

Bombas

ÍNDICE

- [Tipos de bombas](#)
 - [Bombas de Deslocamento Positivo](#)
 - [Bombas Alternativas](#)
 - [Bombas Rotativas](#)
 - [Bombas Centrífugas](#)
 - [Curvas características](#)
 - [Variação das curvas características](#)
 - [Curva característica do sistema](#)
 - [NPSH](#)
 - [Links interessantes](#)
 - [Questões Provão](#)
-

BOMBAS

Para deslocar um fluido ou mantê-lo em escoamento é necessário adicionarmos **energia**, o equipamento capaz de fornecer essa energia ao escoamento do fluido é denominamos de **Bomba**.

ENERGIA ELÉTRICA ⇒ ENERGIA MECÂNICA ⇒ ESCOAMENTO

A energia adicionada:

- compensa perdas por atrito;
- contribui para aumento da velocidade, pressão ou altura do fluido.

Esta energia depende:

- da altura que o fluido é elevado (ΔZ);
- do comprimento da tubulação (L);
- do diâmetro da tubulação (D);
- da vazão (Q);
- propriedades físicas do fluido (μ , ρ).

$$E = f(\Delta Z, L, D, Q, \mu, \rho)$$

As bombas, compressores e ventiladores são avaliados em função de quatro características:

1. **Capacidade** : quantidade de fluido descarregado por unidade de tempo, vazão-Q.
2. **Pressão** : freqüentemente expressa em altura ($H = \Delta P / \rho g$).
3. **Potência** : energia consumida por unidade de tempo, P .
4. **Eficiência** : $\eta = \text{energia suprida ao fluido} / \text{energia absorvida pela bomba}$

[Voltar](#)

1. TIPOS DE BOMBAS.

Bombas de deslocamento positivo: - alternativas (≈ 20 rpm);
- rotativas ($\approx 100-150$ rpm).

Bombas centrífugas.

1.1. Bombas de Deslocamento Positivo.

- Impelem uma quantidade definida de fluido em cada golpe ou volta do positivo.
- Volume do fluido é proporcional velocidade.

1.1.a. Bombas Alternativas.

- Envolvem um movimento de vai-e-vem de um pistão num cilindro. Resulta num escoamento intermitente.
- Para cada golpe do pistão, um volume fixo do líquido é descarregado na bomba.
- A taxa de fornecimento do líquido é função do volume varrido pelo pistão no cilindro e o número de golpes do pistão por unidade do tempo.

Ex: Bombas pistão e êmbolo (alta pressão).

Eficiência Volumétrica (η_v):

$$\eta_v = \frac{\text{volume deslocado}}{\text{volume total do cilindro}}$$

volume real < volume total \Rightarrow devido a vazamentos ou enchimento incompleto do cilindro.

$\eta_v > 95\%$ para bombas bem ajustadas.

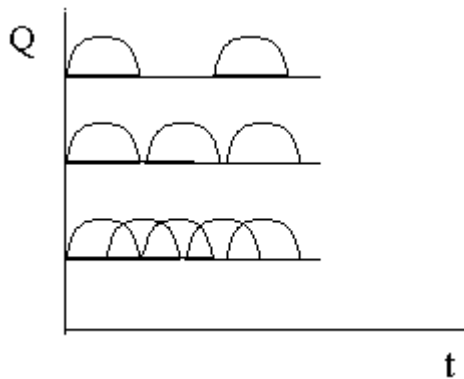
Eficiência Mecânica (η_m):

$$\eta_m = \frac{\text{Energia suprida ao fluido}}{\text{Energia suprida à bomba}}$$

$\eta_m < 100\%$, devido a perdas por atrito mecânico e atrito ao fluido.

* Podem ser : -**duplex, triplex**, etc \Rightarrow O número de cilindro.

- **simples ou duplo efeito** \Rightarrow Quando utiliza um ou dois lados de seu volume para impelir o fluido.



Do gráfico, tem-se as linhas correspondentes:

- **Primeira:** simplex, simples efeito;
- **Segunda:** simplex, duplo efeito;
- **Terceira:** duplex, duplo efeito.

Aplicações:

- bombeamento de água de alimentação de caldeiras, óleos e de lamas;
- imprimem as pressões mais elevadas dentre as bombas;
- pequena capacidade;
- podem ser usadas para vazões moderadas.

Vantagens:

- podem operar com líquidos voláteis e muito viscosos
- capaz de produzir pressão muito alta.

Desvantagens:

- produz fluxo pulsante;
- capacidade: intervalo limitado;
- opera com baixa velocidade;
- precisa de mais manutenção;

1.2.b. Bombas Rotativas.

- Dependem de um movimento de rotação.
- Resulta em escoamento contínuo.

* O rotor da bomba provoca uma pressão reduzida no lado da entrada, o que possibilita a admissão do líquido à bomba, pelo efeito da pressão externa. À medida que o elemento gira, o líquido fica retido entre os componentes do rotor e a carcaça da bomba.

Características:

- Provocam uma pressão reduzida na entrada (efeito da pressão atmosférica), e com a rotação, o fluido escoar pela saída;
- Vazão do fluido: função do tamanho da bomba e velocidade de rotação, ligeiramente dependente da pressão de descarga;

- Fornecem vazões quase constantes;
- Eficientes para fluidos viscosos, graxas, melados e tintas;
- Operam em faixas moderadas de pressão;
- Capacidade pequena e média;
- Utilizadas para medir "volumes líquidos".

Tipos:

- Engrenagens (para óleos);
- atuada externamente (as 2 engrenagens giram em sentidos opostos);
- atuada internamente (só um rotor motriz);
- Rotores lobulares: bastante usada em alimentos;
- Parafusos helicoidais (maiores pressões);
- Palhetas: fluidos pouco viscosos e lubrificantes;
- Peristáltica: pequenas vazões, permite transporte asséptico.

Usos:

- Nas indústrias farmacêuticas, de alimentos e de petróleo.

1.2. Bombas Centrífugas.

Características:

- Opera com vazão constante;
- Simplicidade de modelo;
- Muito utilizadas na indústria: pequeno custo inicial, manutenção barata e flexibilidade de aplicação;
- Permite bombear líquidos com sólidos em suspensão;
- Vazão desde 1 gal/min até milhares galões/min, e centenas psi;
- Constitui em duas partes : carcaça e rotor;
- O fluido entra nas vizinhanças do eixo do rotor e é lançado para a periferia pela ação centrífuga.

Energia Cinética : Aumenta do centro para a periferia do rotor (ponta das palhetas propulsoras). Esta energia cinética é então convertida em pressão quando o fluido sai do rotor para a carcaça espiral (voluta ou difusor).

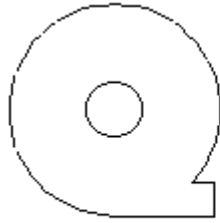
⇒ Bomba centrífuga : Converte energia mecânica em energia cinética.

Rotor : É o coração da bomba. É constituído de diversas palhetas ou lâminas conformadas de modo a proporcionarem um escoamento suave do fluido em cada uma delas.

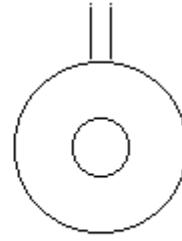
Carcaça : Transforma energia cinética em energia de pressão com pequena perda por turbulência

- serve de contentor para o fluido.
- oferece entrada e saída.

Tipos:



Voluta



Difusor

Voluta : o rotor descarrega fluido num canal de área de seção reta contínua e crescente. Aumentando a área, a velocidade diminui, reduzindo assim a formação de turbilhões.

Difusor : são aletas estacionárias que oferecem ao fluido um canal de área crescente desde o rotor até a carcaça.

Operação : a bomba centrífuga geralmente opera a velocidade constante e a capacidade da bomba depende somente da pressão total do projeto e das condições de sucção.

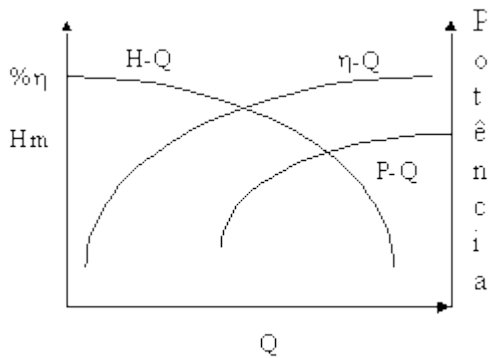
[Voltar](#)

2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS.

- Servem para descrever as características operacionais de um bomba.
- Permitem relacionar:
 - pressão descarga (H_m , altura manométrica)
 - capacidade, Q .
 - eficiência, h .
 - potência, P .

Altura Manométrica: é uma medida de altura de uma coluna de líquido que a bomba poderia criar resultante da energia cinética que a bomba dá ao fluido.

A principal razão para usar altura ao invés de pressão para medir a energia de um bomba centrífuga é que a pressão variará dependendo do ρ do fluido, mas a altura permanecerá a mesma.



Para um dado rpm

- Aumentando Q, aumenta Potência;
- Aumentando Q, aumenta η até um ponto máximo, após o qual acontece o escorregamento do fluido;
- Aumentando Q, diminui Hm que se consegue bombear.

Para uma mesma carcaça, a intensidade das forças centrífugas geradas no rotor varia com as dimensões, forma e número de giros do rotor.

Para determinado rotor, com forma, diâmetro e rotação definidos, a curva característica da bomba não muda, qualquer que seja o fluido bombeado.

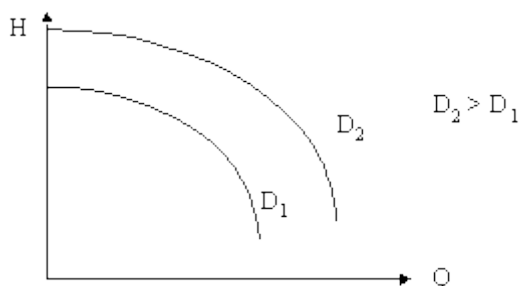
ATENÇÃO!!! Curva Característica: depende somente da forma, diâmetro e velocidade de rotação (rpm), e independe do fluido. Para uma bomba operando com um fluido incompressível, sem cavitação, onde a geometria da bomba é específica, o aumento da pressão pode ser expressa como:

$$\Delta P = \Delta P (Q^a, \mu^b, \rho^c, N^d, D^e)$$

[Voltar](#)

3. VARIAÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS.

a) *Diâmetro do rotor (D)* : forma e velocidade de rotação constantes (rpm)



$$Q_2 / Q_1 \approx D_2 / D_1 \Rightarrow D, Q$$

$$H_2 / H_1 \approx (D_2 / D_1)^2 \Rightarrow D, H$$

$$P_2 / P_1 \approx (D_2 / D_1)^3 \Rightarrow D, P$$

b) *Rotação:*

$$Q_2 / Q_1 \approx N_2 / N_1 \Rightarrow N, Q$$

$$H_2 / H_1 \approx (N_2 / N_1)^2 \Rightarrow N, H$$

$$P_2 / P_1 \approx (N_2 / N_1)^3 \Rightarrow N, P$$

c) Forma do rotor :

Bombas para grandes alturas e pequenas vazões: rotores grandes mas aletas estreitas.
Bombas para pequenas alturas e grandes vazões: rotores pequenos e aletas longas.

Exemplo 01 : Uma bomba com as características dadas na Fig. 21.17 (Foust) é usada para dar uma vazão de 350 gal/min a uma pressão de 80 ft. Qual o diâmetro do rotor que se deve usar? Qual a potência dissipada? (Pág. 521, Foust Fig. 21.17)

Resolução :

diâmetro do rotor: entre 9 e 10 in.

rotor de 1750 rpm

d = 10" ⇒ válvula de controle para dissipar o excesso de energia injetado no sistema.

Potência = 11 Hp

$\eta = 67\%$

[Voltar](#)

4. CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA.

A curva característica do sistema é obtida da **equação** da altura manométrica, na qual a parcela relativa às perdas de carga é calculada para diversos valores de vazão.

$$H_m = H_g + \Delta h$$

H_m = altura manométrica de elevação.

H_g = altura geométrica ou estática de elevação.

Δh = soma das perdas de carga verificadas na tubulação.

Observações:

1. Altura Geométrica.

$$H_g = H_s + H_r$$

H_s = altura estática de sucção;

H_r = altura estática de recalque.

2. Perda de Carga

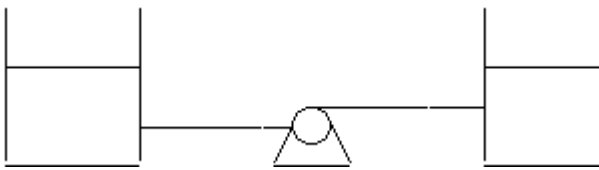
$$\Delta h = \Delta h_s + \Delta h_r$$

Δh_s = perda de carga na sucção;

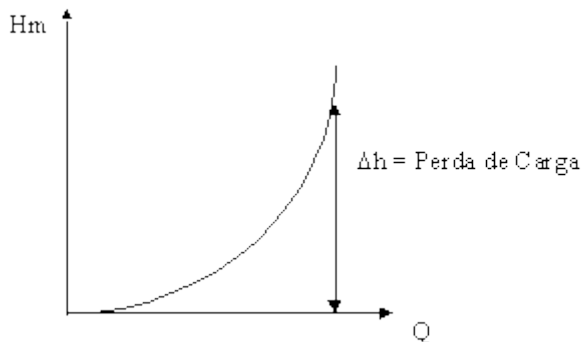
Δh_r = perda de carga no recalque.

3. Curva característica do sistema: - Vazões Q : abcissa;
- Hm: ordenada.

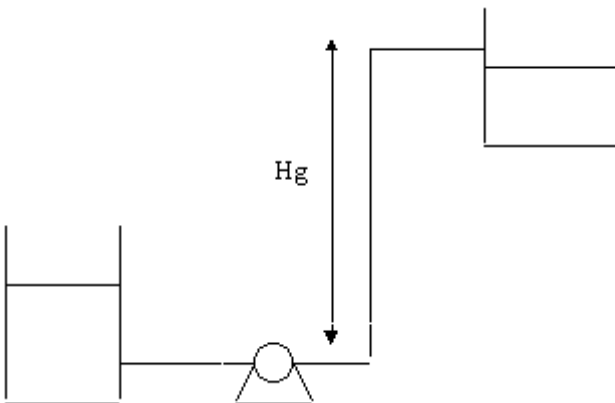
a) *Altura Geométrica Nula* ($H_g = 0$):

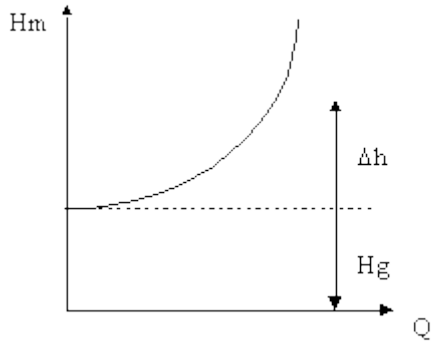


$$H_g = 0 \quad (H_s = 0, H_r = 0)$$

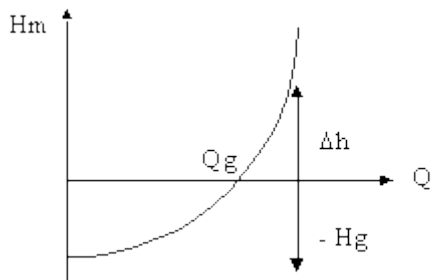
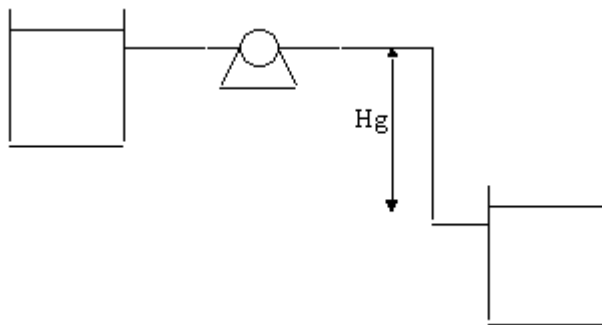


b) *Curva Típica* ($H_g > 0$)





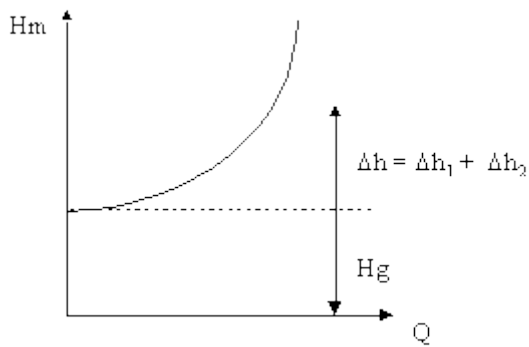
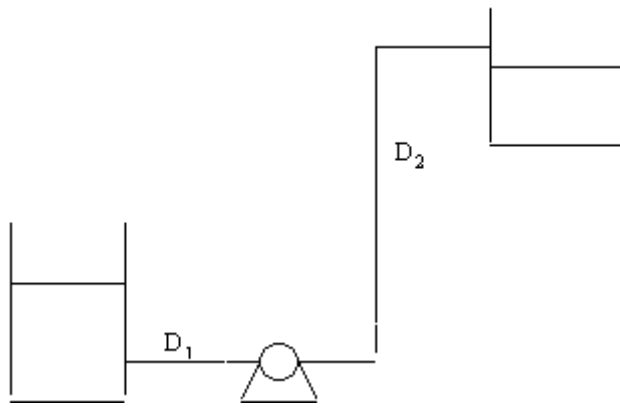
c) Sistema por Gravidade ($H_g < 0$)



Obtém-se vazões até o valor Q_g . Para maiores vazões, instalar uma bomba para vencer as perdas de carga adicionais.

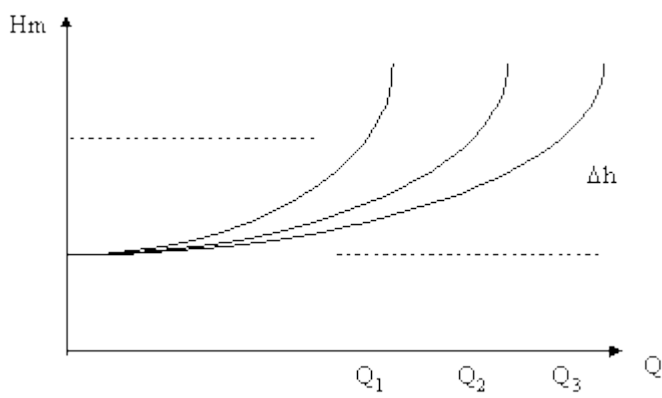
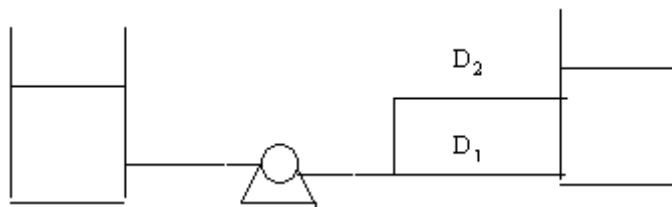
d) Tubulações em Série:

- A vazão é a mesma em todo percurso;
- As curvas são traçadas separadamente;
- A perda de carga total do sistema \Rightarrow somatório das perdas de carga para cada tubo de diâmetro D_i .



e) Tubulações em Paralelo:

- Vazão total = $\Sigma i.Q_i$



$Q_3 = Q_1 + Q_2$

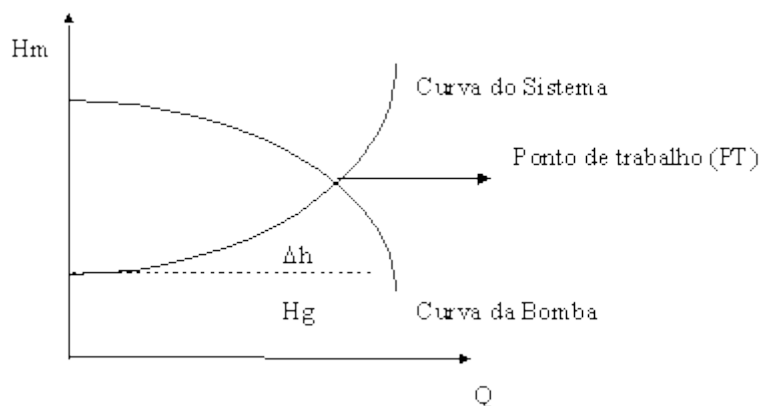
Ponto de Trabalho:

H_m em $Q=0$, isto é, as bombas trabalham com as suas rotações nominais, mas com registros de recalques fechados (perda de carga nula).

Abrindo gradualmente o registro a água começa a escoar → acontece a perda de carga (Δh) na altura manométrica → logo a altura que se consegue bombear vai diminuindo progressivamente até o ponto de equilíbrio PT.

$Q \Rightarrow$ de 0 até Q_t

$H \Rightarrow H_g$ até o valor de regime.



[Voltar](#)

5. NPSH (NET POSITIVE SUCTION HEAD) - Saldo Positivo de Carga de Sucção.

Cavitação:

Nas tubulações de sucção para elevar água a alturas manométricas de sucção positivas ($H_s > 0$) \Rightarrow funcionam com $P_{\text{operação}} < P_{\text{atm}}$.

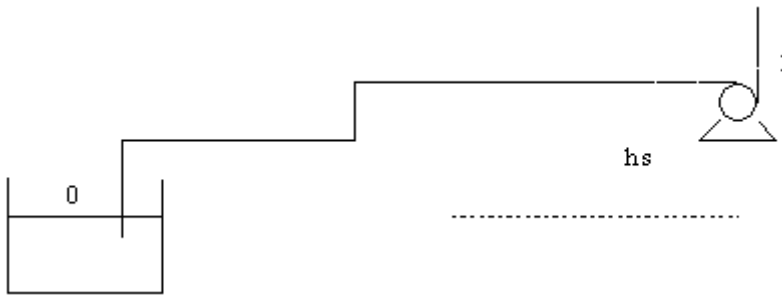
Se na entrada da bomba $P < P_{\text{vapor}}$ do líquido circulante, acontecem fenômenos prejudiciais ao funcionamento e à vida útil da máquina. Poderá formar "bolhas de vapor", capaz de interromper a circulação do fluido.

As bolhas são arrastadas em direção à saída do rotor, ocorrendo violentas implosões que provocam ruídos desagradáveis (golpes ou marteladas), que destroem as paredes da carcaça e as paletas do rotor. Provocando queda acentuada do rendimento da bomba.

Para evitar cavitação: todos os pontos do fluido $P_{\text{vapor}} < P$ ou $P > P_{\text{vapor}}$.

Reduzir ou eliminar cavitação: diminuir a velocidade da bomba.

Balço de Energia Mecânica :



Se : $u_0 = 0$
 $P_0 = P_{atm}$
 $Z_0 = 0$
 $Z_1 = H_s$
 $\Delta Z = H_s$ (altura estática de sucção)

Seja :

$l_w f \Rightarrow \Delta h_s =$ perda de carga por atrito na sucção;
 Δh^* = perda ligada à geometria e tipo de rotor.

No lado da sucção:

$$m \cdot g \cdot Z_0 + \frac{m}{2} \cdot u_0^2 + \frac{m}{\rho} \cdot P_{atm} = m \cdot g \cdot Z_1 + \frac{m}{2} \cdot u_1^2 + \frac{m}{\rho} \cdot P_1 + \Delta h$$

Dividindo por mg:

$$Z_0 + \frac{u_0^2}{2 \cdot g} + \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} = Z_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \Delta h$$

Se $u_0=0$; $z_0=0$; $z_1=H_s$; $\Delta h = +\Delta h_s$

$$\frac{1}{\rho \cdot g} \cdot P_1 - P_{atm} + H_s + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot u_1^2 + \Delta h_s + \Delta h^* = 0$$

$$\frac{1}{\rho \cdot g} \cdot P_1 + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot u_1^2 = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - H_s - \Delta h_s - \Delta h^* \quad (1)$$

Definindo:

NPSH : diferença entre a carga estática na sucção e a carga correspondente à pressão de vapor do líquido na entrada da bomba.

NPSH disponível : (na instalação) é a carga residual disponível na instalação para sucção do fluido.

NPSH requerido : (pela bomba) é a carga exigida pela bomba para aspirar o fluido do poço de sucção P dado do fabricante.

$$NPSH = P_1 + \frac{u_1^2}{2g} - P_v \quad (2)$$

$$\rho \cdot g \quad 2g \quad \rho \cdot g$$

$$NPSH = P_0 - (h_s + P_v + \Delta h_s + \Delta h^*) \quad (3)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g$$

$$(NPSH)_d = P_0 - (h_s + P_v + \Delta h_s) \quad (4)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g$$

$$(NPSH)_r = P_0 - (h_s + P_v + \Delta h^*) \quad (5)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g$$

$$(NPSH)_d - \Delta h^* = (NPSH)_r - \Delta h_s$$

Normalmente : $\Delta h^* > \Delta h_s$

Então : $(NPSH)_d > (NPSH)_r$

Altura máxima de sucção :

Da equação (1):

$$h_s = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2g} + l w_f \right) \quad (6)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g \quad 2g$$

$$h_s = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2g} + \Delta h_s + \Delta h^* \right) \quad (7)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g \quad 2g$$

Se $P_1 = P_v \Rightarrow h_s$ máximo

$$h_s \text{ máximo} = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - \left(\frac{P_v}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2g} + l w_f \right) \quad (8)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g \quad 2g$$

Portanto:

$$h_s \text{ máximo} = \frac{P_0}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} - NPSH - \Delta h_s \quad (9)$$

$$\rho \cdot g \quad \rho \cdot g$$

Exemplo 02 : Calcular a altura máxima de sucção para bombear água. Desprezar as perdas de carga na sucção e a elevação da energia cinética.

Se desprezarmos: - perda de carga $l_{wf} = \Delta h_s + \Delta h^*$;

- elevação de energia cinética.

$$P_v (30^\circ \text{ C}) = 0,031 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_{\text{atm}} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho_{\text{ água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h_s \text{ máx} = \frac{P_0 - P_v}{\rho \cdot g} - \frac{1}{2g} (u_1^2 - u_0^2) - \Delta h_s - \Delta h^*$$

$$h_s \text{ máx} = \frac{1.013 \times 10^5 - 0,031 \times 10^5}{9.81 \times 1000} = 10,01 \text{ m}$$

Na prática $h_s \text{ máx} = 6,00 \text{ m}$ no máximo; pois, l_{wf} e u_1 são diferentes de 0 (zero).

Exemplo 03 : Calcular a altura máxima de sucção para uma bomba acima do nível do mar ($P_{\text{atm}} = 700 \text{ mmHg} = 9,5 \text{ m}$) alimentando uma caldeira e recebendo água a 90° C de um pré-aquecedor. O fabricante indica $\text{NPSH} = 5,5 \text{ m}$. Admitindo que $\Delta h_s = 1,2 \text{ m}$ e $Q = 9 \text{ L/s}$ a pressão de vapor da água nas condições de sucção é $7,15 \text{ m}$.

$$h_s = P_0 - P_v - \text{NPSH} - \Delta h_s$$

€€€€€€€€€€€€€€€€

$$h_s = 9,5 - 7,15 - 5,5 - 1,2$$

$$h_s = - 4,35 \text{ m} \Rightarrow \text{AFOGADA}$$