

**PMR 3103**

**Mancais**

# Mancais

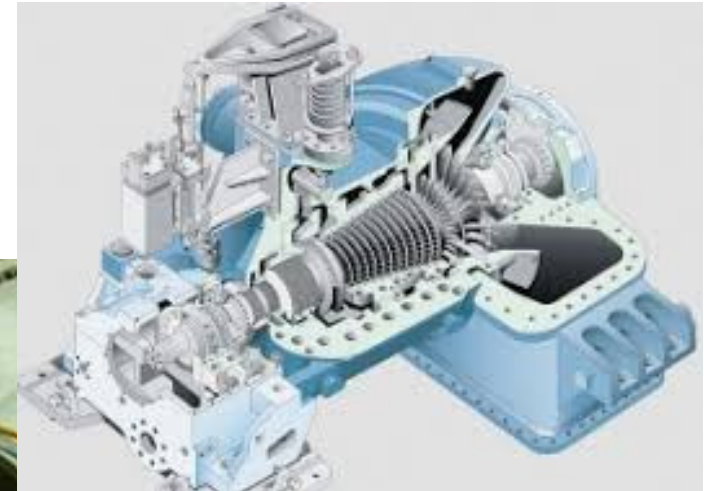
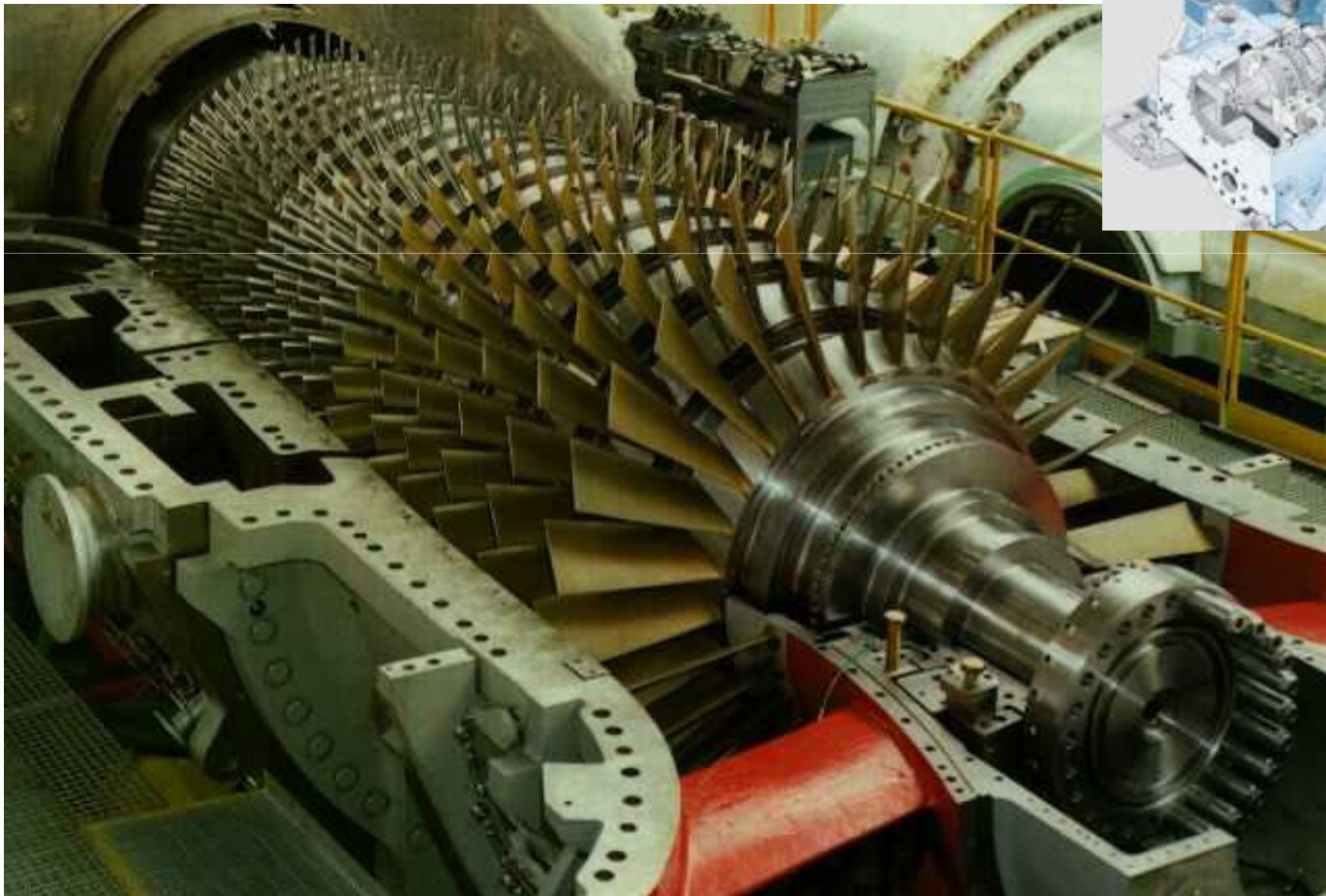
## 1. Definição

O mancal é um elemento de máquina cuja função principal é **vincular uma peça móvel** (usualmente um eixo) à **parte fixa do equipamento** (estrutura), **permitindo movimento relativo entre as partes** acima citadas, bem como a transmissão de esforços entre as mesmas.

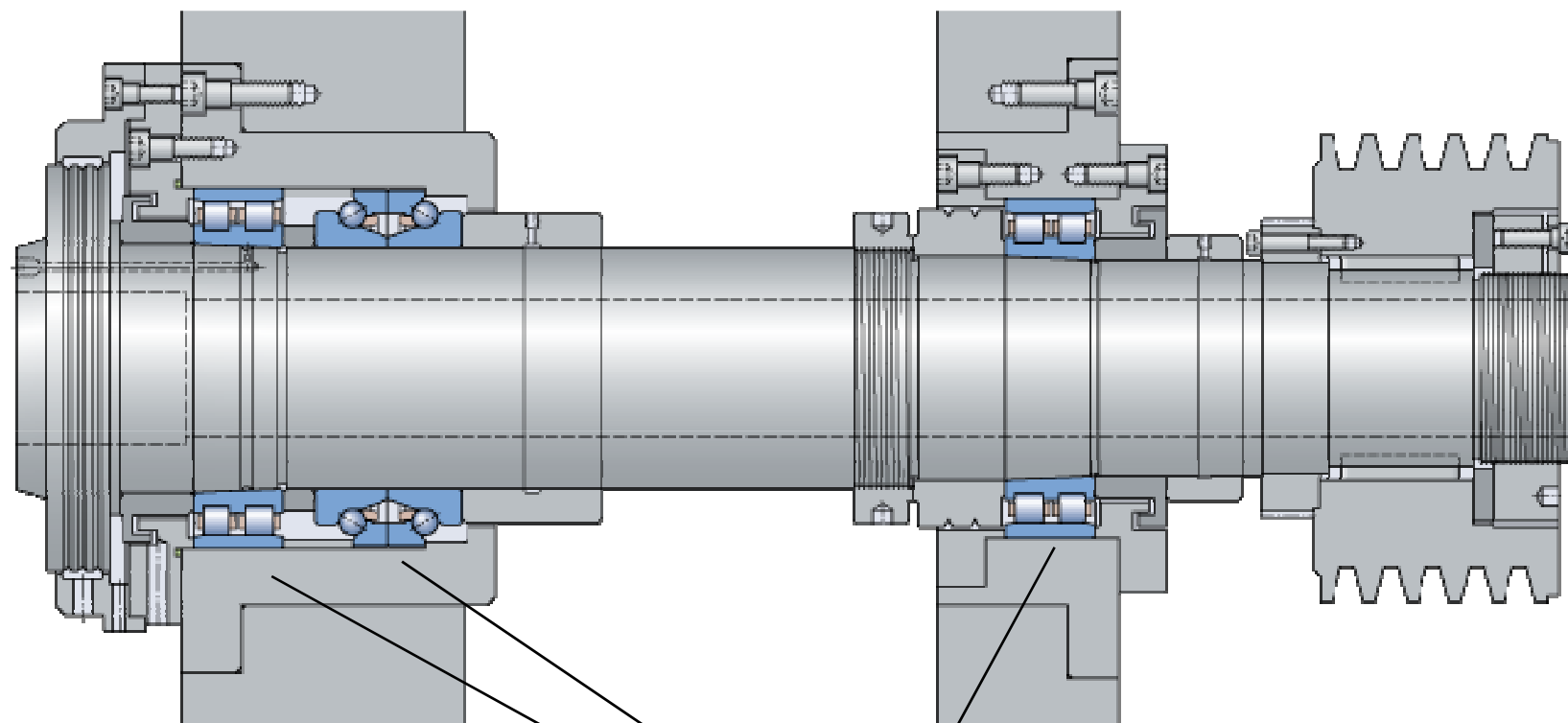
# Mancais



## Eixo de Turbina a Vapor







NN 3020 KTN9/SP +  
BTW 100 CTN9/SP

NN 3018 KTN9/SP

Mancais de Rolamento

## 2. Classificação

### 2.1 - Quanto ao tipo de movimento relativo entre as partes

- mancais de deslizamento:  $V_{rel} = \omega \cdot r$ , no ponto de contato

- mancais de rolamento:  $V_{rel} = 0$  no ponto de contato

### 2.2- Quanto ao tipo de carga resistida

Radiais

Axiais

Mistos



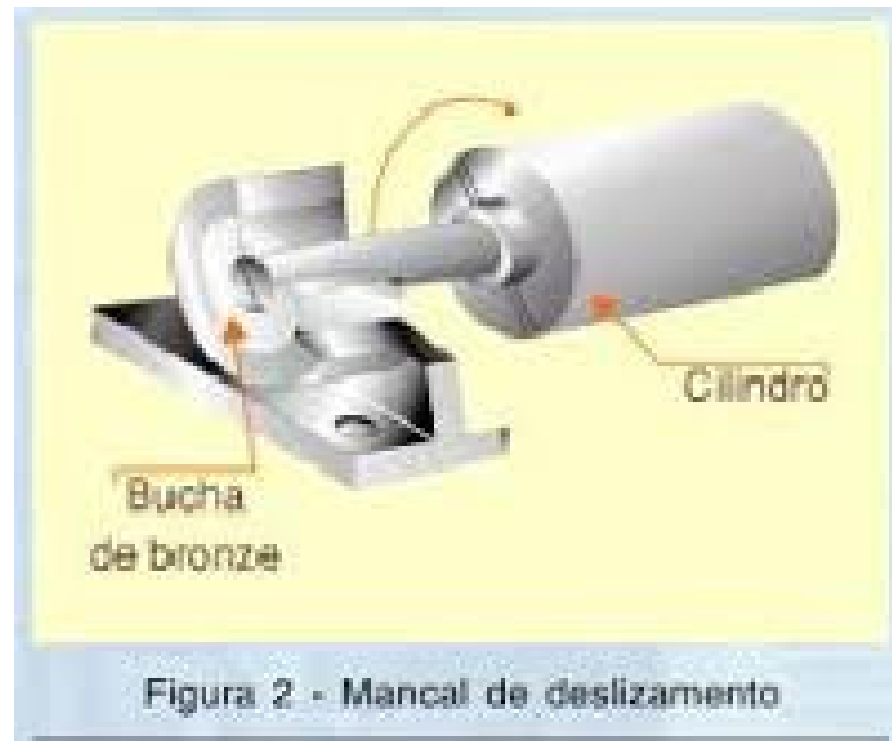
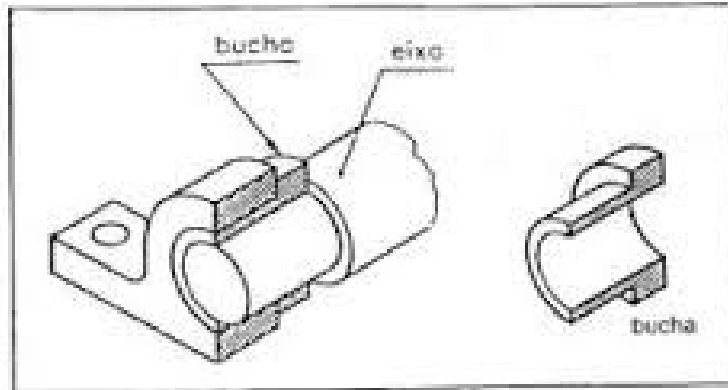
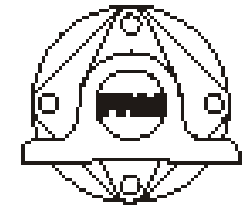


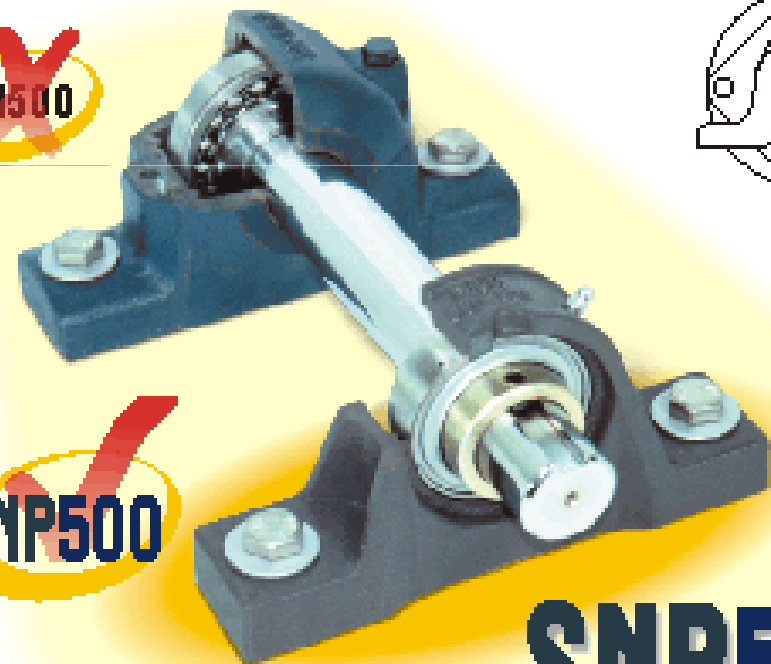
Figura 2 - Mancal de deslizamento



~~SN500~~

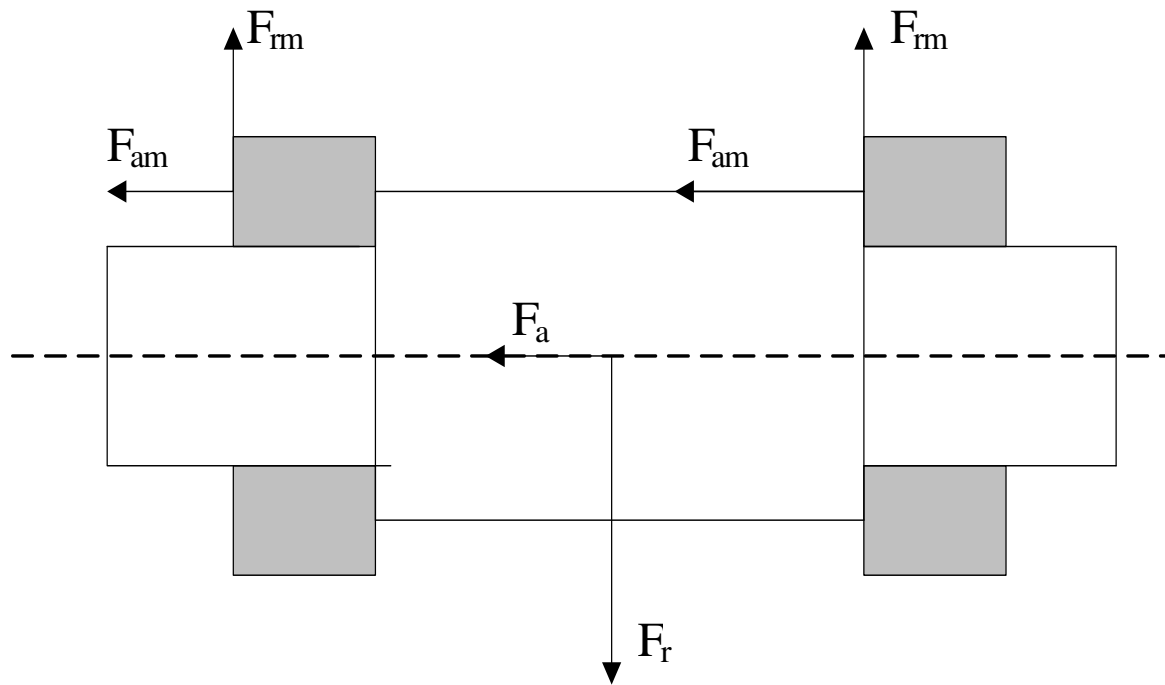


**SNP500**



**SNP500**

*uma série de vantagens!*



$F_a$  = força axial atuante no eixo

$F_r$  = força radial atuante no eixo

$F_{am}$  = força axial atuante no mancal

$F_{rm}$  = força radial atuante no mancal

2.3 - Quanto a mobilidade do mancal em relação à estrutura

*Rígidos*

*Autocompensadores*

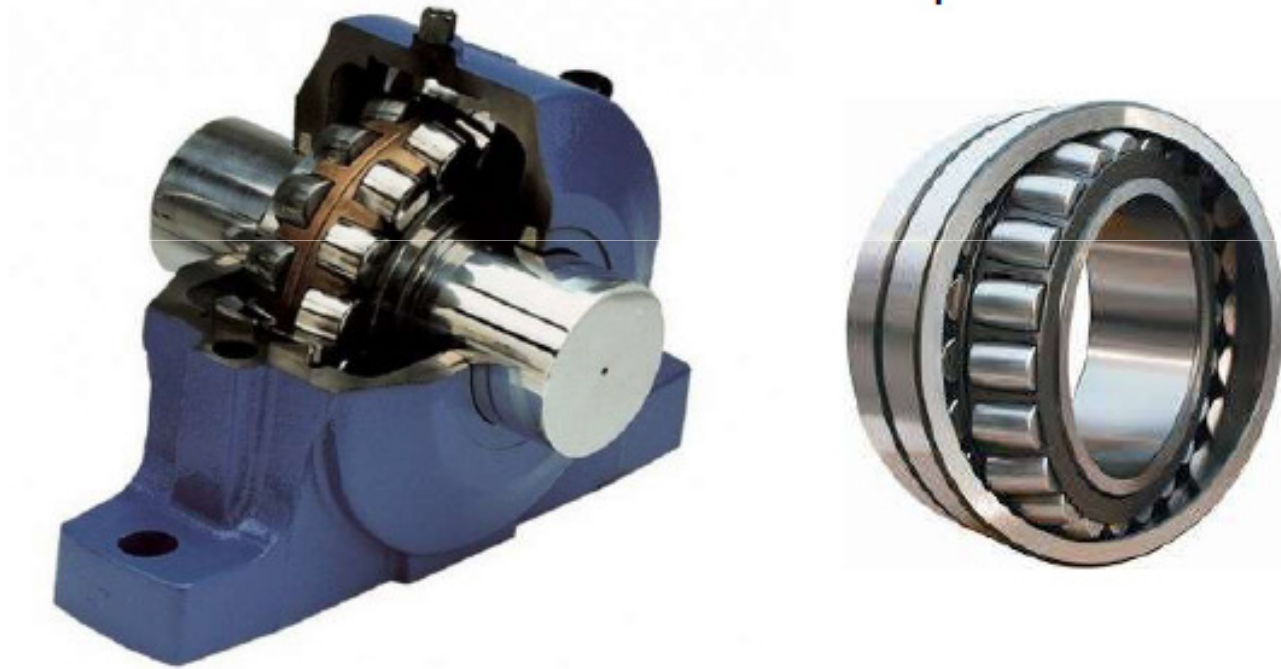
2.4 - Quanto ao tipo de lubrificação empregada

*A “seco”*

*Lubrificação Permanente (Auto-lubrificado)*

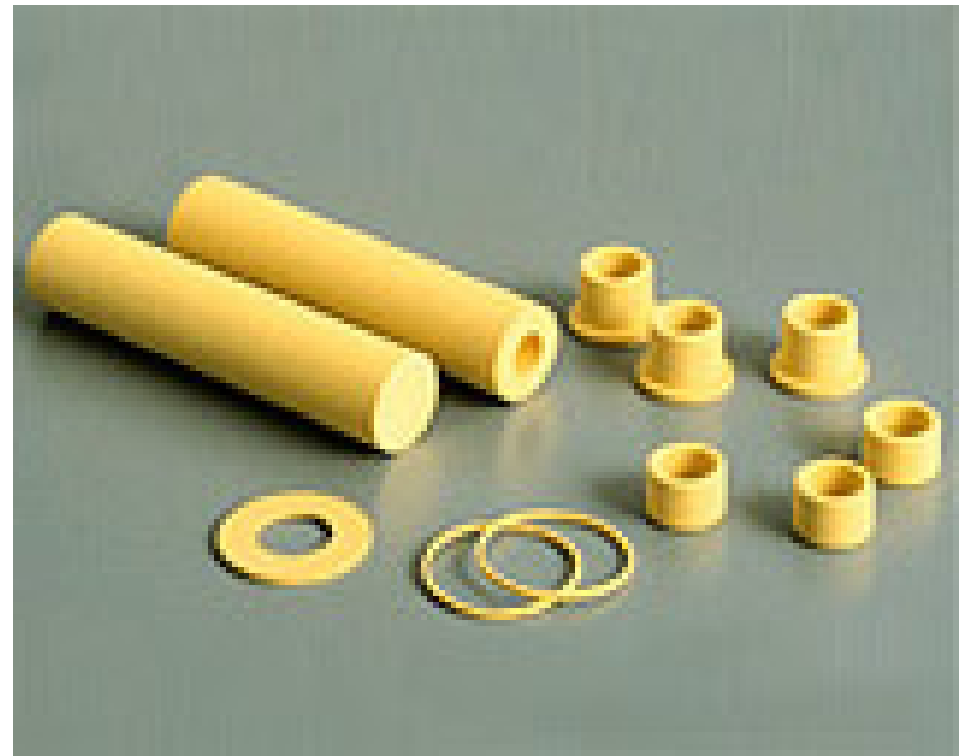
*Lubrificação Contínua*

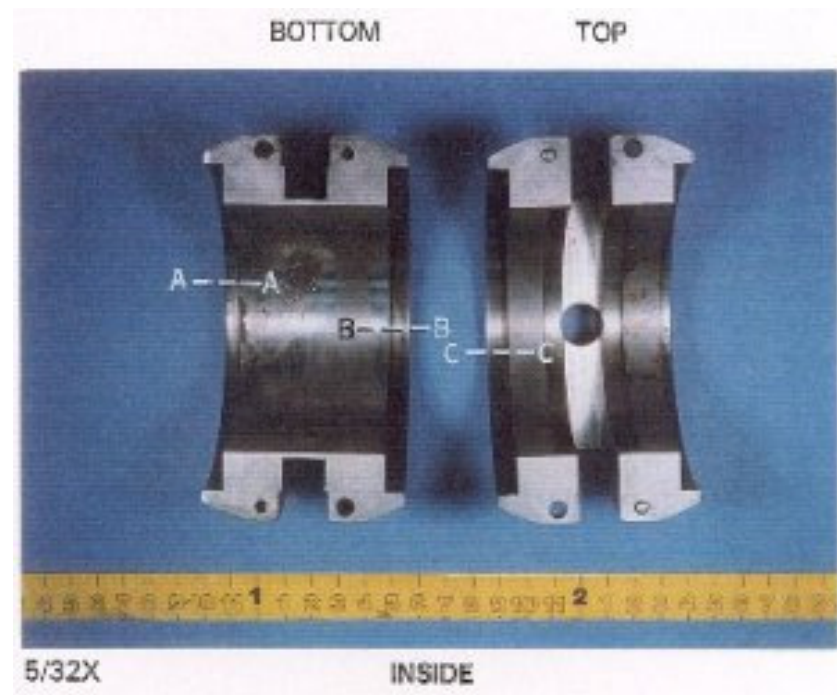
Mancal de rolamento  
autocompensador



### 3. Mancais de Deslizamento

- Foram os primeiros a ser desenvolvidos e utilizados pelo ser humano.
- Até hoje bastante utilizados:
  - o mais simples/baixo custo
  - alta capacidade de carga
  - atinge altas velocidades/rotações
  - baixo ruído/vibrações







- **Lubrificação**: os mancais de deslizamento usualmente utilizam um lubrificante como agente redutor de atrito, embora, em algumas situações possa haver contato “a seco” entre os componentes do mancal. Em função da forma de inserção do agente lubrificante, o mancal pode ser de deslizamento hidrodinâmico ou de deslizamento hidrostático.

- **Propriedades de um Lubrificante:**

- Evitar o contacto das partes em movimento
- Boa aderência às partes em movimento
- Suportar cargas de compressão
- Imune a variações de temperatura
- Dissipar bem o calor
- Não gerar espuma
- Proteger contra corrosão
- Prevenir contaminação do mancal
- Baixo risco sanitário e ambiental

# 3.1 - Configuração do Mancal de Deslizamento Hidrodinâmico

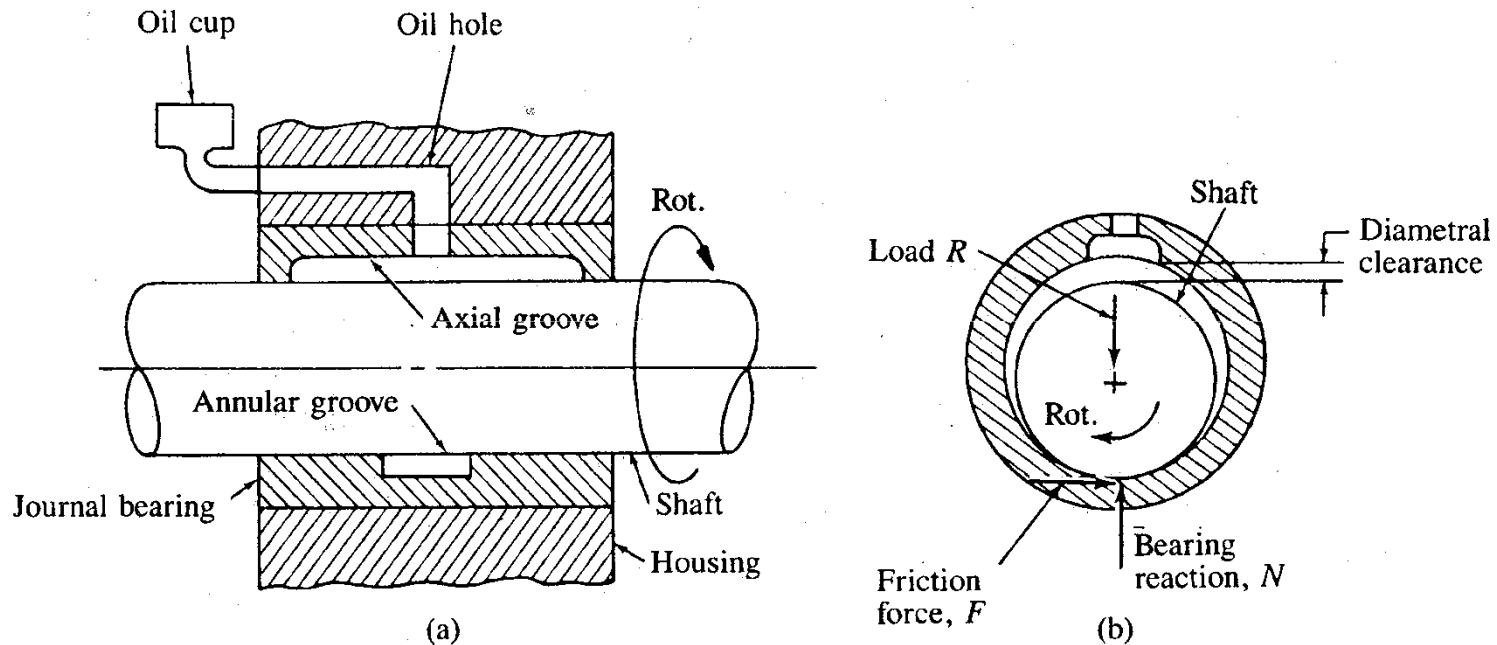
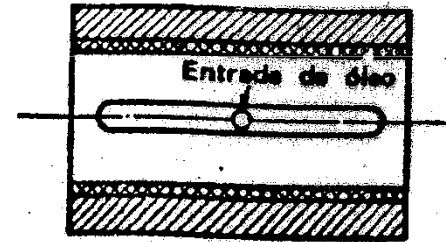
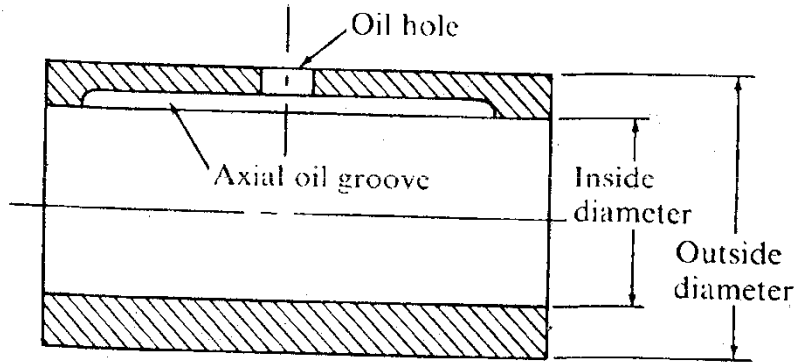
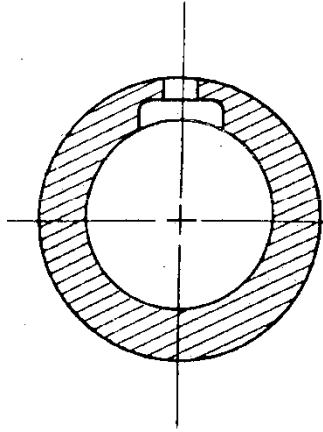


FIGURE 3.2 Journal bearing assembly

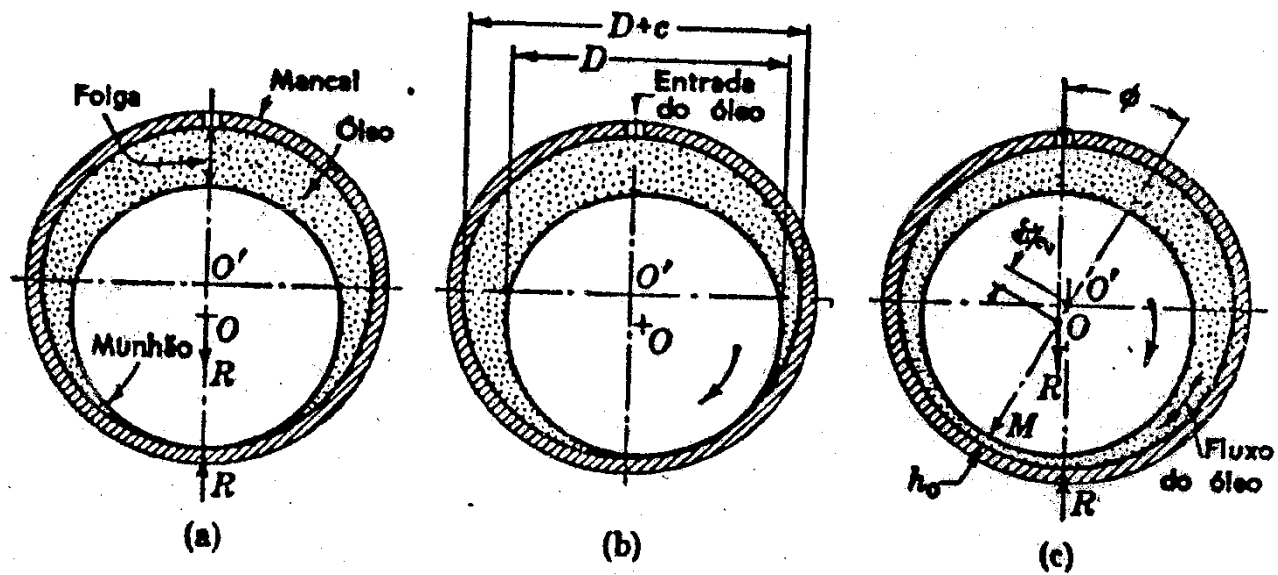


## 3.2- Operação do Mancal de Deslizamento Hidrodinâmico

A rotação do eixo induz uma distribuição de pressão no filme de óleo, a qual afasta o eixo da luva do mancal, sustentando-o, reduzindo o atrito na condição de operação.

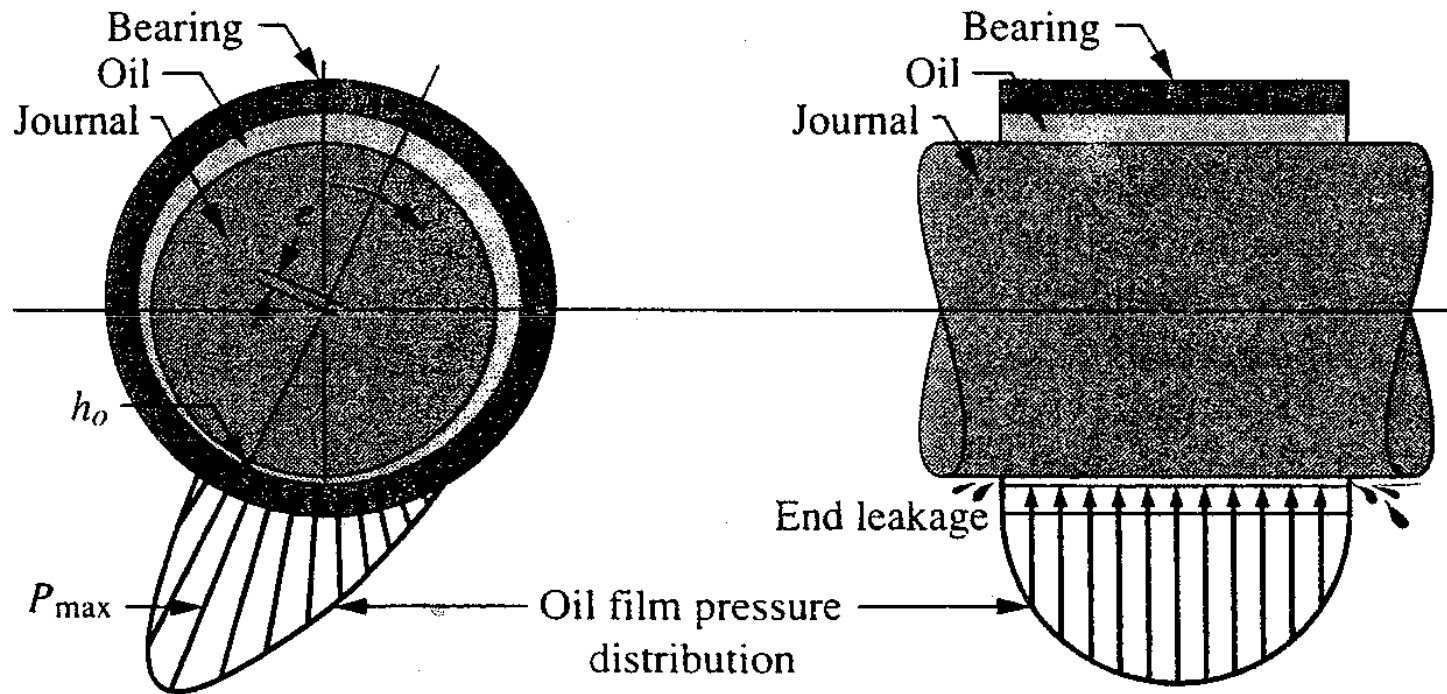
O lubrificante deve ser constantemente inserido no interior do mancal, para repor o volume perdido pela suas extremidades.

# Sequência de Operação do Mancal Hidrodinâmico



<http://www.youtube.com/watch?v=7OY170iaGSA>

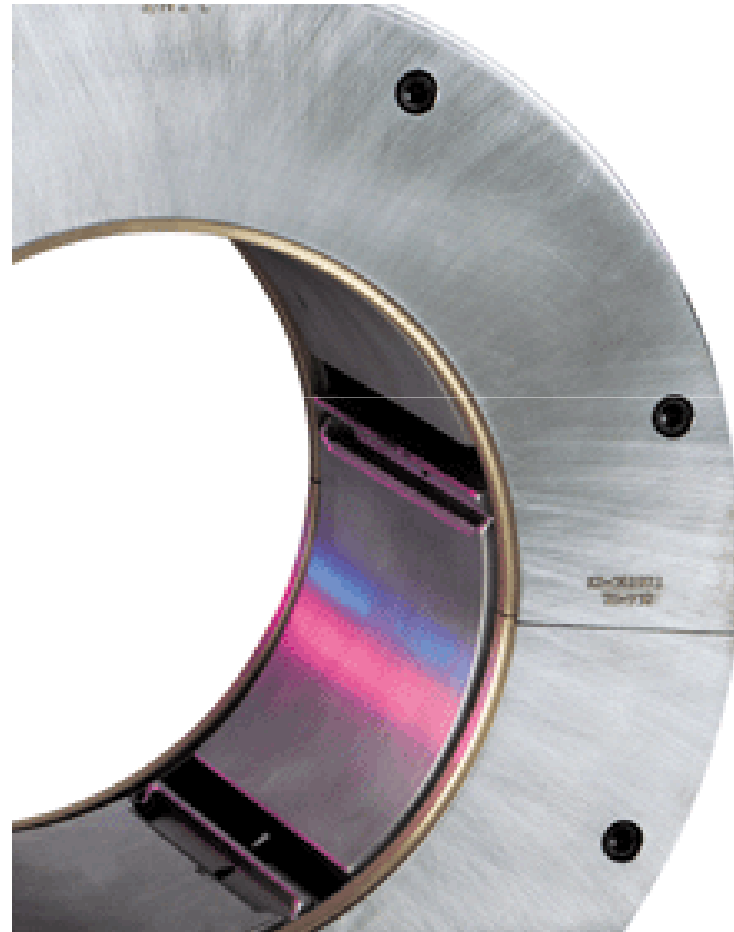
# Distribuição de Pressão de Óleo no Mancal Hidrodinâmico



(a) Section through middle of bearing

(b) Diametral section through line of minimum film thickness

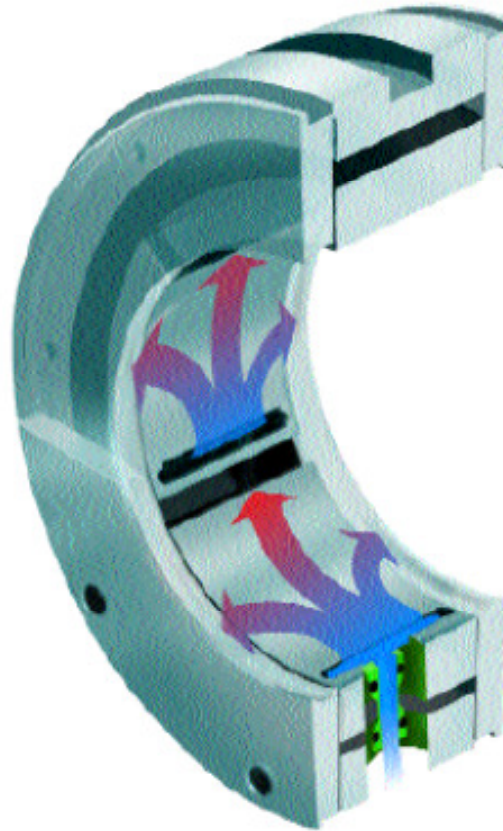
# Mancal Hidrodinâmico Radial



Kingsbury Inc

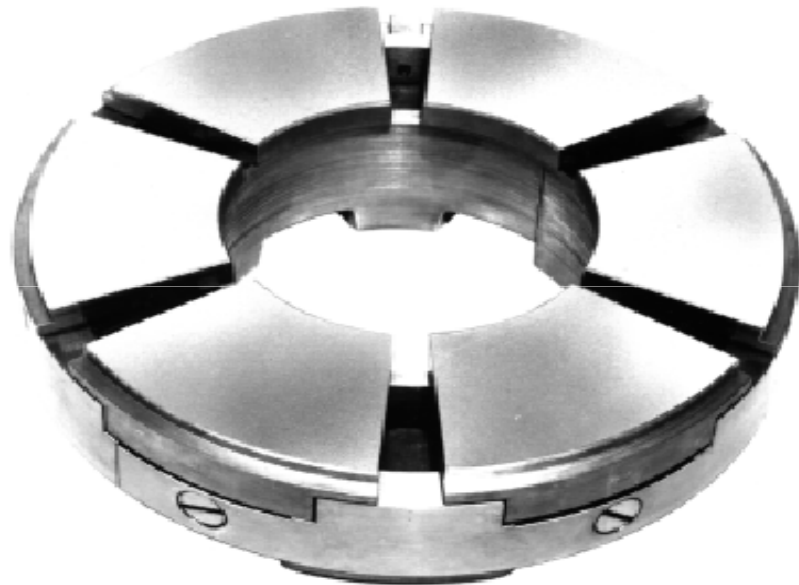


# Mancal Hidrodinâmico Radial



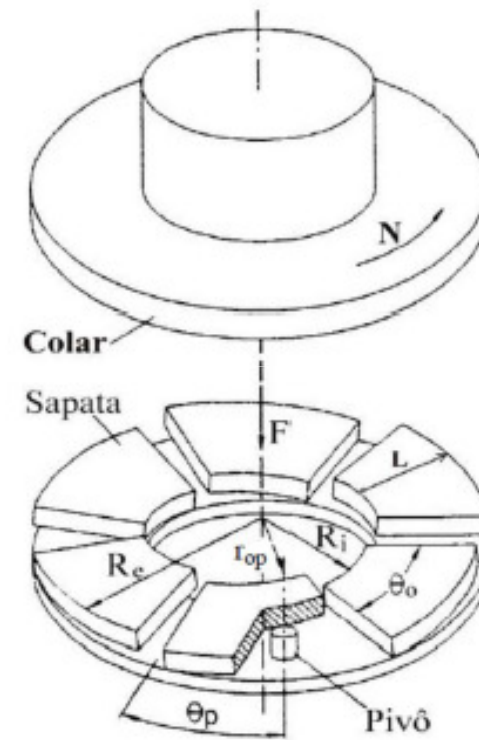
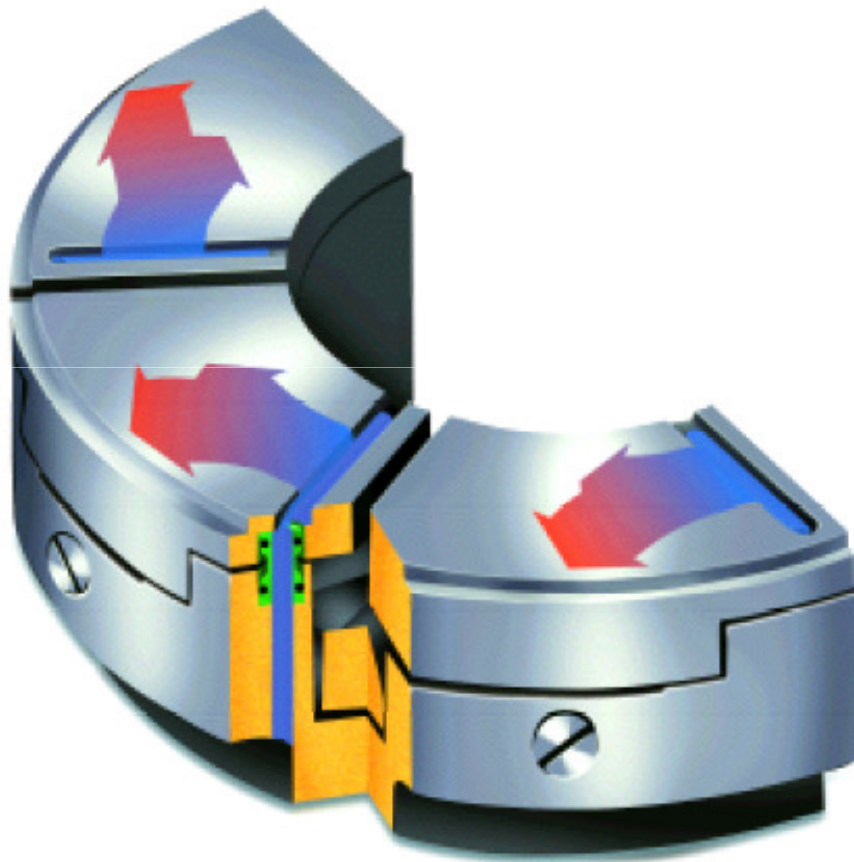
Kingsbury Inc

# Mancal Hidrodinâmico Axial



Kingsbury Inc

# Mancal Hidrodinâmico Axial



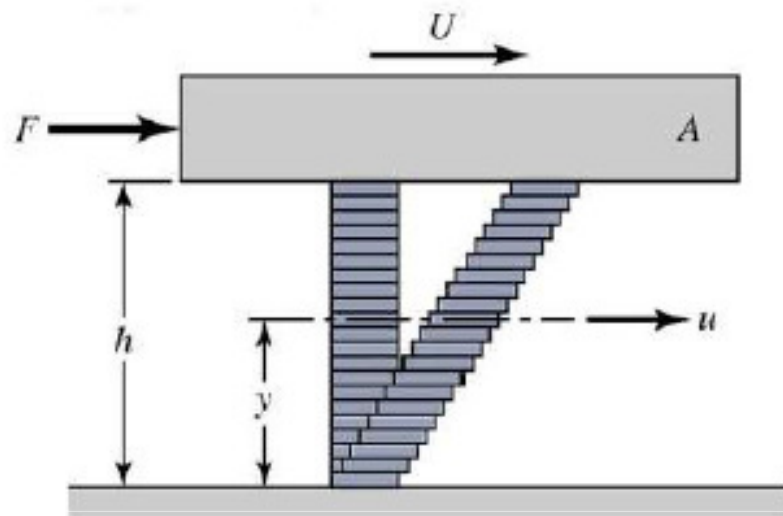
Kingsbury Inc

### 3.3 - Determinação do Coeficiente de Atrito do Mancal de Deslizamento Hidrodinâmico

- O valor do coeficiente de atrito depende das condições de operação do mancal (carga atuante no mesmo, rotação do eixo, viscosidade do óleo lubrificante), bem como da geometria do mancal (comprimento, diâmetro, folga radial, entre outros).
- A determinação analítica é complexa, envolvendo solução de equação diferencial. Uma tentativa inicial de solução do problema foi proposta por Petroff.

## Lei de Petroff

- A Lei de Petroff pode ser utilizada para realizar a estimativa do coeficiente de atrito do mancal de deslizamento.
- Toma como hipótese que o eixo opera concêntrico com o mancal. Embora a hipótese esteja errada os resultados da análise permitem compreender os efeitos de algumas variáveis de projeto na operação do mancal.



Shigley

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{U}{h}$$

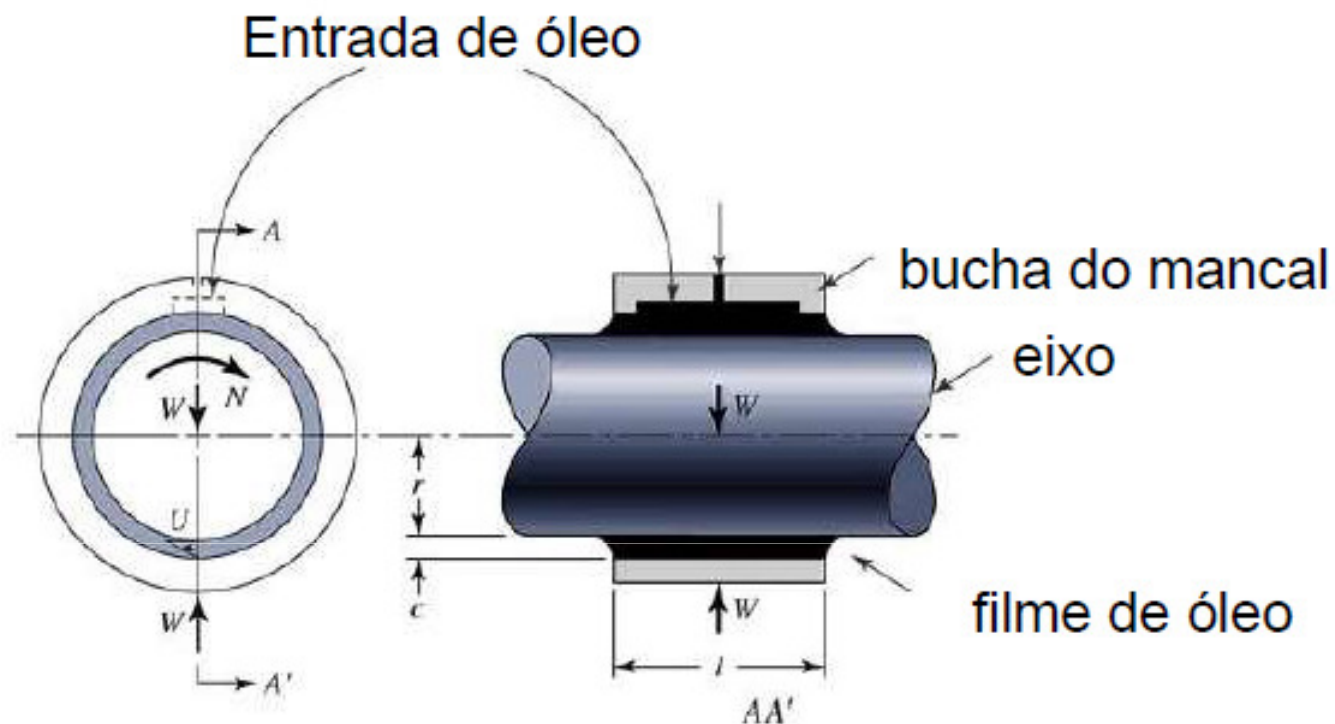
$$\tau = \mu \frac{U}{h}$$

•A lei de Newton para fluidos viscosos estabelece que a tensão de cisalhamento no fluido é proporcional a taxa de variação da velocidade com respeito a  $y$ .

$U$  – velocidade de deslocamento linear

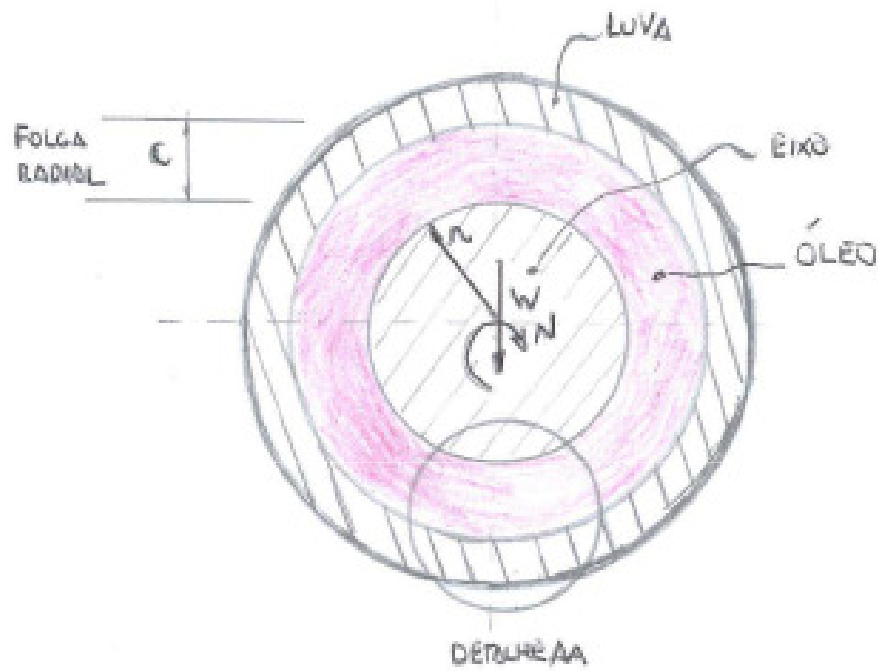
$\mu$  - viscosidade dinâmica do fluido

$T$  – tensão de cisalhamento no fluido

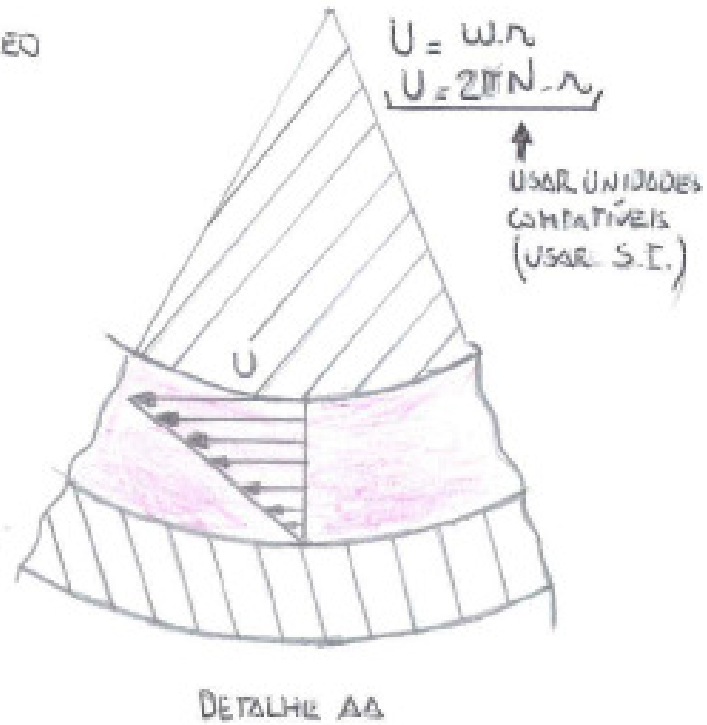


Shigley's Mechanical Engineering Design  
Richard Budynas and Keith Nisbett

- $W$  – força radial atuante no eixo
- $l$  - comprimento do mancal
- $c$  – folga radial
- $r$  – raio do eixo
- $N$  – rotação do eixo
- $P$  – carga lateral por área projetada
- $f$  – coeficiente de atrito



$n$  ... raio do cilindro  
 ( $d = 2n$ )  
 $N$  ... número de lâminas





$$\tau = \mu \frac{U}{h} = \frac{2\pi r \mu N}{c}$$

$$T = (\tau A)r = \left( \frac{2\pi r \mu N}{c} \right) (2\pi r l)r$$

Momento tissor  
necessário para manter o  
eixo girando com rotação  
constante (1)

Área da superfície lateral do eixo  
em contato com o óleo

$$T = \frac{4\pi^2 r^3 l \mu N}{c}$$

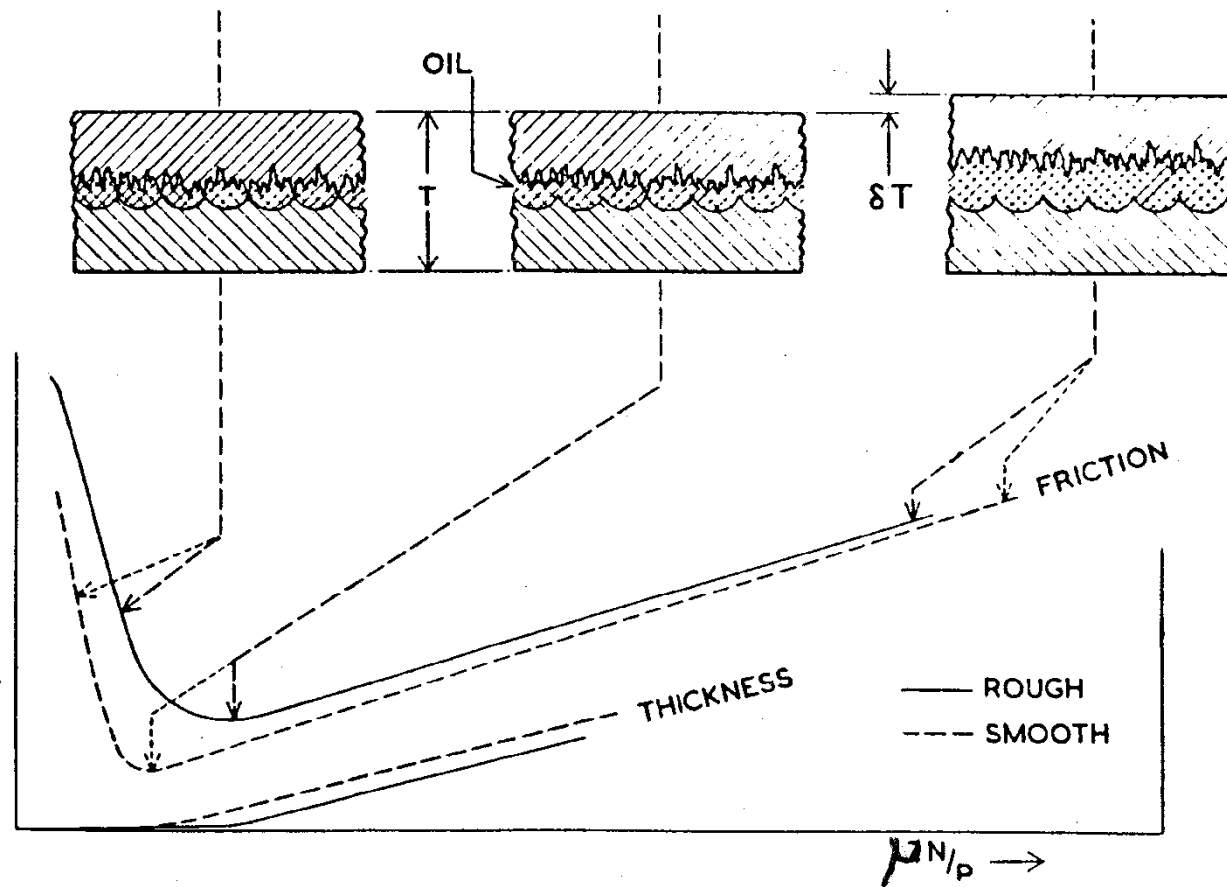
$$P = \frac{W}{2rl}$$

$$T = f W r = f(2rlP)(r) = 2r^2 f l P \quad (2)$$

Igualando as expressões (1) e (2) tem-se:

$$f = 2\pi^2 \frac{\mu N r}{P c} \quad \text{Lei de Petroff}$$

# Variação do coeficiente de atrito como função das condições operacionais do mancal hidrodinâmico



# Regimes de lubrificação do mancal hidrodinâmico

- **Lubrificação Limite:** o filme de óleo lubrificante não tem espessura suficiente para separar as superfícies do eixo e da luva do mancal, havendo contato entre as mesmas, sendo o coeficiente de atrito elevado. Há grande desgaste dos componentes (eixo e luva).
- **Lubrificação Mista** (regime de transição): a pressão de óleo é suficiente para sustentar parcialmente a carga, havendo a separação parcial das superfícies, mas não o suficiente para evitar o contato metal-metal.
- **Lubrificação Hidrodinâmica:** ocorre a total separação entre as superfícies do eixo e da luva, sendo a condição ideal de operação dos mancais hidrodinâmicos.

## 3.4 - Variáveis Importantes no Projeto de Mancais de Deslizamento Hidrodinâmico

- Carga atuante no mancal
- Relação comprimento/diâmetro do mancal
- Folga diametral
- Rugosidade superficial
- Tipo de lubrificante

## 3.5 – Coeficiente de Atrito nos Mancais de Deslizamento Hidrodinâmico

- Em baixas velocidades não ocorre a formação do filme lubrificante e o coef. de atrito  $f \sim 0,1$  – Lubr. Limite.
- Com o aumento da velocidade, atingida a Lubr. Mista, o coef. de Atrito vale  $0,004 < f < 0,10$ .
- No regime hidrodinâmico  $0,002 < f < 0,010$ .
- A espessura mínima do filme de lubrificante tem de 0,008mm to 0,02 mm.

## 3.5 - Mancal de Deslizamento Hidrostático

- O desempenho do mancal está associado com a formação de um filme de óleo, injetado sob pressão, entre o mancal e o eixo em movimento de rotação.
- Neste mancal há a necessidade de utilização de um sistema de pressurização de óleo, tornando-o mais caro que o mancal de deslizamento hidrodinâmico.
- É mais adequado para máquinas que sofrem paradas e partidas com grande frequência, sendo o mancal submetido a cargas elevadas.

# 3.5 - Mancal de Deslizamento Hidrostático



**BENTLY**  
PRESSURIZED BEARING COMPANY

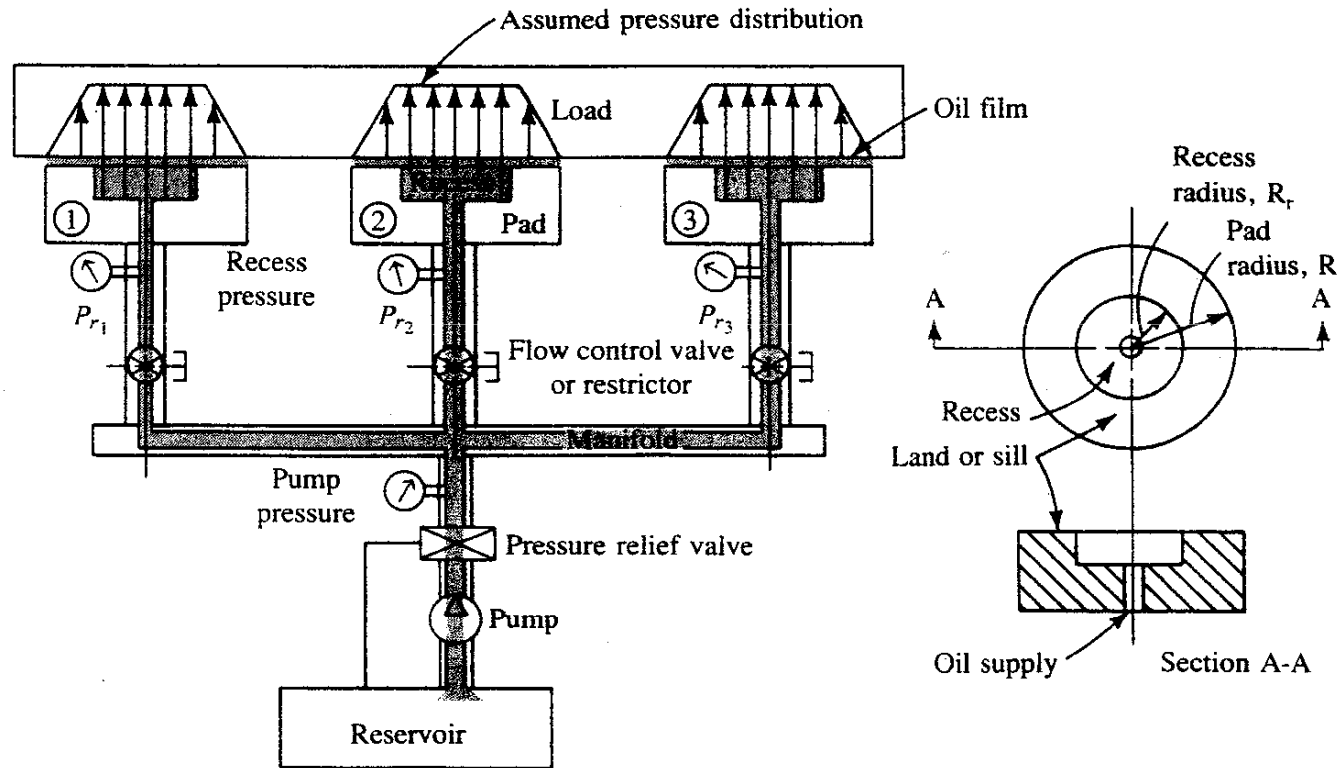
[search / site overview](#) | [publications](#) | [training](#) | [corporate](#) | [support](#)



*in the news* *building a better bearing*

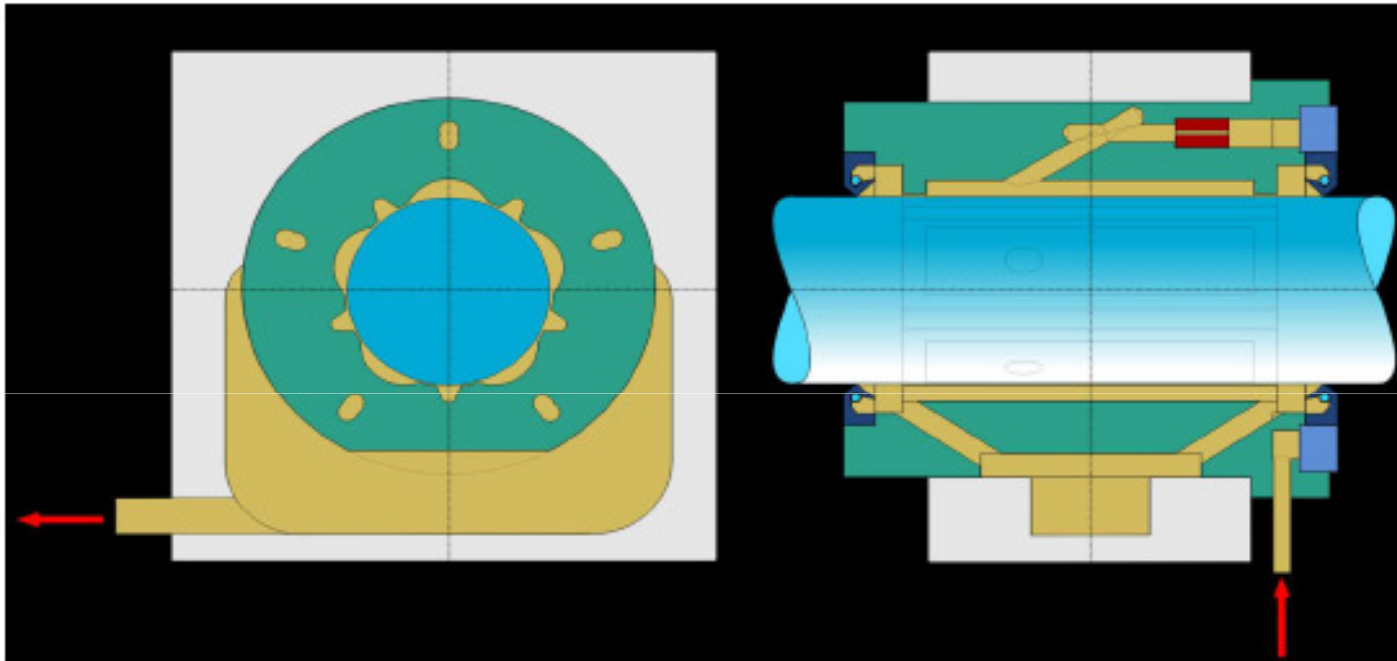


# Esquema do mancal de deslizamento hidrostático

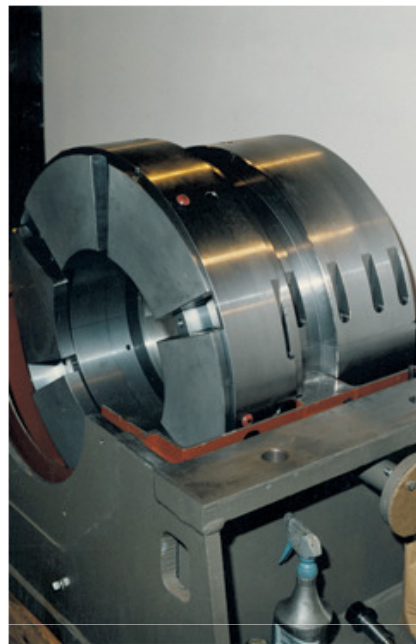
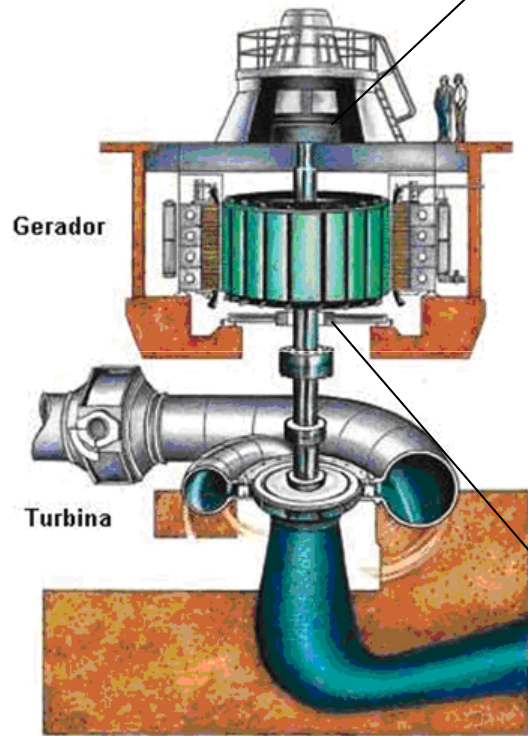


(a) Hydrostatic bearing system

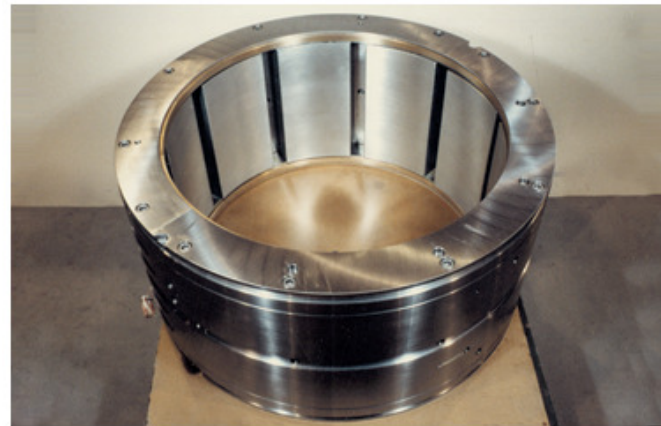
(b) Pad geometry



Entrada de óleo  
pressurizado



Mancal  
de Escora



Mancal Guia

## 3.6 - Materias para Mancais de Deslizamento

- *Propriedades necessárias:* resistência mecânica, baixa incrustabilidade, resistência à corrosão;
- *Materias mais utilizados para as luvas:*
  - bronze
  - metal patente (Pb + Sn + Sb)
  - alumínio
  - metais porosos (Sinterizados)
  - plásticos (PTFE-politetrafluoretileno, PA-poliamida, POM-polioximetileno, PVC-polivinilcloro etc)

Desgaste do  
Metal Patente



17/32X

### 3.7 - Exemplos de Aplicação - **Girabrequim – Motor de 6 Cilindros**

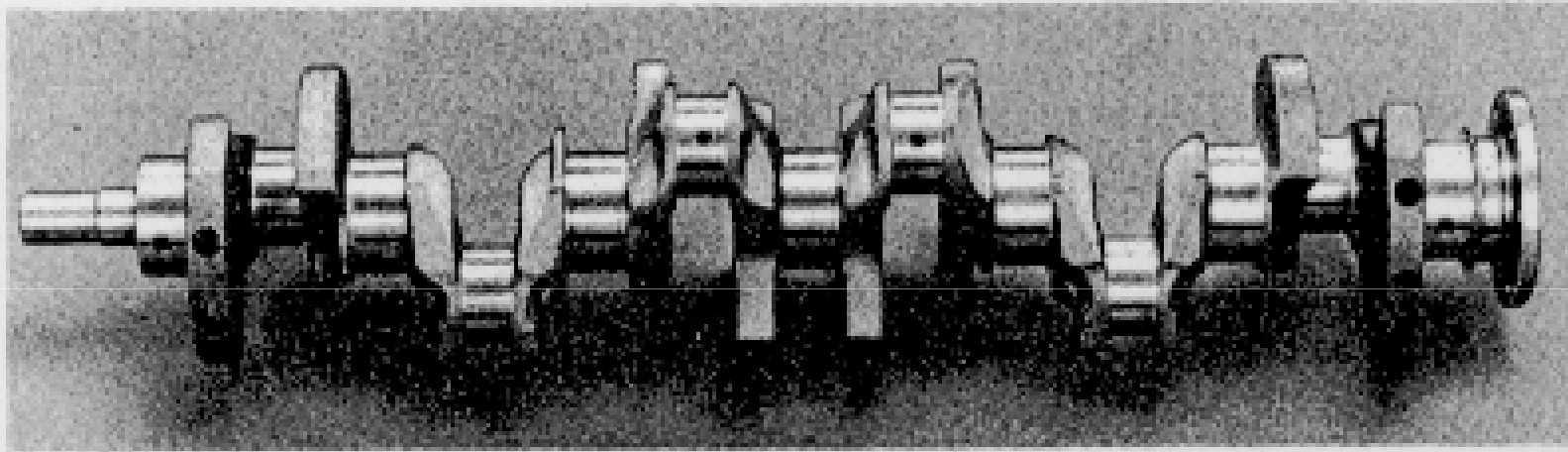


FIGURE 3.4 Six-cylinder automotive crankshaft (*Courtesy of Central Foundry, Division of General Motors Corporation*)

# Biela – Motor de Combustão Interna

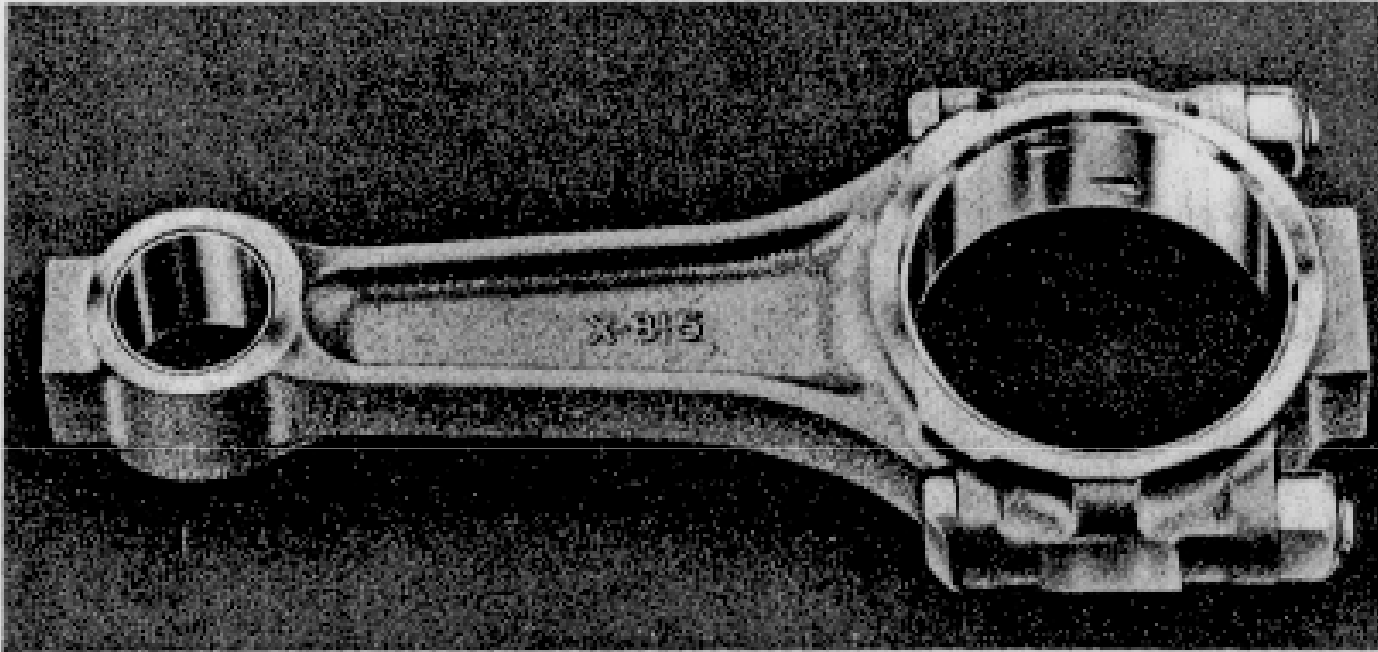
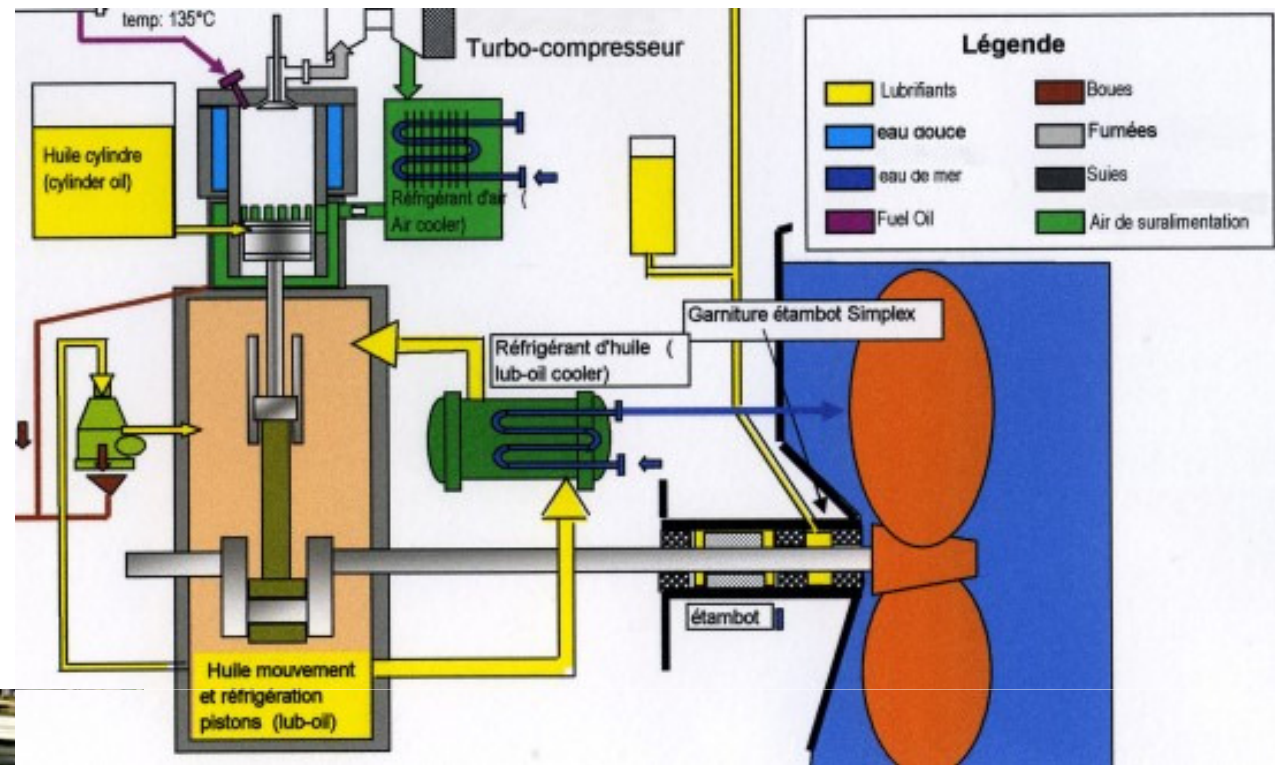


FIGURE 3.3 Automotive connecting rod showing crank-pin and wrist pin bearings (*Courtesy of Central Foundry, Division of General Motors Corporation*)





# Girabrequim de Motor de Motocicleta



# Mancal de um Gerador de Hidrelétrica



# Referências para mancais de deslizamento

- [www.kingsbury.com](http://www.kingsbury.com)
- [www.engineering.com](http://www.engineering.com)
- [www.machinerylubrication.com](http://www.machinerylubrication.com)
- [www.skf.com](http://www.skf.com)