

# ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas v.2018

## Aula 11 – Mancais de rolamentos

Professores:

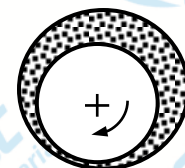
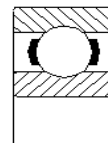
Ernesto Massaroppi Junior  
Jonas de Carvalho  
Carlos Alberto Fortulan

# 11 – Mancais de Rolamento

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

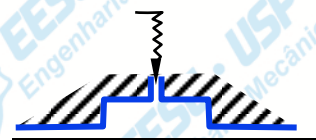
Mancais  
convencionais

- 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://www.youtube.com/watch?v=menk_KuzkNI)

Sites:

[www.skf.com.br](http://www.skf.com.br)

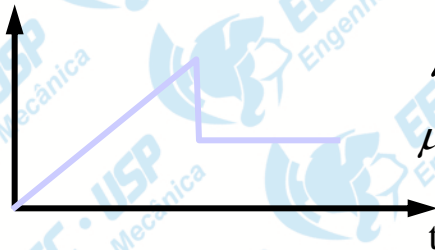
[www.nsk.com.br](http://www.nsk.com.br)

[www.ina.com.br](http://www.ina.com.br)

# 11.1 – Introdução

## • Atrito seco de deslizamento

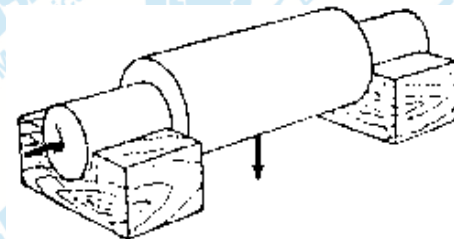
atrito



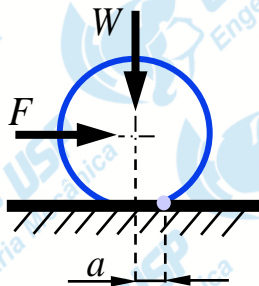
$$\mu_e = 0.2 \sim 0.3 \text{ (estático)}$$

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

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



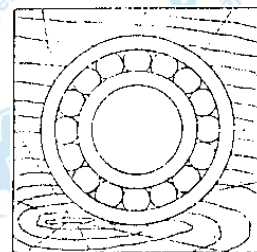
## • Atrito seco de rolamento



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

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

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



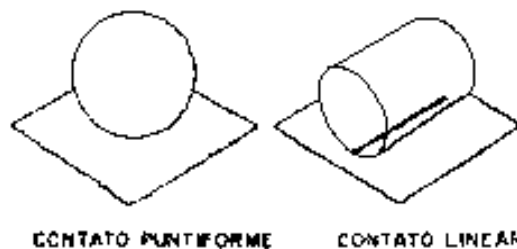
Mancal de elementos rolantes e “rolamento”

# Vantagens do mancal de rolamentos sobre o mancal 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 rolante

- 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



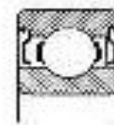
Não suporta carga axial

**Blindagem ( opcional ) :**

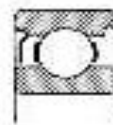
- proteção contra partículas externas
- placa protetora fixa no anel ext.
  - Z ( 1 placa )
  - 2Z ( 2 placas )
  - LZ ( pré lubrificadas )



Z



2Z



LZ



2LZ

# Gaiola



Rebitada



Estampada

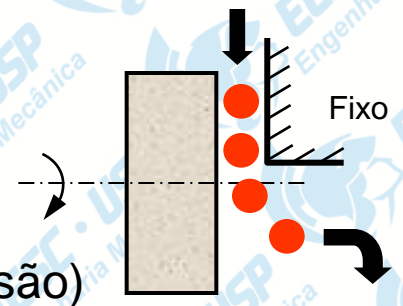
## Fabricação de rolamentos :

- **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

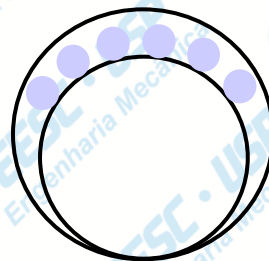
## • Seleção:

1ª escolha : diferença máxima 1 [ $\mu\text{m}$ ] entre elementos

2ª escolha : diferença diâmetro < 1 [ $\mu\text{m}$ ] (casos especiais de precisão)

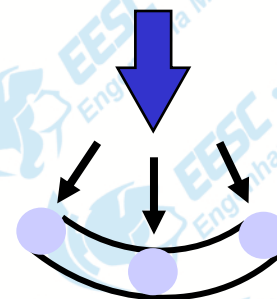


## Montagem :



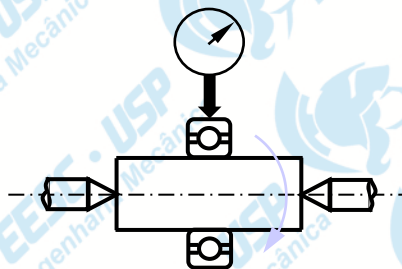
Pista do  
anel externo

- Inserção é feita sem gaiola.
- Gaiola é rebitada depois.
- Exige grande distância entre esferas.



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

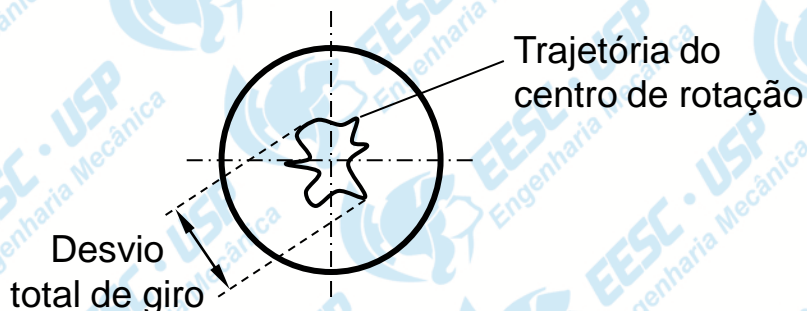
Canaleta no anel interno p/ inserção → menor carga axial



Desvio de batida radial  
(run out)

# Precisão

Soma dos desvios dos componentes do rolamento



Normal

P6

P5

P4

SP

UP



15

10

5

4

2 [µm]

Desvio de um Rolamento  $d = 50 \text{ mm}$



## 11.3 – Tipos de Rolamentos

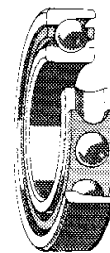
### ROLAMENTO RÍGIDO DE ESFERAS

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

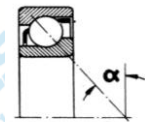


### ROLAMENTOS DE CONTATO ANGULAR

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



C  
 $\alpha - 15^\circ$



SUFIXO B  
 $\alpha - 40^\circ$

### ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ESFERAS

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



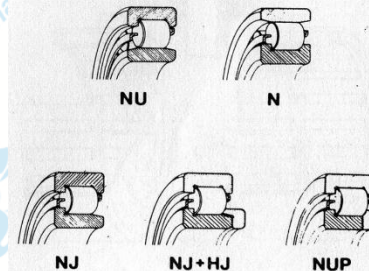
## ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

- cargas axiais e radiais maiores que anterior



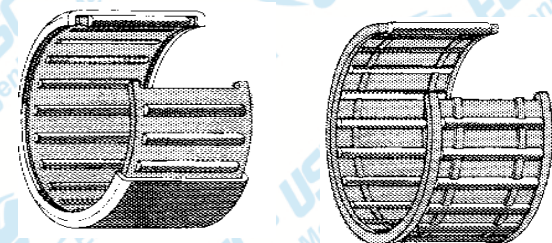
## ROLAMENTOS DE ROLOS CILÍNDRICOS

- 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



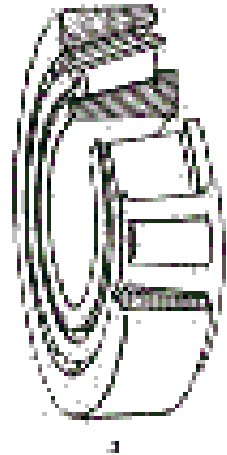
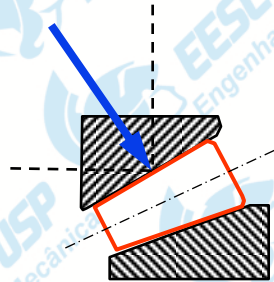
## ROLAMENTOS DE AGULHAS

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



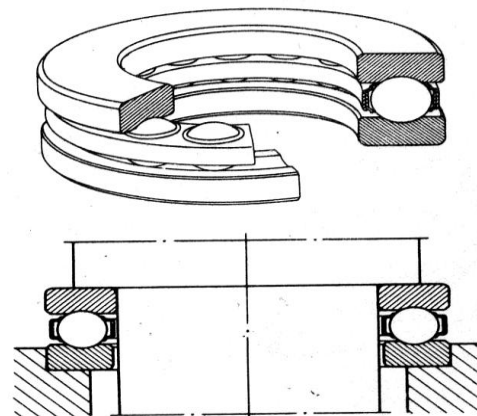
## ROLAMENTO DE ROLOS CÔNICOS

- 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

d, carga



Esferas

Rolos  
cilíndricos

Rolos  
cônicos

• Suficiente :

• Insuficiente:

Radial : rolamento de agulhas ou gaiola de agulhas

Axial : rolamento axial de agulhas

## b) Carga

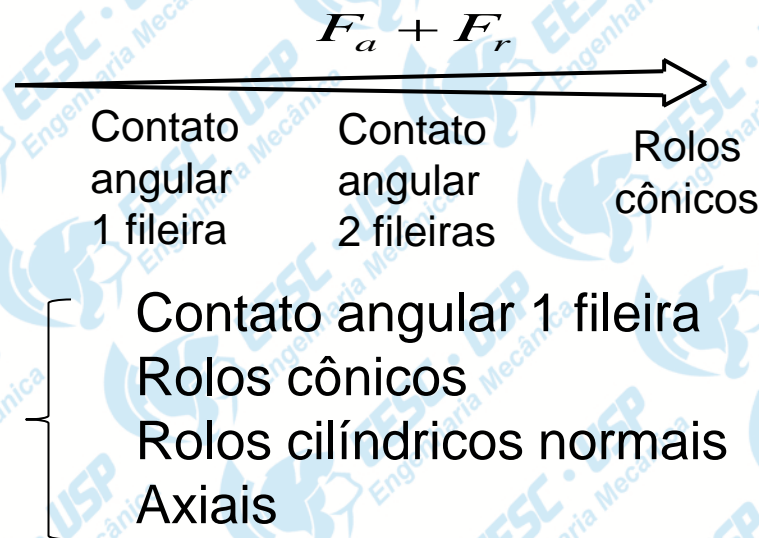
- Magnitude : {
  - Cargas leves / médias : rolamento rígido de esferas
  - Cargas médias / pesadas : rolamento de rolos cilíndricos

- 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:



### 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/ $\mu\text{m}$ ]

- 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 :

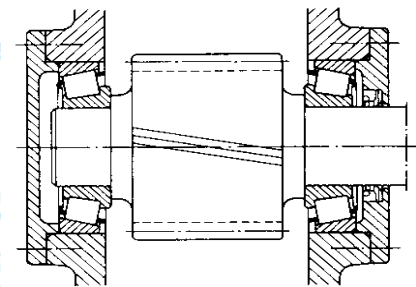
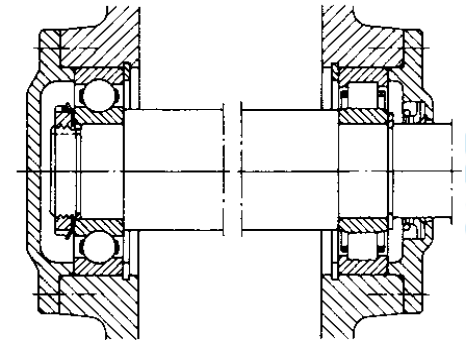
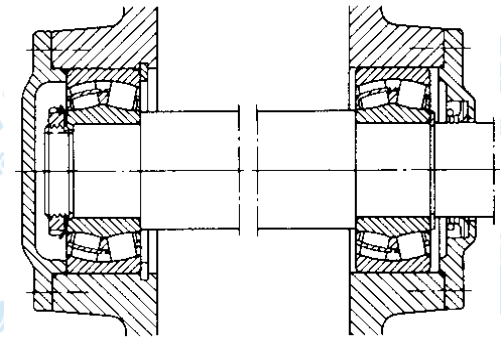
1 rolamento  
bloqueado

+

1 rolamento  
livre

Retém cargas axiais  
e posiciona

Permite dilatação térmica



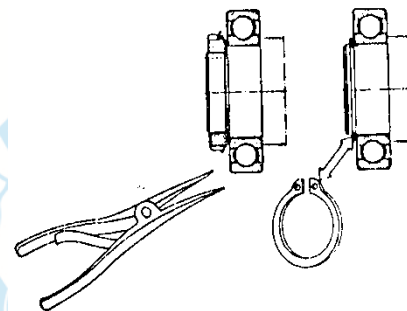
### Rolamento bloqueado

- 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

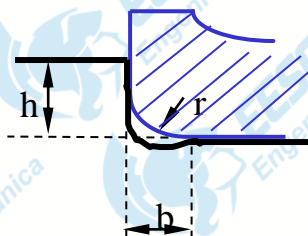


## Fixação axial do anel interno :

{ Furo cilíndrico  
 Furo cônico



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



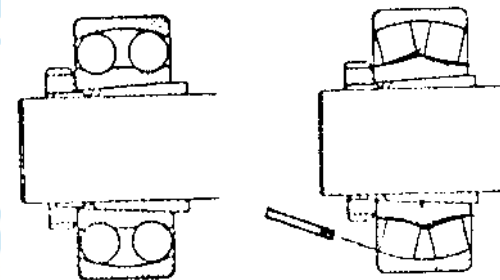
Canal dá melhor assento e saída de rebolo

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

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

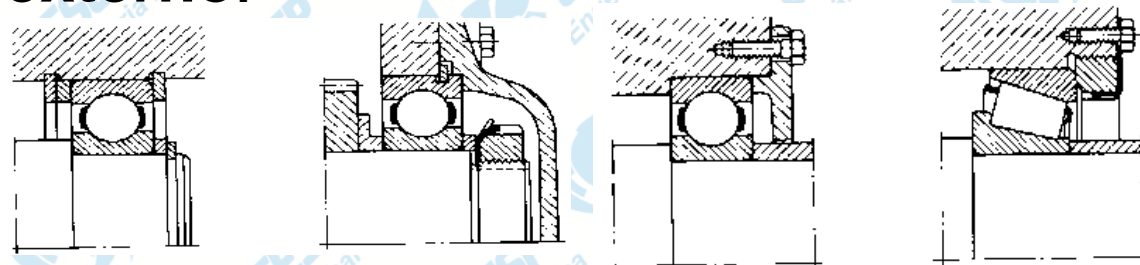
$r$  : Catálogo de rolamento

Observar fadiga!!



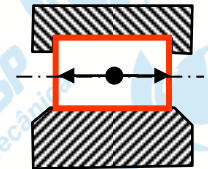
## Fixação axial do anel externo:

- Anel elástico
- Porca
- Tampa



## Rolamento Livre

- Os rolamentos 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

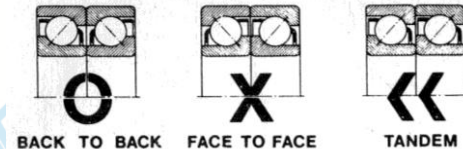


## Forças axiais elevadas ou predominantes

- 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



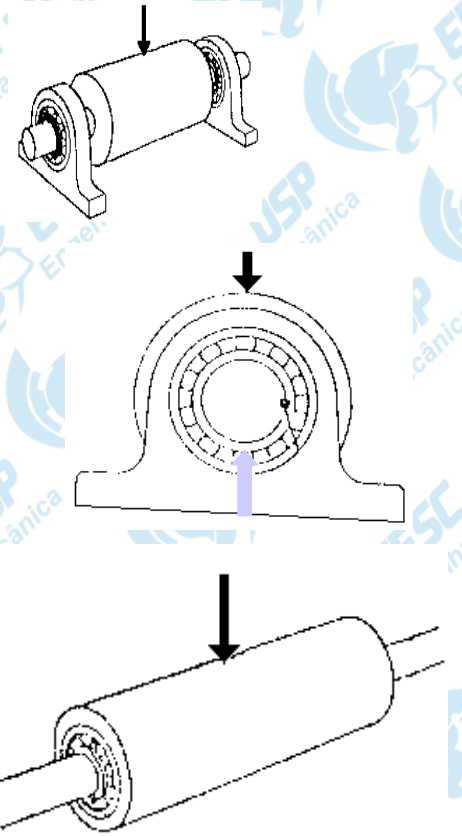
# 11.5.2 – Fixação Radial

Fixação radial



Ajustes indeterminados (de precisão)

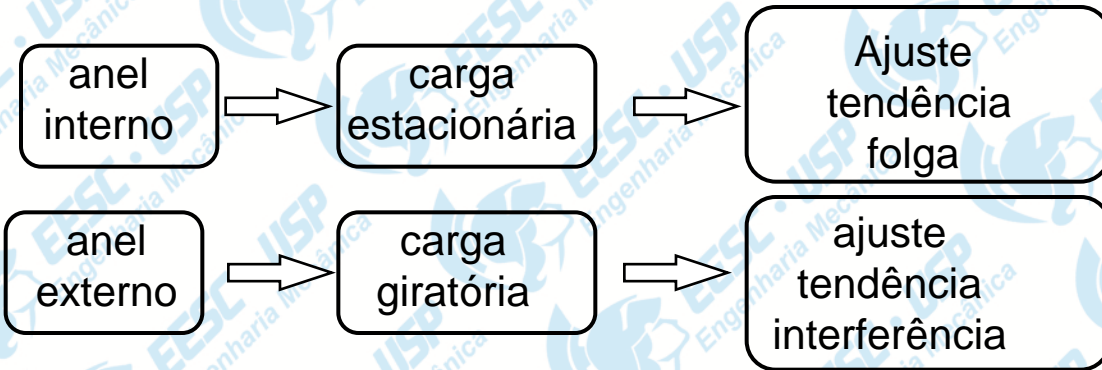
- c/ tendência a folga  $H_{7g_6}; H_7h_6$
- c/ tendência a interferência  $H_{7j_6}; H_7k_6; H_7m_6$



- 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 (como no caso ao lado)



# Folga interna de rolamentos

- Folga radial
- Folga axial

Folga ideal :

Bom funcionamento  
 Vida longa  
 Precisão

Montagem com pré-carga : adequados diminuem folga

Folga excessiva :

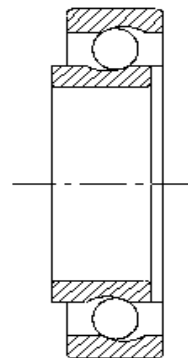
Ruído  
 Baixa rigidez

Folga insuficiente : vida menor !!

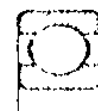
Folga interna Radial



Folga interna Axial



FOLGA RADIAL



PRÓXIMA DE 0



UM POUCO ACIMA DE 0



UM POUCO ACIMA DE 0

## Denominação :

C1      C2      Normal      C3      C4      C5

Folga

~	1	8	23	38	55
	a	a	a	a	a
~	15 μm	28	43	61	90

p/ rolamento esferas d = 50 mm

# 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  $h_6$

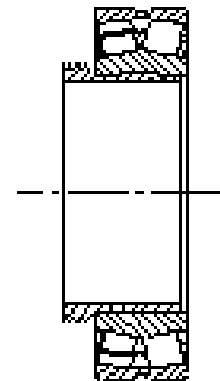
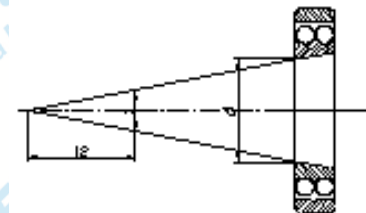
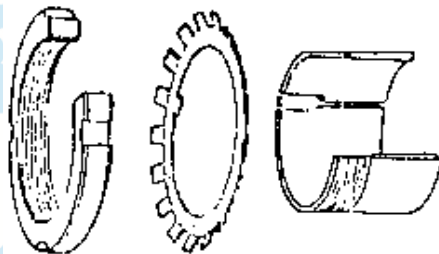
- Para aplicações grosseiras usar até IT8 / IT9
- Consultar sempre Catálogo do Fabricante de rolamentos

## 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.



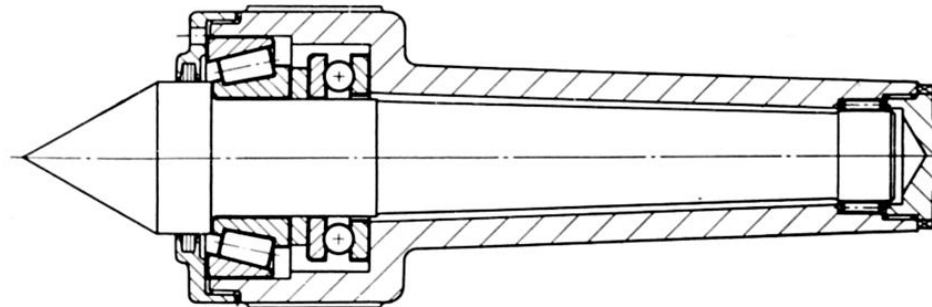
## Uso de mais de dois rolamentos num só eixo

- 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.

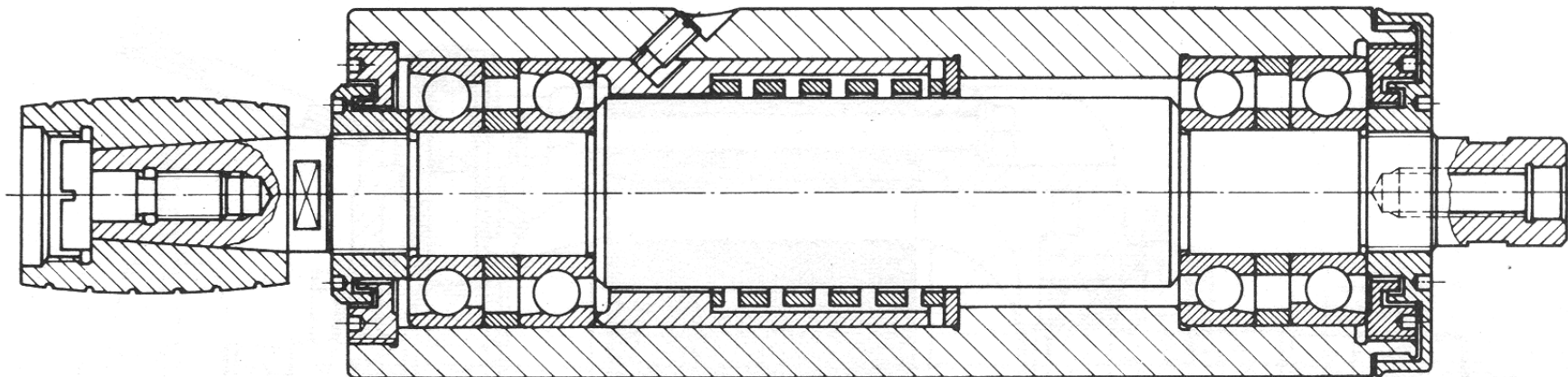
Examinar figuras do catálogo SKF e FAG (aula1)

Observar: - rolamento selecionados  
- montagens

Exemplos:



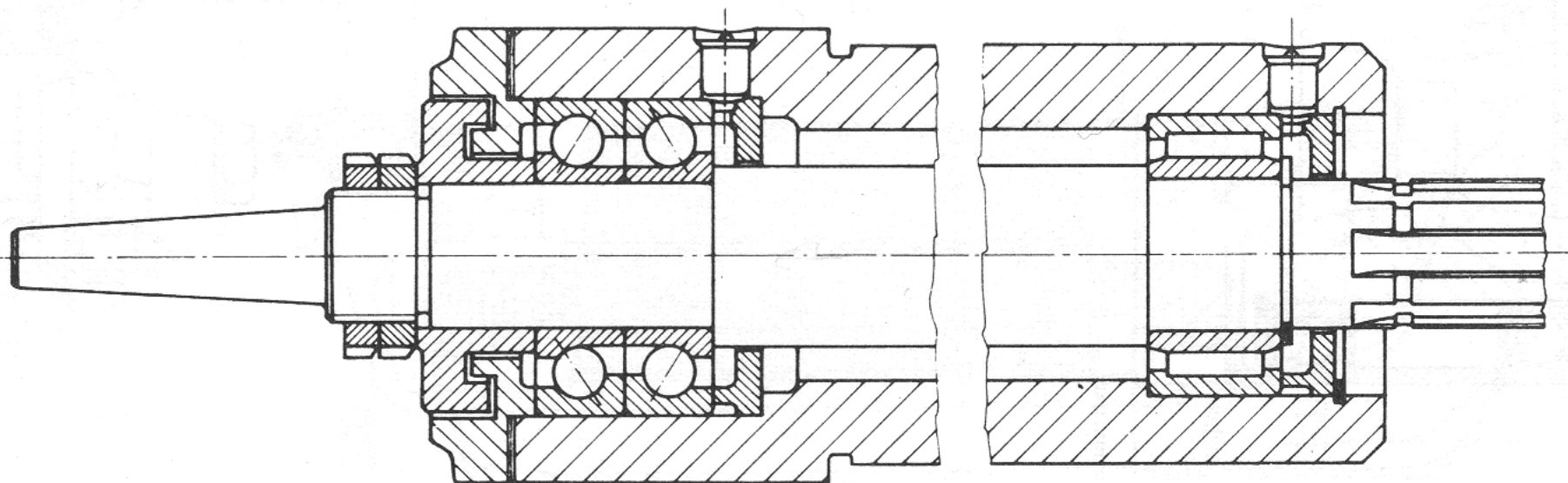




Mandril para retífica de furos.

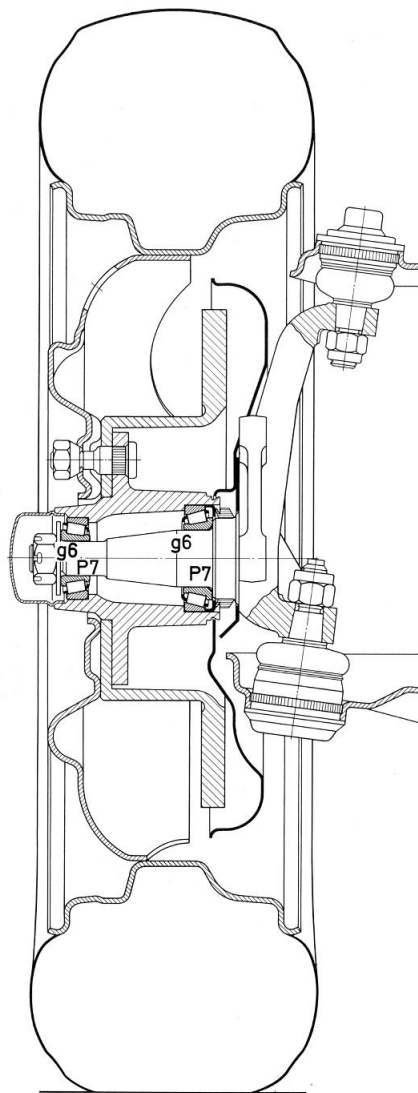
Potência motriz: 1,3 kW, rotação: 16.000 rpm

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

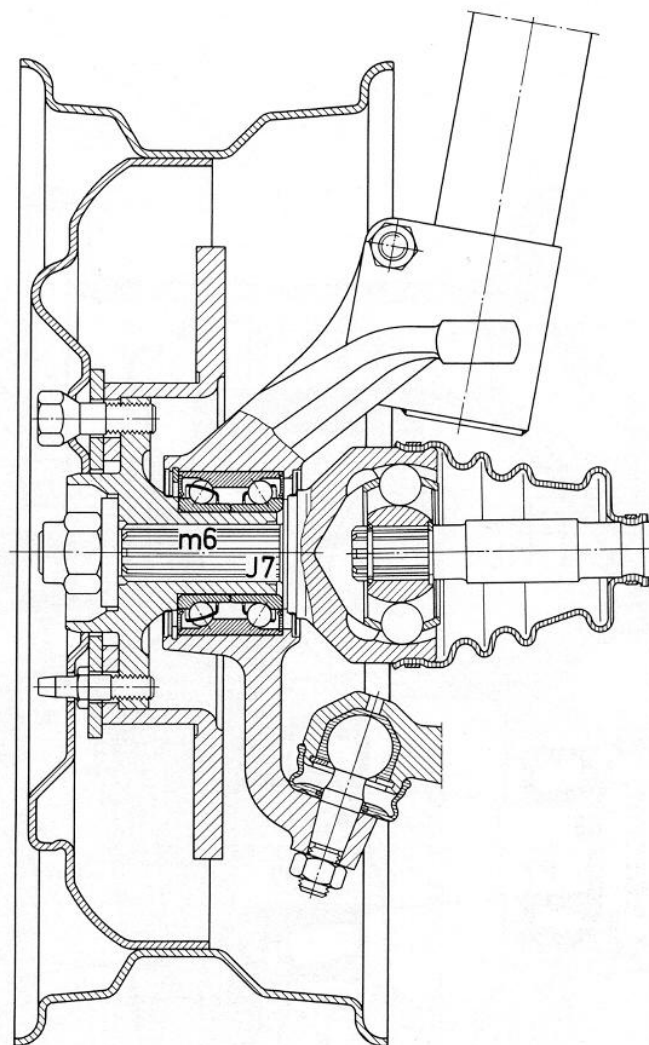


**Fig. 1.79 - Mandril para perfuradeira (disposto verticalmente).**  
*Potência motriz 3 CV velocidade  $n \approx 500$  a  $7\ 500$  rpm.*

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

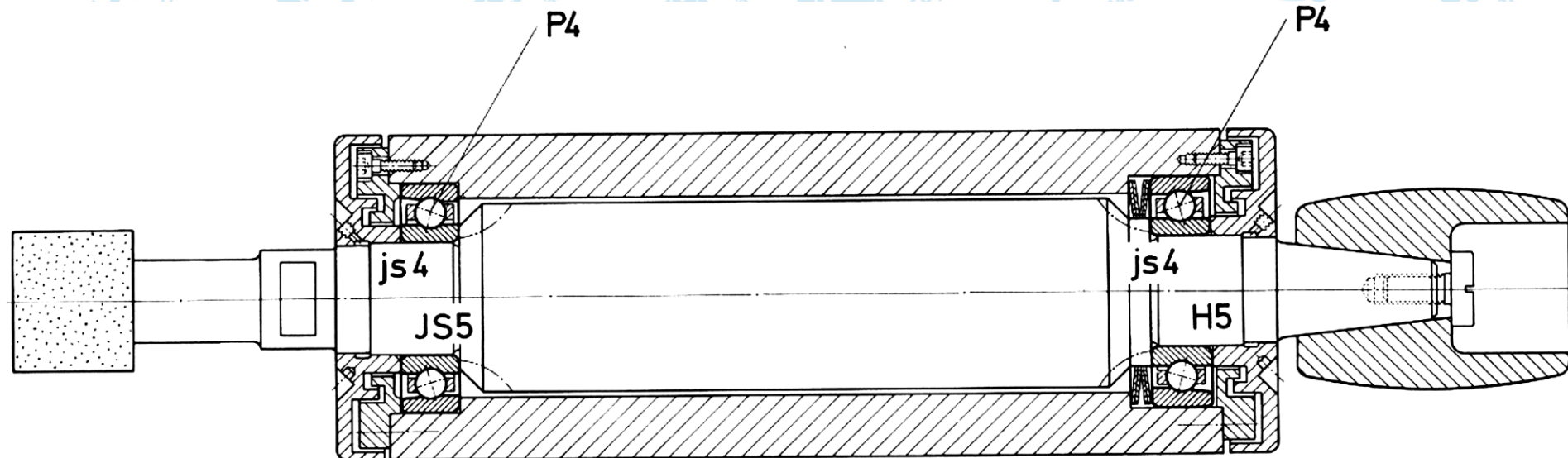


Roda automotiva sem tração

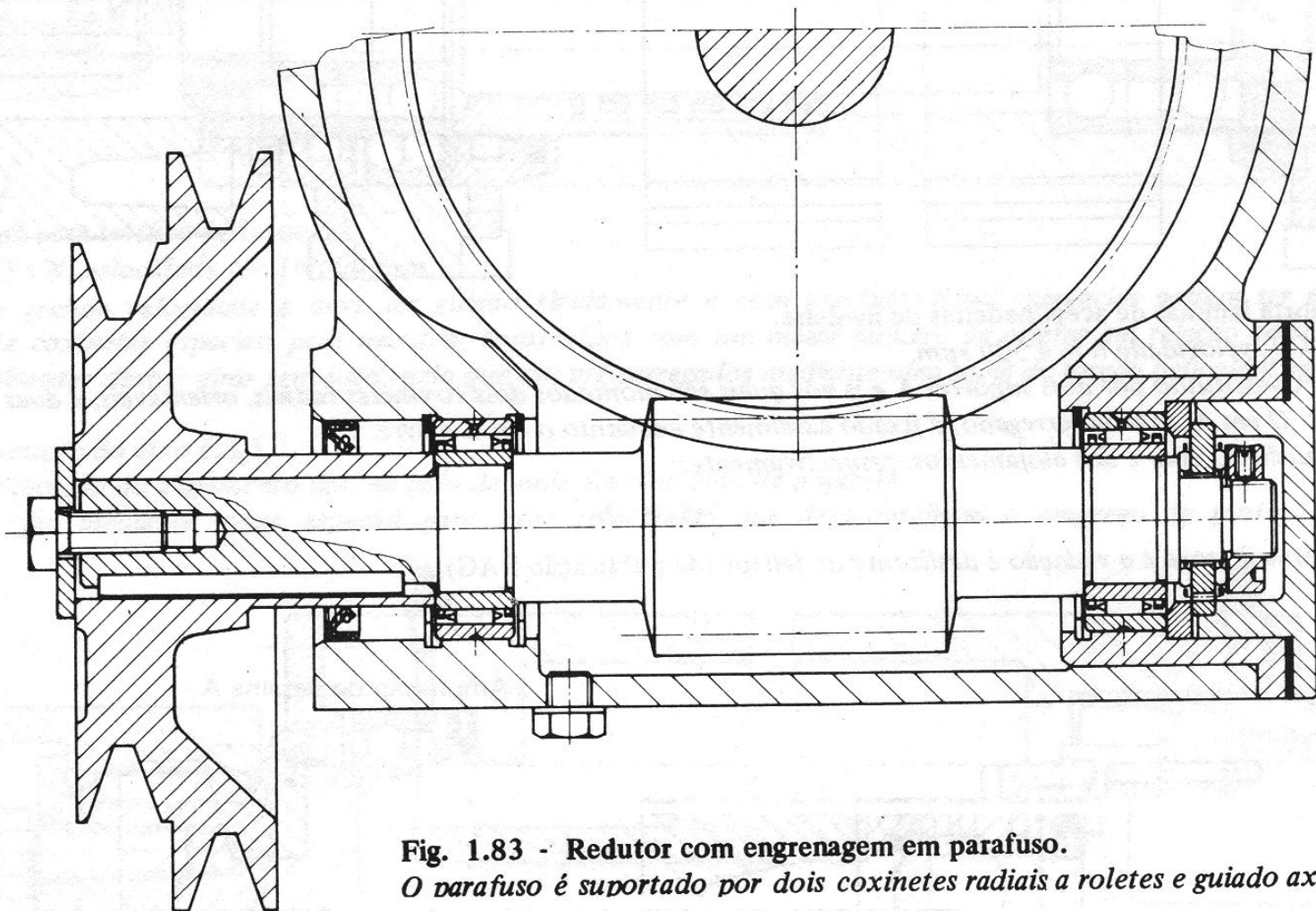


Roda automotiva com tração

\*Fonte: Aplicações de rolamentos SKF



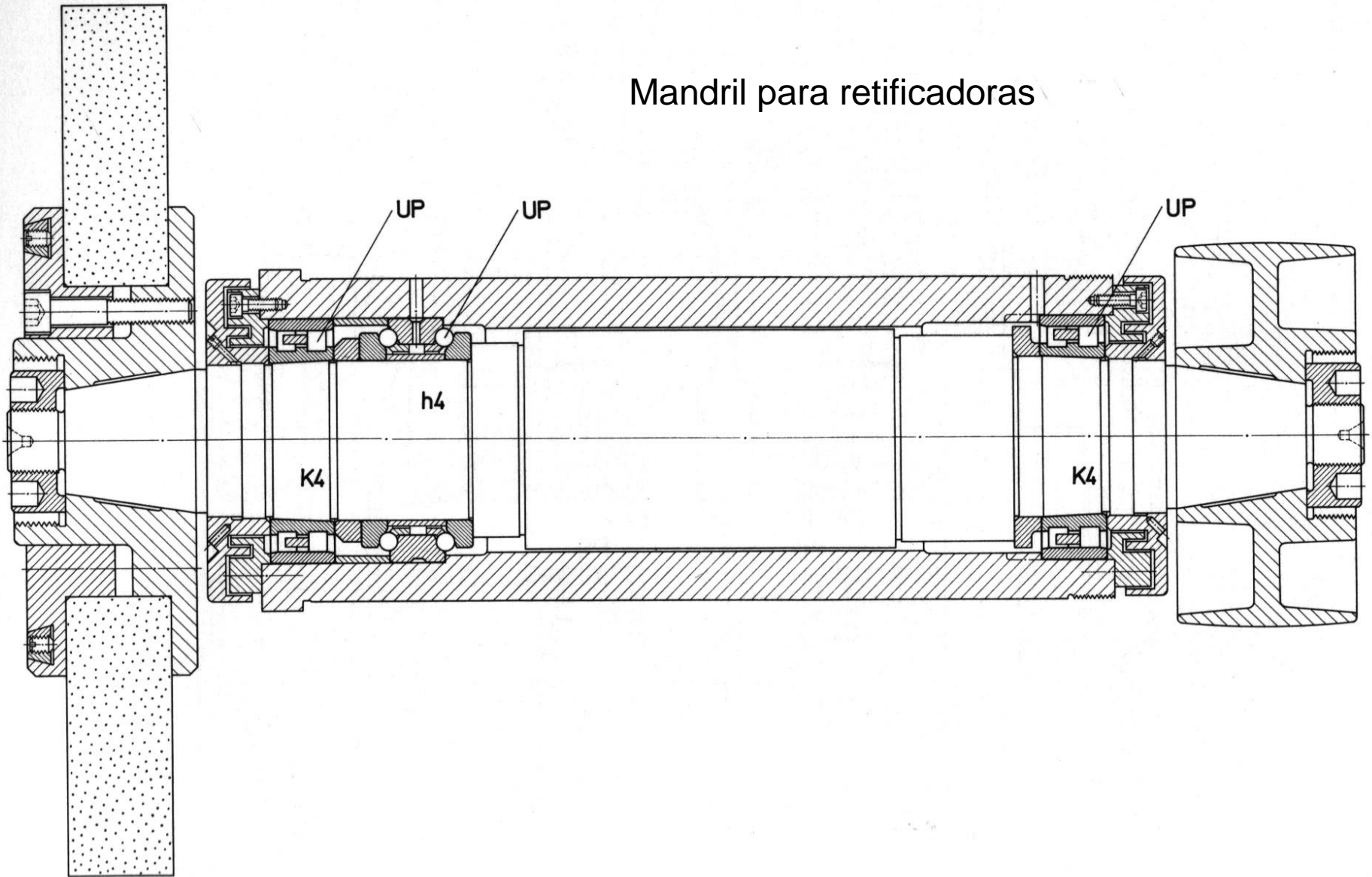
Fonte: Aplicações de rolamentos SKF



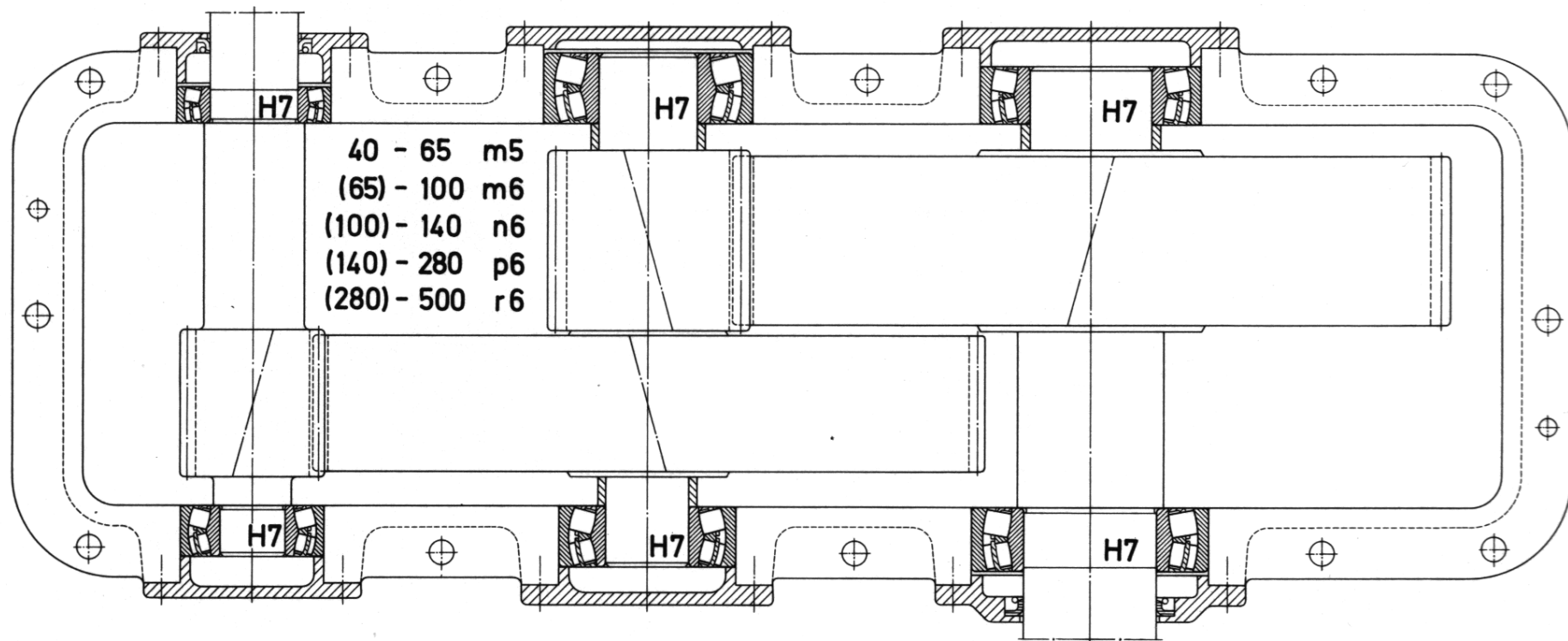
**Fig. 1.83 - Redutor com engrenagem em parafuso.**

*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).*

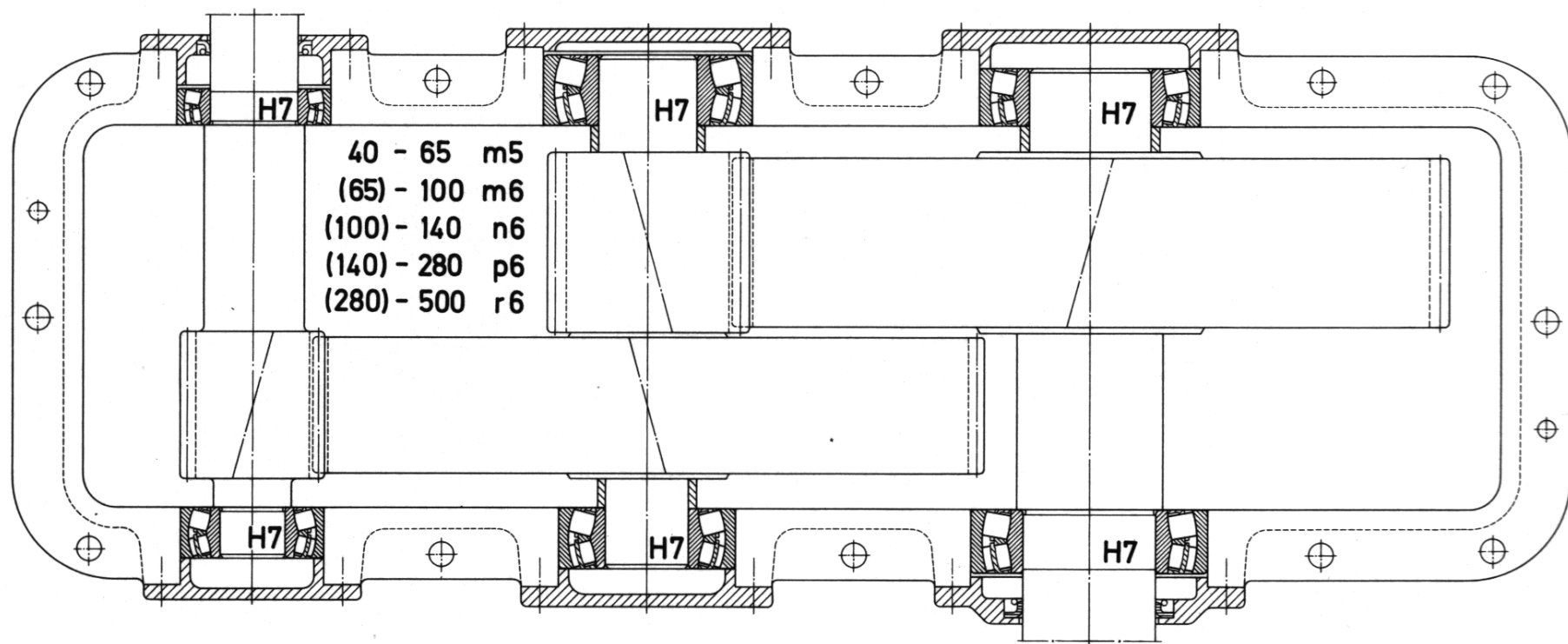
## Mandril para retificadoras



# Redutor com dupla redução de engrenagens helicoidais



## Redutor com dupla redução de engrenagens helicoidais





## 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).