

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

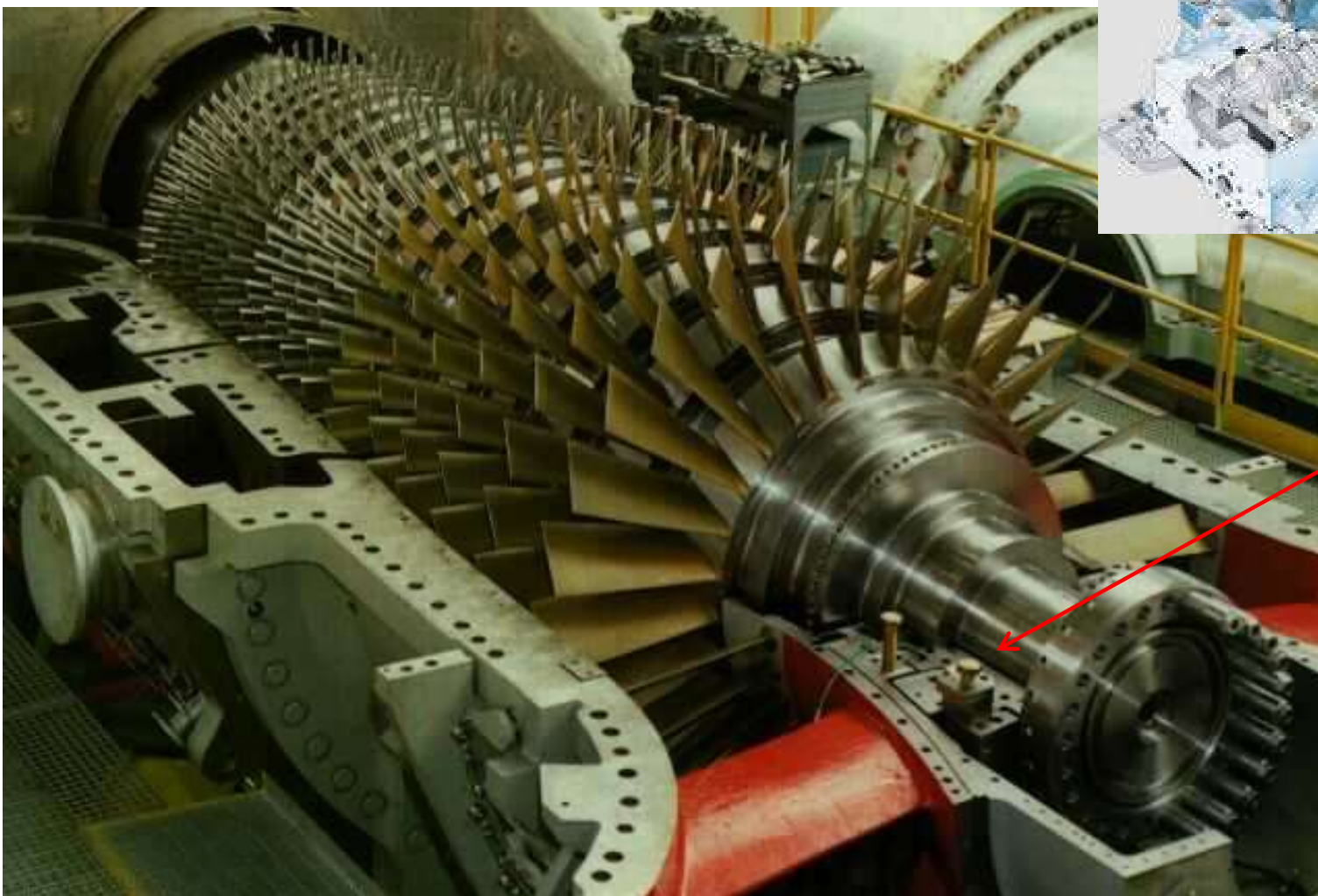


Mancal

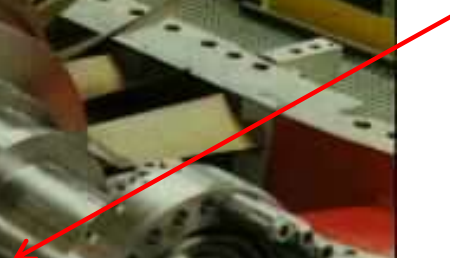
Eixo



Eixo de Turbina a Vapor



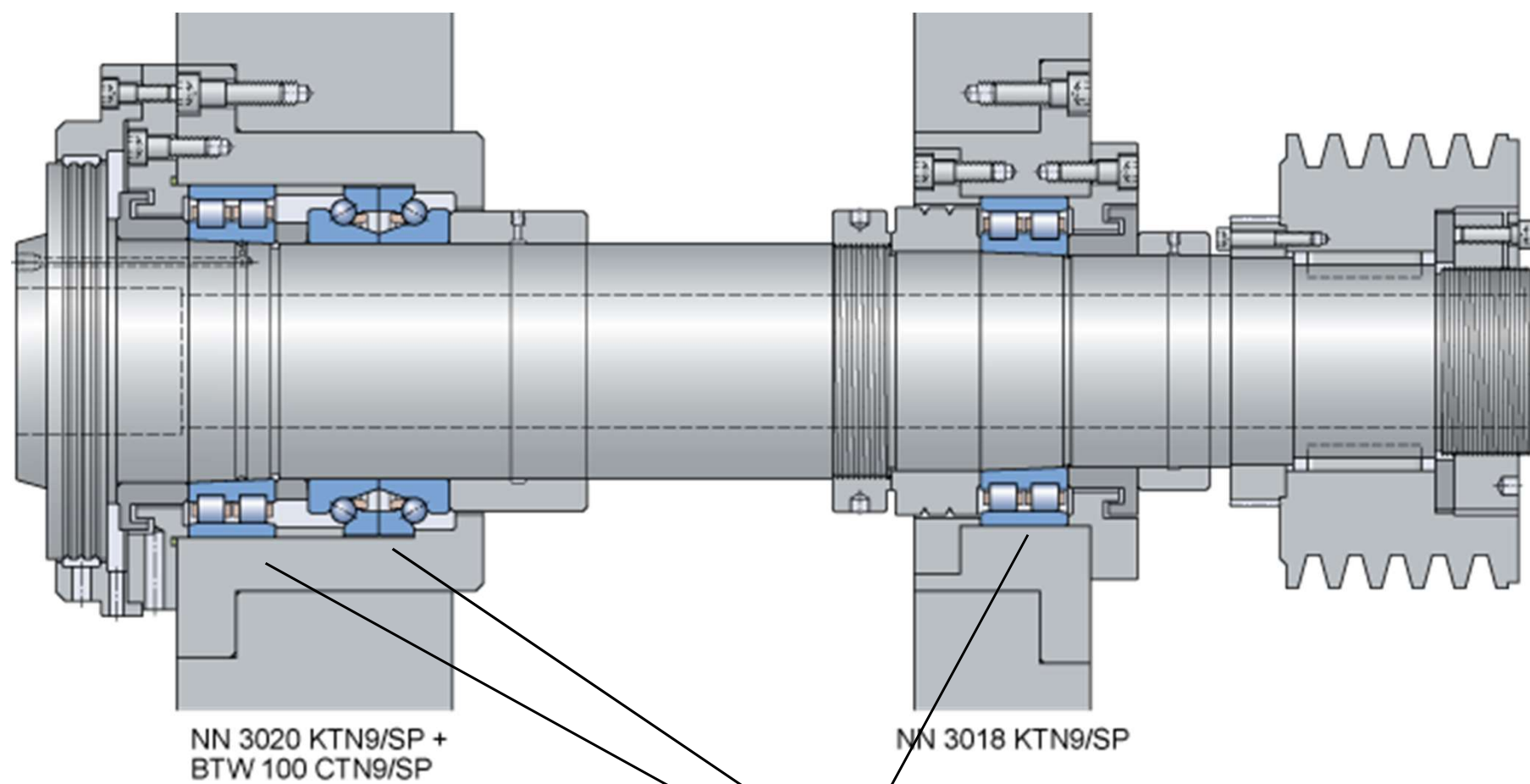
Mancal





Turbina a vapor da
praça de máquinas de
um porta-aviões





Mancais de Rolamento

2. Classificação

2.1 - Quanto ao tipo de movimento relativo entre as partes

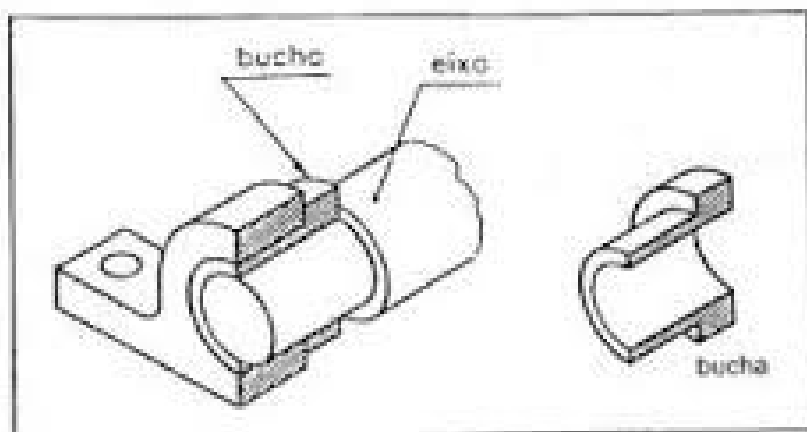
- mancais de deslizamento: $V_{rel} = \omega \cdot r$, no ponto de contato
- mancais de rolamento: $V_{rel} = 0$ no ponto de contato

2.2- Quanto ao tipo de carga resistida

Radiais

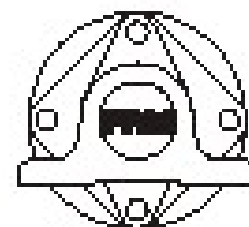
Axiais

Mistos





~~SN500~~

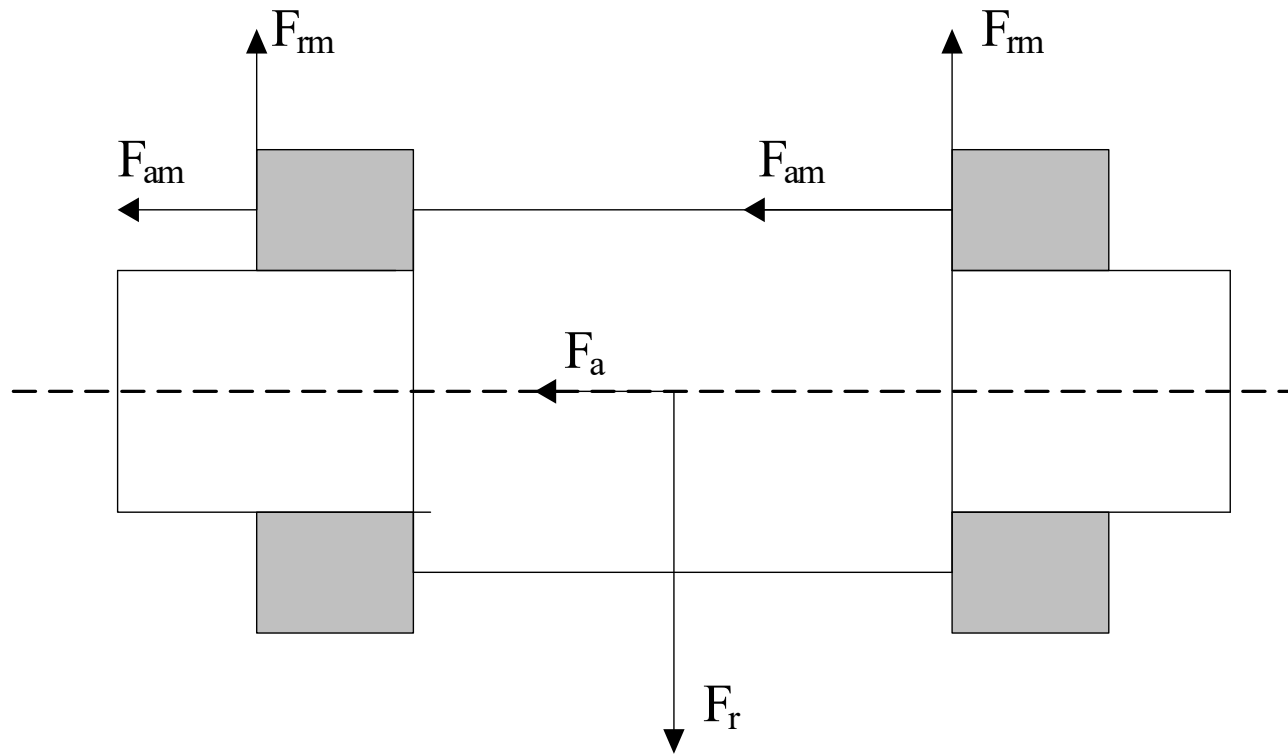


SNP500



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 Continua

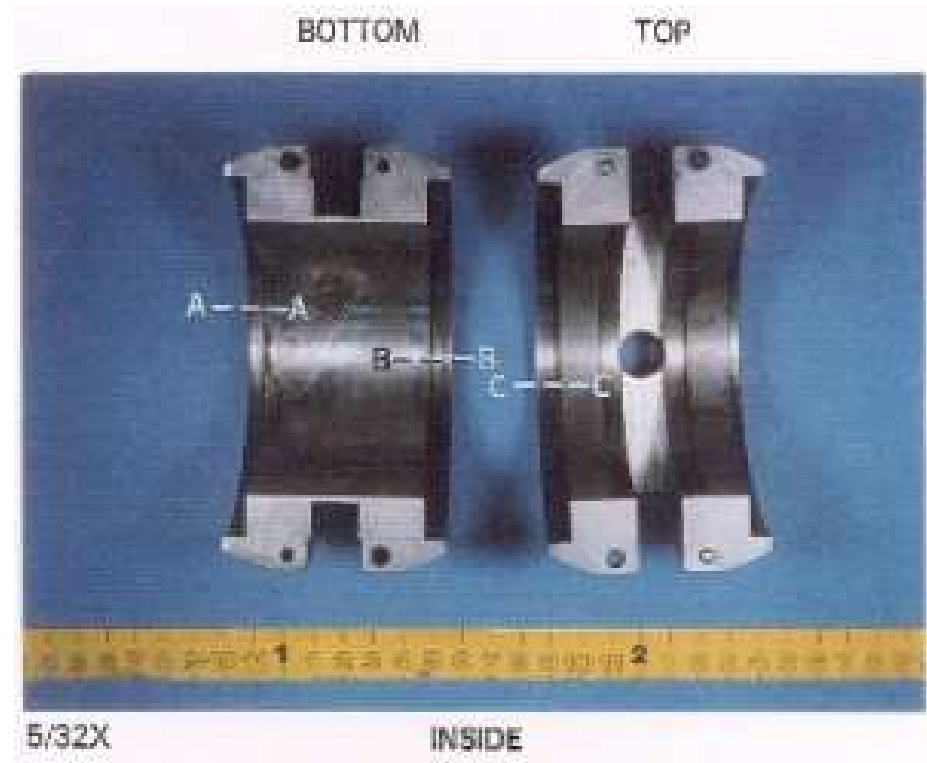
Mancal de rolamento
autocompensador



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

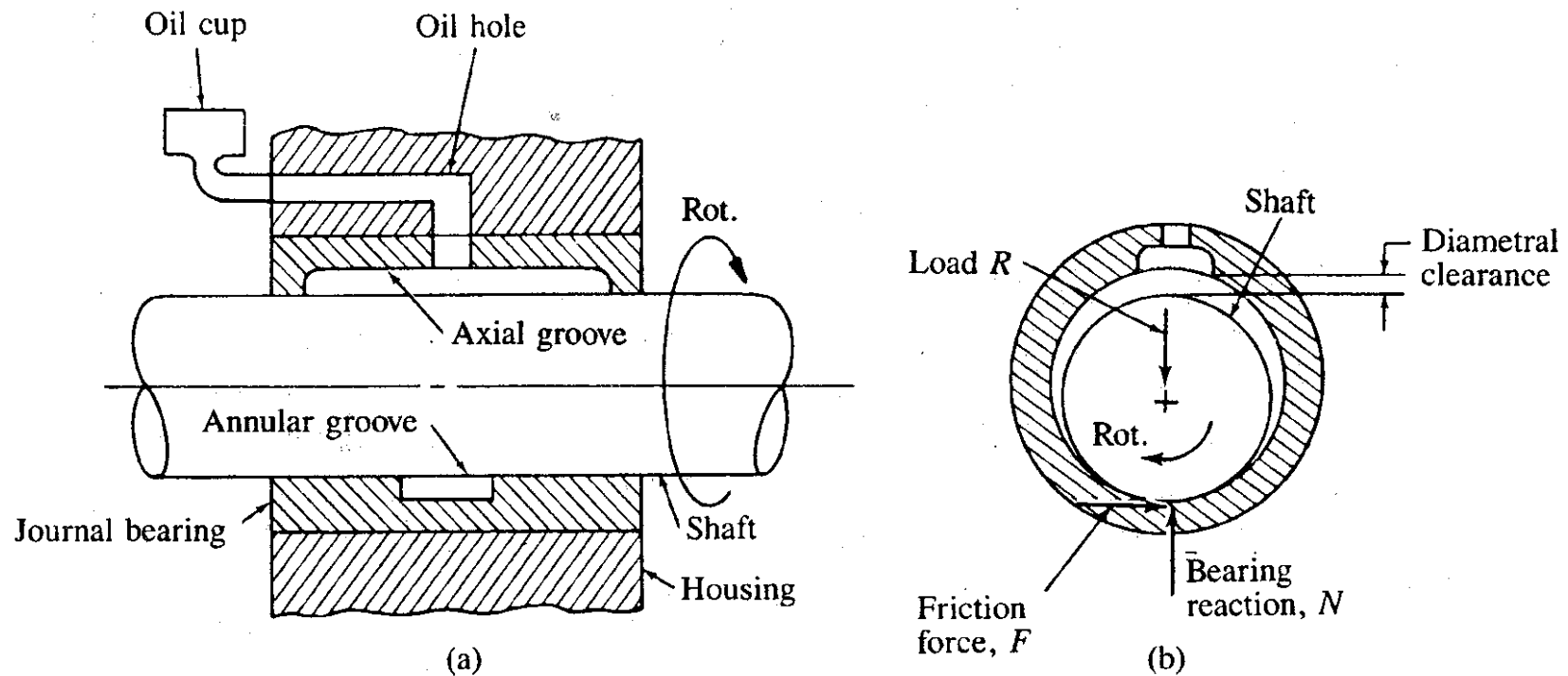
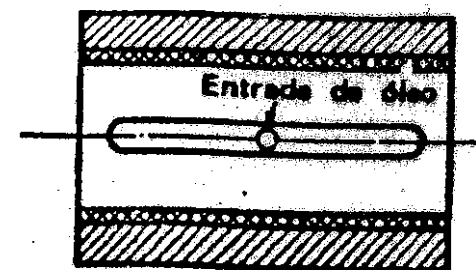
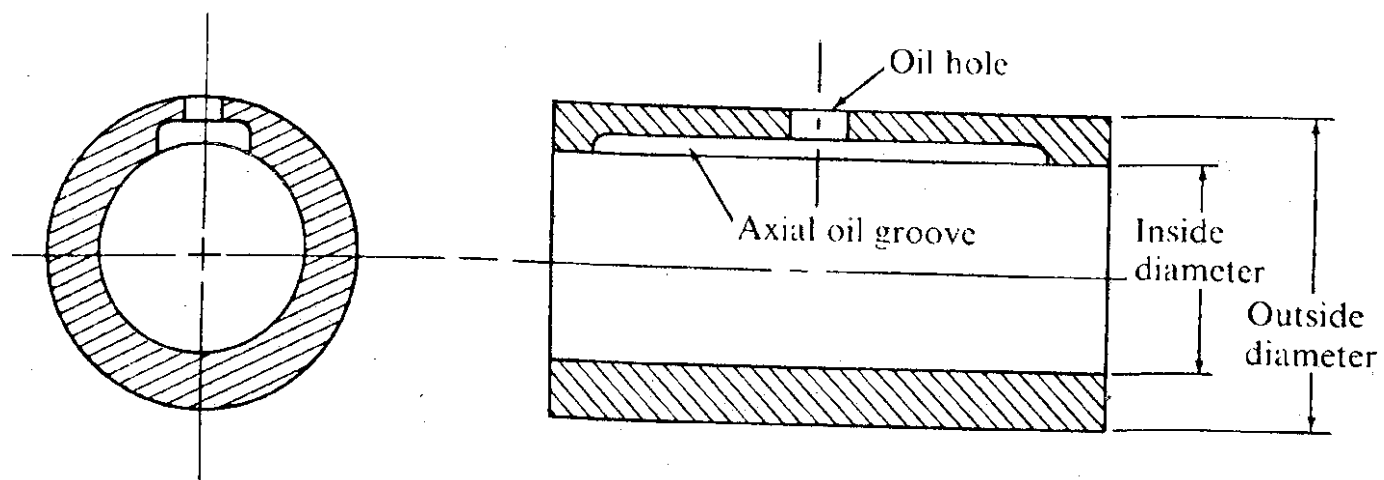


FIGURE 3.2 Journal bearing assembly

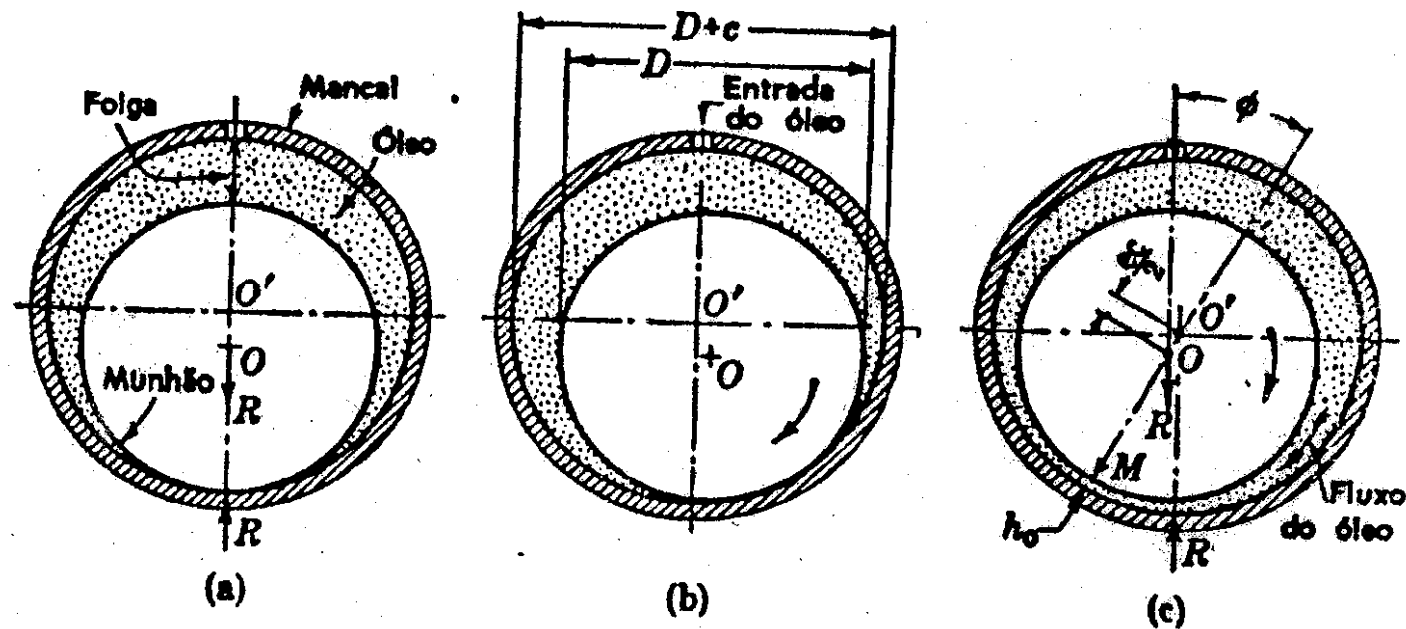


3.2- Operação do Mancal de Deslizamento Hidrodinâmico

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.

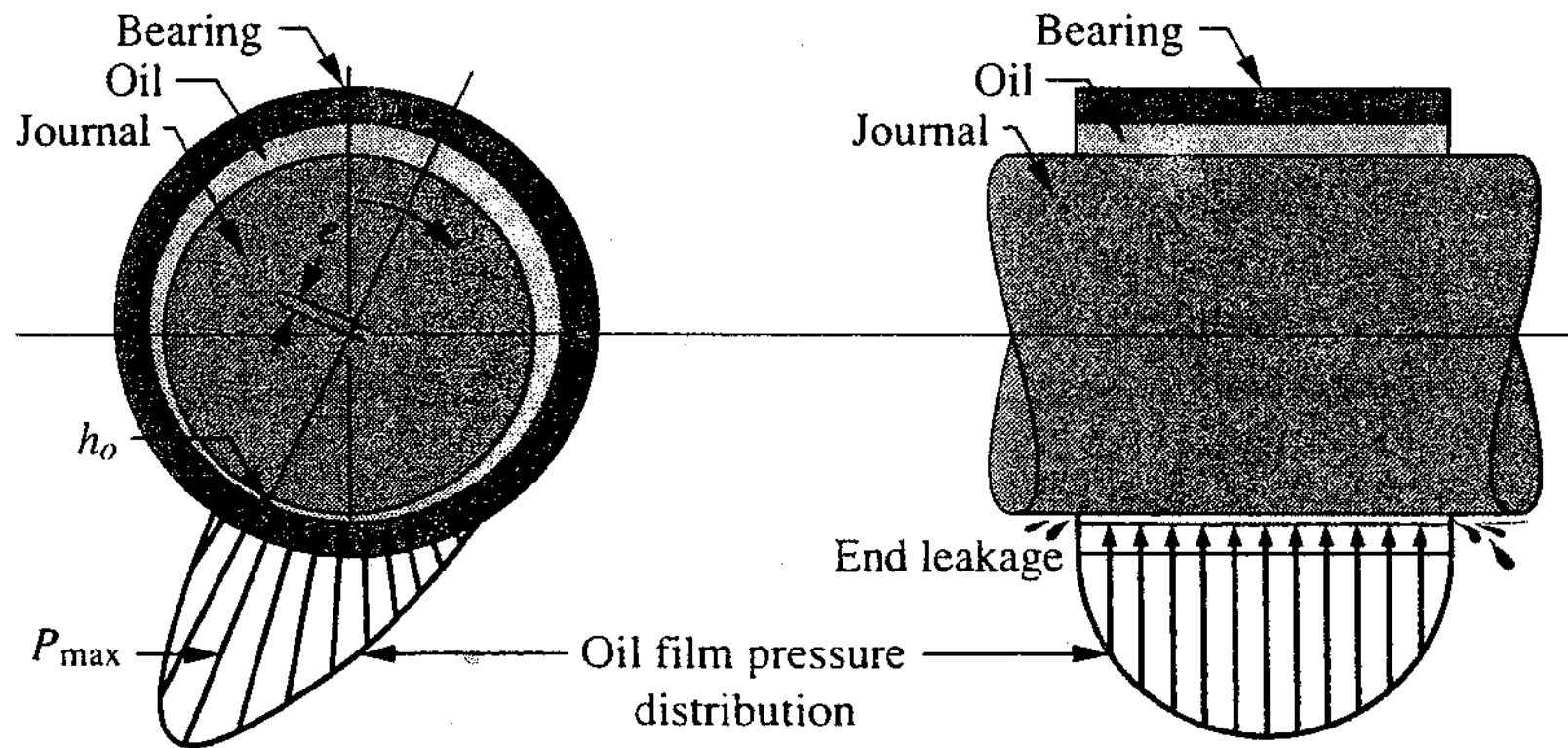
O lubrificante deve ser constantemente inserido no interior do mancal, para repor o volume perdido pela suas extremidades.

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



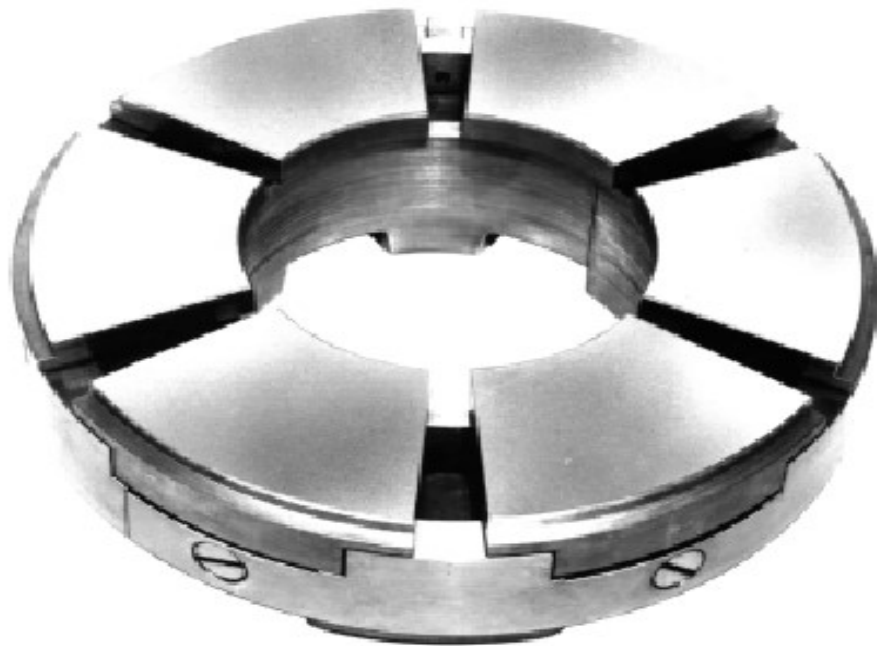
Kingsbury Inc

Mancal Hidrodinâmico Radial



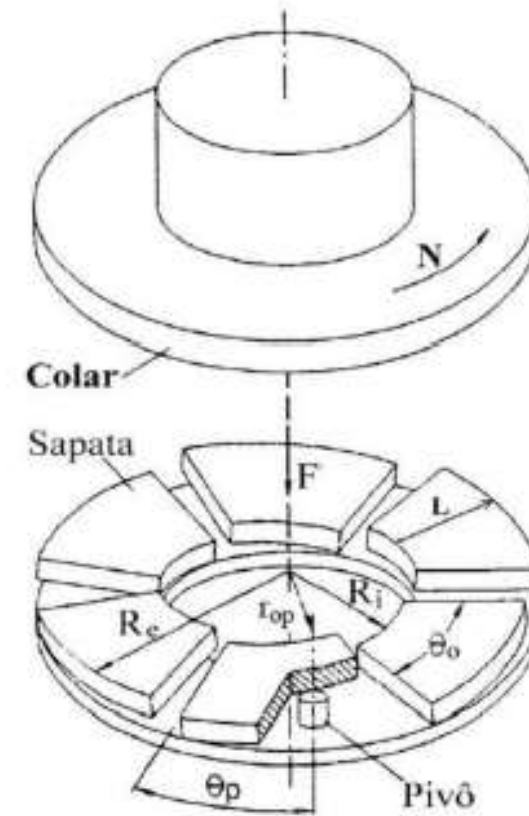
Kingsbury Inc

Mancal Hidrodinâmico Axial



Kingsbury Inc

Mancal Hidrodinâmico Axial



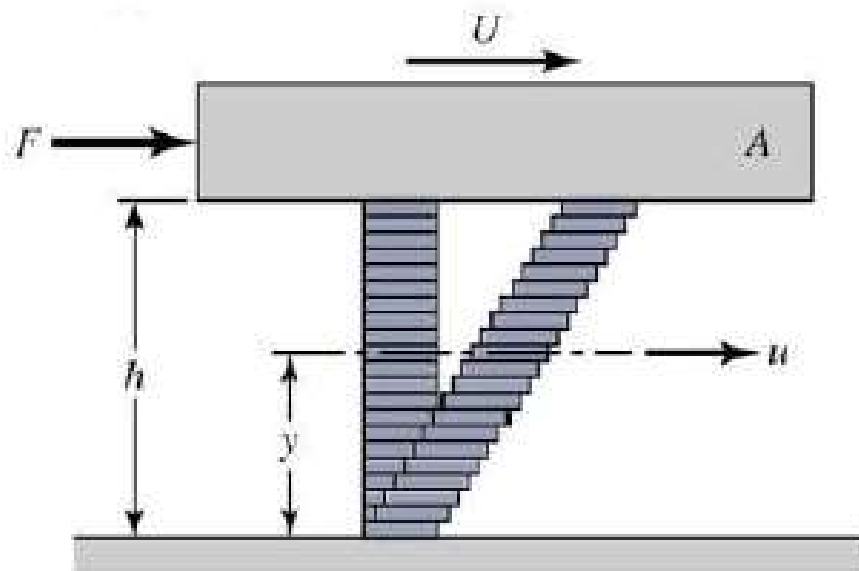
Kingsbury Inc

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

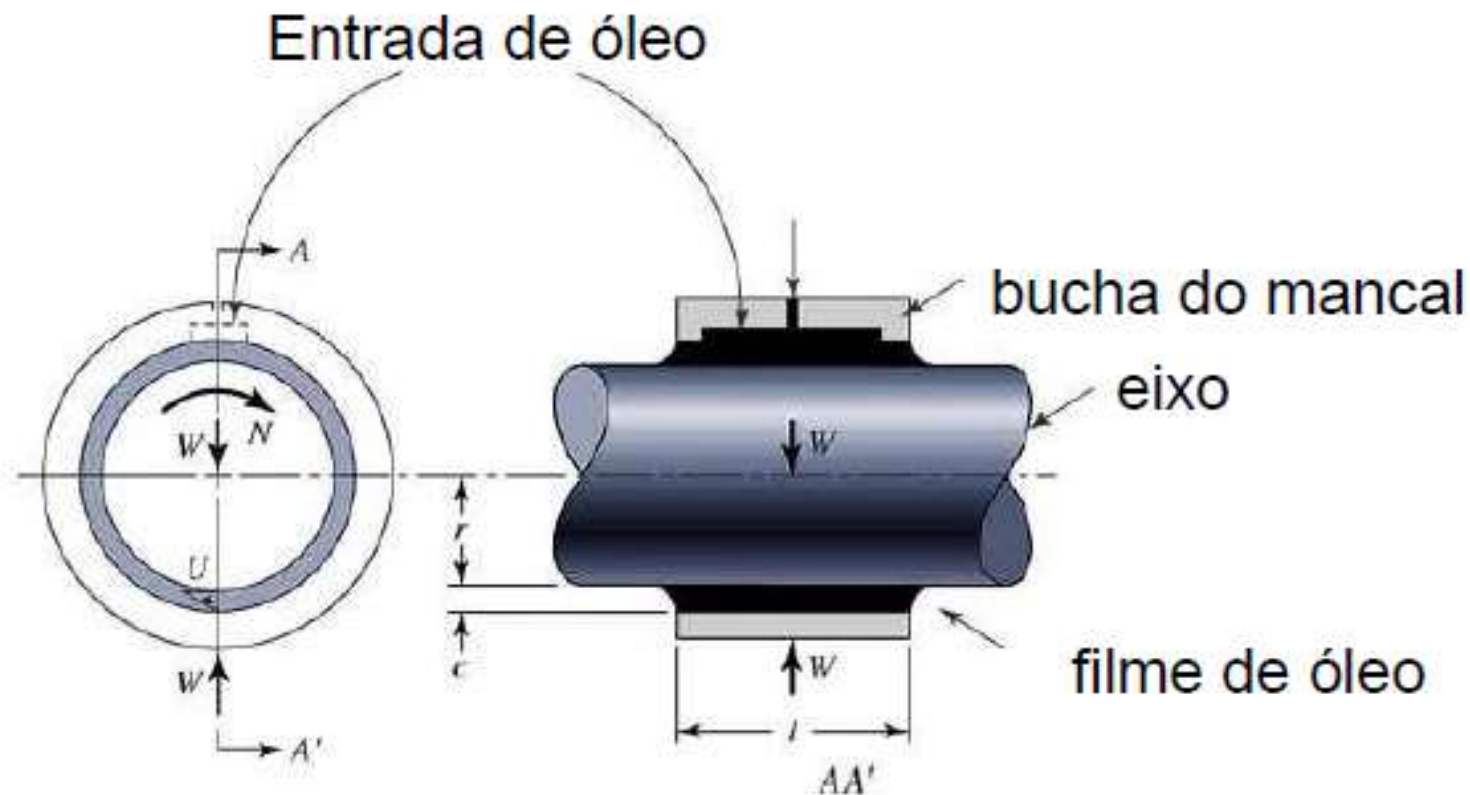
$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

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

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

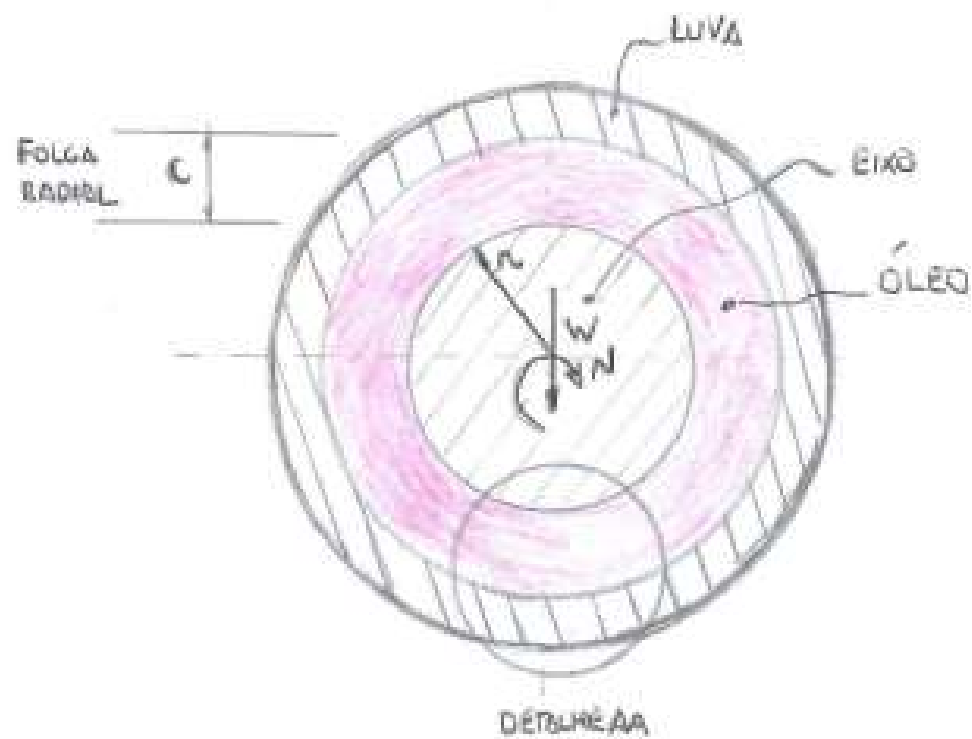
•A lei de Newton para fluidos viscosos estabelece que a tensão de cisalhamento no fluido é proporcional a taxa de variação da velocidade com respeito a y.

U – velocidade de deslocamento linear
 μ - viscosidade dinâmica do fluido
 T – tensão de cisalhamento no fluido

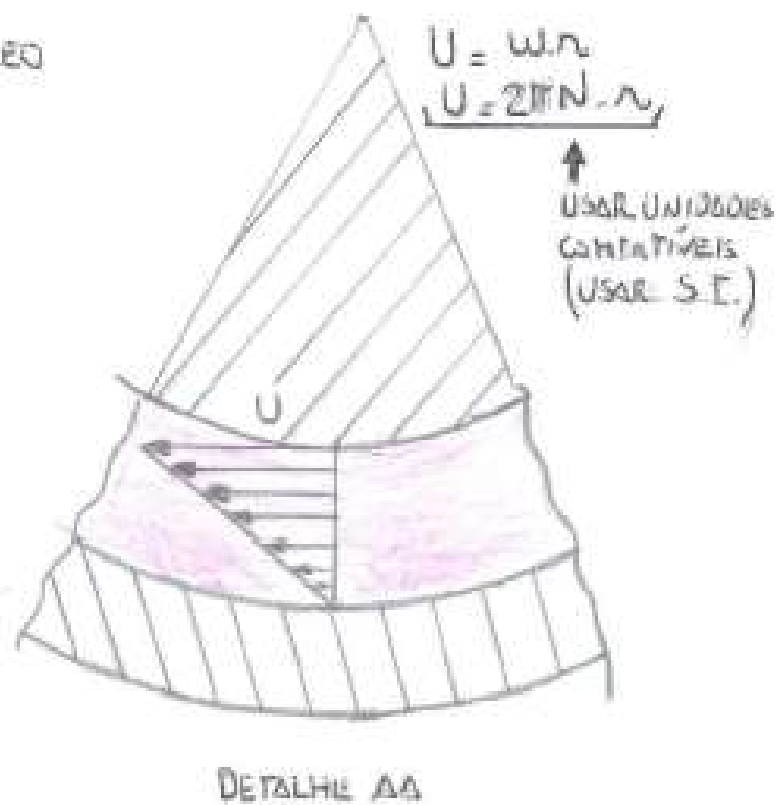


Shigley's Mechanical Engineering Design
Richard Budynas and Keith Nisbett

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



r ... raio do eixo
($d = 2r$)
 N ... rotações do eixo



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

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

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

Área da superfície lateral do eixo
em contato com o óleo

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

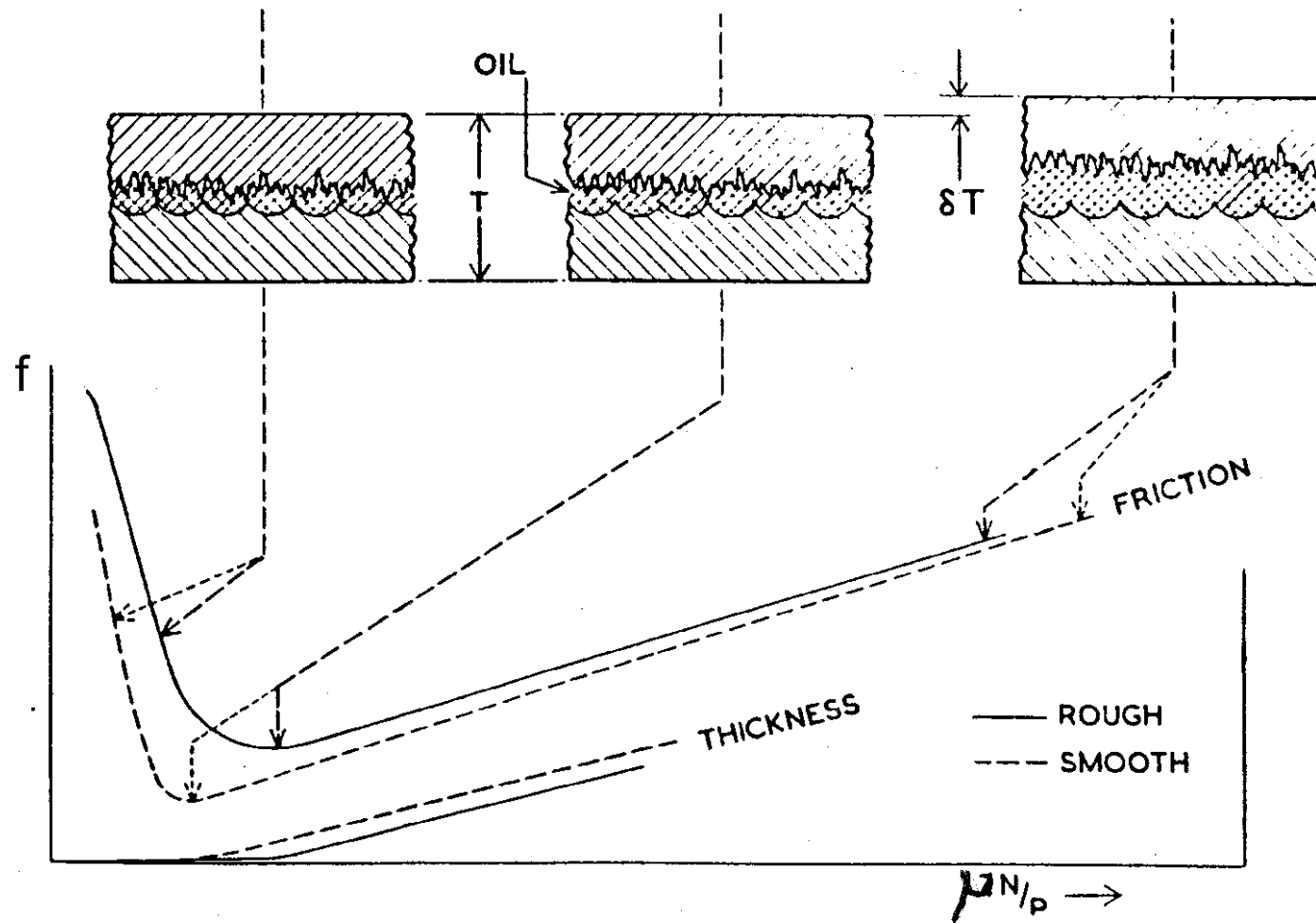
$$P = \frac{W}{2rl}$$

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

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

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

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.

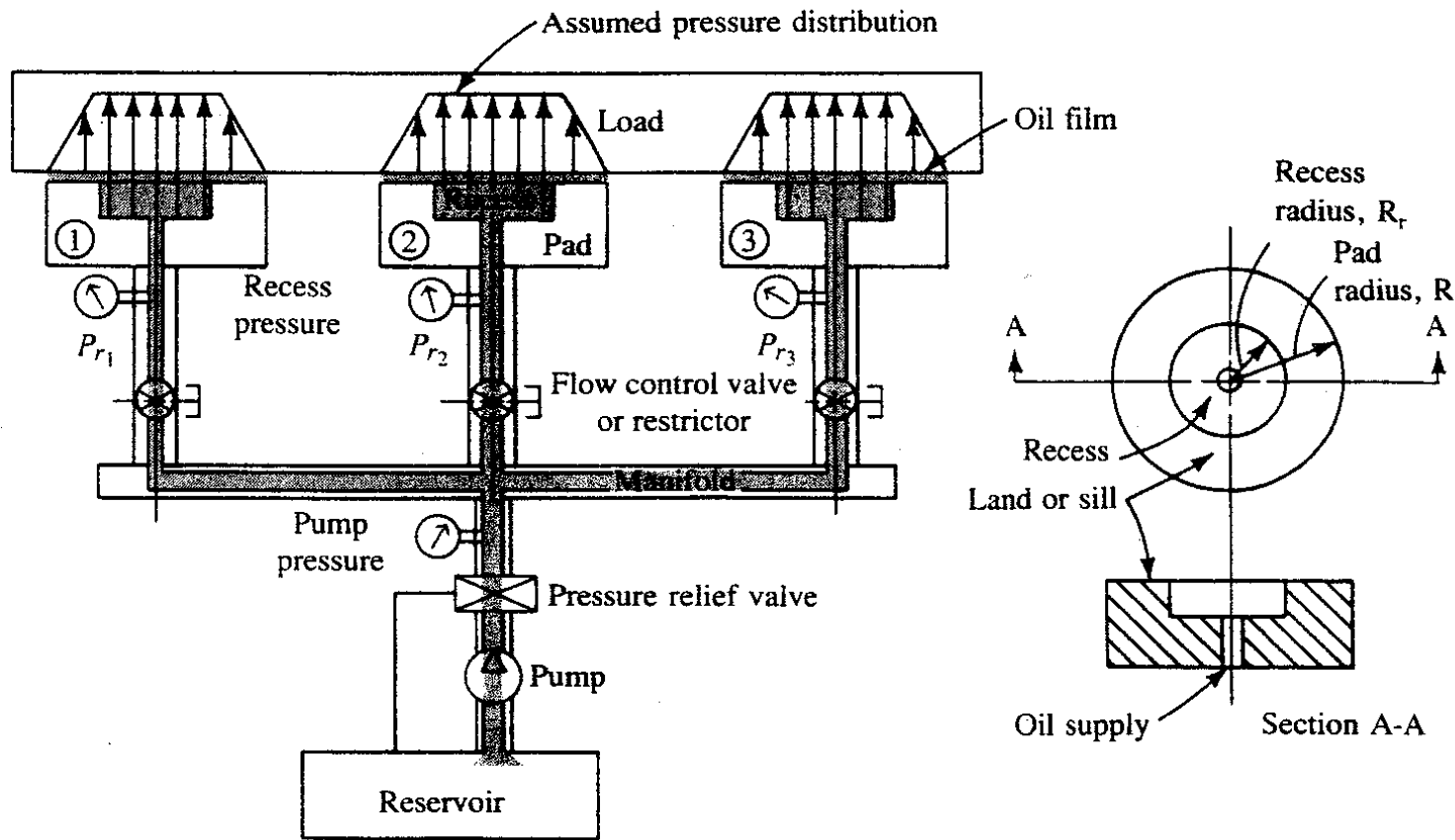
3.5 - Mancal de Deslizamento Hidrostático

- 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

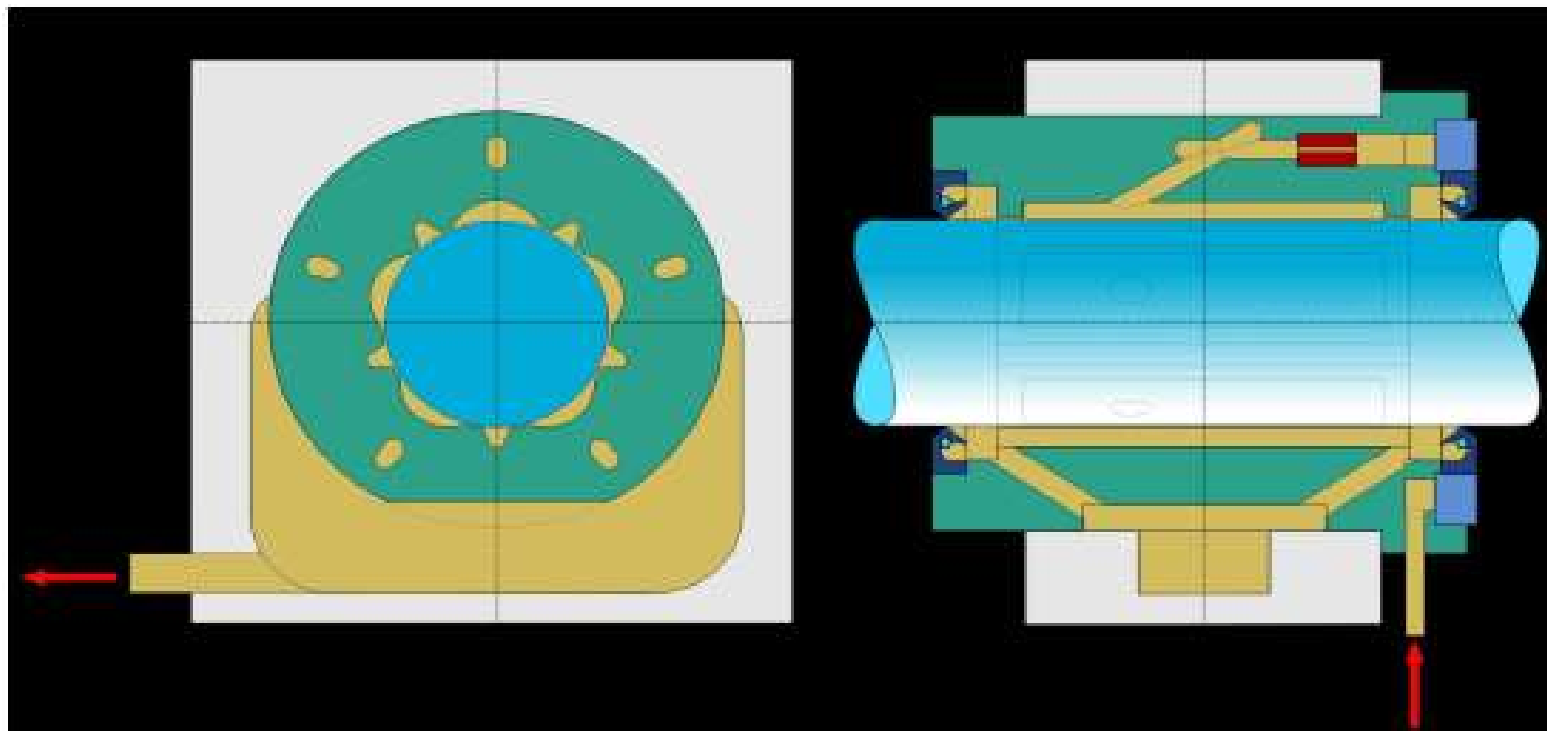


Esquema do mancal de deslizamento hidrostático

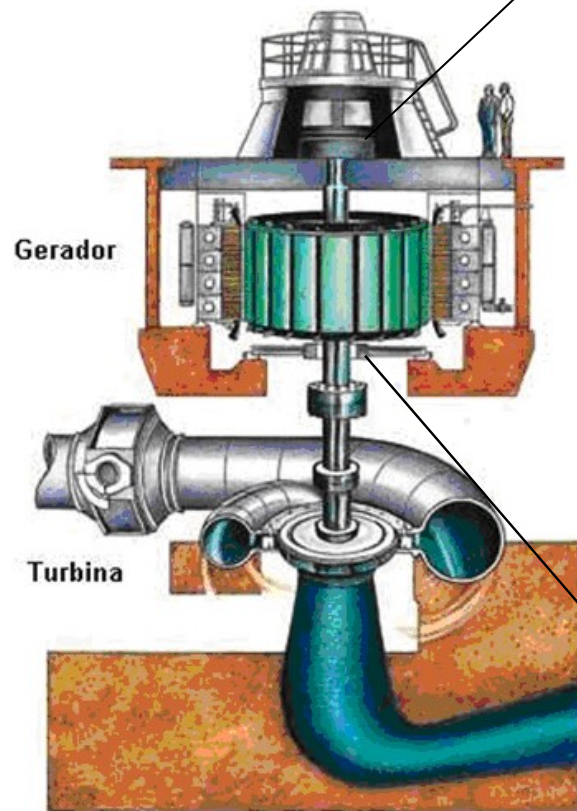


(a) Hydrostatic bearing system

(b) Pad geometry



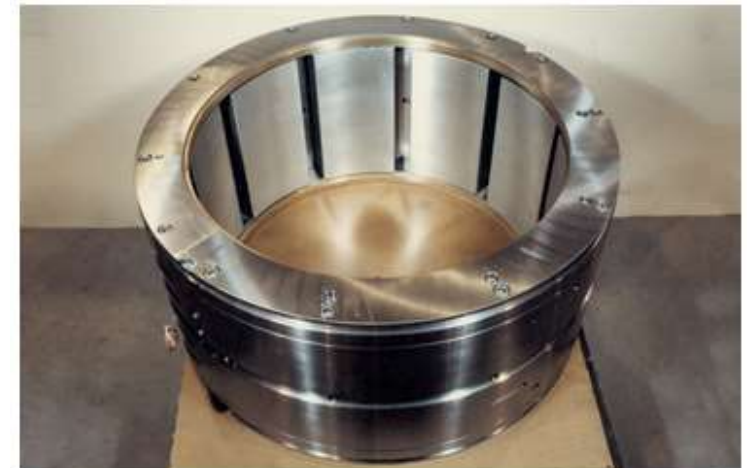
Entrada de óleo
pressurizado



Mancal
de Escora



Mancal Guia



3.6 - Materiais para Mancais de Deslizamento

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

Desgaste do
Metal Patente



17/32X

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

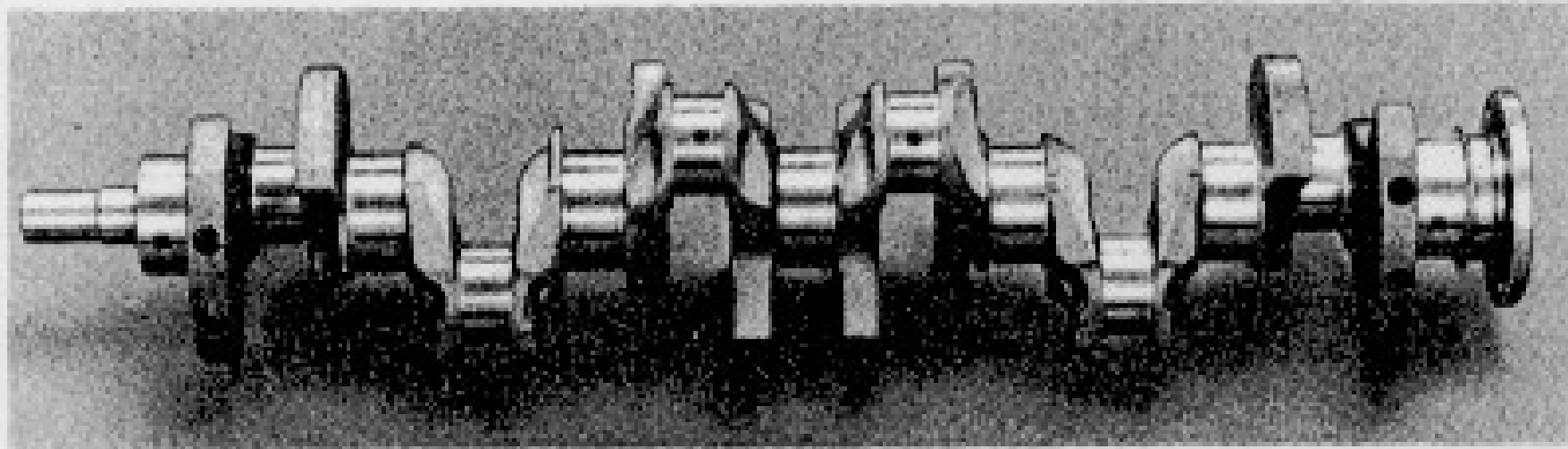


FIGURE 3.4 Six-cylinder automotive crankshaft (*Courtesy of Central Foundry, Division of General Motors Corporation*)

Biela – Motor de Combustão Interna

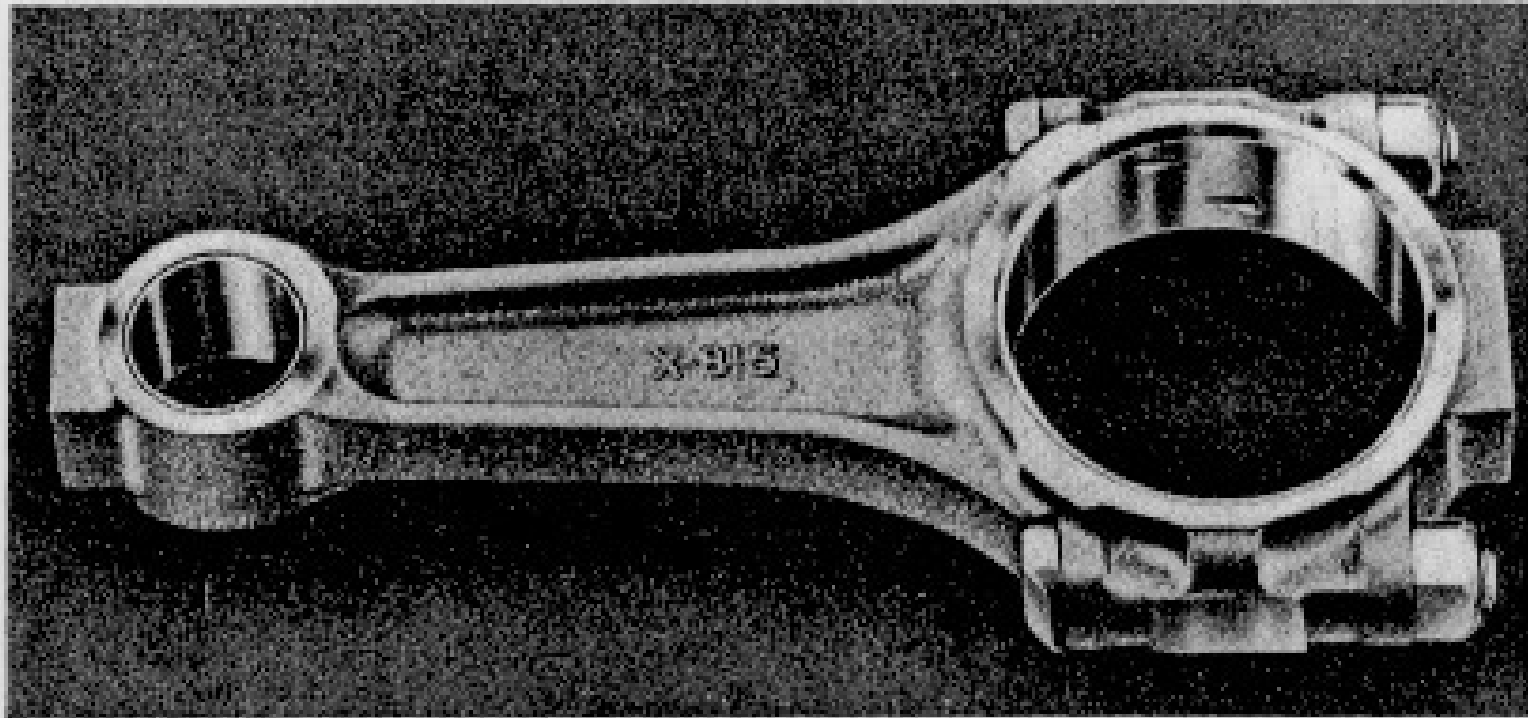
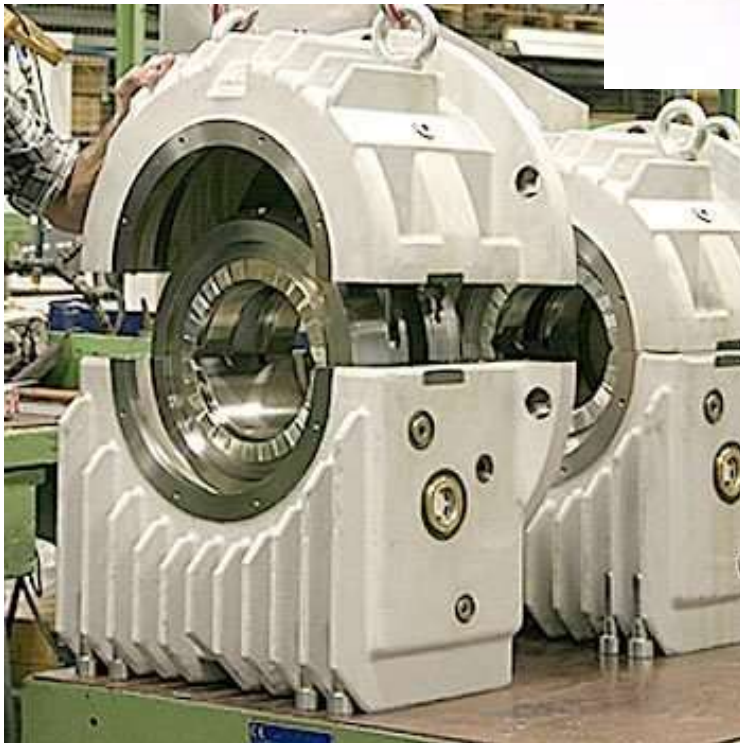
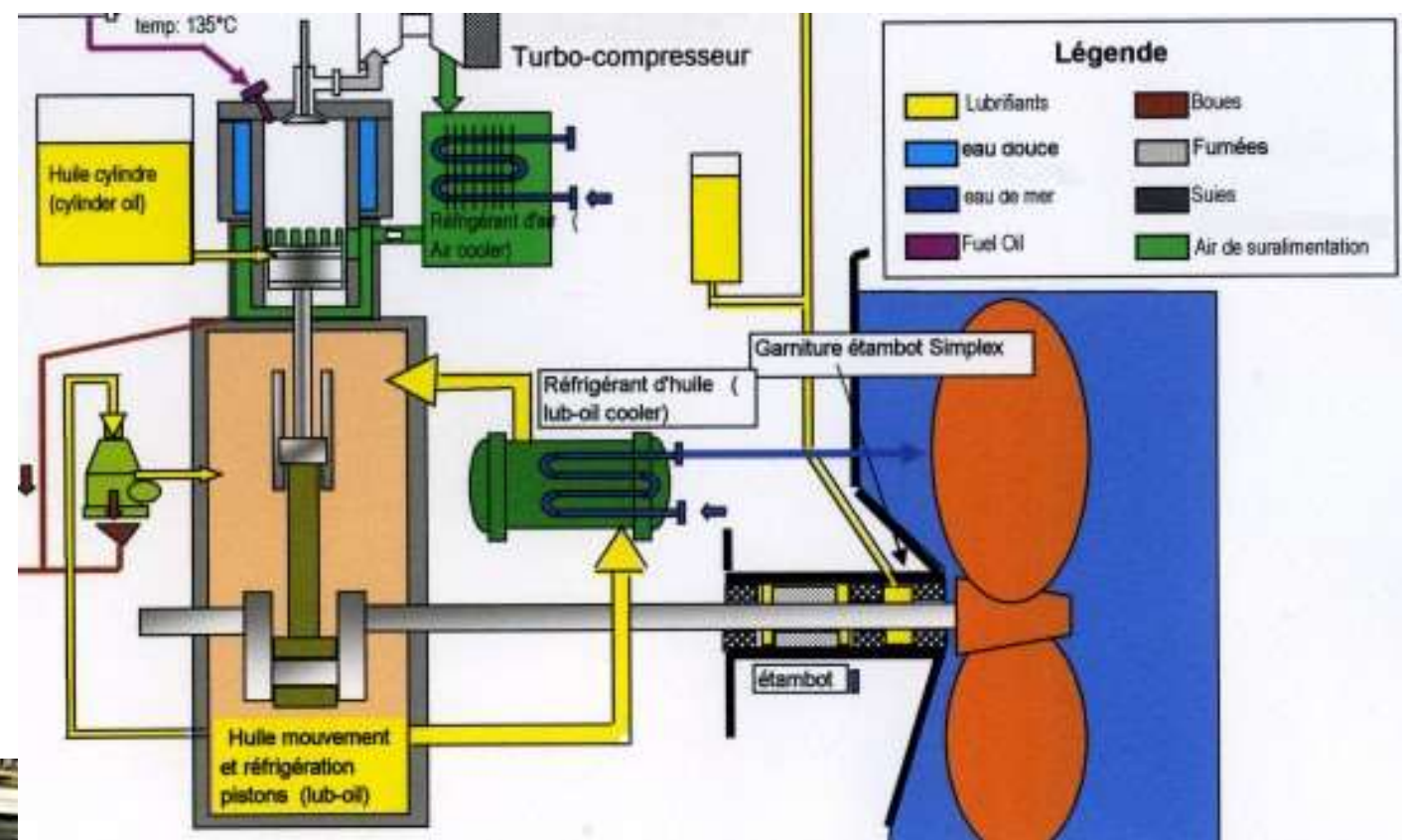
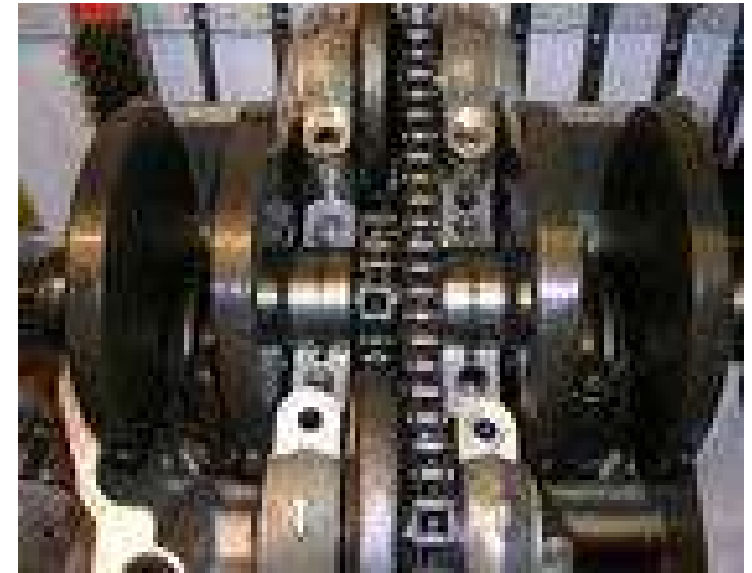


FIGURE 3.3 Automotive connecting rod showing crank-pin and wrist pin bearings (*Courtesy of Central Foundry, Division of General Motors Corporation*)



Girabrequim de Motor de Motocicleta



Mancal de um Gerador de Hidráulica



Referências para mancais de deslizamento

- www.kingsbury.com
- www.engineering.com
- www.machinerylubrication.com
- www.skf.com