



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Máquinas Térmicas e Hidráulicas



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

I- Semelhanças Mecânicas Aplicadas as Máquinas Hidráulicas (ou Teoria dos Modelos):

Conjunto de Leis: Estudo econômico de uma Máquina Hidráulica de grande porte através de seu modelo.

Para haver Semelhanças Mecânicas entre duas Máquinas Hidráulicas é necessário satisfazer simultaneamente os seguintes requisitos:

- 1ª - Que haja semelhança geométrica;
- 2ª - Que haja semelhança cinemática;
- 3ª - Que haja semelhança dinâmica.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Semelhanças Geométricas: Quando houver a mesma razão de semelhança geométrica (K) entre as dimensões lineares homologas entre industrial e o modelo.

$$\frac{d_i}{d_m} = \frac{L_i}{L_m} = K$$

- Semelhança de forma;
- A propriedade característica dos sistemas geometricamente semelhantes é que a razão entre qualquer comprimento correspondente é constante.
- Esta razão é conhecida como *Fator de Escala*.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Deve-se lembrar que não só a forma global do modelo tem que ser semelhante como também a rugosidade das superfícies deve ser geometricamente semelhante.

Muitas vezes, a rugosidade de um modelo em escala reduzida não pode ser obtida de acordo com o fator de escala - problema de construção/ de material/ de acabamento das superfícies do modelo.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Semelhanças Cinemáticas: Quando houver semelhanças dos triângulos de velocidades nos pontos homólogos entre industrial e modelo.

$$\frac{u_i}{u_m} = \frac{v_i}{v_m} = \frac{\omega_i}{\omega_m}$$

Quando dois fluxos de diferentes escalas geométricas tem o mesmo formato de linhas de corrente.

É a semelhança do movimento.

Exemplo de semelhança cinemática: **Planetário.**



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

O firmamento é reproduzido de acordo com um certo fator de escala de comprimento e, ao copiar os movimentos dos planetas, utiliza-se uma razão fixa de intervalos de tempo e, portanto, de velocidades e acelerações.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Semelhanças Dinâmicas: Mesmo número de “Re” (Reynolds) (característica de escoamento dos fluidos do industrial se o modelo for o mesmo).

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad ; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad ; \quad Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re_i = Re_m$$

v... Velocidade (m/s);

D... Diâmetro (m);

ν ...Viscosidade cinemática (m²/ s);

μ ...Viscosidade dinâmica (Kg/ m.s);

ρ ...Massa específica (Kg/ m³).



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Conclusão: Para máquinas mecanicamente semelhantes temos:

- O comportamento é idêntico em idênticas situações;
- As perdas são proporcionais;
- Os rendimentos são iguais;
- O coeficiente de cavitação é o mesmo.

É a semelhança das forças;

Dois sistemas são dinamicamente semelhantes quando os valores absolutos das forças, em pontos equivalentes dos dois sistemas estão numa razão fixa.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Origem das forças que determinam o comportamento dos fluidos:

- Forças devido à diferenças de Pressão;
- Forças resultantes da ação da viscosidade;
- Forças devido à tensão superficial;
- Forças elásticas;
- Forças de inércia;
- Forças devido à atração gravitacional.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Exemplos de estudos em modelos:

- Ensaio em túneis aero e hidrodinâmicos;
- escoamento em condutos;
- Estruturas hidráulicas livres;
- Resistência ao avanço de embarcações;
- Máquinas hidráulicas.



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

II- Grandezas que caracterizam o comportamento das Máquinas

Hidráulicas:

d = diâmetro;

Q = vazão;

P = potência;

N = rotação do eixo;

H = rendimento;

H = altura de operação da Máquina Hidráulica;

Para a Turbina:

Altura de queda;

Para a Bomba:

Altura manométrica.

SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

III- Fórmulas fundamentais da semelhança mecânica:

(Obtidos experimentalmente. * Fórmulas Empíricas)

$$\frac{n_i}{n_m} = \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\frac{H_i}{H_m}}$$

$$\frac{Q_i}{Q_m} = K^2 \cdot \sqrt{\frac{H_i}{H_m}}$$

$$\frac{P_i}{P_m} = K^2 \cdot \left(\frac{H_i}{H_m} \right)^{3/2}$$

$H_i, Q_i, P_i, n_i \rightarrow$ Industrial;
 $H_m, Q_m, P_m, n_m \rightarrow$ Modelo.



$$K = L_i / L_m = d_i / d_m$$

SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Se $K = 1$

→ Industrial = Modelo: temos as **EQUAÇÕES DE RATEAUX.**

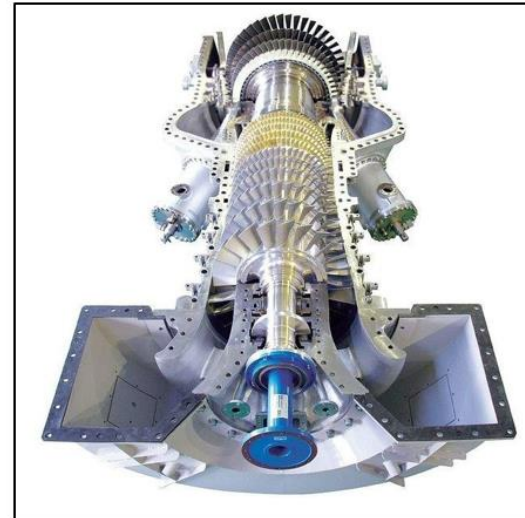
Relacionam as Grandezas com as velocidades

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'}$$

$$\frac{H}{H'} = \left(\frac{n}{n'} \right)^2$$

$$\frac{P}{P'} = \left(\frac{n}{n'} \right)^3 \quad (\text{Para mesmo fluido})$$

$$\frac{P}{P'} = \left(\frac{n}{n'} \right)^3 \cdot \frac{\gamma}{\gamma'} \quad (\text{fluidos diferentes})$$



SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

IV - Características Unitárias de uma Máquina Hidráulica:

Estudo do comportamento de uma máquina operando a altura de 1m prever seu comportamento quando operar com qualquer altura.

Características unitárias → Q_1, η_1, P_1 .

Considera-se o mesmo rendimento →

$$\eta_{\text{máx}} = \eta_m = \eta_i$$

$$K = 1$$

→ As características mecânicas das máquinas variam com o η . No entanto caracterizam a máquina porque normalmente são determinadas para o máximo rendimento e para esta condição, são parâmetros constantes das máquinas.

SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

IV - Características Unitárias de uma Máquina Hidráulica:

Industrial

$$\begin{aligned} H_i &= H \\ Q_i &= Q \\ P_i &= P \\ n_i &= n \end{aligned}$$

$$\eta_i = \eta$$

Modelo

$$H_m = 1\text{m}$$

$$\begin{aligned} Q_m &= Q_1 \\ P_m &= P_1 \\ n_m &= n_1 \end{aligned}$$

$$\eta_m = \eta$$

Assim:

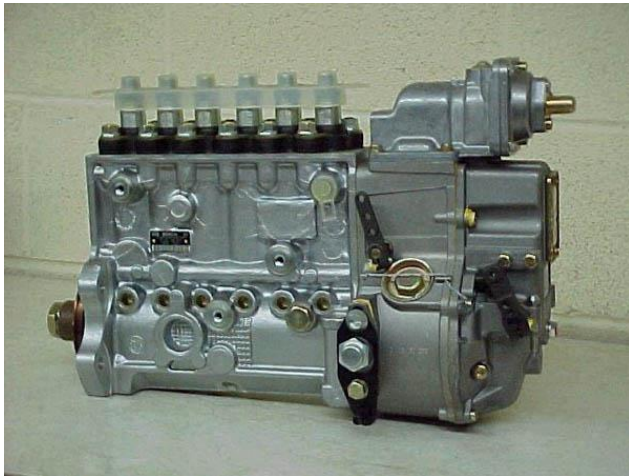
$$\frac{n}{n_1} = \frac{\sqrt{\frac{H}{1}}}{\sqrt{1}} \rightarrow n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$$

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{\sqrt{\frac{H}{1}}}{\sqrt{1}} \rightarrow Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

$$\frac{P}{P_1} = \left(\frac{H}{1} \right)^{3/2} \rightarrow P_1 = \frac{P}{H^{3/2}}$$

SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

IV - Características Unitárias de uma Máquina Hidráulica:





SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

V- Características unitárias de uma Série ou Família de Máquinas semelhantes:

- Grandezas determinadas em função do comportamento da Máquina da Série de diâmetro unitário e posta a operar sob altura de 1m.

Características unitárias da série = Q_{11} , n_{11} , P_{11} Mesmo rendimento = $\eta_{m\acute{a}x} = \eta_m = \eta_i$

Industrial

$$d_i = d$$

$$H_i = H$$

$$Q_i = Q$$

$$P_i = P$$

$$n_i = n$$

Modelo

$$d_m = 1m$$

$$H_m = 1m$$

$$Q_m = Q_{11}$$

$$P_m = P_{11}$$

$$n_m = n_{11}$$

SEMELHANÇAS MECÂNICAS APLICADAS AS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

V- Características unitárias de uma Série ou Família de Máquinas semelhantes:

$$\eta_i = \eta$$

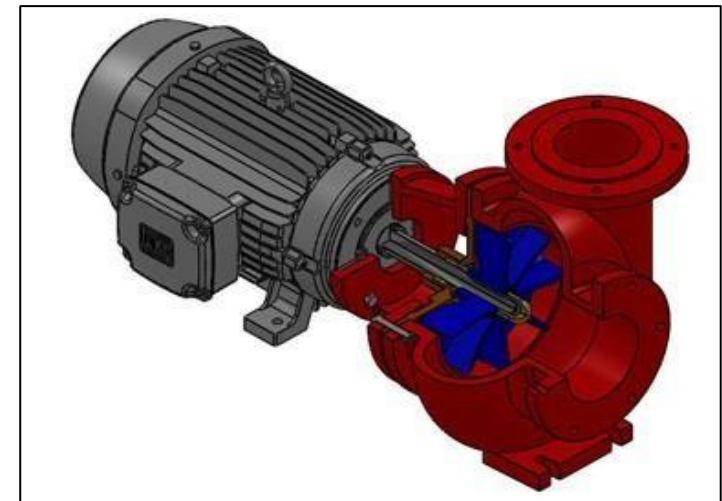
$$\eta_m = \eta$$

$$K = \frac{d_i}{d_m} \longrightarrow K = \frac{d}{1} \longrightarrow K = d$$

$$\frac{n}{n_{11}} = \frac{1}{d} \cdot \sqrt{\frac{H}{1}} \longrightarrow n_{11} = n \cdot d \sqrt{H}$$

$$\frac{Q}{Q_{11}} = \frac{d^2 \cdot H}{\sqrt{1}} \longrightarrow Q_{11} = \frac{Q}{d^2 \cdot \sqrt{H}}$$

$$\frac{P}{P_{11}} = \frac{d^2 \cdot \left(\frac{H}{1}\right)^{3/2}}{1} \longrightarrow P_{11} = \frac{P}{d^2 \cdot H^{3/2}}$$





Bibliografia Básica

- 1 - MACINTYRE, A.J.- Bombas e Instalações de Bombeamento. Ed. Guanabara, 1980.
- 2 - WYLEN, G.V.&SONITAG, R>E.- Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Editora Edigard Blücher, 1978
- 3 - SIMONE, G. A. – Centrais e Aproveitamentos Hidrelétricos. Ed. Érica-2003.



Bibliografia Complementar

- 1 - MACINTYRE, A J. – Máquinas Motrizes Hidráulicas. Ed. Guanabara, 1983.
- 2 - SOUZA, S. & FUCHS, R. D. & SANTOS, A. H. M. - Centrais Hidro e Termoelétricas, Editora Edgard Blücher, 1983.
- 3 - BISTAFA, Sylvio R. Mecânica dos fluidos noções e aplicações. Editora Blucher
- 4 - ORGANIZADOR JEFERSON AFONSO LOPES DE SOUZA. Transferência de calor. Pearson
- 5 - STROBEL, Christian. Termodinâmica técnica. Editora Intersaberes.