

1ª Aula de teoria de Mecânica dos Fluidos para a Engenharia Química - (ME5330)

Objetivo: estudar os conceitos necessários para o desenvolvimento de projeto de uma instalação de bombeamento, da correção das curvas da bomba para um escoamento viscoso, para a associação série e paralelo de bombas hidráulicas e para utilização do inversor de frequência em uma instalação de bombeamento.

Nesta nossa primeira aula, vamos abordar as etapas do projeto de uma instalação de bombeamento, bem como os pré-requisitos para o seu estudo.

I. Pensando em pré-requisitos

1. Conceito de fluido e suas propriedades tais como: massa específica (ρ); peso específico (γ); peso específico relativo (γ_r); relação entre peso específico (γ) e massa específica (ρ); viscosidade dinâmica (μ); viscosidade cinemática (ν); relação entre viscosidade dinâmica (μ) e viscosidade cinemática (ν);
2. Conceitos ligados à hidrostática, tais como: conceito de pressão; carga de pressão; pressão em um ponto fluido; teorema de Stevin, equação manométrica; pressão absoluta, pressão efetiva; pressão manométrica, pressão estática, pressão dinâmica; relação entre pressão absoluta e pressão efetiva e conceito de pressão de vapor.
3. Conceitos ligados ao escoamento incompressível, unidirecional, e em regime permanente, tais como: equação da conservação em massa; escoamento laminar, transição e turbulento; cálculo da velocidade média do escoamento, equação de Bernoulli; tipos de máquinas hidráulicas; equação da energia; tipos de potências; cálculo do rendimento da máquina hidráulica e balanço de potências e determinação da vazão de forma indireta utilizando Pitot, Venturi, Placa de orifício e bocal convergente.
4. Conceitos ligados ao teorema dos π e semelhança, como por exemplo: adimensionais característicos das bombas hidráulicas: coeficiente manométrico e coeficiente de vazão; número de Reynolds; número de Euler, etc...
5. Classificação da perda de carga: perda distribuída e perda singular e seus cálculos e conceito de comprimento equivalente.

II. Pensando nas etapas do projeto da instalação de bombeamento

1. Primeira etapa: dados iniciais

- 1.1 Fluido e temperatura de escoamentos, já que isto possibilita determinação da massa específica (ou peso específico), da viscosidade dinâmica (ou viscosidade cinemática) e da pressão de vapor.

1.2 Condições de captação e de descarga já que isto possibilita determinação da CARGA TOTAL INICIAL ($H_{\text{inicial}} = H_{\text{captação}}$) e da CARGA TOTAL FINAL (H_{final}), lembrando que:

$$H_x = Z_x + \frac{P_x}{\gamma} + \frac{y_x \alpha_x v_x^2}{2g}$$

H_x = carga total numa seção (x) do escoamento incompressível, unidirecional e em escoamento em regime permanente.

1.3 Vazão Desejada \rightarrow Q

2. **Segunda etapa** : dimensionamento das tubulações, onde sempre iniciamos especificando o material adequado para a mesma e isto é estabelecido em função do fluido que será transportado e sua temperatura. O dimensionamento se inicia com a tubulação após a bomba hidráulica, já que para a tubulação antes da mesma se adota um diâmetro comercial imediatamente superior. Neste dimensionamento geralmente recorremos à equação: $Q = v \times A$, onde v é a velocidade médio, que neste caso é a velocidade econômica.
3. **Terceira etapa**: Esboço da instalação de bombeamento, já que ele permite estabelecer os comprimentos das tubulações (L) e os seus acessórios hidráulicos; isto além de estabelecer os Δz entre seção final e inicial e/ou a cota crítica da instalação considerada.
4. **Quarta etapa**: obtenção da equação da curva característica da instalação (CCI), que é obtida, no caso de uma instalação de uma entrada e uma saída, aplicando-se a equação da energia entre a seção inicial e final, onde substituímos a velocidade

média do escoamento (v) pela relação $v = \frac{Q}{A}$, onde a vazão será a variável

independente, portanto: $H_{\text{inicial}} + H_{\text{sistema}} = H_{\text{final}} + H_{\text{perdas totais}}$, onde:

H_{sistema} = carga necessária do fluido para que o mesmo percorra a instalação considerada com uma vazão Q, esta carga, com exceção do escoamento em queda livre, será fornecida pela bomba hidráulica – $H_s = f(Q)$. Para a determinação da carga do sistema é fundamental se acertar o cálculo da perda de carga total e para tal devemos saber classificá-la e calculá-la.

Observações:

1. Cálculo das perdas: distribuída e singular (ou localizada)

A perda de carga distribuída geralmente é calculada pela fórmula universal também denominada de fórmula de Darcy ou de Darcy Weisbach:

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}, \text{ onde:}$$

h_f = perda de carga distribuída (m)

f = coeficiente de perda de carga distribuída (adimensional)

L = comprimento do tubo = seção constante **sem** acessório hidráulico nenhum (m)

D_H = diâmetro hidráulico que para tubos forçados de seção transversal circular é

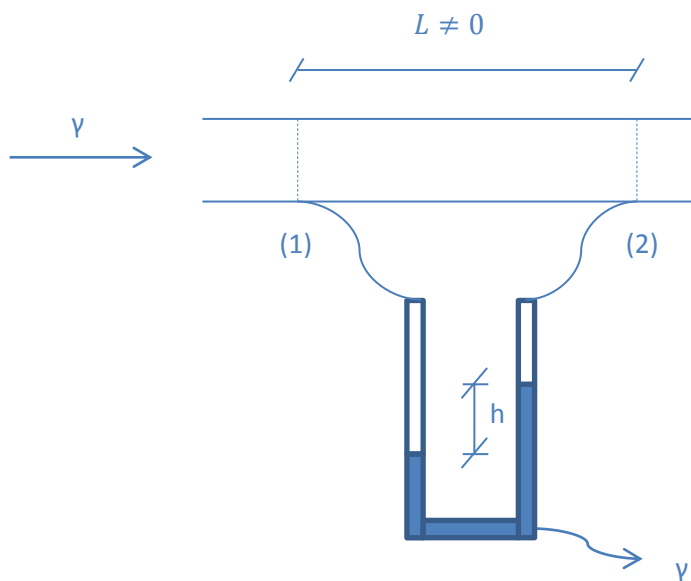
igual ao D_{interno} e o seu cálculo será sempre: $D_H = 4 \times \frac{A}{\sigma}$, onde A = área

da seção formada pelo fluido e σ = perímetro molhado que é formado pelo contato do fluido com superfície sólida (m)

v = velocidade média do escoamento.

g = a aceleração da gravidade, que para nossas aplicações na América Latina será adotada igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

2. Na primeira aula de laboratório estaremos determinando experimentalmente o “ f ” e para tal, devemos considerar o esquema a seguir, já que:



$$H_1 = H_2 + h_{f_{1-2}}$$

$$h_{f_{1-2}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = h \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\text{tan que}}}{t} \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

$$f = \frac{h_{f_{1-2}} \times D_H \times 2g}{L \times v^2}$$

Importante observar que para **somente** existir a perda distribuída (h_f) é necessário que o tubo apresente um comprimento (L) diferente de zero, que tenha a área da seção transversal constante e não tenha, no trecho considerado, nenhum acessório hidráulico.

Já a perda localizada ou singular (h_s) pode ser calculada por: $h_s = K_s \times \frac{v^2}{2g}$, onde:

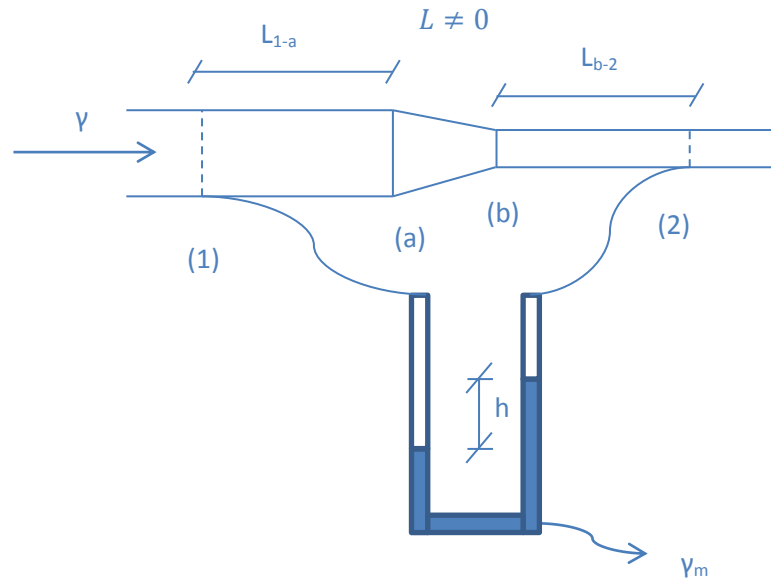
h_s = perda localizada ou singular (m)

K_s = coeficiente de perda de carga singular ou localizada (adimensional)

v = velocidade média do escoamento (m/s)

g = aceleração da gravidade geralmente (m/s²)

Também na primeira aula de laboratório determinaremos experimentalmente o K_S , porém iremos considerar um trecho onde além da h_s também ocorrerá a perda de carga distribuída, o esboço a seguir representa uma das possibilidades para esta determinação.



$$H_1 = H_2 + H_{p1-2}$$

$$H_{p1-2} = h_{f_{1-a}} + h_{s_{a-b}} + h_{f_{b-2}}$$

$$H_{p1-2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2 - \alpha_2 \times v_2^2}{2g}$$

$$Q = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t} \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

Nas determinações anteriores estabeleceremos que a vazão seja a mesma tanto na determinação do “ f ” como na determinação do “ K_S ” já que isto facilitará a determinação dos mesmos.

5. **Quinta etapa:** escolha preliminar da bomba, portanto, após ter escolhido o(s) fabricante(s) da bomba e ter especificado a **vazão de projeto** (vazão desejada multiplicada por um fator de segurança que é no mínimo 10%) especificamos a **carga manométrica de projeto** ($H_{B_{\text{projeto}}}$) o que possibilita a escolha da bomba e a obtenção das suas curvas **características** (CCB) e através dela a especificação do diâmetro do rotor da bomba e do seu ponto de trabalho, que é obtido no cruzamento da CCB com a CCI e onde lemos e calculamos ($Q_{\tau}, H_{B_{\tau}}, \eta_{B_{\tau}}, N_{B_{\tau}}$ e $NPSH_{\text{requerido}}$).

6. **Sexta etapa:** Verificação do fenômeno da cavitação, que seria a vaporização e condensação do fluido na mesma temperatura do escoamento só devido à variação de pressão.
7. **Sétima etapa:** cálculo do custo de operação.

É importante ressaltar que as CCB são obtidas para a H₂O (em certas condições de pressão e temperatura) e se o fluido a ser bombeado não água, deve-se saber se há, ou não, a necessidade de correção das curvas que constituem a CCB, isto será analisado classificando o fluido em “viscoso ou não” na verdade isto é feito comparando a sua viscosidade com uma viscosidade de referência, se ela for maior é considerado “viscoso” e corrigimos as curvas, se for menor não a necessidade de corrigi-las, sendo a única execução a curva $N_B = f(Q)$, já que esta é fornecida para a água à cerca de 4^oC.

Proponho o exercício a seguir, que deverá ser resolvido e entregue ao final da primeira aula de laboratório, exercício extraído do livro: OPERAÇÕES UNITÁRIAS – VOLUME II – FLUIDOS NA INDÚSTRIA escrito pelo professor Reynaldo Gomide.

Exercício 1: A camisa de resfriamento de um reator experimental está sendo alimentada por uma salmoura alcoólica a 20% através de um tubo isolado de cobre com 20,6 mm de diâmetro interno. Num trecho reto e sem válvulas ou qualquer outro acessório hidráulico a salmoura circula a 1^oC e pressão pouco acima da atmosférica. Um manômetro em U ligado em tomadas de pressão distantes 4,5 m uma da outra indica uma perda de carga de 5,9 cm de coluna de água a 20^oC onde

$\rho_{\text{água}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Deseja-se conhecer a vazão da salmoura nestas condições.

Dados: propriedades da salmoura:

$\rho_{\text{salmoura}} = 977,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ e $\mu_{\text{salmoura}} = 5,5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \times \text{s}$