

ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas v.2023

Aula 11 – Mancais de rolamentos

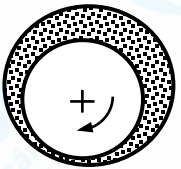
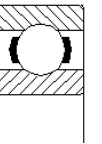
Professores: Ernesto Massaroppi Junior
Jonas de Carvalho
Carlos Alberto Fortulan

11 – Mancais de Rolamento

Mancais são elementos de máquinas que suportam eixo girante, deslizante ou oscilante. São classificados em:

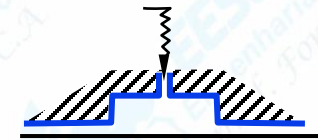
Mancais
convencionais

- de rolamentos (de esferas, de rolos, de rolos cônicos, de agulhas);
- de deslizamento (buchas, hidrodinâmicos).



Mancais
especiais

- Hidrostáticos
- Aerostáticos
- Aerodinâmicos
- Magnéticos



https://www.youtube.com/watch?v=menk_KuzkNI



<https://pixabay.com/pt/photos/roda-de-carro%C3%A7a-antiga-3575359/>



<https://www.italbronze.com.br/>



<http://www.combustol.com.br/metalpo.php?cod=55>



11.1 – Introdução

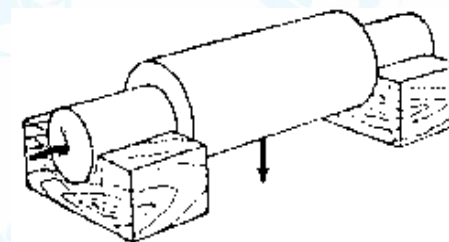
• Atrito seco de deslizamento



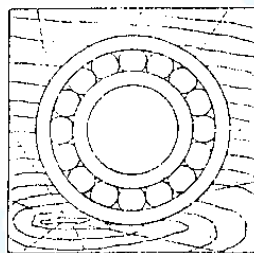
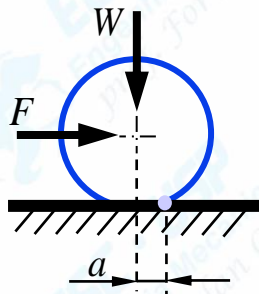
$$\mu_e = 0.2 \sim 0.3 \text{ (estático)}$$

$$\mu_d = 0.1 \sim 0.15 \text{ (cinemático)}$$

$$F_{atr} = \mu \cdot N$$



• Atrito seco de rolamento



$$F \cdot R \cong W \cdot a \quad \Rightarrow \quad F \cong \frac{a}{R} \cdot W$$

$$\mu_{rolam} = 0.0012 \sim 0.0015$$

$$\mu_{rolam} \ll \mu_d$$

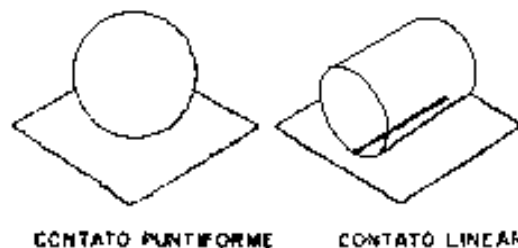
Mancal de elementos rolantes e “rolamento”

Vantagens do mancal de rolamentos sobre o hidrodinâmico

- 1 - Menor atrito de partida (0,02 contra 0,12)
- 2 - Lubrificação mais fácil
- 3 - Amaciamento desnecessário
- 4 - Liberdade de escolha do material do eixo
- 5 - Maior capacidade de carga por largura
- 6 - Padronização

Tipos de elementos rolantes

- esférico
- cilíndrico
- cônico



Tipo de contato	Capacidade de carga	Coefficiente de atrito
Contato puntiforme	↓	↓
Contato linear	↑	↑

11.2 – Construção de Rolamentos

- anel externo
- anel interno
- elemento rolante
- gaiola
- pista externa
- pista interna



Formato da pista
Área de contato

Capacidade
de carga



Suporta carga axial



Não suporta carga axial

Blindagem (opcional) :

- proteção contra partículas externas
- placa protetora fixa no anel ext.
 - Z (1 placa)
 - 2Z (2 placas)
 - LZ (pré lubrificadas)



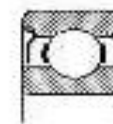
Z



2Z



LZ



2LZ

Gaiola



Rebitada



Estampada

Fabricação de rolamentos :

- **Material:** aço liga Cr-Mn
- **Processo:**

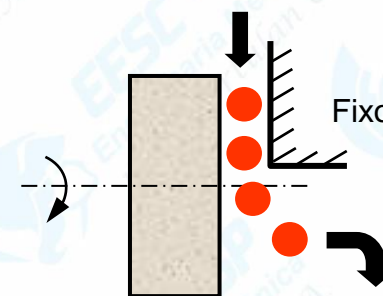
- Anéis: tubo → torneamento → tratamento térmico → retífica → polimento da pista

- Elementos: barra → conformação a frio ($d \leq 3/4''$) ou a quente → tratamento térmico → retificação frontal

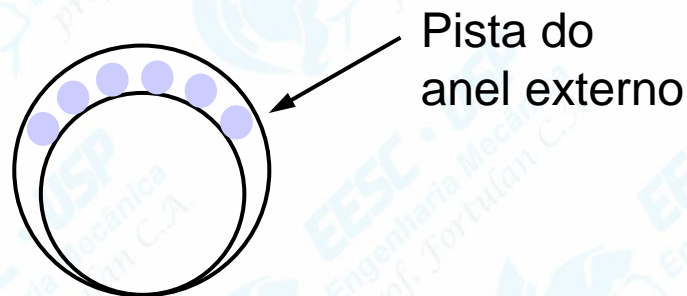
- **Seleção:**

1ª escolha : diferença máxima 1 [μm] entre elementos

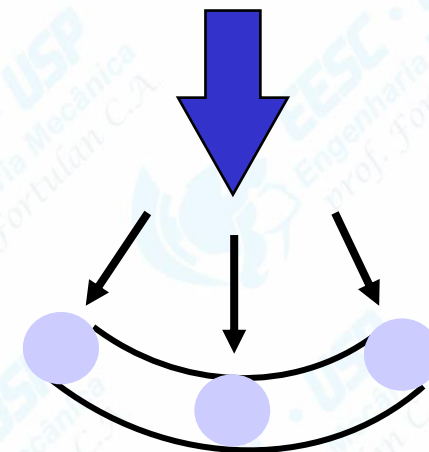
2ª escolha : diferença diâmetro < 1 [μm] (casos especiais de precisão)



Montagem :

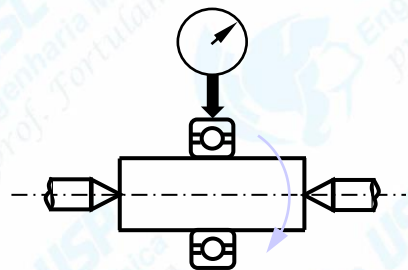


- Inserção é feita sem gaiola.
- Gaiola é inserida separando os elementos e rebitada.
- Exige grande distância entre esferas.



- Maior número de esferas → Melhorar distribuição de esforços
- Rolamentos especiais com maior número de esferas

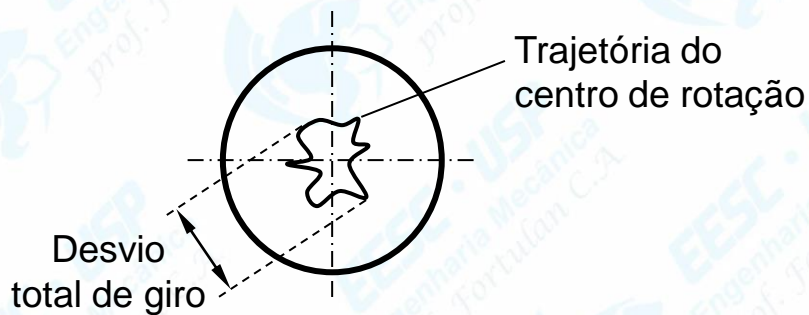
Canaleta no anel interno p/ inserção → menor carga axial



Desvio de batida radial
(*run out*)

Precisão

Soma dos desvios dos componentes do rolamento



Normal P6 P5 P4 SP UP



11.3 – Tipos de Rolamentos

Rolamento RÍGIDO DE ESFERAS

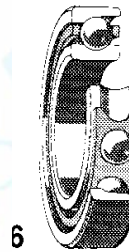
- mais comum, mais barato
- suporta cargas radiais e um pouco de carga axial
- baixo atrito → altas rotações
- cargas leves e médias

Rolamento de CONTATO ANGULAR

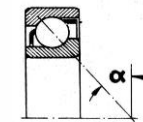
- uso parecido ao anterior
- inclinação do contato aumenta cargas axiais suportadas
- carga axial só num sentido

Rolamento AUTOCOMPENSADOR DE ESFERAS

- uma ou duas fileiras de esferas
- compensam desalinhamento angular de até 3 graus
- suporta cargas radiais e axiais leves



C
 $\alpha-15^\circ$



SUFIXO: B
 $\alpha-40^\circ$





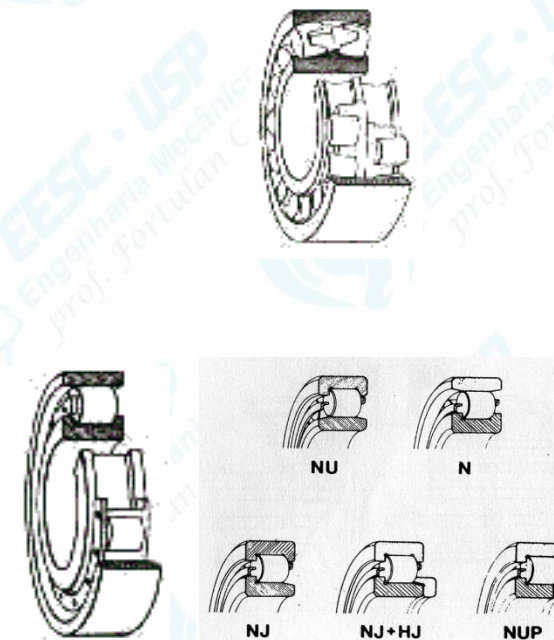


Rolamento AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

- cargas axiais e radiais maiores que anterior

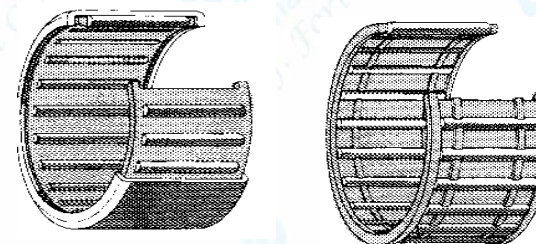
Rolamento de ROLOS CILÍNDRICOS

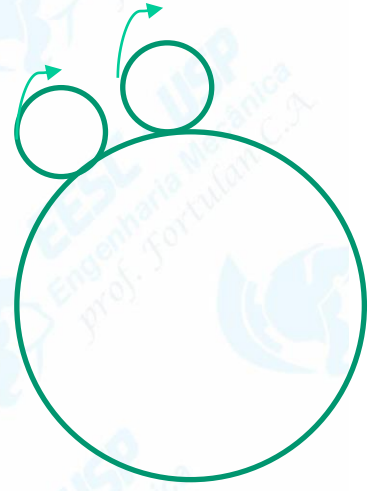
- maior capacidade de carga
- os anéis são separáveis
- com duas flanges não suporta carga axial (N, NU)
- com três flanges → axial em um sentido
- com quatro flanges → axial em dois sentidos



Rolamento de AGULHAS

- $d = 1,5 \sim 5 \text{ mm}$, $L = 2,5 \cdot d$
- Usados nos casos de falta de espaço na direção radial
- São separáveis
- Somente carga radial

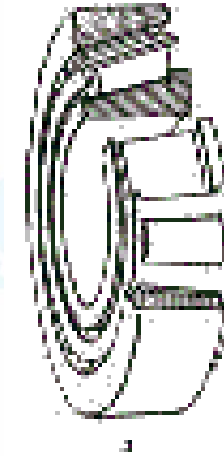
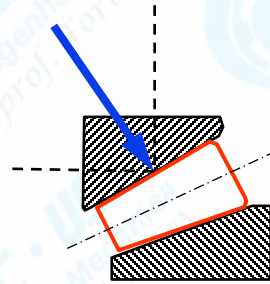






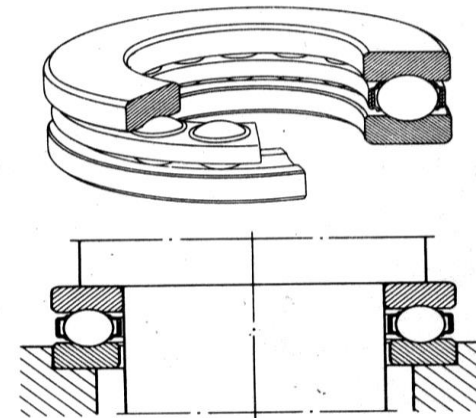
Rolamento de ROLOS CÔNICOS

- Grandes forças inclinadas $\rightarrow \uparrow F_a, \uparrow F_r$
- São separáveis. Montados aos pares, pois recebem carga axial num só sentido



Rolamentos AXIAIS

- Somente cargas axiais num só sentido
- Anel do eixo tem d menor
- Anel da caixa tem D maior





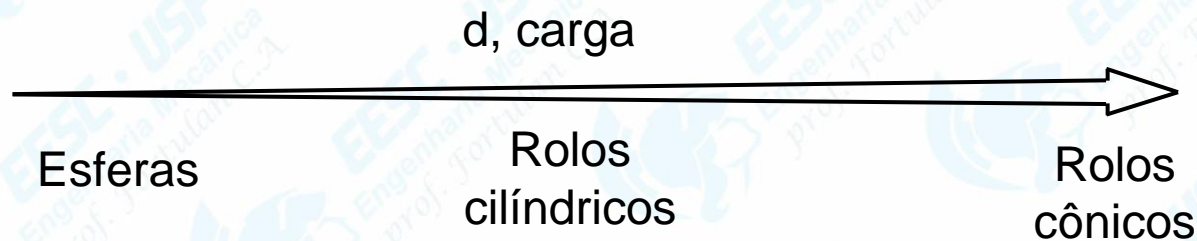




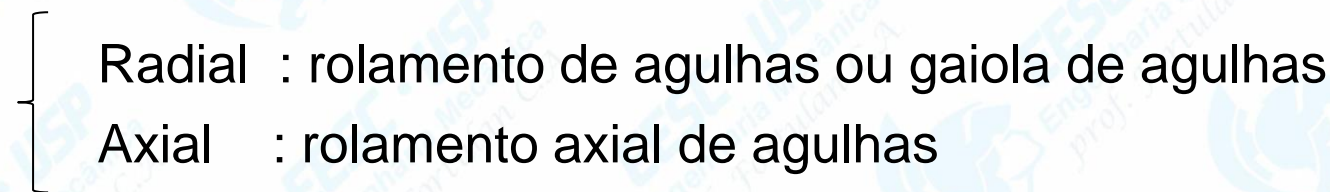
11.4 – Seleção de Rolamentos

a) Espaço disponível

- Suficiente :



- Insuficiente:



b) Carga

- Magnitude :

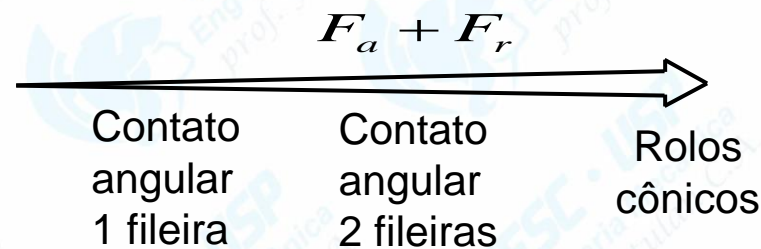
- Cargas leves / médias : rolamento rígido de esferas
 - Cargas médias / pesadas : rolamento de rolos cilíndricos

- Direção:

- Rolamentos de rolos sem flanges e de agulhas : só carga radial
- Todos os demais suportam $F_a + F_r$ até certo ponto
- Cargas combinadas :

Leves → rígido de esferas

Médios / pesados →



- Suportam carga axial só numa direção:

- Contato angular 1 fileira
 - Rolos cônicos
 - Rolos cilíndricos normais
 - Axiais

c) Desalinhamento angular

- Rolamentos autocompensadores (cada tipo tem desalinhamento máximo suportado)

d) Rotação

- Rolamentos pequenos chegam a 40000 [rpm]
- Cargas radiais → máxima rotação com rolamento rígido de esferas
- Cargas combinadas → contato angular de esferas

e) Precisão

- Rolamentos com folga pequena ou pré-carga
- Máquinas de precisão (alta rotação) → classes P4, SP e UP

f) Funcionamento silencioso

- Mais silencioso → rolamento rígido de esferas

g) Rigidez – de 30 a 150 [Kgf/ μm]

- Rolos são mais rígidos que esferas
- Importante em equipamentos de precisão e máquinas ferramentas
- Pré-carga aumenta rigidez → aumenta número de esferas efetivas ativas

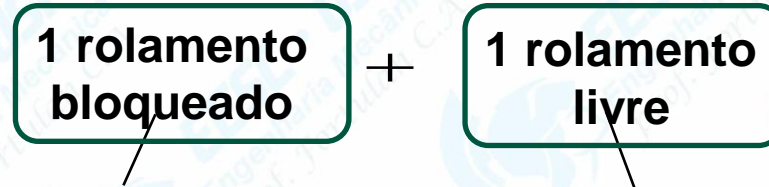
h) Facilidade de montagem

- Rolamentos separáveis
- Furo cônico

11.5 – Aplicação de Rolamentos

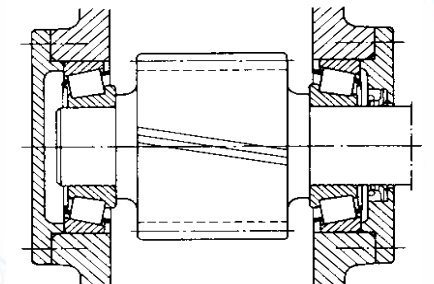
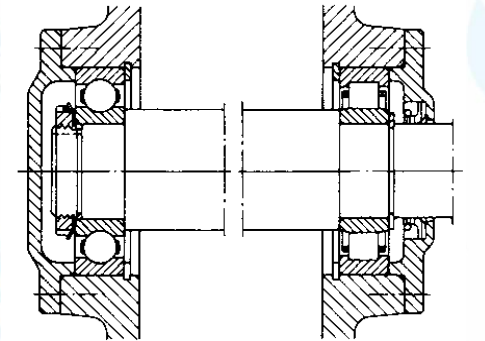
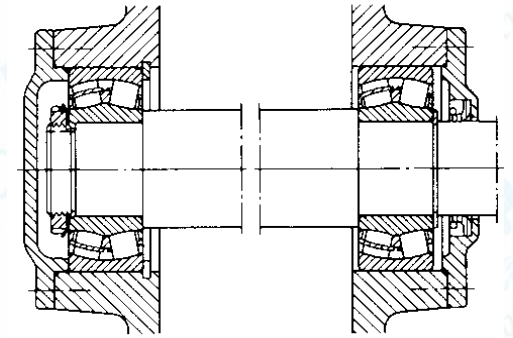
11.5.1 – Fixação Axial

Princípio básico :



Retém cargas axiais e posiciona

Permite dilatação térmica

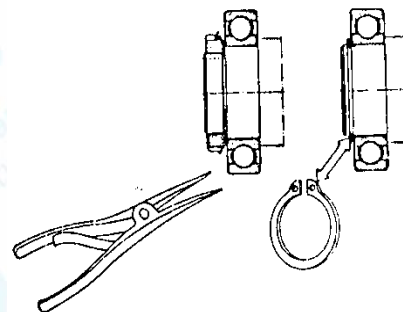


Rolamento bloqueado

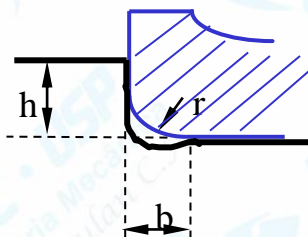
- necessariamente tipo que suporte cargas axiais
- deve ser o mancal mais próximo da carga axial
- só em casos especiais de ausência de F_{axial} dispensa-se o rolamento bloqueado
- Alguns casos há bloqueio duplo:
 - eixos curtos
 - ausência de dilatação
 - prevê-se folga mínima de projeto
 - controle de aperto com torquímetro
 - montagem na temperatura de trabalho

Fixação axial do anel interno :

Furo cilíndrico
Furo cônico



Assentos dos rolamentos devem ser acabados $\nabla\nabla$ ou $\nabla\nabla$ retificado se possível \rightarrow tirar erros de forma



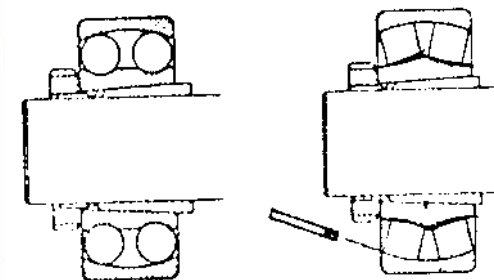
Canal dá melhor assento e saída de rebolo

$$b = (1.0 \sim 1.5) \cdot r$$

$$h_{\min} = (2.0 \sim 3.0) \cdot r$$

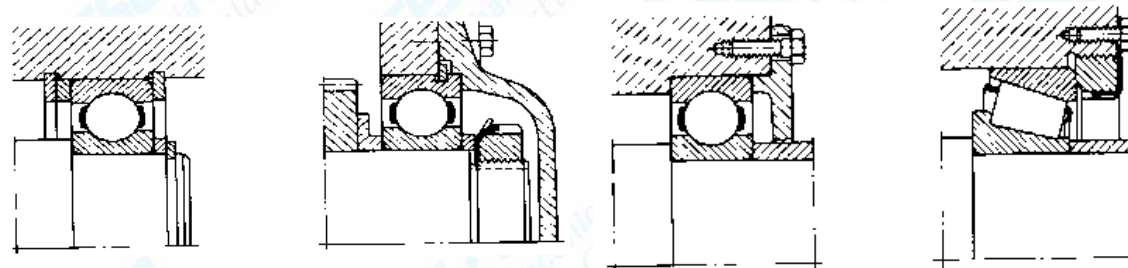
r : Catálogo de rolamento

Observar fadiga!!



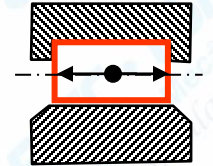
Fixação axial do anel externo:

- Anel elástico
- Porca
- Tampa



Rolamento Livre

- Os rol. de rolos cilíndricos e de agulhas permitem deslocamento axial dentro do rolamento → ambos os anéis podem ser presos ou montados com interferência mesmo no rolamento livre.
- Nos outros casos um dos anéis tem que ser livre (montado com ajuste indeterminado com tendência à folga).
- anel sob carga giratória → interferência

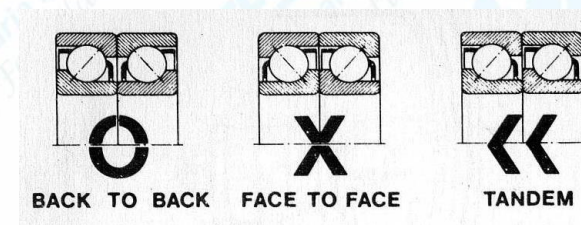


Forças axiais elevadas ou predominantes

- Separar as ações e usar 1 rolamento específico para cargas axiais e 2 rolamentos radiais.
- Para cargas médias o “rol. específico” pode ser um que suporte carga combinada montado com grande folga radial → só recebe F_{ax} .

Montagens especiais (F_{ax} elevadas)

- “O” F_{ax} elevadas 2 sentidos, oferece momento de reação de vínculo;
- “X” F_{ax} elevadas 2 sentidos;
- “TANDEM” F_{ax} muito elevada em 1 sentido, são rolamentos especiais para montagem aos pares;
- Rolamentos de rolos cônicos também podem ser montados em O, X e TANDEM



11.5.2 – Fixação Radial

Fixação radial



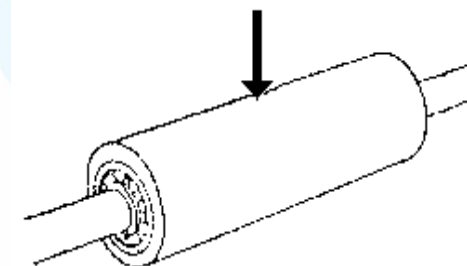
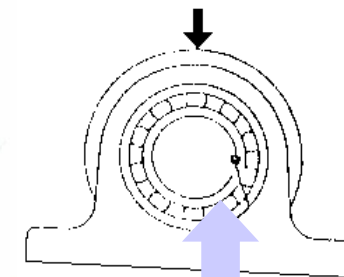
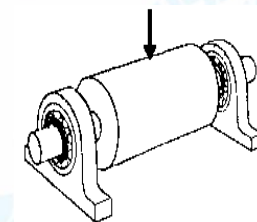
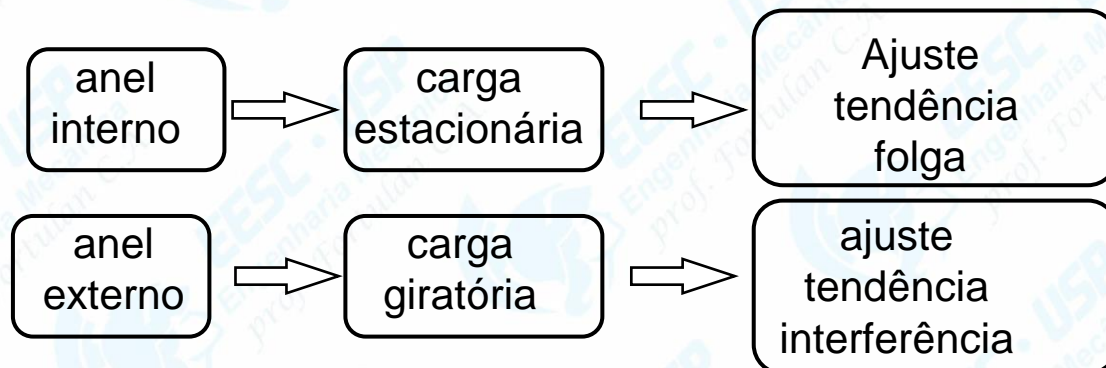
Ajustes indeterminados
(de precisão)

- c/ tendência a folga $H_7g_6; H_7h_6$
- c/ tendência a interferência $H_7j_6; H_7k_6; H_7m_6$

- Se a carga gira em relação ao anel interno → cargas internas tendem a evitar que anel gire junto com o eixo !!!



- Anel interno tem carga estacionária → pode ter ajuste com tendência a folga



Folga interna de rolamentos

- Folga radial
- Folga axial

Folga ideal :

Bom funcionamento
Vida longa
Precisão

Montagem com pré-carga : adequados diminuem folga

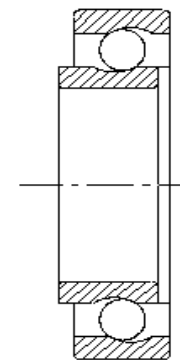
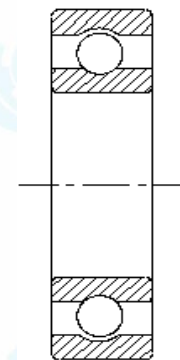
Folga excessiva :

Ruído
Baixa rigidez

Folga insuficiente : vida menor !!

Folga interna
Radial

Folga interna
Axial



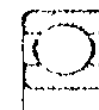
FOLGA RADIAL

Denominação :

C1	C2	Normal	C3	C4	C5
~	1	8	23	38	55
~	a	a	a	a	a
~	15 μm	28	43	61	90

Folga

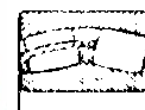
p/ rolamento esferas d = 50 mm



PRÓXIMA DE 0



UM POUCO ACIMA DE 0



UM POUCO ACIMA DE 0

Ajustes

	Eixo - H_7^*	Caixa - h_6^*
Indeterminado com tendência à folga	g_6, h_6	F_7, G_7, H_7
Indeterminado com tendência à interferência	j_6, k_6, m_6, n_6	J_7, K_7, M_7
Com interferência	r_6, r_7	P_7

H_7^* : tolerância do furo do rolamento ligeiramente diferente de H_7

h_6^* : tolerância do diâmetro externo do rolamento ligeiramente diferente de h_6

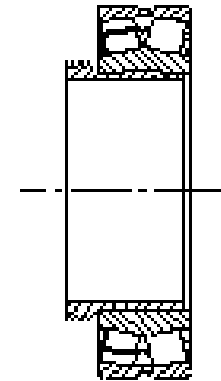
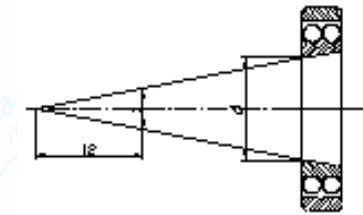
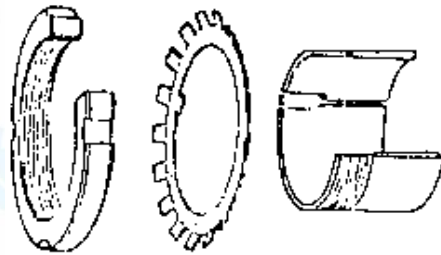
- Para aplicações grosseiras usar até IT8 / IT9
- Consultar sempre Catálogo do Fabricante de rolamentos

Seleção de Ajustes

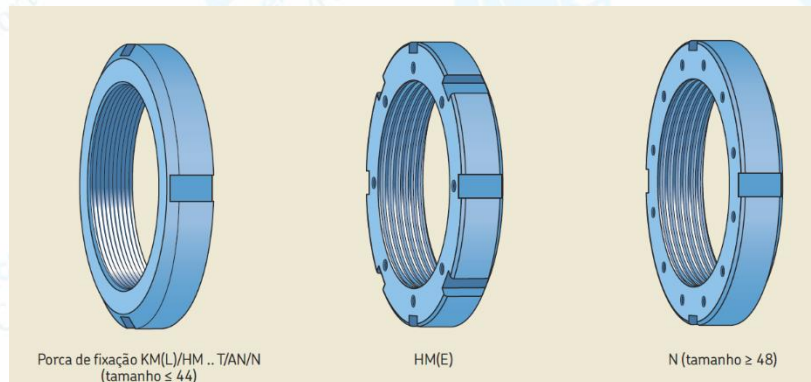
- a) Carga rotativa : interferência
Carga estacionária : folga
- b) Carga maior → interferência maior pois deformações diminuem a interferência efetiva
- c) Ajustes interferentes diminuem folga interna → grandes interferências pedem rolamentos com folga maior
- d) Temperatura elevada de trabalho
- aumento do furo interno → interferência ↓ (folga ↑)
 - aumento do diâmetro externo do anel externo interferência ↑ (folga ↓)
- e) Pressão de giro → folgas baixas
- Qualidade do assento do eixo → IT5
 - Qualidade do assento da caixa → IT6
- f) Se material / rigidez do eixo e / ou caixa permitirem deformações, escolher interferência maior para resultar em interferência efetiva adequada
- g) Facilidade de montagem / desmontagem → ajuste com tendência a folga

Rolamento com furo cônico

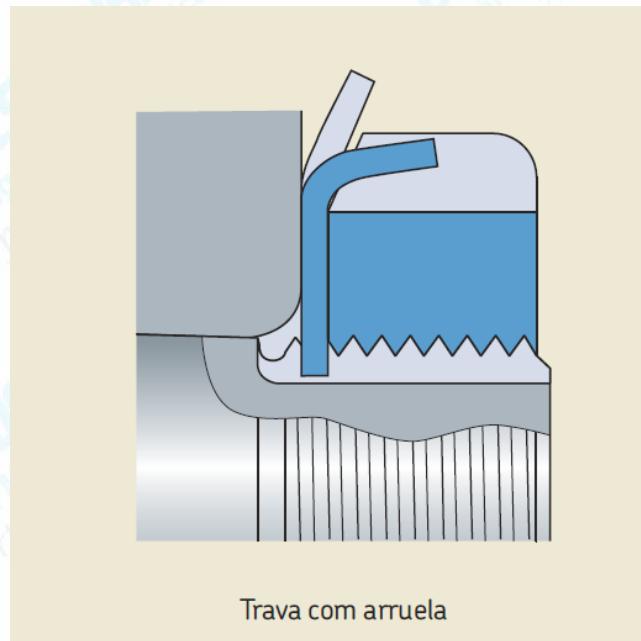
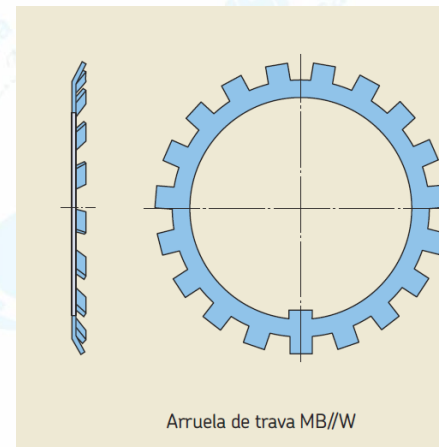
- facilita montagem e desmontagem;
- elimina folgas internas;
- controle de torque no aperto de montagem.



Porcas de Fixação



Arruelas Trava



Uso de mais de dois rolamentos num só eixo

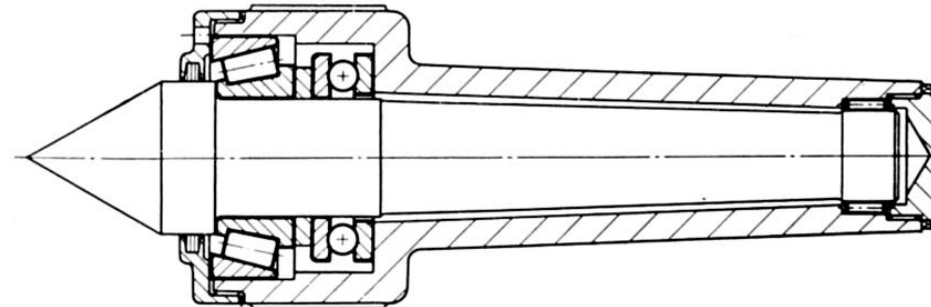
- Eixos muito esbeltos → uso de rolamento intermediário
- Cálculo → situação hiperestática
- Fabricação → difícil de obter colinearidade de três assentos de mancais.

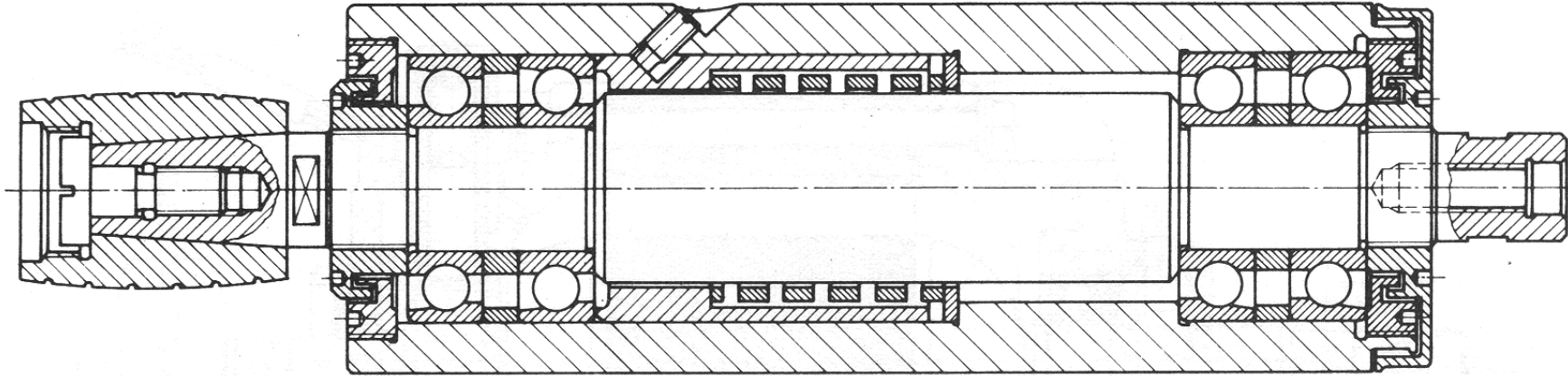
O rol. Central pode ter seu assento preenchido, depois, com resina epoxi.

Examinar figuras do catálogo SKF e FAG (aula1)

Observar: - rolamento selecionados
- montagens

Exemplos:





Mandril para retífica de furos.

Potência motriz: 1,3 kW, rotação: 16.000 rpm

FAG (appud MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975, p.52)

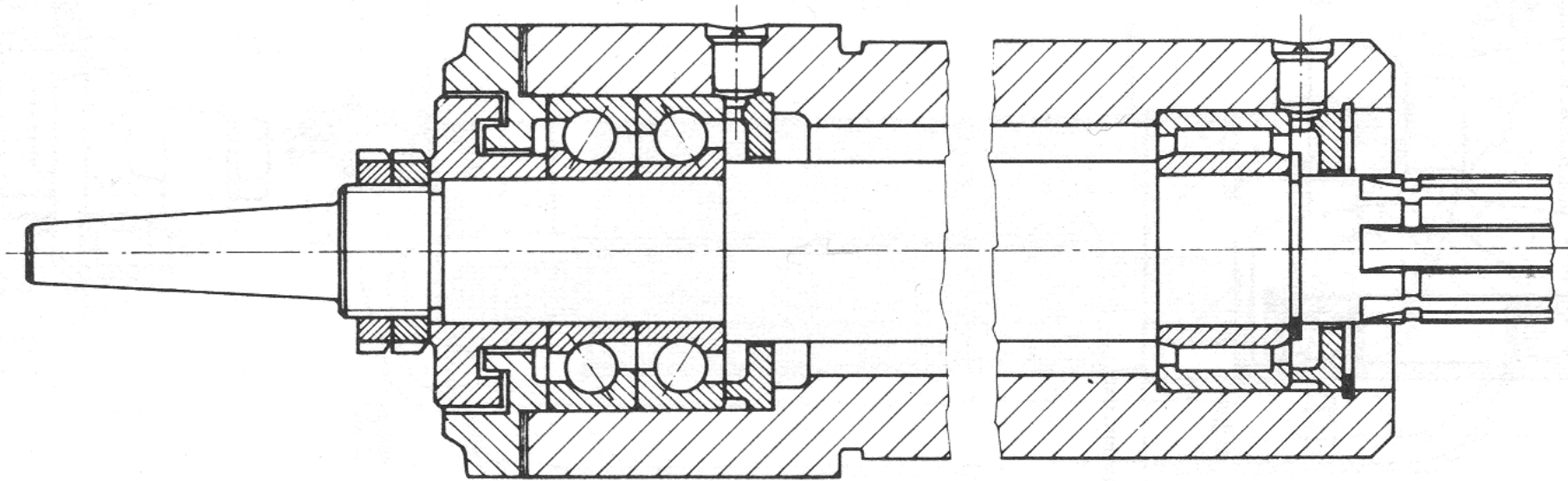
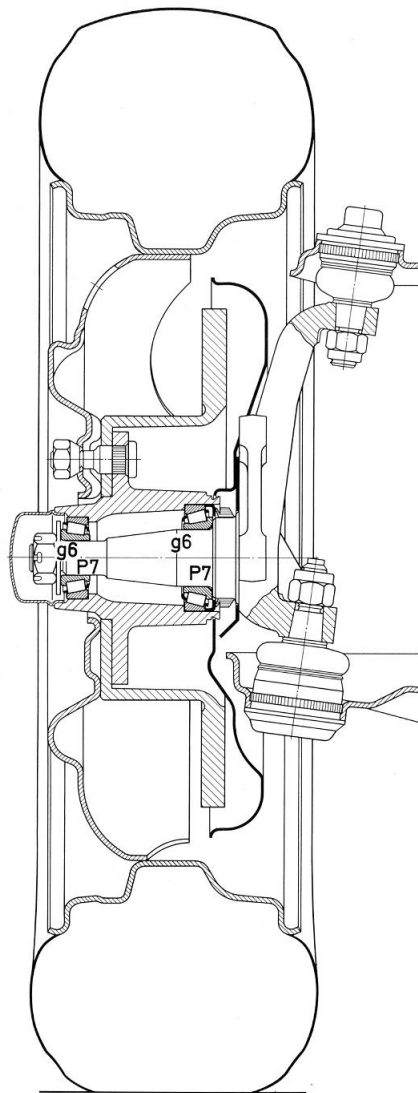
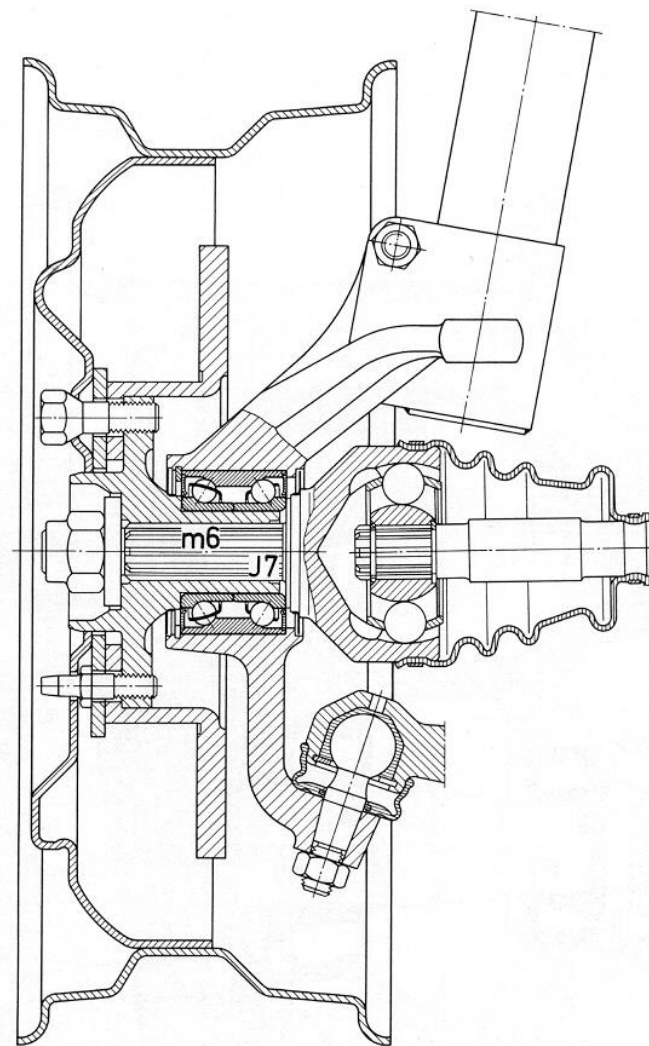


Fig. 1.79 - Mandril para perfuradeira (disposto verticalmente).
Potência motriz 3 CV velocidade $n \approx 500$ a 7 500 rpm.

FAG (appud MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975, p.52)

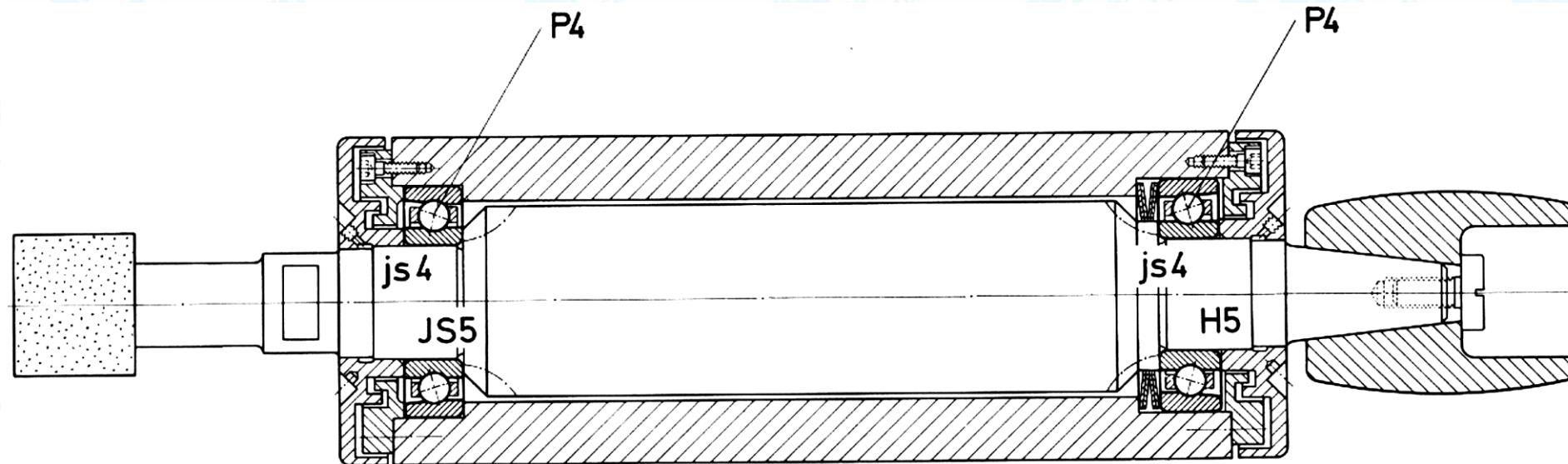


Roda automotiva sem tração



Roda automotiva com tração

*Fonte: Aplicações de rolamentos SKF



Fonte: Aplicações de rolamentos SKF

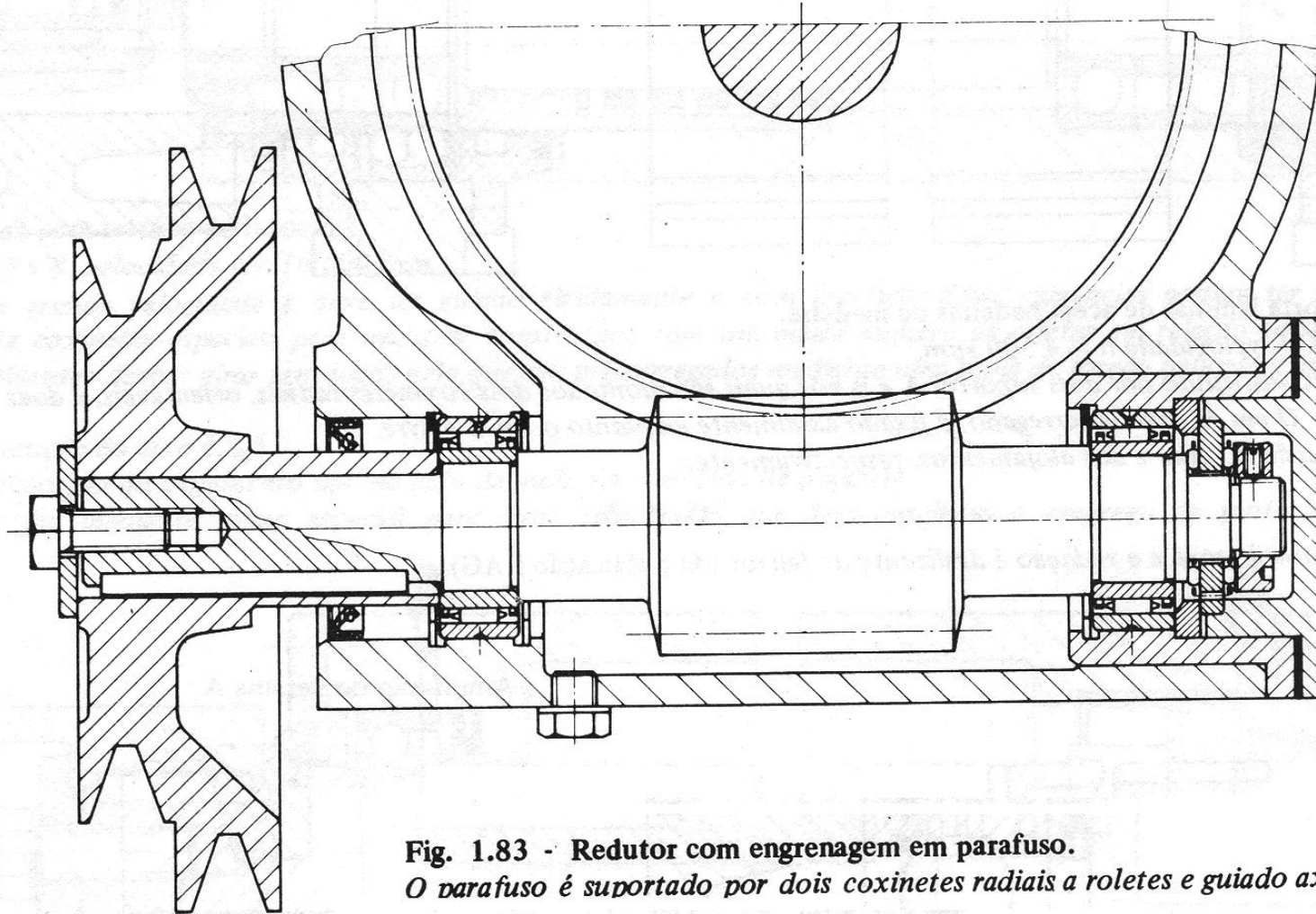
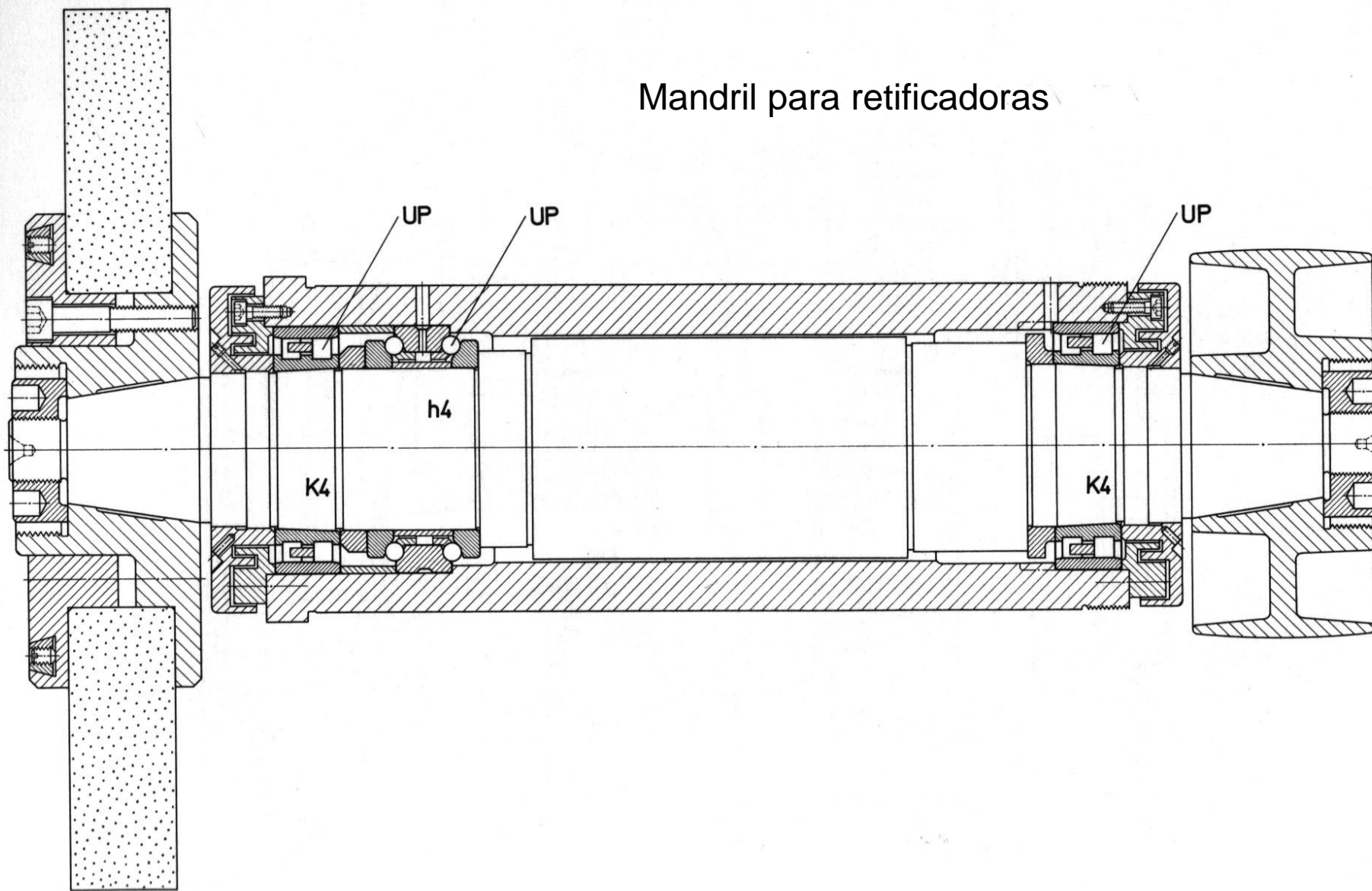


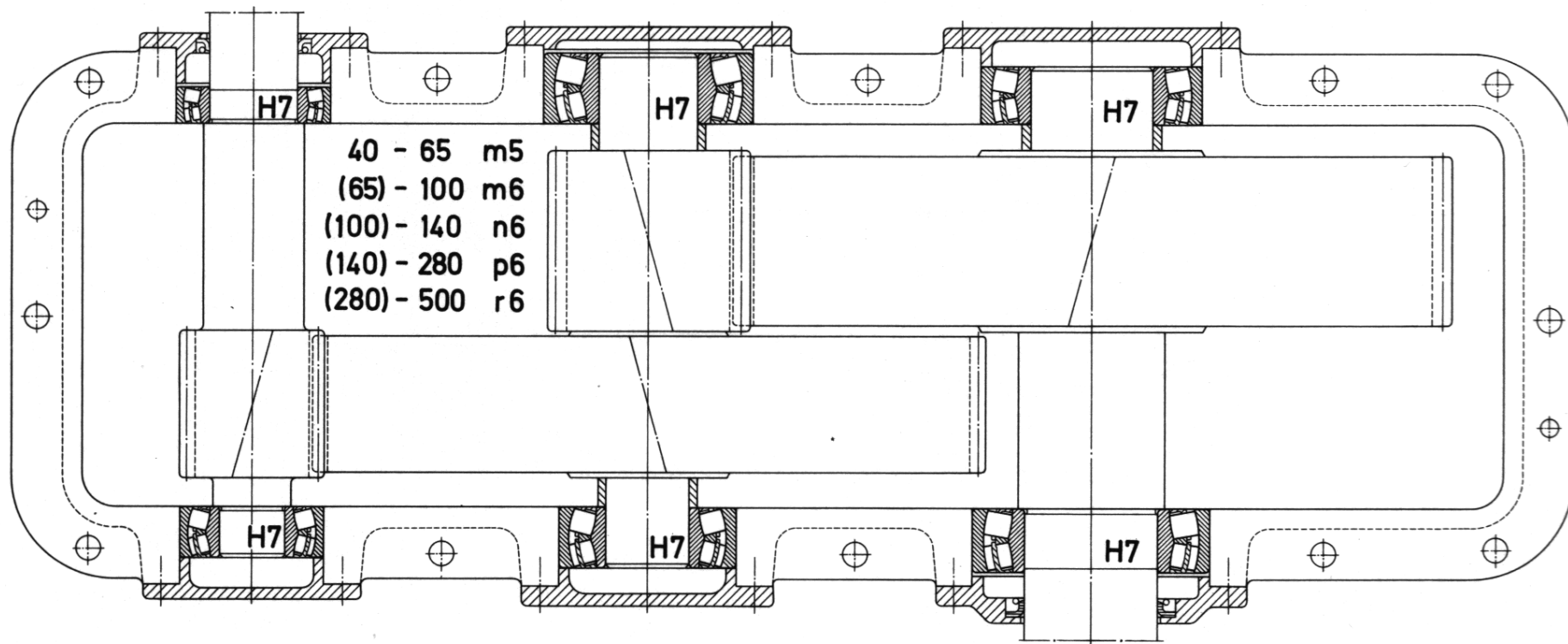
Fig. 1.83 - Redutor com engrenagem em parafuso.
O parafuso é suportado por dois coxinetes radiais a roletes e guiado axialmente por dois suportes a roletes e por um mancal intermediário (da publicação NADELLA).

Mandril para retificadoras



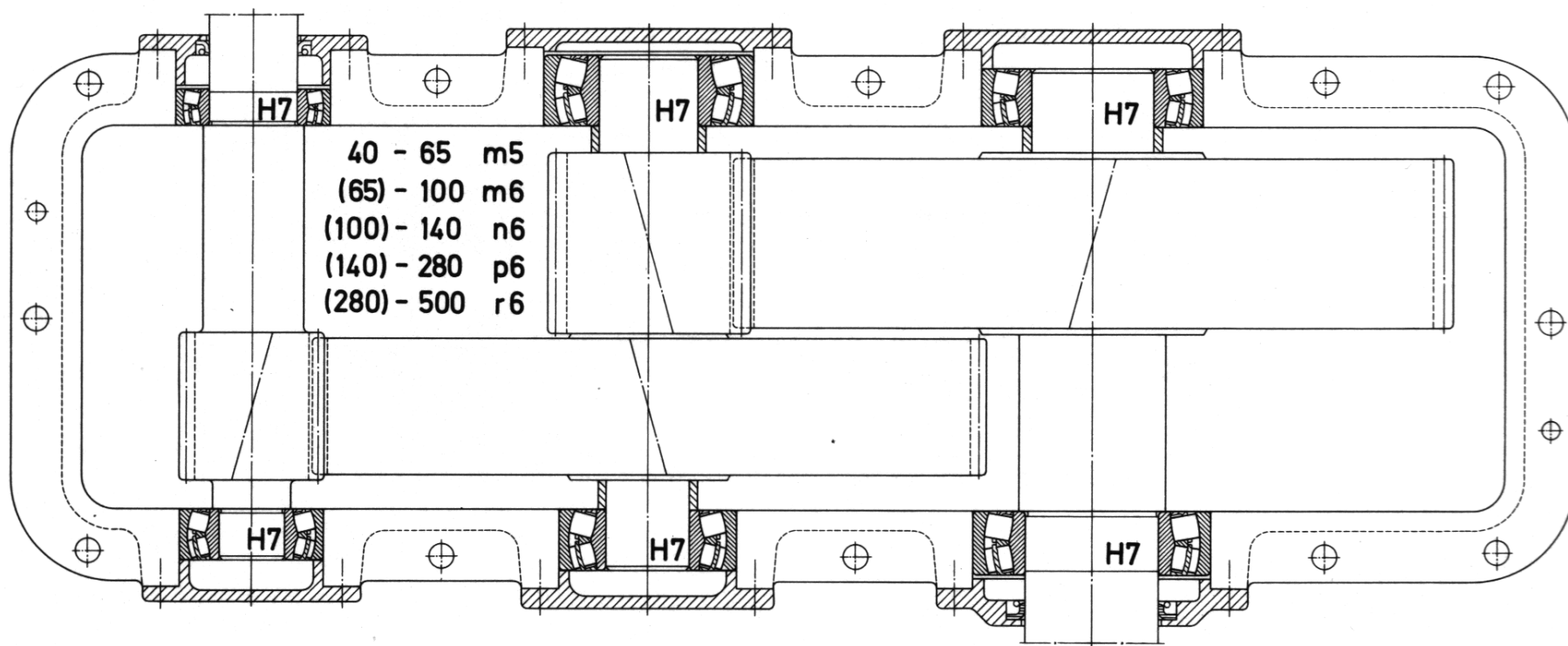
SKF- Aplicações de rolamentos- Publicação nº 2999 (1975) p.103

Redutor com dupla redução de engrenagens helicoidais



SKF- Aplicações de rolamentos- Publicação nº 2999 (1975), p.13

Redutor com dupla redução de engrenagens helicoidais



SKF- Aplicações de rolamentos- Publicação nº 2999 (1975), p.13

11.6. Referências

MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975, p.54

FAG (appud MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975.)

SKF - Catálogo Geral, 976p. 1989

SKF- Aplicações de rolamentos- Publicação nº 2999 (1975).

http://www.skf.com/binary/82-121486/10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf