

# Mancais de Rolamento

Prof. Dr. Nicola Getschko



Restos de um possível mancal de rolamentos axial romano.

<https://rometheimperialfora19952010.wordpress.com>



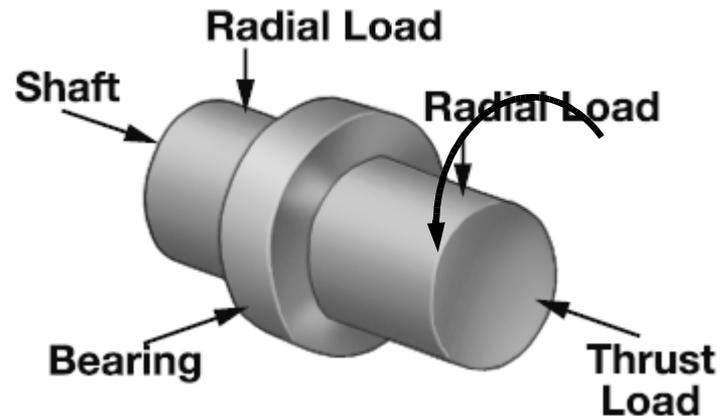
Possível base do sala de jantar giratória de Nero,  
no monte Palatino - Roma - aprox . 60 AD.

Ref. Françoise Villedieu and Edikom

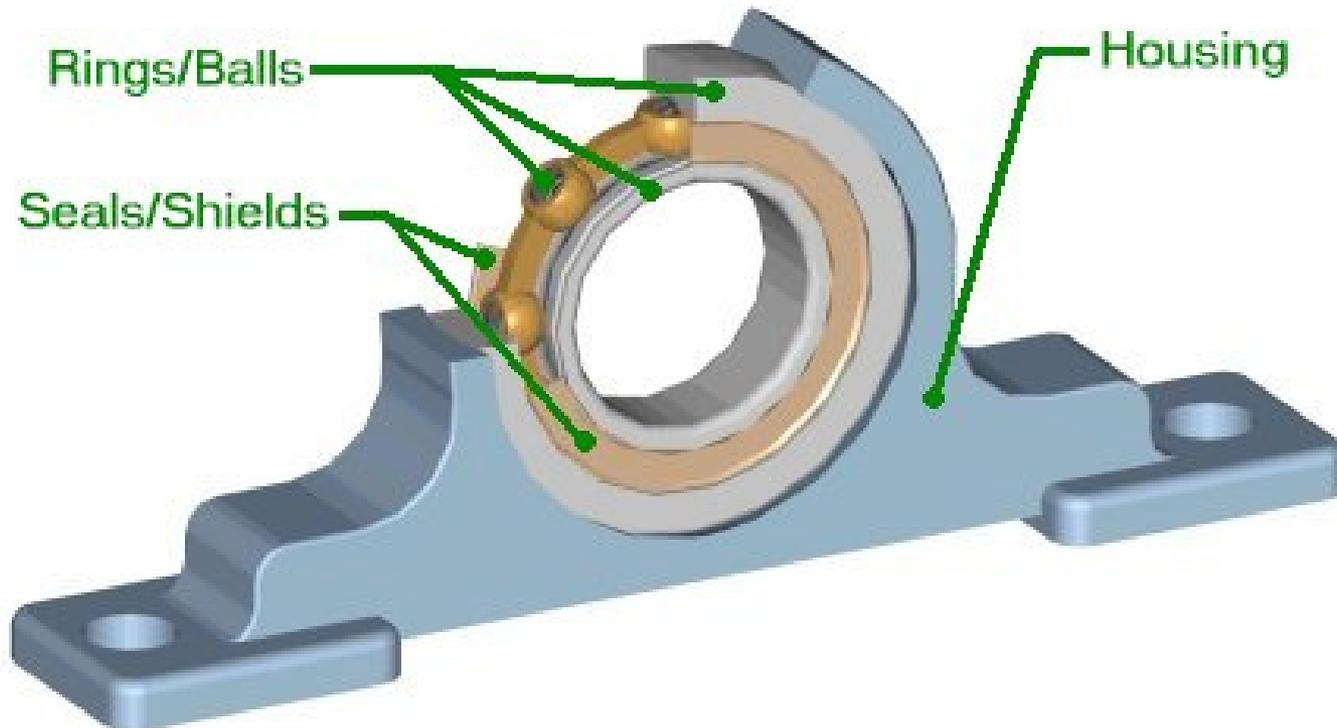
# Mancais de Rolamento

- ▶ Principal Característica: Baixo Atrito mesmo sem Lubrificação
- ▶ Valores Típicos:

$$\bar{\mu} = 0.001 - 0.005$$

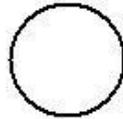


# Mancais de Rolamento



# Mancais de Rolamento – Corpos Rodantes

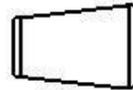
Esfera (Bola)



Rolo Cilíndrico



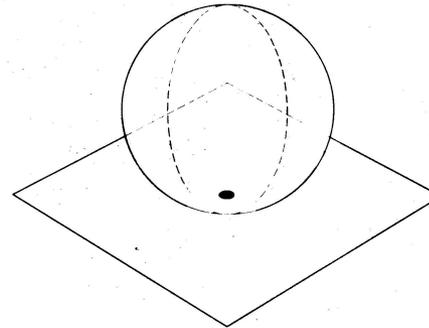
Rolo Cônico



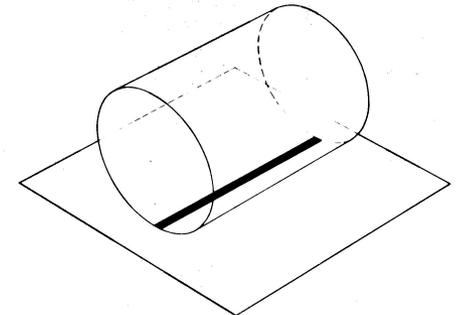
Rolo Abaulado



(Esférico)



**Contato puntiforme**



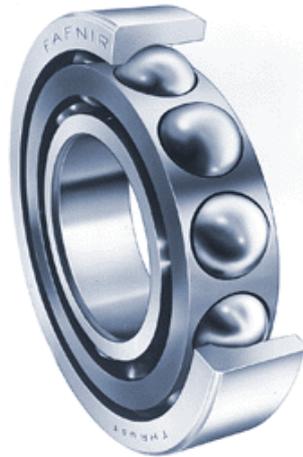
**Contato linear**

# Tipos Construtivos Mais Comuns

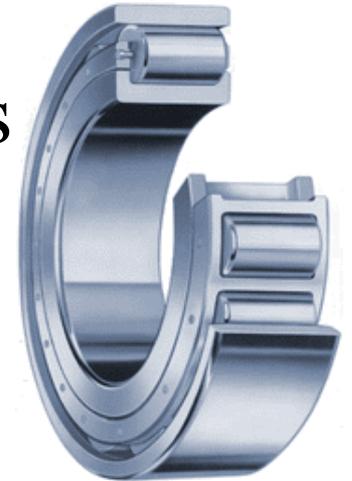
Rígido de Esferas



Esferas de Contacto Angular



Rolos Cilíndricos

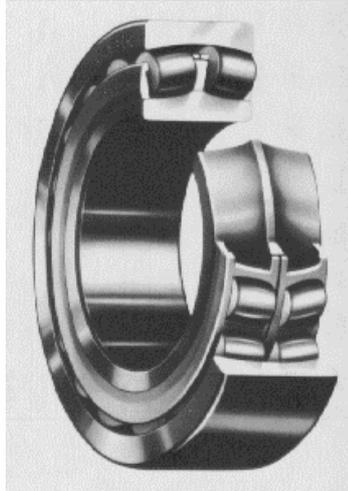


Rolos Cônicos

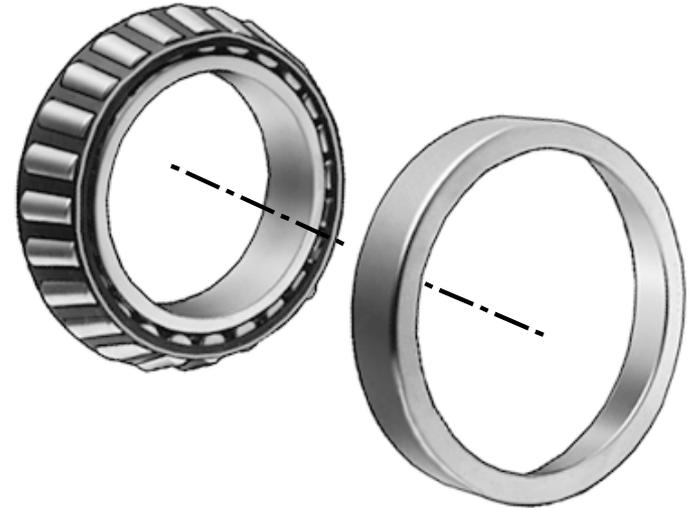


Autocompensador

De rolos



Rolos Cônicos



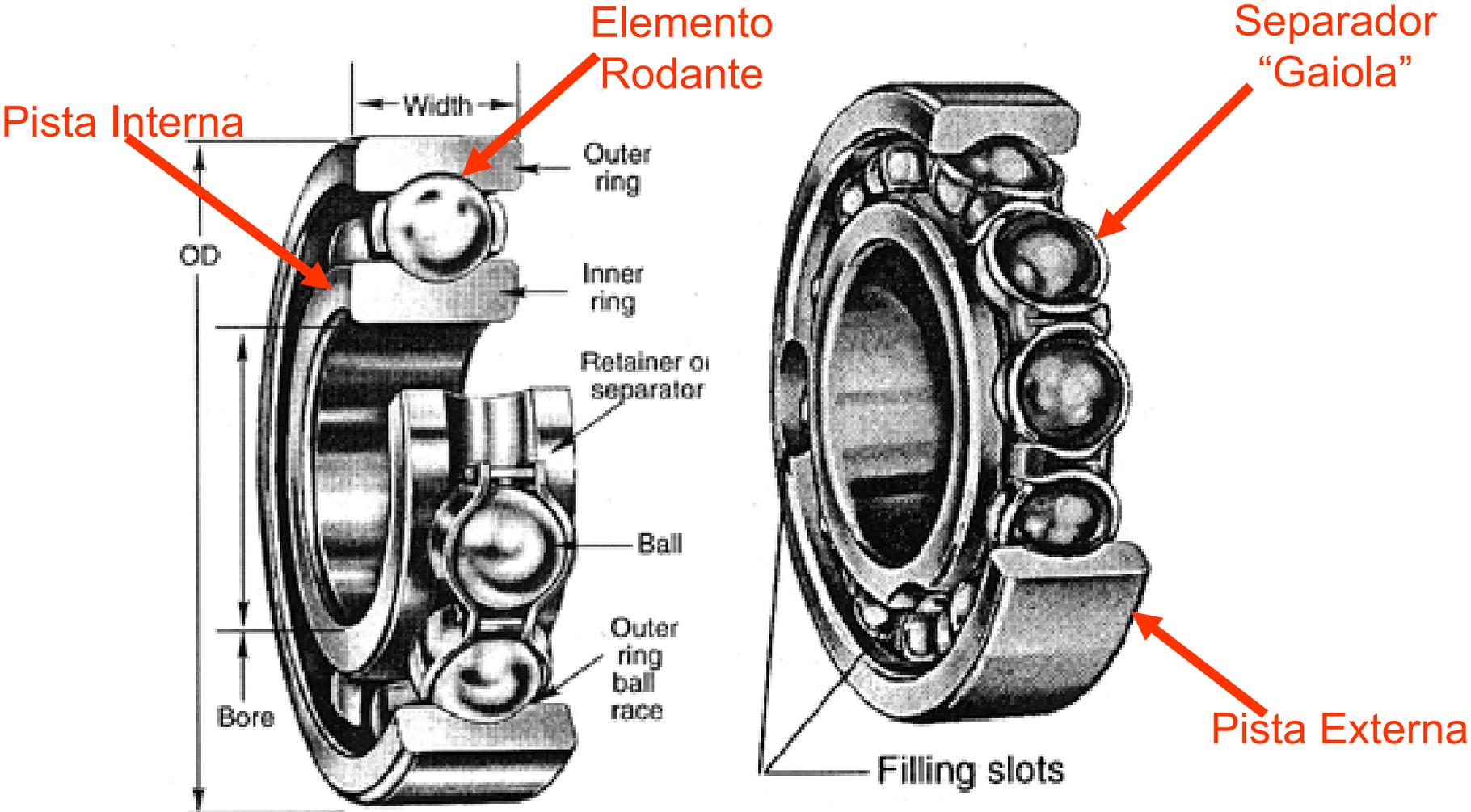
Agulhas



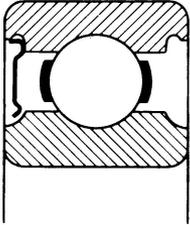
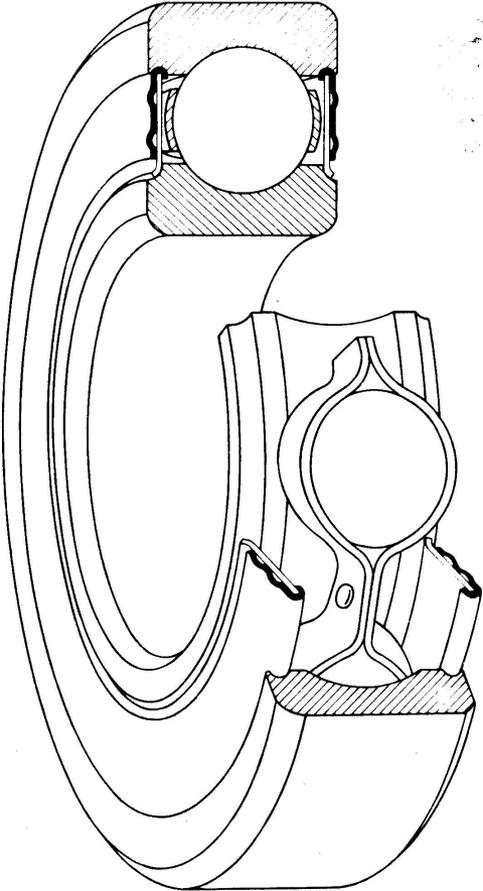
Axial  
Autocompensador



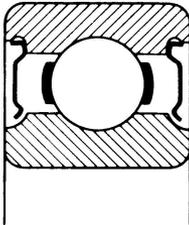
# Rolamentos de Esferas



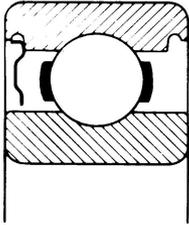
# Rolamentos de Esferas Blindados/Vedados ou Lubrificados para a Vida



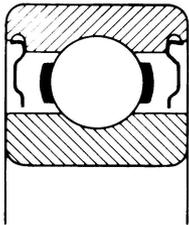
Z



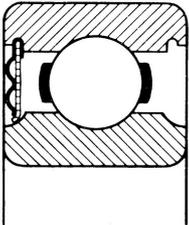
2Z



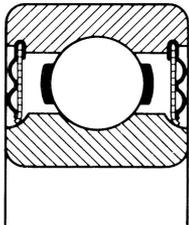
LZ



2LZ

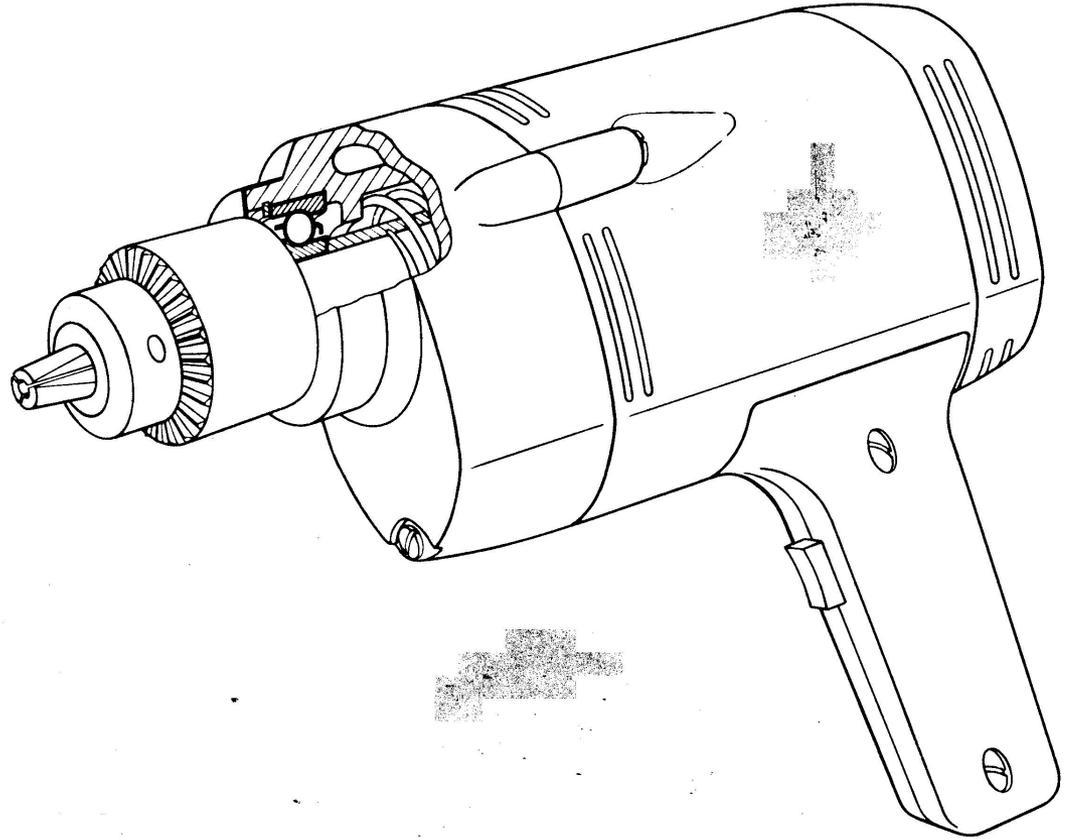
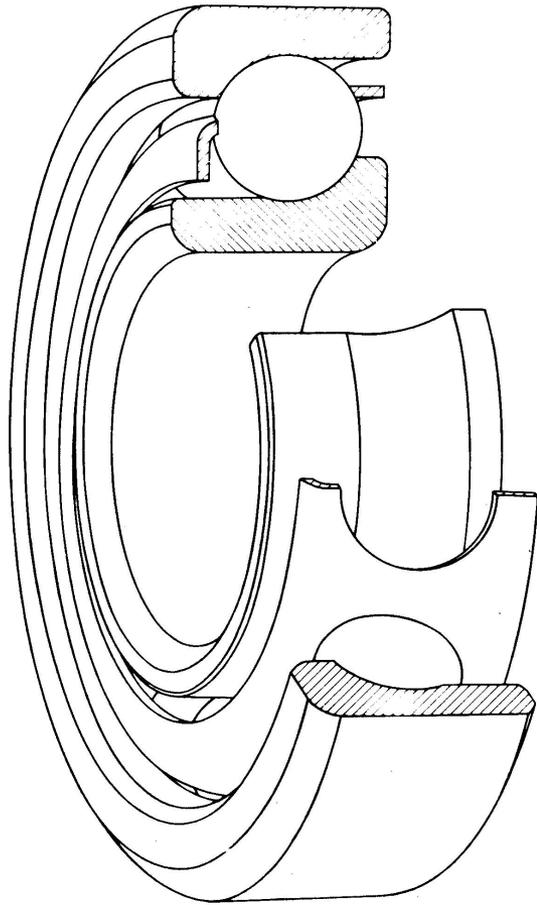


RS

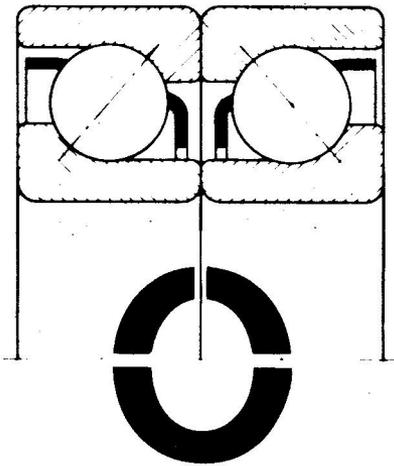


2RS

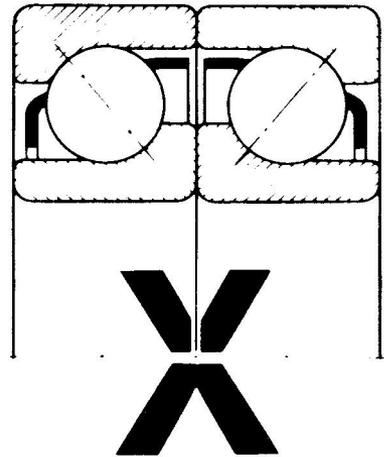
# Rolamentos de Esferas de Contacto Angular



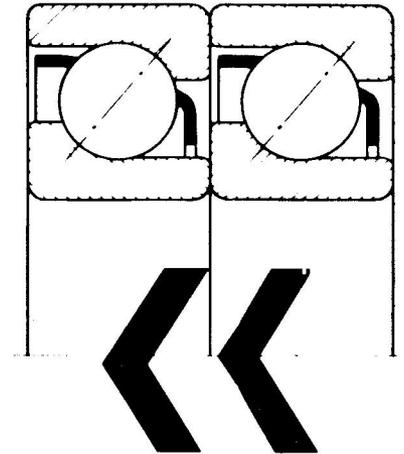
# Rolamentos de Esferas de Contacto Angular - Montagens



**BACK TO BACK**

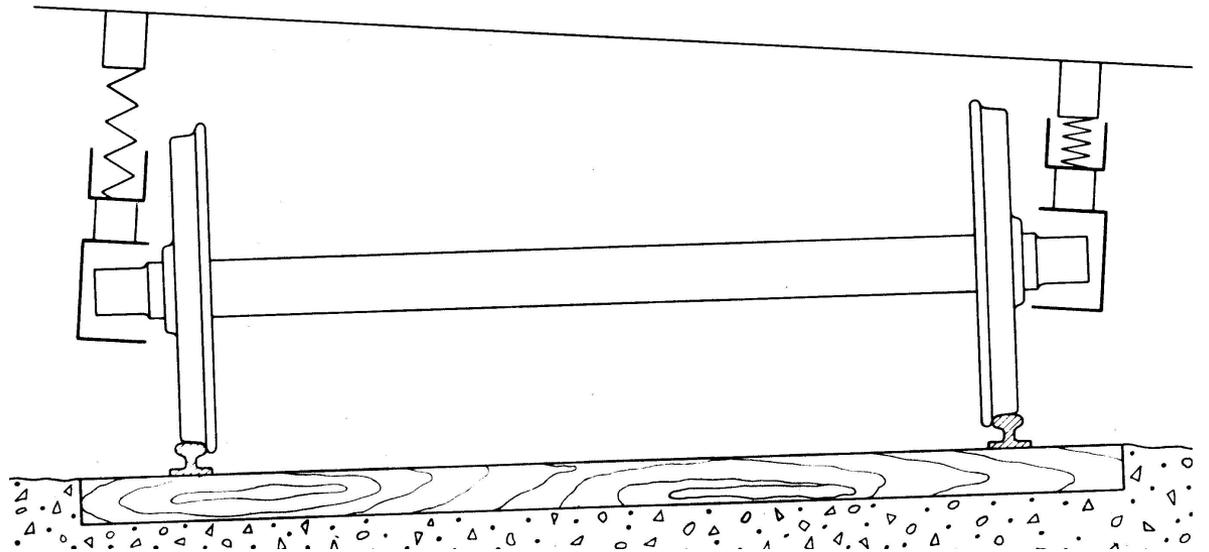
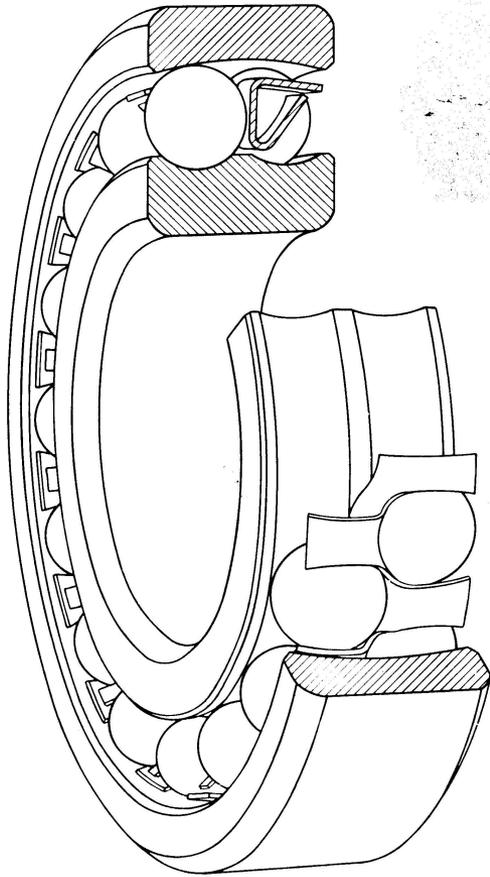


**FACE TO FACE**

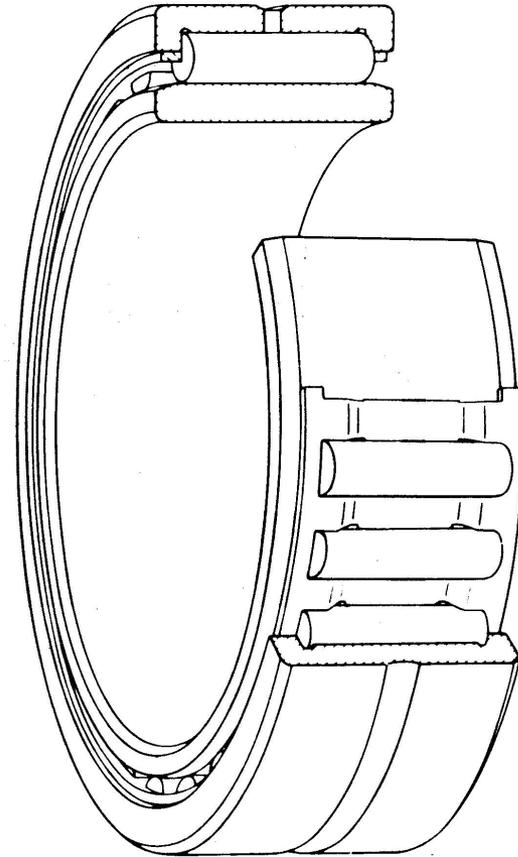
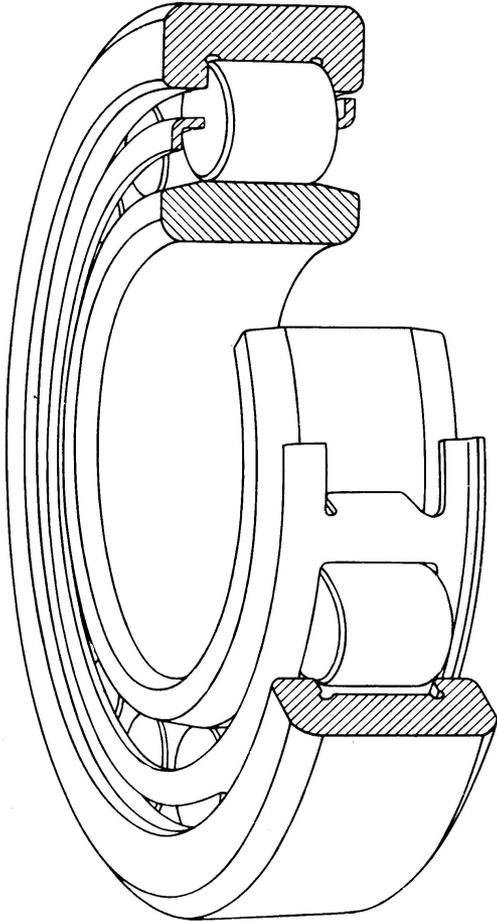


**TANDEM**

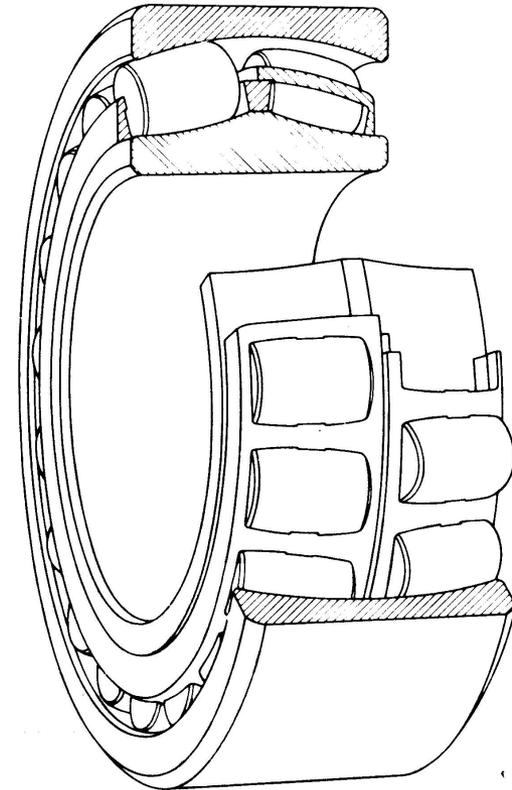
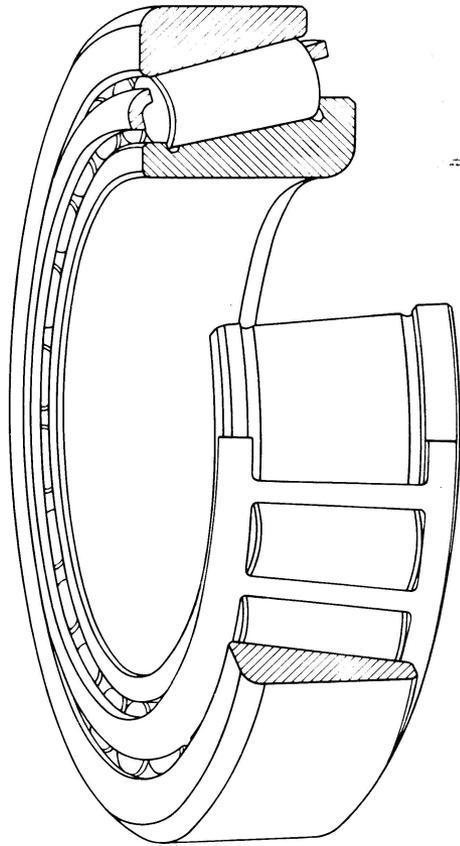
# Rolamentos de Esferas Autocompensador



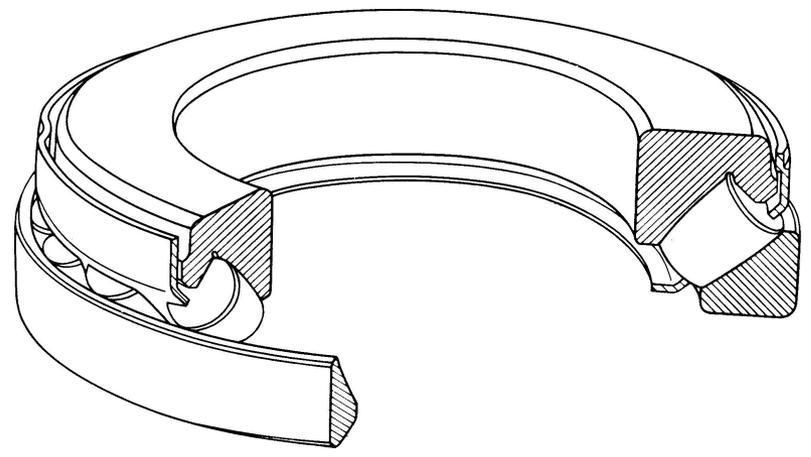
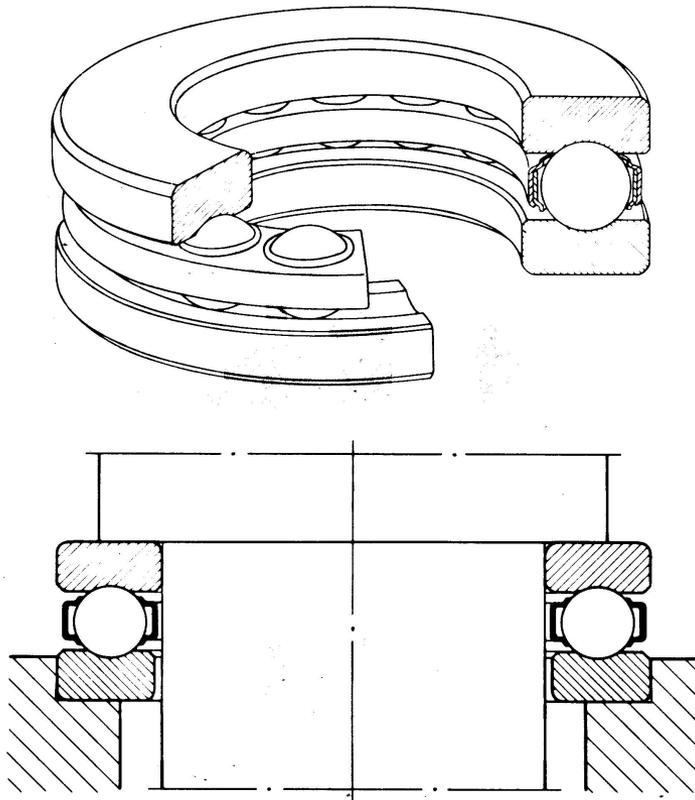
# Rolamentos de Rolos Cilíndricos e de Agulhas



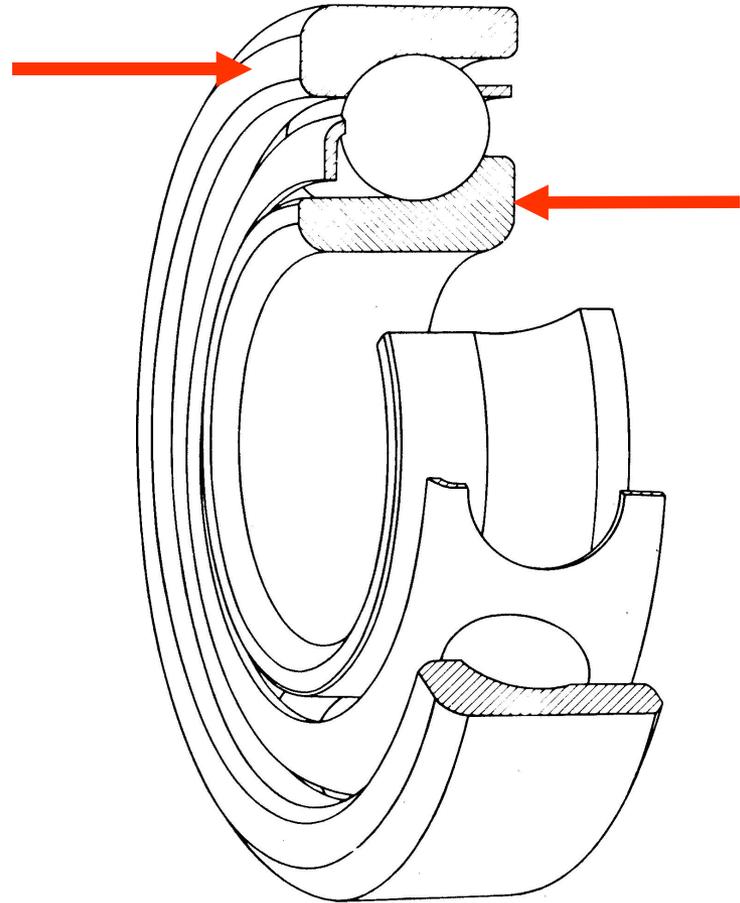
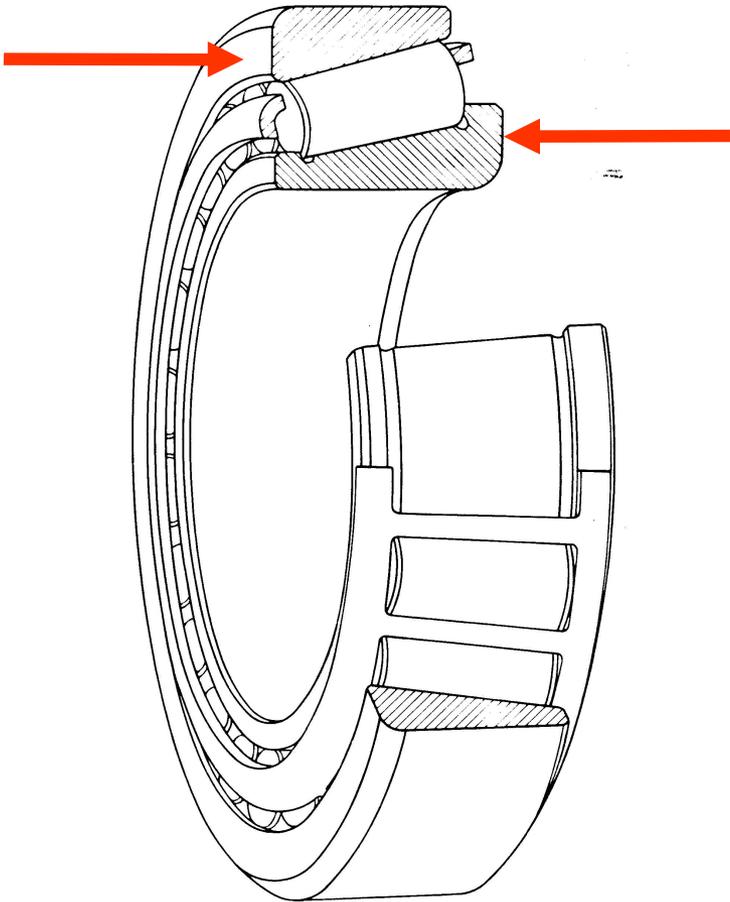
# Rolamentos de Rolos Cônicos e Autocompensadores



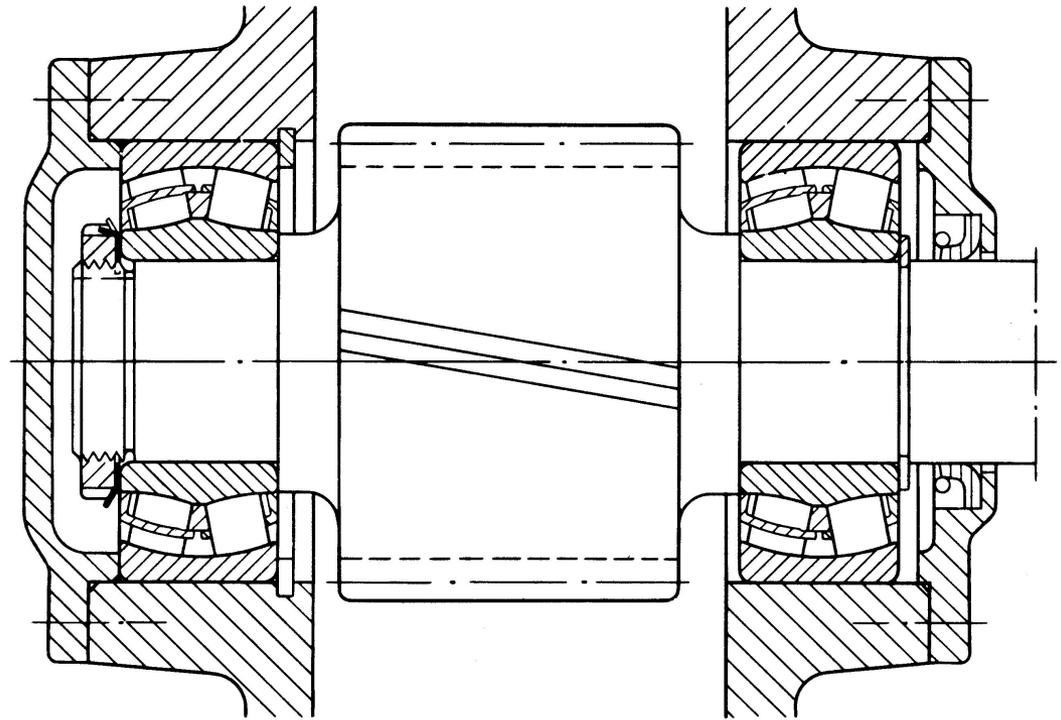
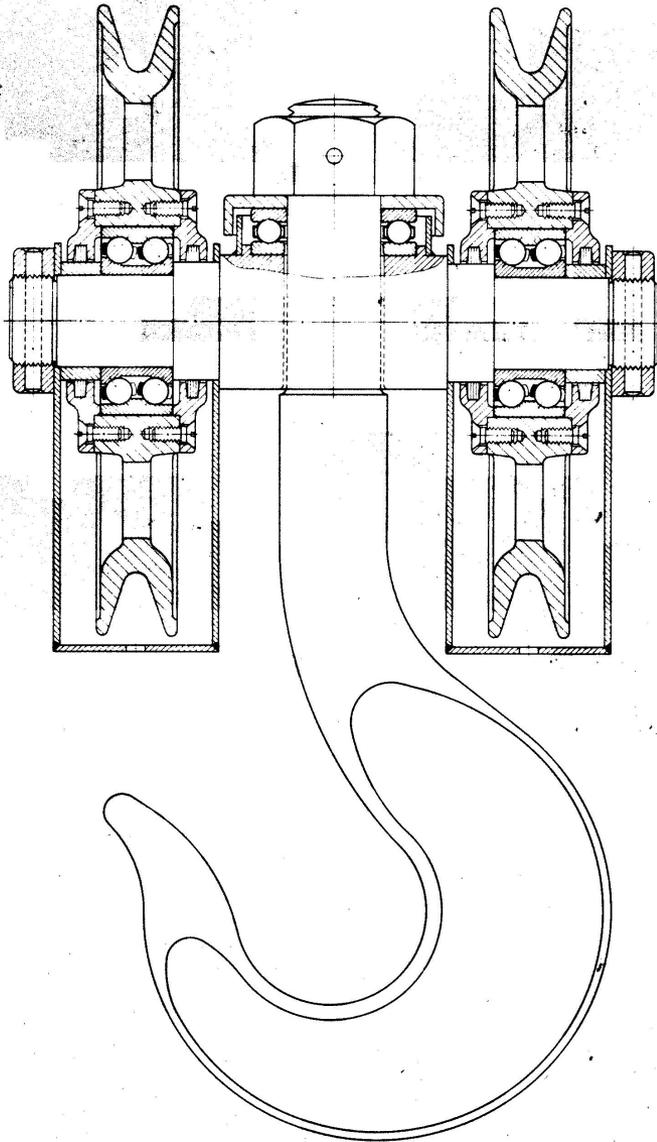
# Rolamentos de Axiais de Esferas e Rolos



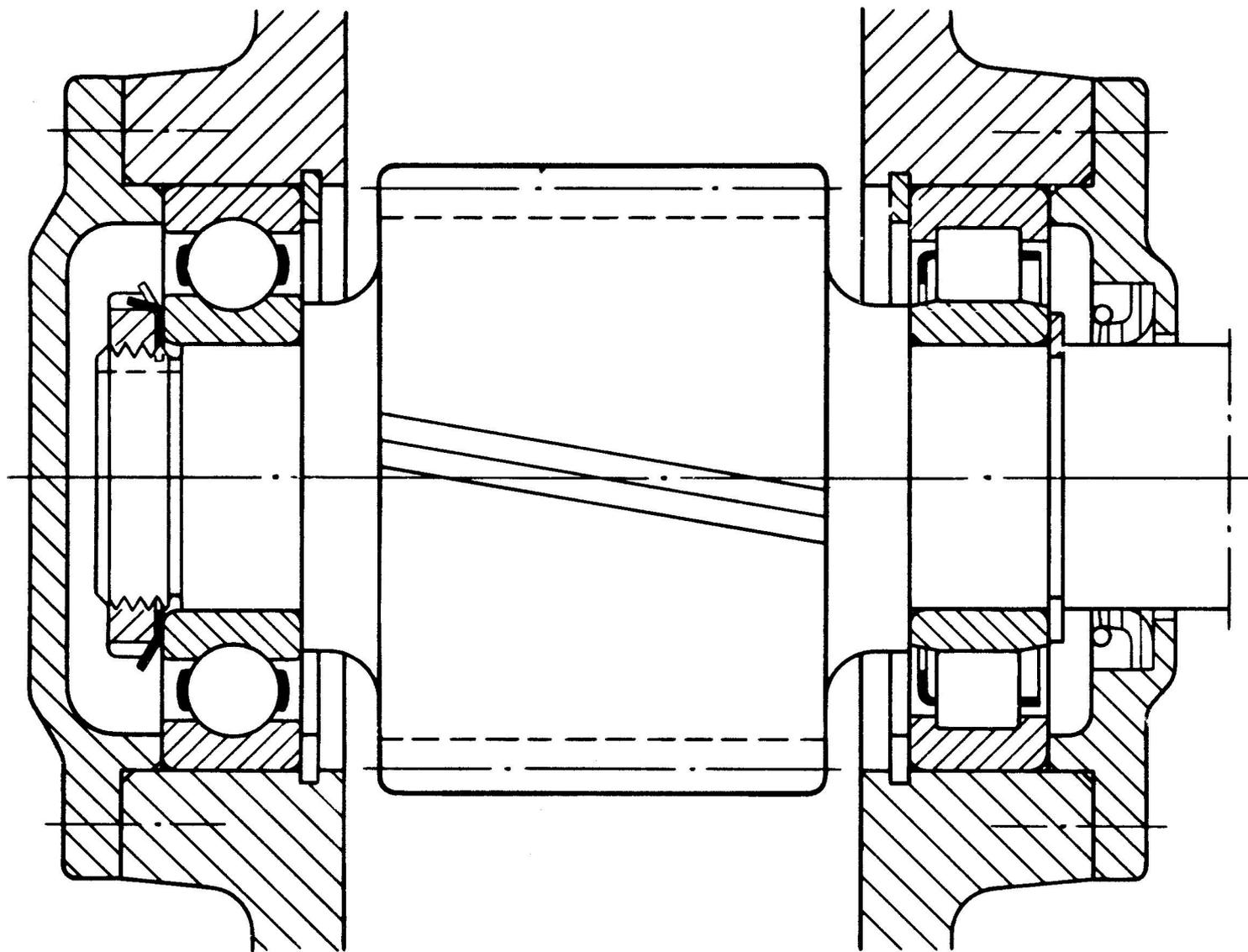
## Rolamentos que permitem Ajuste da Folga



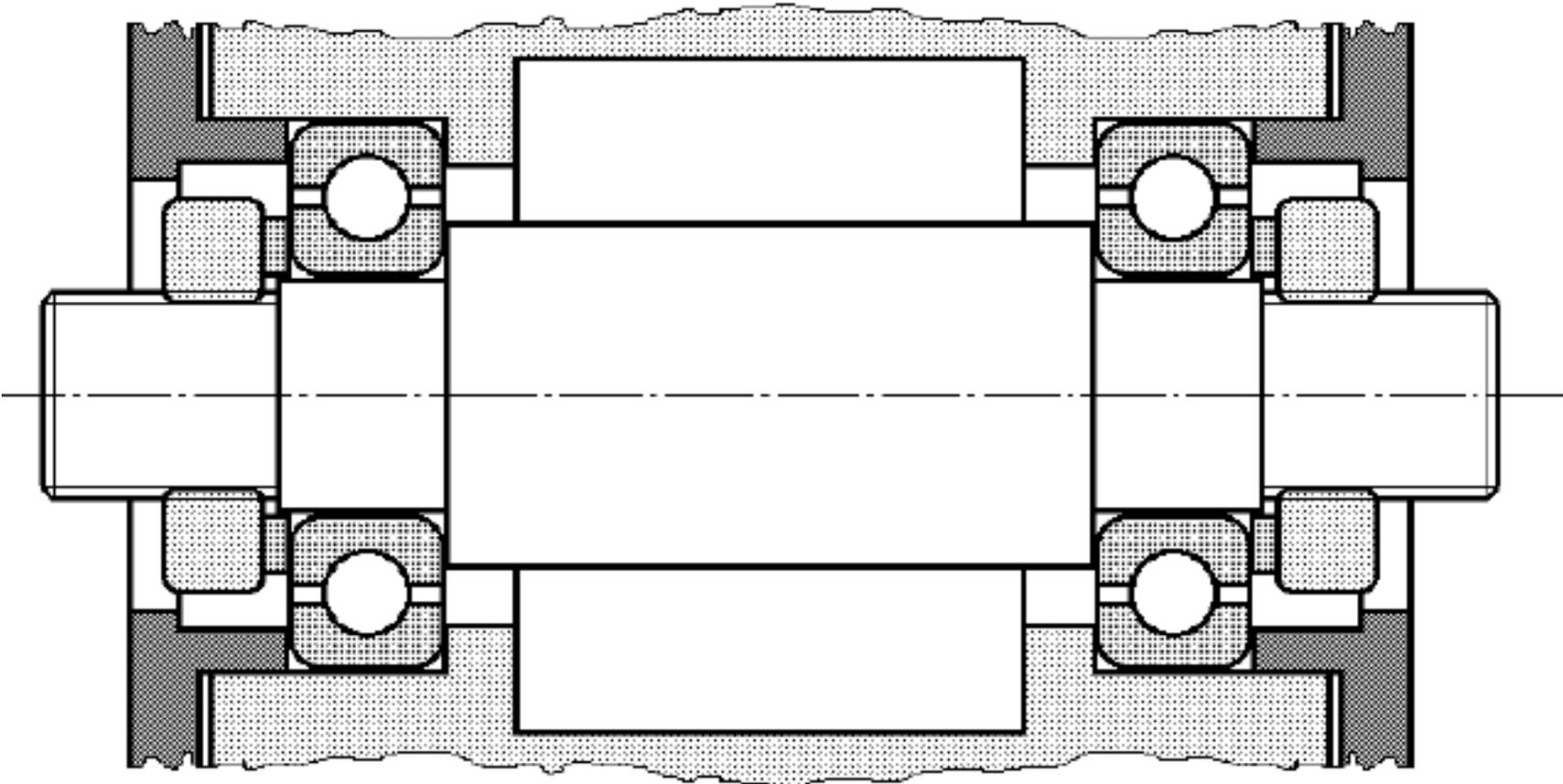
# Rolamentos – Montagens



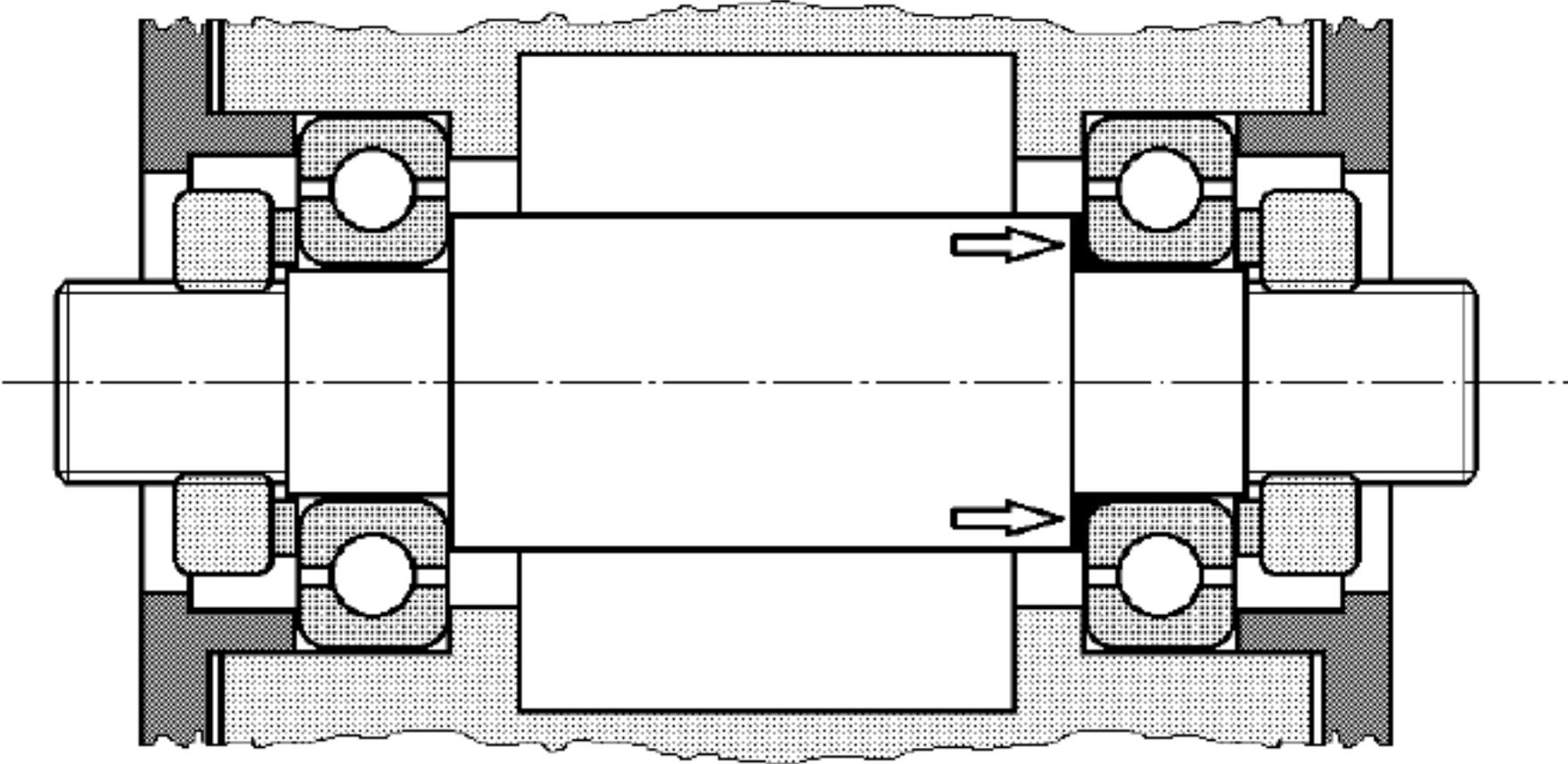
# Rolamentos – Montagens



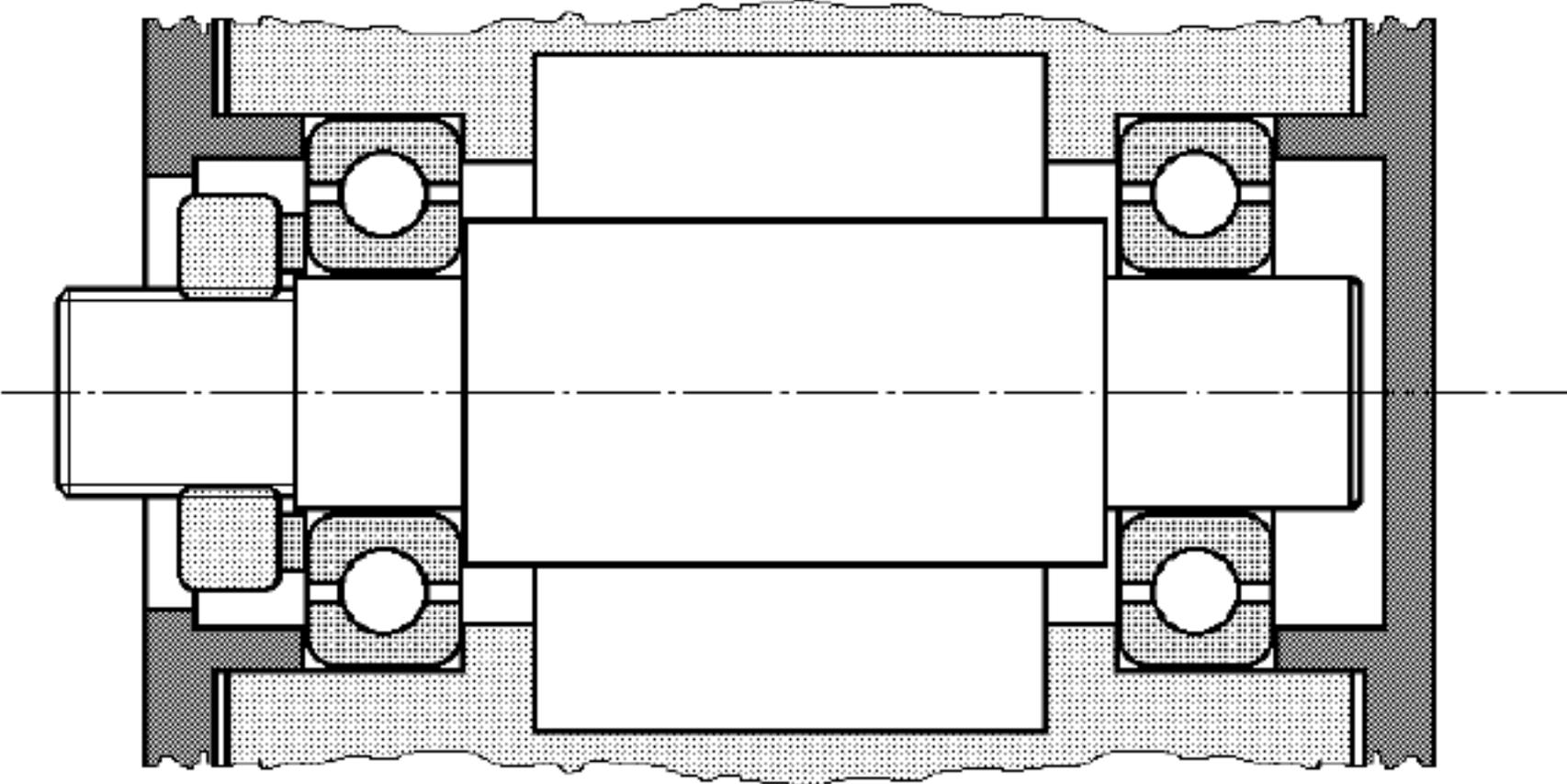
# Rolamentos – Montagens



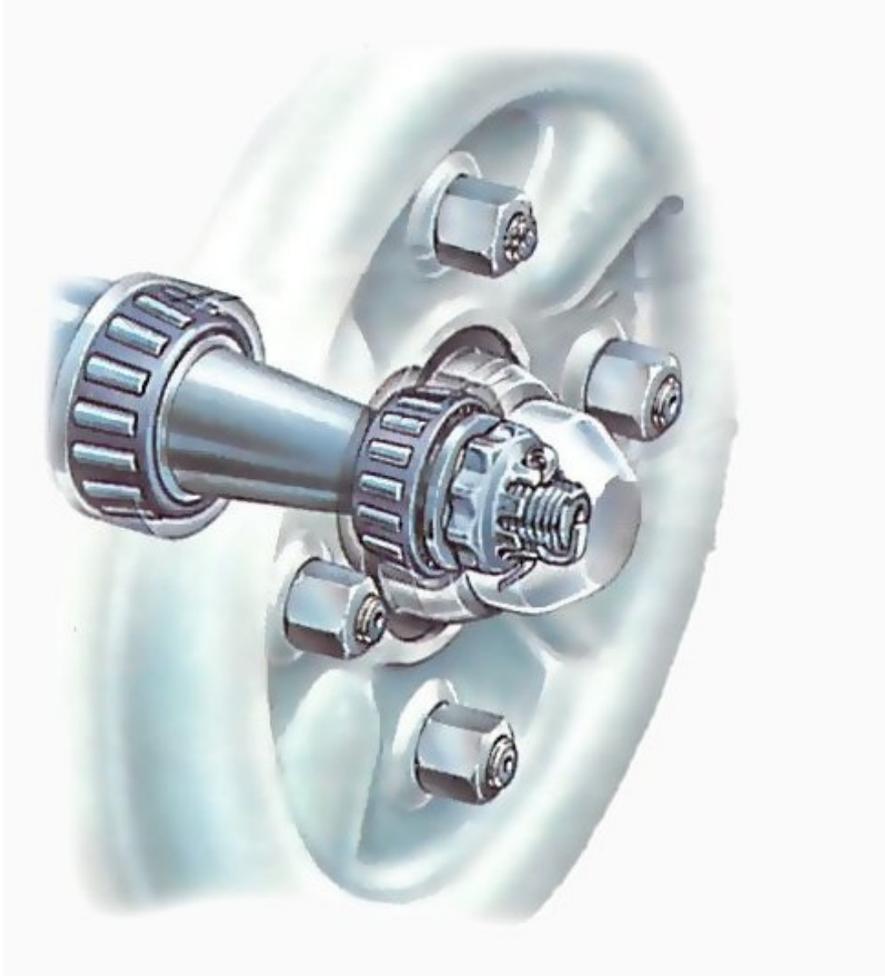
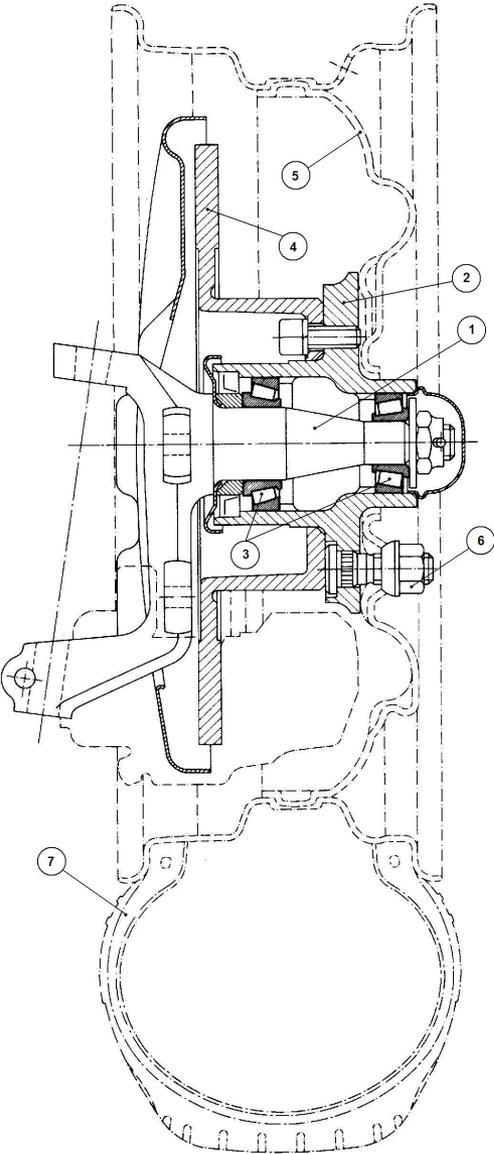
# Rolamentos – Montagens



# Rolamentos – Montagens



# Rolamentos – Montagens



# Tensões de Contacto

- ▶ Valores limite usuais

$$\sigma_c = 200 \text{ kfg/mm}^2 \text{ (2 GPa)}$$

- ▶ Uso de aços de alta resistência-dureza

*ex. AISI 52100*

$$s_y = 180 \text{ kgf/mm}^2$$

$$s_u = 220 \text{ kfg/mm}^2$$

# Vida de um Rolamento

Principal causa de Falha – Fadiga

Elemento Rodante

Pista/Anel Interno

Pista/Anel Externo

Aspecto da Falha – Descascamento

Conseqüência – Aumento da  
Vibração/Ruído

# Vida de um Rolamento



Foto 7-1-1

**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.

**Sintoma:** Escamamento em metade da circunferência da pista.

**Causa:** Lubrificação deficiente gerada pela entrada de fluido de corte no interior do rolamento.



Foto 7-1-2

**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.

**Sintoma:** Escamamento ao longo da pista.

**Causa:** Desalinhamento na instalação.

# Vida de um Rolamento



Foto 7-1-3

**Componente:** Anel interno de rolamento fixo de uma carreira de esferas.

**Sintoma:** Escamamento na pista no intervalo das esferas.

**Causa:** Impactos na instalação.



Foto 7-1-4

**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.

**Sintoma:** Escamamento na pista nos intervalos das esferas.

**Causa:** Impactos na instalação.

# Vida de um Rolamento



Foto 7-1-6

**Componente:** Esferas da foto 7-1-4.

**Sintoma:** Escamamento na superfície das esferas.

**Causa:** Impactos na instalação.



Foto 7-1-10

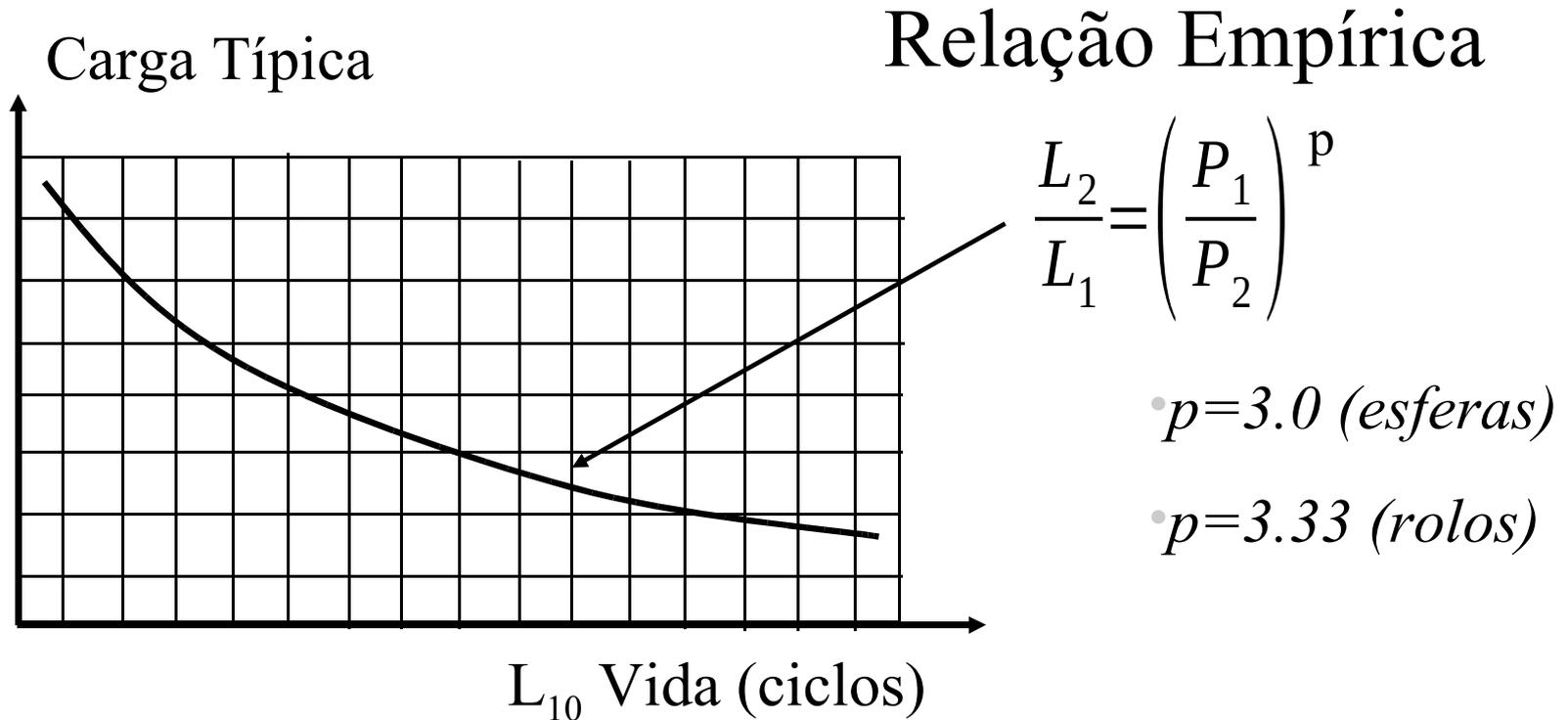
**Componente:** Rolos de rolamento de rolos cilíndricos.

**Sintoma:** Escamamento prematuro ocorrido axialmente sobre a superfície dos rolos.

**Causa:** Instalação inadequada.

# Relação Carga x Vida

## ► Ensaio de Fadiga



# Capacidade de Carga

Dinâmica (C) => Vida de  $10^6$  ciclos para 90% (ou mais) dos rolamentos testados

Estática ( $C_0$ ) => Deformação permanente de  $0,0001 \delta$

# Vida Nominal Ajustada

$$L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot (C/P)^p$$

$L_{10}$  = Vida em  $10^6$  ciclos

$P$  = Carga Dinâmica Equivalente

$a_1$  = fator de confiabilidade

$a_2$  = fator de material

$a_3$  = fator de serviço - lubrificação

# Fator de Confiabilidade

Confiabilidade %	a1
90	1
95	0,62
96	0,53
97	0,44
98	0,33
99	0,21

# Seleção de um Rolamento

- 1- Definir o tipo de rolamento (radial, axial ou misto – rígido ou autocompensador)
- 2- Definir o tipo de elemento rodante (esfera\* ou rolo)
- 3- Definir a Vida em horas
- 4- Definir as cargas sobre o rolamento
- 5- Definir a confiabilidade e os fatores de material e lubrif.
- 6- Calcular a Vida  $L_{10}$
- 7- Calcular a Capacidade de Carga requerida  $C$
- 8- Escolher o Rolamento mais adequado no catálogo
- 9- Recalcular a Vida em horas

# Carga Dinâmica Equivalente

Carga no mancal  $F =$  mesmo tipo de  $C$

$$\Rightarrow P = F$$

$\Rightarrow$  Exemplo:  $C =$  Radial ,  $F =$  Radial

Carga no mancal  $F \neq$  do tipo de  $C$

$$\Rightarrow P = XFr + YFa$$

$\Rightarrow$  Exemplo:  $C =$  Radial ,  $F =$  Mista

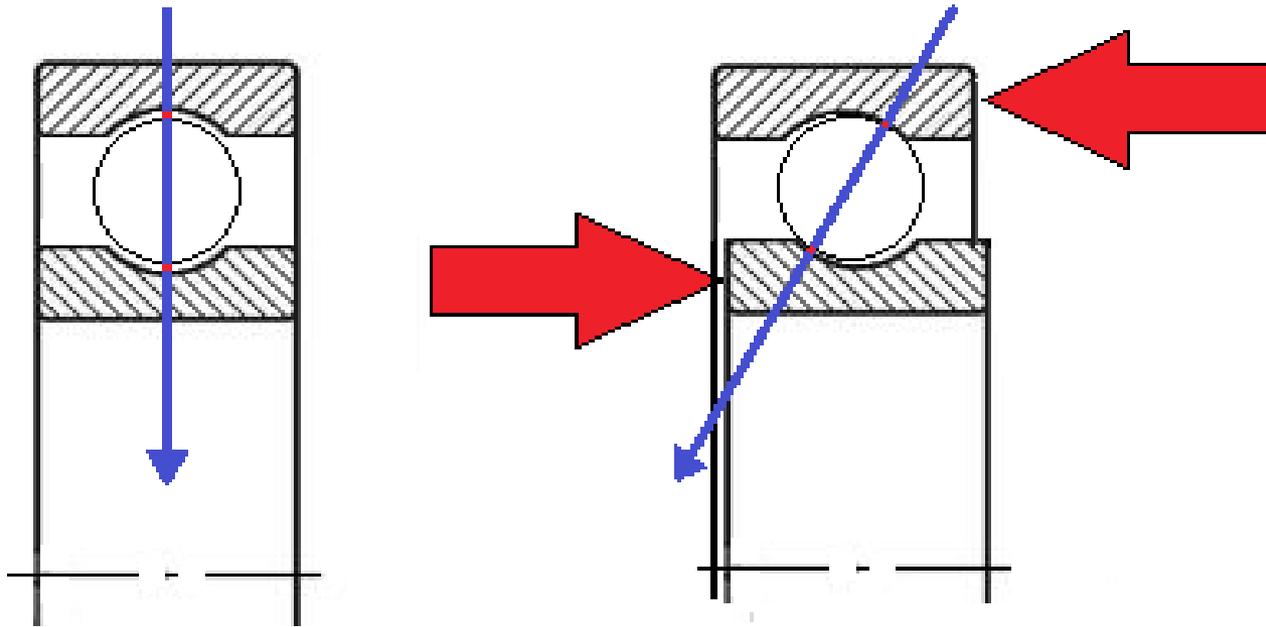
# Determinação de X e Y

⇒ São dados do fabricante – Catálogo

⇒ Variam de acordo com a Folga de Montagem do Rolamento de Esferas

# Rolamento Rígidos de Esferas

## - Efeito Angular -



# Determinação de X e Y

## Folga Normal

Fa/Co	e	Fa/Fr	$\leq e$	Fa/Fr	$>e$
		X	Y	X	Y
0,025	0,22	1	0	0,56	2
0,04	0,24	1	0	0,56	1,8
0,07	0,27	1	0	0,56	1,6
0,13	0,31	1	0	0,56	1,4
0,25	0,37	1	0	0,56	1,2
0,5	0,44	1	0	0,56	1

# Carga Variável

- ▶ Cálculo da Carga Média Constante -  $F_m$

$$F_m = \left( \frac{\sum [(F_i)^p N_i]}{\sum N_i} \right)^{\frac{1}{p}}$$

$F_i$  = Carga a condição  $i$

$N_i$  = Ciclos a condição  $i$

$p$  = Expoente da Vida

# Condições Estáticas – baixa rotação

- Principal causa de falha: deformação permanente
- Critério:  $C_o / P_o = f_s$  (coeficiente de carga estática)
- Os valores de  $f_s$  são normalmente tabelados pelos fabricantes

# Condições Estáticas – baixa rotação

- Exemplo de Indicações:

- Valores mínimos de  $f_s$  (NSK)

Condições Operacionais	Esferas	Rolos
Baixo Ruído	2	3
Ocorrem Vibrações/Choques	1,5	2
Uso Geral	1	1,5
Rolamentos Axiais de Rolos Autocompensadores	-	4

# Condições Estáticas – baixa rotação

- Exemplo de Indicações:
  - Valores mínimos de  $f_s$  ( $s_0$ ) (SKF)

Condições Operacionais	Esferas	Rolos
Baixo Ruído	2	2
Ocorrem Vibrações/Choques	1,5	1,5
Uso Geral	1	1
Serviço Suave – sem vibr.	0,5	0,5

# Carga Estática Equivalente

Quando a carga externa não tem a mesma natureza da carga resistida pelo rolamento

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a$$

$X_o$  e  $Y_o \Rightarrow$  dependem do tipo de rolamento

# Carga Estática Equivalente

EXEMPLOS:

1- Rolamentos Radiais Rígidos de Esferas:

$P_o = 0,6 F_r + 0,5F_a$  (se  $P_o < F_r \Rightarrow$  usa-se  $P_o = F_r$ )

2- Rolamentos de Esferas de Contacto Angular:

-em tandem:  $P_o = 0,5F_r + 0,26F_a$

-em O (face-to-face) ou em X (back-to-back):

$P_o = F_r + 0,52F_a$

# Carga Estática Equivalente

## 2- Rolamentos de Esferas de Contacto Angular:

-duas carreiras – anel inteiriço:

$$-P_o = F_r + 0,63F_a$$

-duas carreiras – anel bipartido:

$$-P_o = F_r + 0,46F_a$$

# Carga Devida à Transmissão

- Quando a transmissão de potência é a principal causa de carregamento dos rolamentos:  $P = f \times F_{\text{transm}}$

Tipo de Transmissão	f
Correias dentadas	1 a 1,5
Correias Trapezoidais	2 a 2,5
Correias Planas - tensor	2,5 a 3
Correias Planas	3 a 4
Engrenagens	1 a 3

# Aplicação de Sensores em Rolamentos



# Aplicação de Sensores em Rolamentos

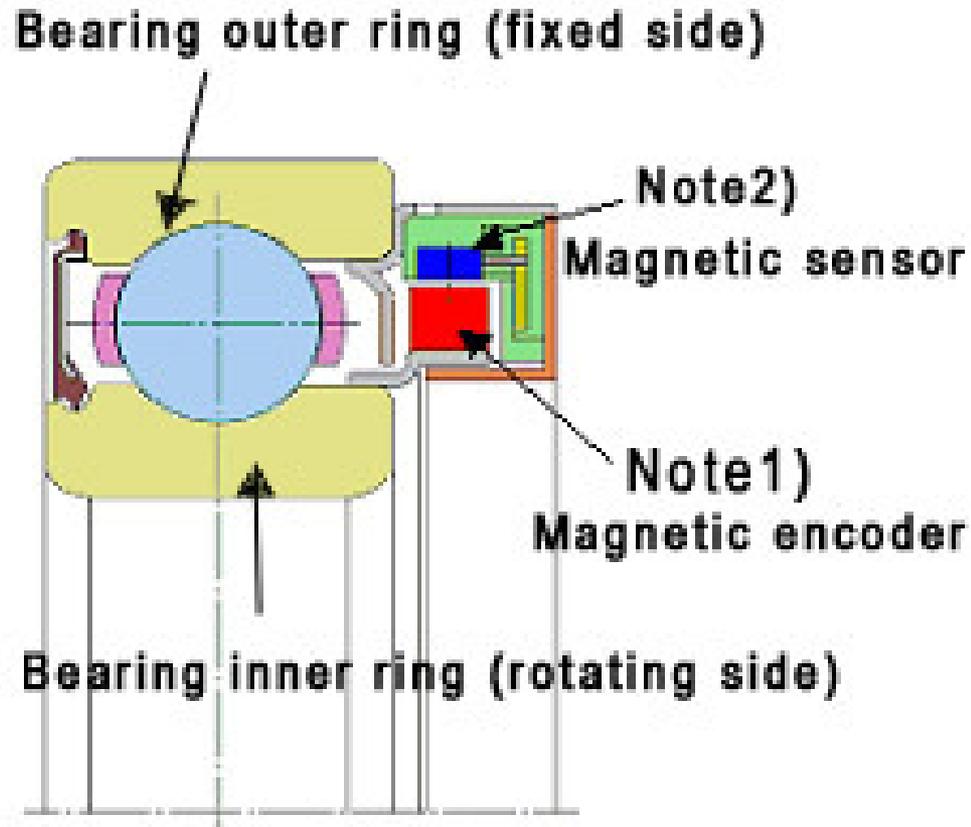
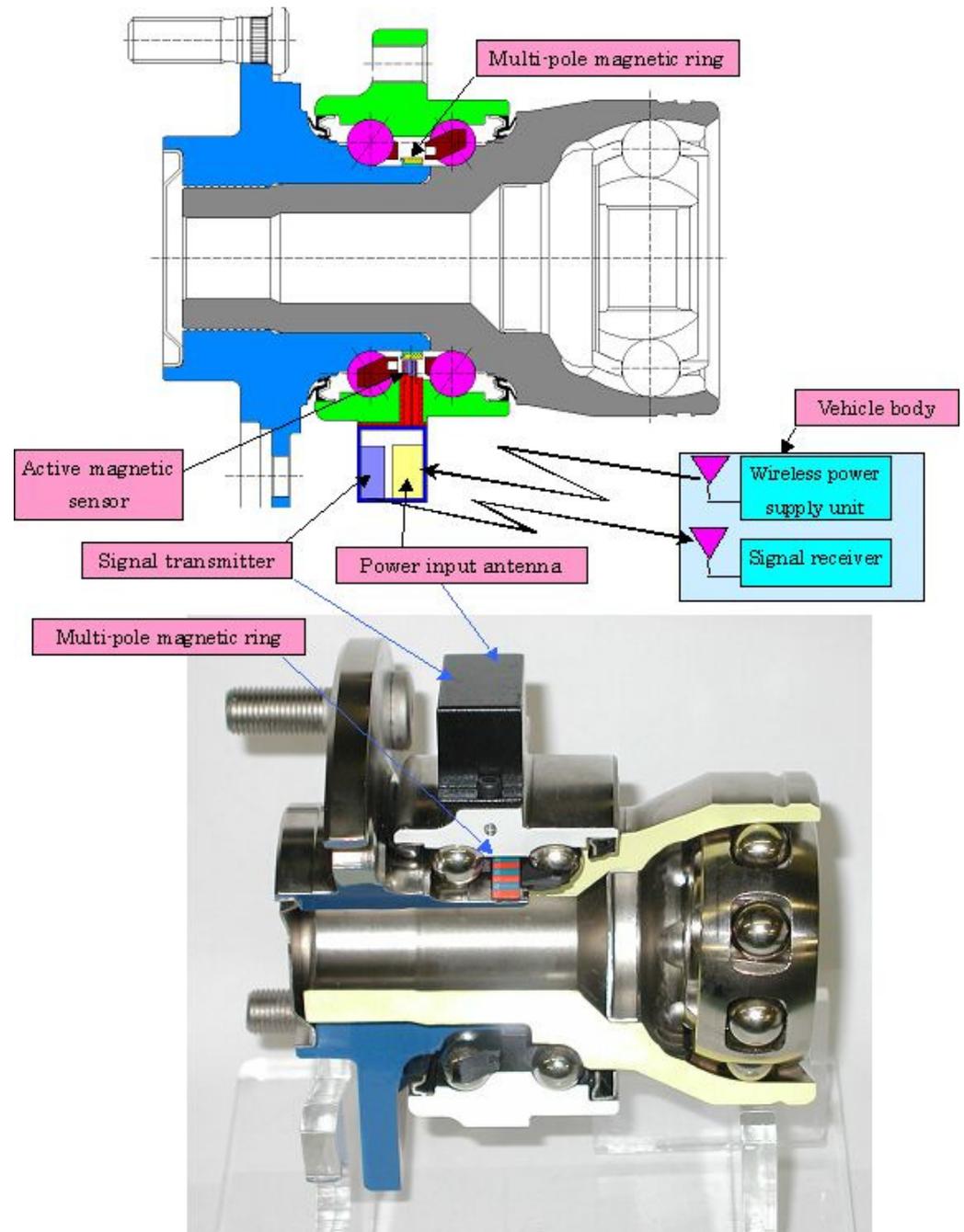


Figure 1 Cross section

# Aplicação de Sensores em Rolamentos



# Rolamentos Cerâmicos



# Rolamentos Cerâmicos

## - Características -

- Extremely durable by high hardness and corrosion resistance
- Extremely high surface quality by greater rigidity
- Low tare weight, 40% lighter than bearings made of rolling bearing steel
- Suitable for high-temperature applications
- Suitable for dry run
- Current-insulating, low electrical and thermal conductivity

# Rolamentos Cerâmicos

## - Características -

- Non-magnetic
- Extremely corrosion resistant
- Extremely resistant to chemicals
- Suitable for foodstuff-applications
- Temperature resistance from -50 up to +240°C
- Material: ZRO<sub>2</sub> - zirconia (rings, balls), PEEK - polyetheretherketone (cage)

**OBRIGADO!**