t \end{aligned} \quad \textcircled{\text{III}}$$

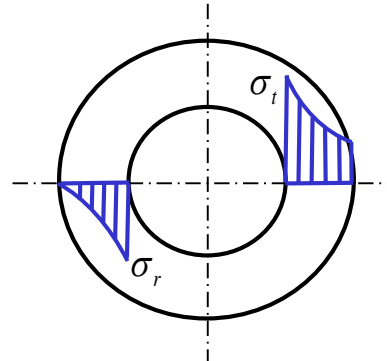
De I, II e III :

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

Cuja solução é do tipo :

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

Cubo



Pressão interna

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

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

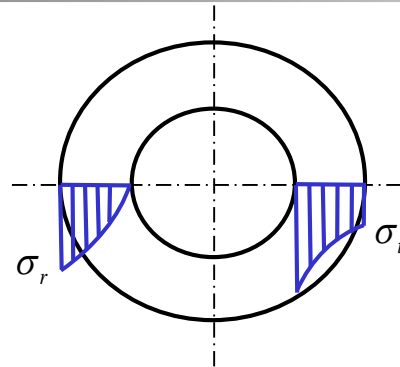
$$\sigma_t = p \frac{\left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2} \left[1 + \left(\frac{r_e}{r}\right)^2 \right]$$

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 :

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

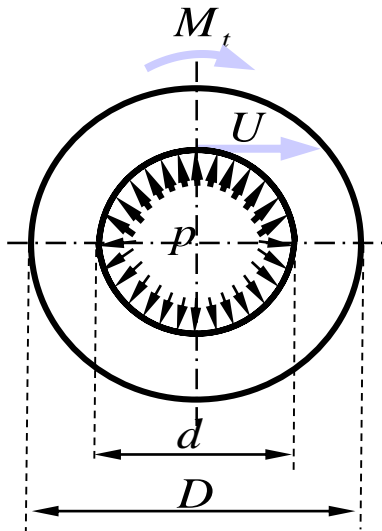
$$r_{iE} = 0 \quad \text{eixo maciço}$$

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

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

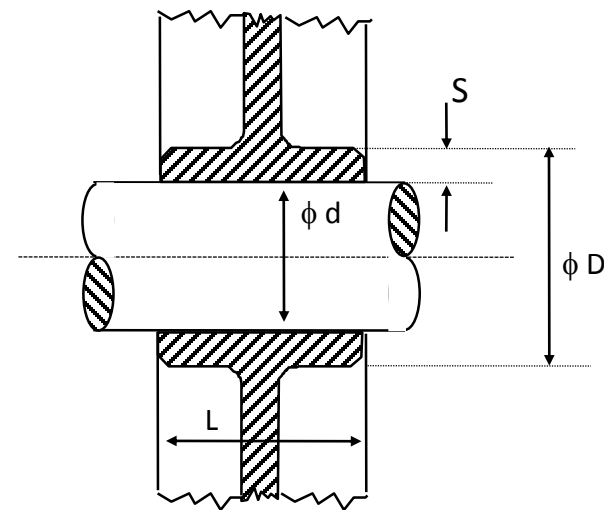
$$\frac{u_r}{r} = \frac{u_d}{d} = \frac{p}{E} \cdot \frac{2}{1 + \left(\frac{d}{D} \right)^2}$$

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

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

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

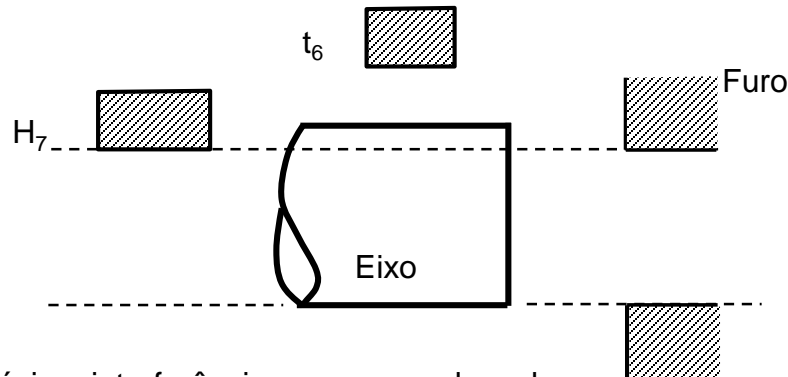
$$u_m = \frac{H}{q_1 \cdot L \cdot [1 - (\frac{d}{D})^e]}$$

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
 $u_e = 140 \mu\text{m}$
 $u_m = 20 \mu\text{m}$

\longrightarrow

{	<i>eixo</i>	40^{+64}_{+48}
	<i>furo</i>	40^{+25}_{+0}

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

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

TABELA 11.4 – Valores admissíveis de p , τ_f e τ (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
σ_f	550	700	850	1000	—	—
τ	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]

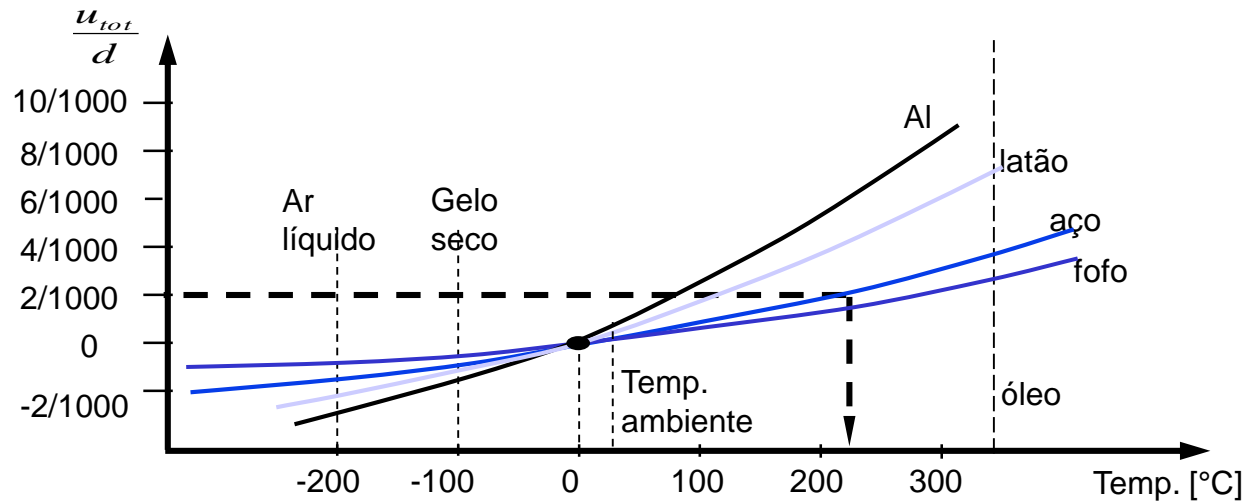
Material		u_e	q_1 (kgf/cm^2)	e	q_2 (kgf/cm^2)	B	C
Eixo	Cubo	(cm)	da Eq. (8)		da Eq. (9)	da Eq. (10)	
St 50	St 50	$d \cdot 3,5/1\ 000$	$5 \cdot 10^5$	2	$2,1 \cdot 10^5$	112	450
St 50	GG	$d \cdot 2,2/1\ 000$	$3,7 \cdot 10^5$	1	$1,12 \cdot 10^5$	510	0
St 50	elétron	$d \cdot 2/1\ 000$	$1,4 \cdot 10^5$	1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

μ

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 [μm]
Aço	Aço	3.5d
Aço	FoFo	2.2d
Aço	Celeron	2.0d

Temperaturas de referência

u_t máximo possível de ser conseguida

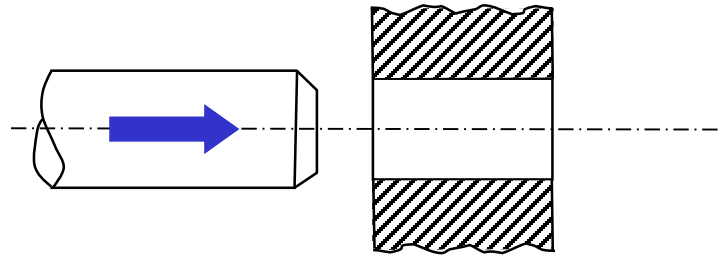


Aquecimento do Cubo	Chapa quente Óleo quente Forno	Até 100°C Até 370°C Até 700°C	$\frac{3.5d}{1000}$
Resfriamento do eixo	Gelo seco (CO ₂ líq.) O ₂ líq. , N ₂ líq	Até -80°C Até -196°C	$\frac{0.67d}{1000}$

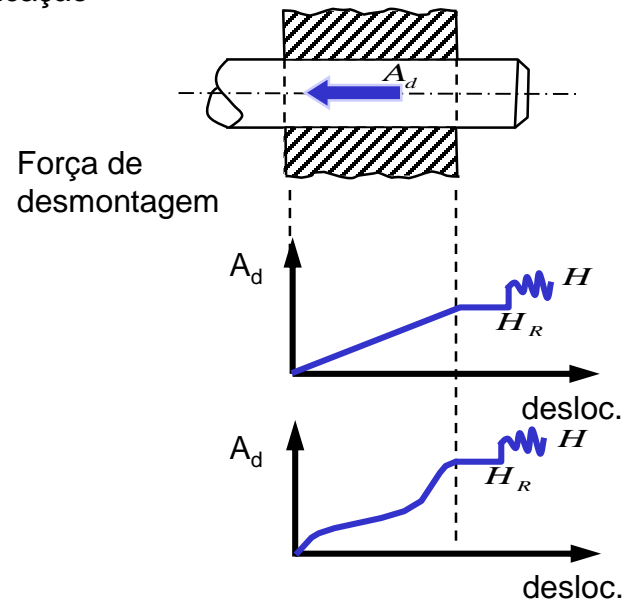
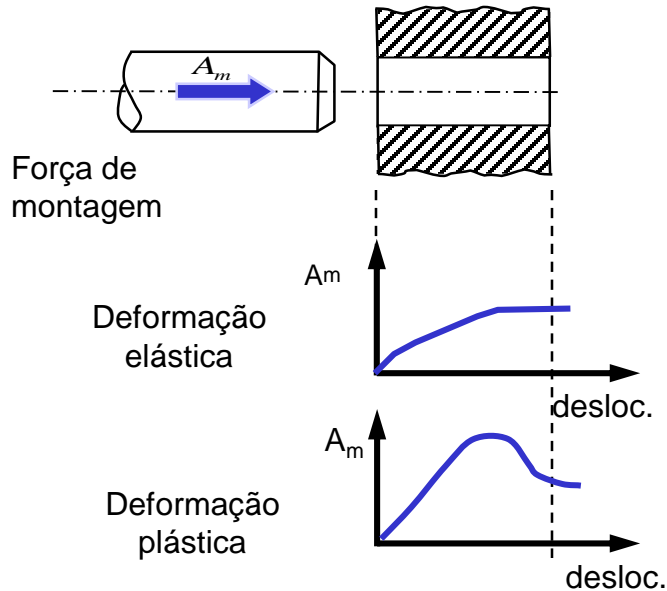
Se $u_t > u_{t_{\max}}$ possível , aquecer cubo e resfriar eixo

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_R !

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 :

$$u_t = u_m + u_v$$

$u_v \rightarrow$ compensar perda de interferência por alisamento na montagem

u_v [μm]	0.7	1	2	3	4	5	6	7
Acab. furo	▽▽▽▽		▽▽▽		▽▽		▽	~

Escolha do ajuste :

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

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

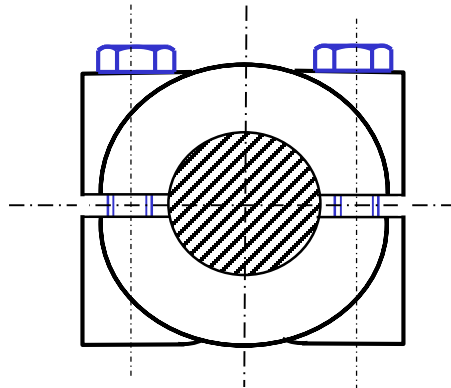
$$u_{\max \text{ aj}} < u_e$$

p/ regime elástico

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

p/ regime plástico

7.2.4 - União por Atrito com Cubo bi-partido



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

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



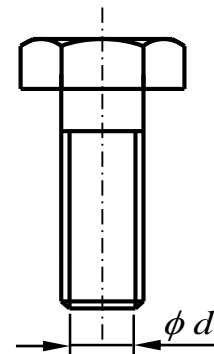
P_s = número de parafusos \times carga admissível por parafuso

$$P_s = n \cdot P_p$$

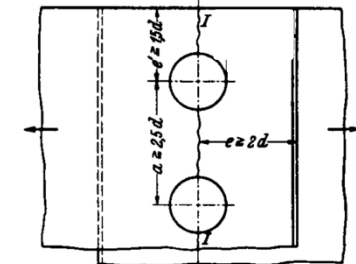
$$P_p = S_p \cdot \sigma_{adm}$$

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

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



Distribuição orientativa:



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

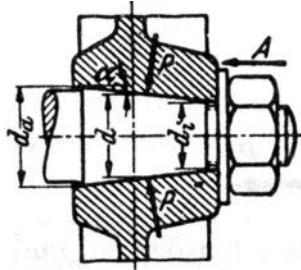
$$L_{\min} = \frac{P_s}{p_{adm} \cdot d}$$

7.2.5 - União por Atrito com Assento Cônico

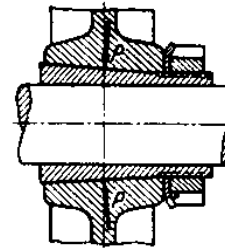
Vantagem



facilidade de desmontagem



eixo cônico



cone postiço

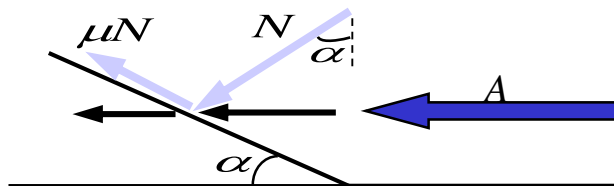
Escolha de α :

Uso do cubo



α : tab 18.5 - NIEMANN v.2, p.68

Força Axial necessária (A) :



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

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

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

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

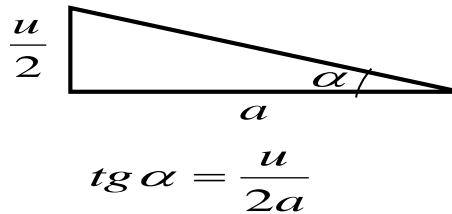
$$H = \frac{2.M_t}{0,47.d_{medio}}$$

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

- Interferência mínima necessária :

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

- Deslocamento axial necessário :

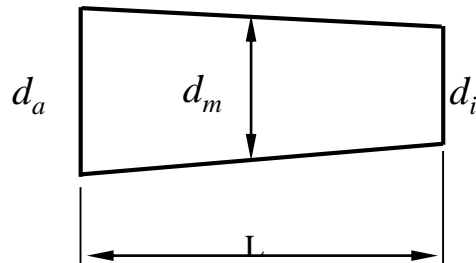


$$a = \frac{u_m}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

- Pressão específica :

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

- Dimensões do cone :



$$d_a = d_m + L \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$d_i = d_m - L \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

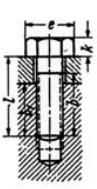

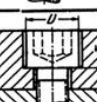

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_a - d_i}{2 \cdot L}$$

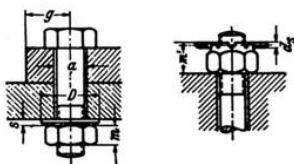
TABELA 18.5 – Inclinações comuns para cones.

Cone $(d_a - d_i)/L$	Inclinação $\text{tg } \alpha$	α	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

TABELA 10.13 – Dimensões dos parafusos				Parafusos Métricos													Parafusos em polegada														
																	Segundo DIN														
Diâmetro nominal	d			M 2	M 4	M 6	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36		1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"		
Passo	h	mm		0,4	0,7	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4	13 (2. 49x)	2,12	2,31	2,54	2,80	3,17	3,63	4,23	5,08	5,64	11 (6. 23x)	
Diâmetro do núcleo	d_1	mm		1,48	3,09	4,70	6,38	8,05	9,73	11,40	13,40	14,75	16,75	18,75	20,10	23,10	25,45	28,45	30,80	13 (2. 49x)	10,0	12,9	15,8	18,6	21,3	27,1	32,7	37,9	43,6	11 (6. 23x)	
Seção transversal do núcleo	F_1	mm ²		1,7	7,5	17,3	31,9	50,9	74,3	102	141	171	220	276	317	419	509	636	745	13 (2. 49x)	78	131	196	272	358	577	839	1131	1491	11 (6. 23x)	
	Parafuso sextavado	Altura da cabeça	k	mm	1,4	2,8	4,5	5,5	7	8	9	10,5	12	13	14	15	17	19	21	23	931 (12. 52)	9	11	13	16	18	22	27	32	36	931 (4. 42)
		Diâmetro circunscrito	$e \cong$	mm	4,6	8,1	11,5	16,2	19,6	21,9	25,4	27,7	31,2	34,6	36,9	41,6	47,3	53,1	57,7	63,5	931 (12. 52)	25,4	31,2	36,9	41,6	47,3	57,7	69,3	80,8	92,4	931 (4. 42)
		Abertura da chave de boca	s	mm	4,0	7	10	14	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	475 (1. 45)	22	27	32	36	41	50	60	70	80	475 (1. 45)
		Comprimento de rêsca	b	mm	6	10	15	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40	45	50	55	931 (12. 52)	25	30	35	38	42	50	62	70	75	931 (4. 42)
		Altura da porca	m	mm	1,6	3,2	5	6,5	8	9,5	11	13	15	16	17	18	20	22	25	28	931 (12. 52)	11	13	16	18	20	25	30	35	40	931 (4. 42)
		Altura da porca castelo	m'	mm		5	7,5	9,5	11	14	16	19	21	22	25	26	28	31	34	37	935 (4. 42)	16	19	22	26	28	34	42	47	52	935 (4. 42)
Diâmetro da coupinha	d_g	mm		1	1,5	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	94 (8. 39)	3	4	4	5	5	6	8	8	8	94 (8. 39)		
	Parafuso de cabeça cilíndrica	Altura da cabeça	k	mm	1,5	2,8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	18	20	84 (12. 52)	8	9	11	12	14	17	21			64 (1. 26x)
		Diâmetro da cabeça	D	mm	4	7	10	13	16	18	22	24	27	30	33	36	39	45	48	52	84 (12. 52)	19	24	30	33	38	45	56			64 (1. 26x)
		Comprimento de rêsca	b	mm	6	12	18	20	22	22	25	28	30	32	35	38	40	45	50	55	84 (12. 52)	30	36	42	48	55	68	80			64 (1. 26x)
	Parafuso com sextavado interno	Altura da cabeça	k	mm		4	6	8	10	12	16		20		24		30		36	912 (4. 46)	12,5	16	19	22	25						
		Diâmetro da cabeça	D	mm		7	10	13	16	18	24		30		36		45		54	912 (4. 46)	19	24	30	33	38						
		Comprimento de rêsca	b	mm		13	18	22	25	32	38		45		55		65		75	912 (4. 46)	30	36	42	48	55						
	Parafuso de embutir	Altura da cabeça	k	mm	1,2	2,3	3,3	4,4	5,5	6,5	7	7,5	8	8,5	13,1	14	16,6	16,6	18,3	20	87 (10. 42)	6,8	8	9,5	13	15,5					68 (1. 26x)
		Diâmetro da cabeça	D	mm	4	8	12	16	20	24	27	30	33	36	36	39	45	48	53	58	87 (10. 42)	24	30	36	36	42					68 (1. 26x)
		Comprimento de rêsca	b	mm	7	13	18	22	25	32	32	38	45	45	50	50	55	60	65	75	87 (10. 42)	30	36	42	48	55					68 (1. 26x)
Distância da borda	g	mm		6	8	10	13	16	18	20	23	23	25	26	29	32	35	38													
Diâmetro do furo para o parafuso	Usinado com broca	a	mm	2,4	4,8	7	9,5	11,5	14	16	18	20	23	25	27	30	33	36	39	69 (5. 43)	15	18	22	25	28	35	42	48	55	69 (5. 43)	
	Fundido	a	mm				10,5	13	15	18	20	22	25	27	30	33	36	40	42	69 (5. 43)	16	20	24	27	31	38	45	52	60	69 (5. 43)	
Arruela de apoio	D	mm		5,5	9	12	17	21	24	28	30	34	36	40	44	50	56	60	68	125 (5. 43)	24	30	36	40	50	60	72	85	98	125 (5. 43)	
Espessura da arruela de apoio	S	mm		0,5	0,8	1,5	2	2,5	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6		3	3	4	4	5	5	6	7	8		
Fôrça do parafuso P^* Material St 38.13		kgf						53	126	238	405	564	817	1163	1408	2400	2710	3580	4440		156	394	733	1165	1725	3269	5225	7491	10362		
Fôrça do parafuso P^* Material C 35		kgf						75	180	337	582	796	1172	1606	1992	2860	3720	4980	6150		219	551	1026	1632	2415	4577	7316	10488	14507		



Escalonamento dos comprimentos dos parafusos.
 l em mm. Até M 6: 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 21, 22 e acima, com intervalo de 5 mm até $l = 15l$ acima de M 6: 15, 20, 22, 25, 28, 30 e acima:
 Comprimento aparafusado: para aço $b_1 \cong 1 \cdot d$ para $b_1 \cong 2d$ até 2,5 d .

(Valores médios)
 24, 26, 28, 30, 35, 40, 45, 50

Varição para cada 10 mm
 $GGb_1 \cong 1,3 d$; para metal macio

Frezamento para apoio \cong diâmetro da arruela de apoio D .
 Qualidade do parafuso: Normal 4D com $\sigma_s > 19$ kgf/mm² (corresponde ao St 38); acima de 5D com $\sigma_s > 28$ kgf/mm² (corresponde ao St 50); para construção leve 8G com $\sigma_s > 64$ kgf/mm²; para casos especiais e parafusos de sextavado interno 10 K com $\sigma_s > 90$ kgf/mm².

Exemplo de cálculo – União por polia bipartida

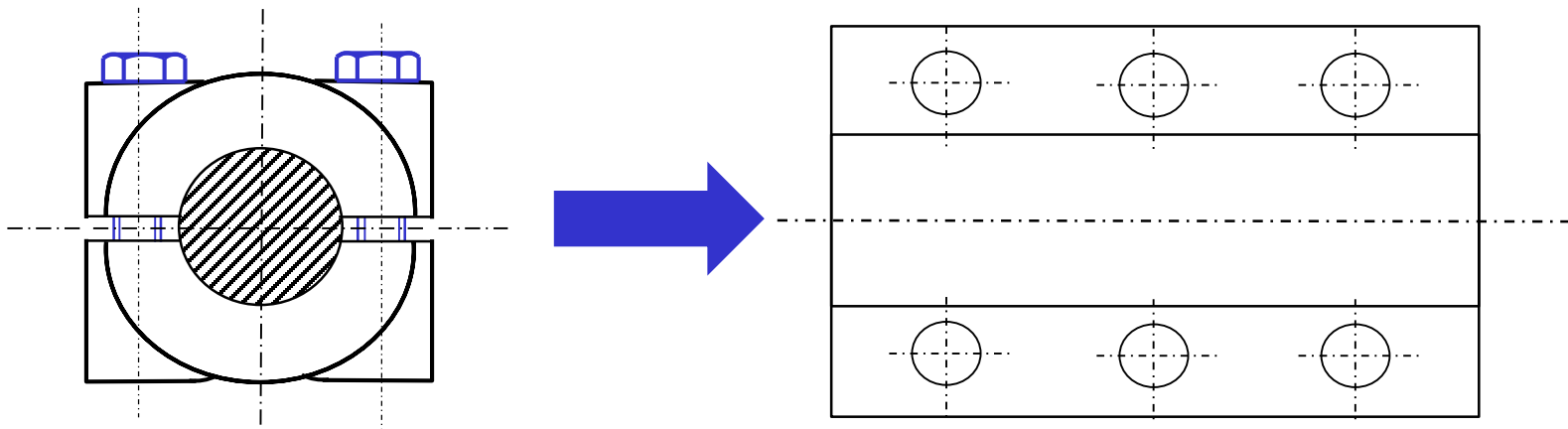
Uma polia bipartida deve ser acoplada a um eixo de diâmetro $d = 40$ [mm] para a transmissão por atrito de um momento de torção $M_t = 3.000$ [kgf.cm]. O eixo é de aço e a polia de ferro fundido. Pretende-se usar na fixação das duas partes da polia 6 parafusos (3 de cada lado) M10.

Pede-se:

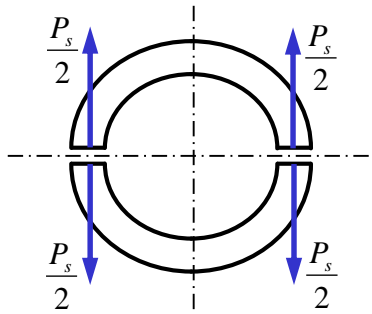
- a) verificar a resistência dos parafusos se a tensão admissível dos mesmos for :
 $\sigma_{adm} = 500$ [kgf/cm²], coeficiente de atrito = 0,25;
- b) determinar o comprimento (axial) mínimo do cubo da polia.

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:

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

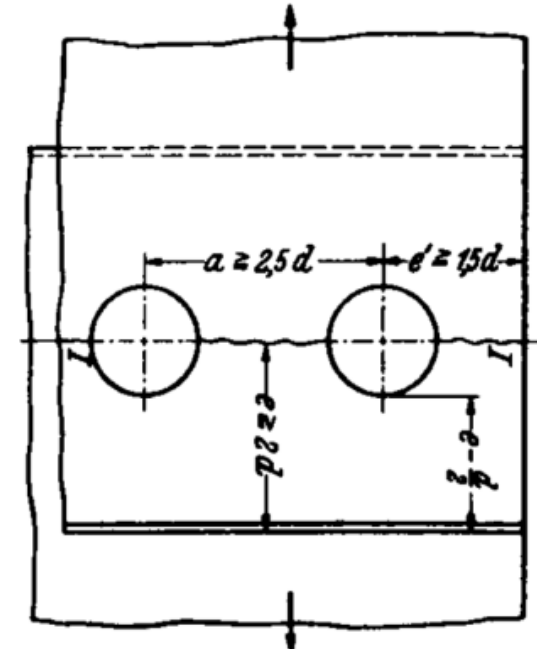
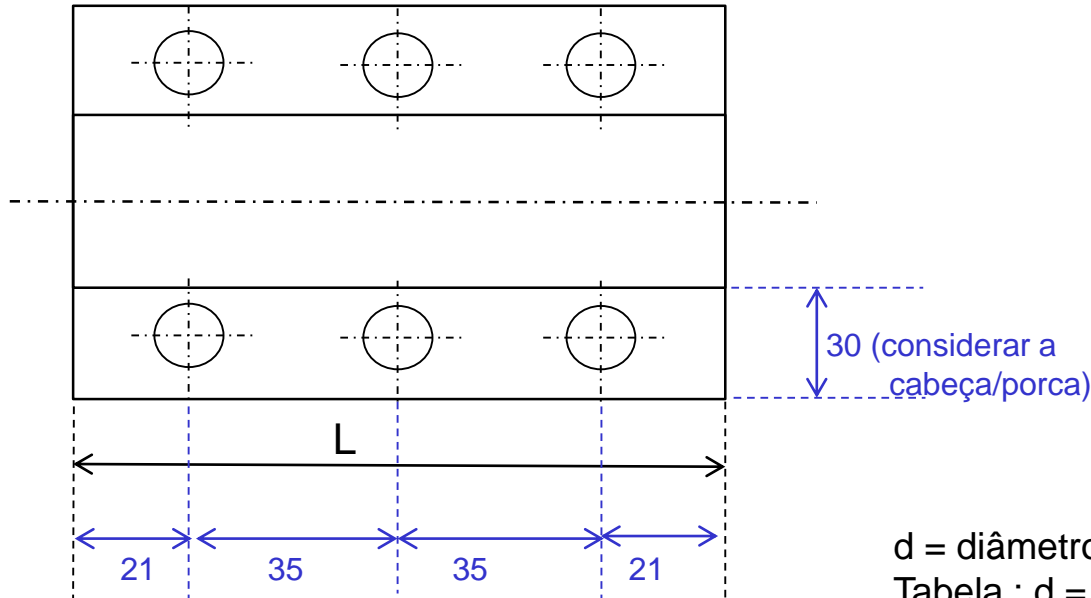
Opções: - mudar material do parafuso;
- alterar parafuso, p. ex. M12

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