

ME5330 – Oitava aula
Mecânica dos Fluidos para
Engenharia Química

14/04/2009

O que vem a ser o fenômeno de cavitação?

Por que ele geralmente é indesejável?

Evocando que a engenheira e o engenheiro são pessoas aptas a solucionar problemas, é fundamental que saibam responder:

13/04/2009 - v1

Quais os cuidados preliminares a serem adotados na execução de um projeto para evitá-lo?

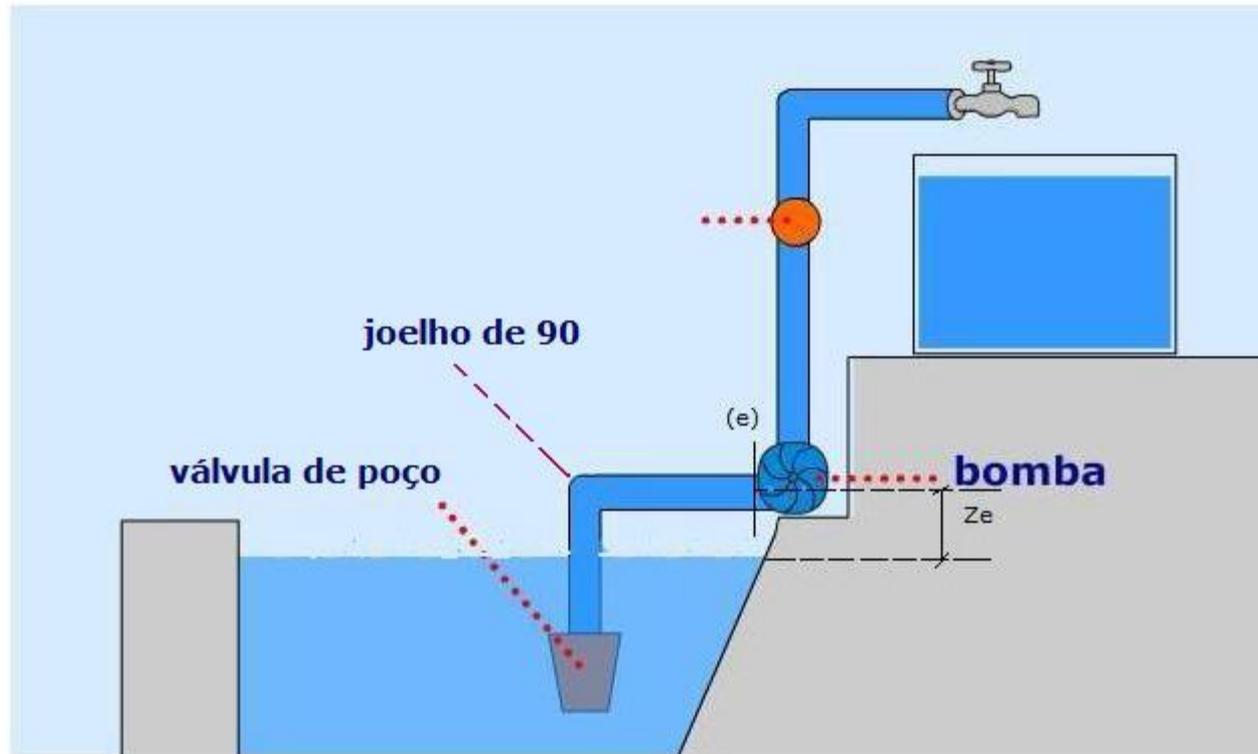
Quando ocorre?



Para que possamos compreender as respostas para estes novos questionamentos, vamos estudar o fenômeno de cavitação, iniciando com o cálculo da pressão na entrada da bomba

Inicialmente estaremos analisando a supercavitação, o que implica dizer, que estaremos analisando o fenômeno na entrada da bomba, para isto devemos conhecer a pressão nesta seção.

Considerando a tubulação de sucção da instalação esquematizada abaixo, determine a pressão de entrada da bomba (p_e)?



Adotando o PHR no nível de captação, temos:

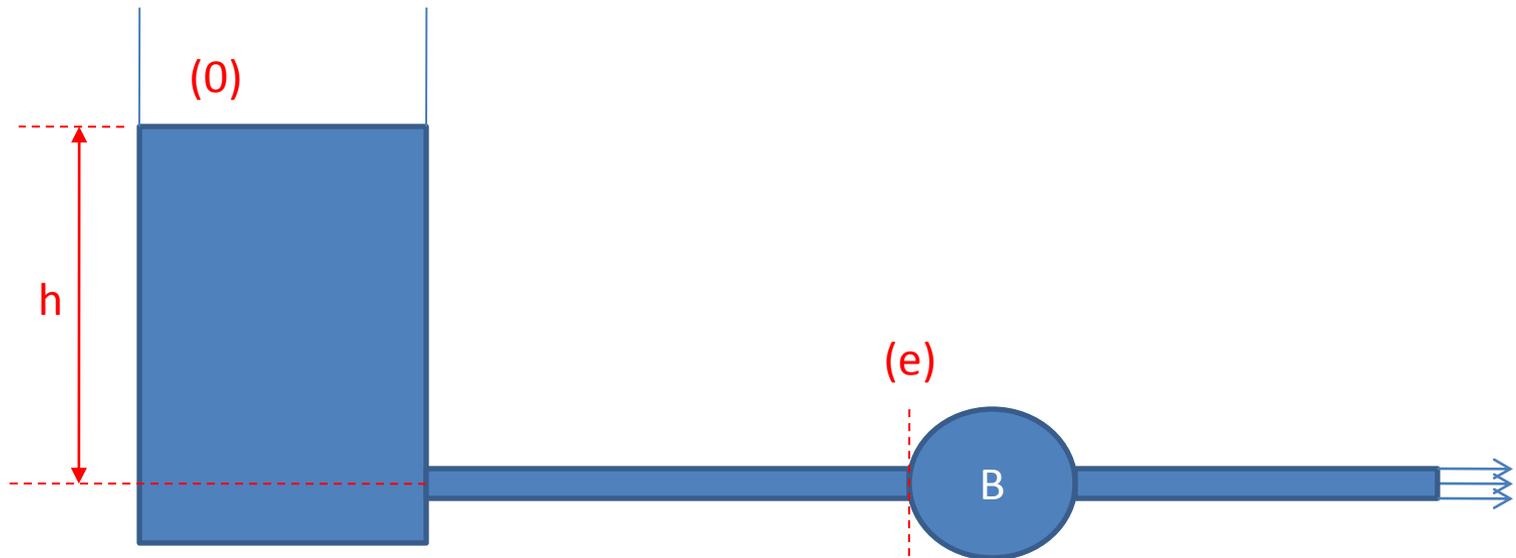
$$P_e = -\gamma \times \left[z_e + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$

Será que a equação anterior pode-se ser aplicada em todas as instalações?

Eu em
1981



Para responder a pergunta anterior, calcule a pressão na entrada da bomba para o esquema a seguir:



Adotando o PHR no nível de captação, temos:

$$P_e = -\gamma \times \left[-h + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$

Conclui-se que não, portanto a pressão de entrada deve ser determinada aplicando-se a equação da energia.



Fenômeno de supercavitação, que é fundamental para a compreensão do fenômeno de cavitação, surge quando a pressão de entrada (p_{eabs}) é menor ou igual a pressão de vapor (p_{vapor}) do fluido, que está sendo bombeado, onde a pressão de vapor é a pressão que para uma dada temperatura do fluido coexistem as fases líquido e vapor.

Se a p_{eabs} ($p_e + p_{atm\ local}$) for menor ou igual a p_{vapor} , tem-se o fenômeno de evaporação (total ou parcial) à temperatura de escoamento, que é considerado o início do fenômeno da cavitação.

Notas:

1 → O fenômeno de cavitação observado na entrada da bomba ($p_{eabs} < p_{vapor}$) é denominado geralmente de supercavitação e é considerado um erro grosseiro do projetista.

2 → A pressão na entrada da bomba não representa o ponto de menor pressão do escoamento, este ocorre no interior do corpo da bomba, o que equivale a dizer que o fato de não ocorrer o fenômeno de cavitação na entrada da bomba não garante que o mesmo não ocorra em seu interior.

Ao considerar as figuras 7.3.a e 7.3.b, verificamos que a bolha de vapor ao ser lançada na direção do difusor da bomba, onde a energia total é maior e a pressão maior que a pressão atmosférica, esta irá sofrer a condensação repentina com grande liberação de energia, ocorrendo a penetração do fluido nos espaços vazios do material (função do tamanho dos grãos) do rotor, podendo promover o "arrancamento" de grãos, que seria uma das consequências da cavitação.

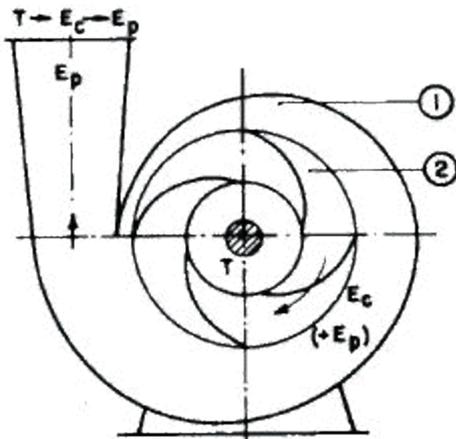


Figura 7.3

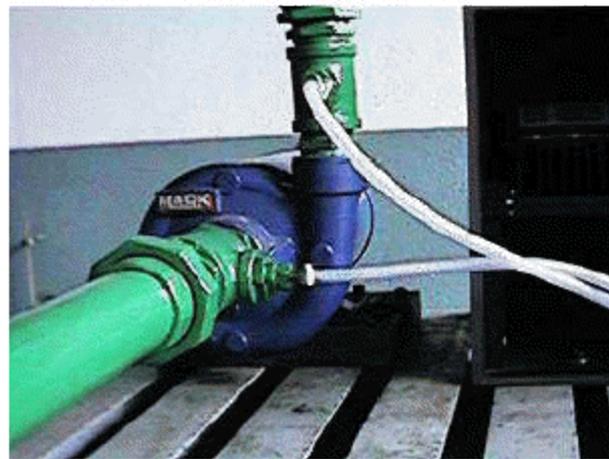
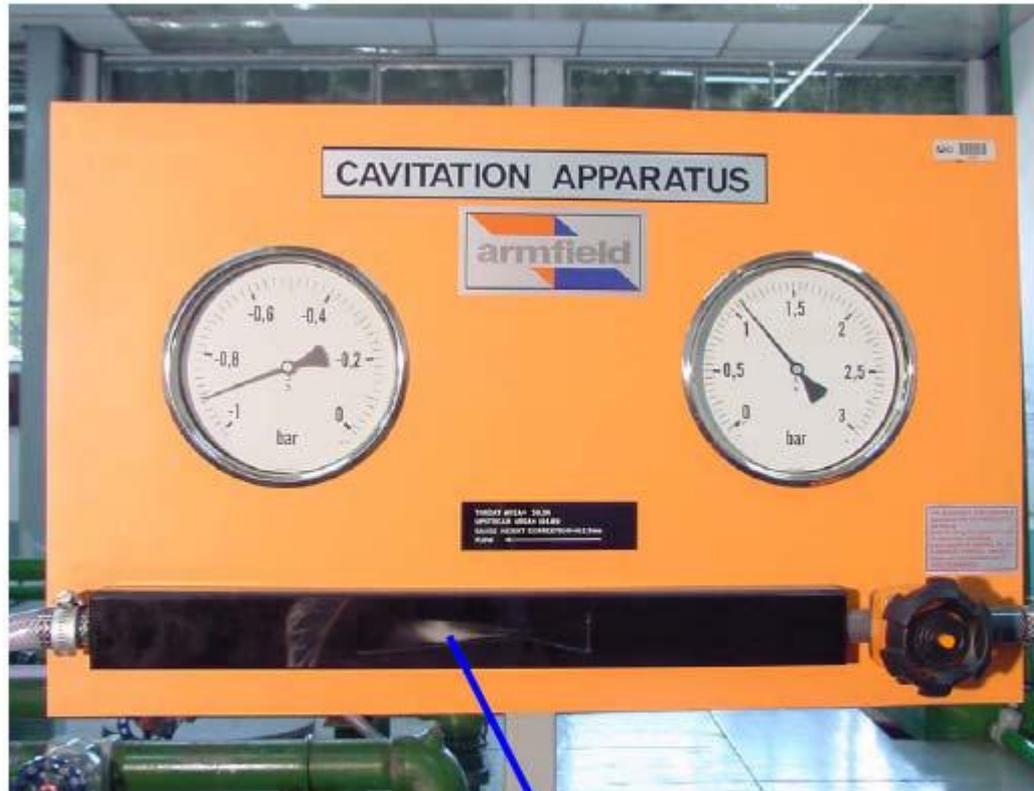


Figura 7.3.b

Visualizando a cavitação



Fenômeno de vaporização

Visualizando a cavitação



Fenômeno de vaporização

O fenômeno de cavitação, geralmente propicia os seguintes problemas:

1º → erosão que originam ruídos

2º → vibrações

3º → diminuição do rendimento

4º → diminuição do tempo vida da bomba.

Pelo fato do fenômeno de cavitação poder comprometer todo o projeto de uma instalação de bombeamento alguns cuidados preliminares devem ser tomados para evitá-lo, cuidados estes onde objetiva-se trazer a p_e o mais perto possível da p_{atm} , ou até mesmo superior a ela.

Considerando a equação abaixo, quais seriam os cuidados que deveriam ser adotados?

$$P_e = -\gamma \times \left[z_e + \frac{v_e^2}{2g} + f \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{eq_{aB}})}{D_H} \times \frac{v_e^2}{2g} \right]$$

Os cuidados adotados para procurar-se evitar o fenômeno de cavitação são:

1º → a bomba deve ser instalada o mais perto possível do nível de captação com a finalidade de diminuir Z_e , ou, se possível, a bomba deve ser instalada abaixo do nível de captação (bomba "afogada") com isto $Z_e < 0$.

2º → a tubulação antes da bomba deve ser a menor possível com a finalidade de diminuir a H_{paB} .

3º → na tubulação antes da bomba devem ser usados os acessórios estritamente necessários com a finalidade de diminuir a H_{paB} .

4º → o diâmetro da tubulação antes da bomba deve ser um diâmetro superior ao diâmetro de recalque com a finalidade, tanto de diminuir a carga cinética de entrada da bomba, quanto diminuir H_{paB} .

5º → o ponto de trabalho da bomba deve estar o mais próximo do ponto de rendimento máximo.

Nota: Por questão de economia, sempre que possível, não se considera o cuidado 4º mencionado acima, já que quanto maior o diâmetro maior o custo da tubulação.

Primeiro teste do aprendizado.

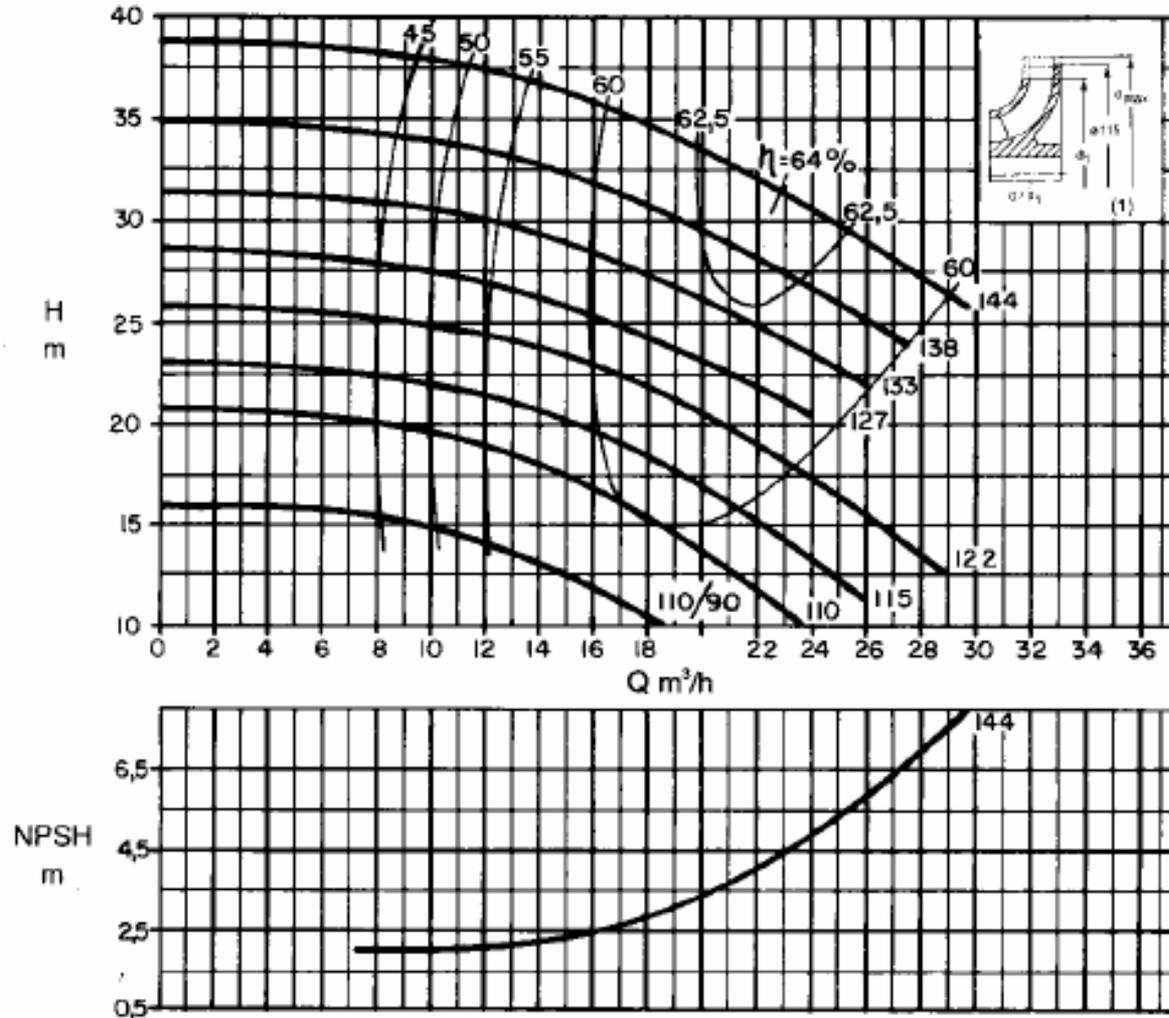
http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/teste_seu_aprendizado1.htm

Verificação do Fenômeno de Cavitação

Como mencionado no item anterior a condição de $p_{eabs} > p_{vapor}$ não é suficiente para garantir a não existência fenômeno de cavitação. Por este motivo, introduzi-se um novo parâmetro denominado de N P S H (Net Positive Suction Head), ou A P L S (Altura Positiva Líquida de Sucção, ou Altura de Sucção Absoluta) e que representa a disponibilidade de energia que o líquido penetra na boca de entrada da bomba e que lhe permitirá atingir o bordo da pá do rotor.

Existem dois NPSH, um fornecido pelo fabricante que é denominado de $NPSH_{requerido}$ e o calculado pelo projetista que é o $NPSH_{disponível}$.

O NPSH_{requerido}



O NPSH_{disponível}

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} = \text{NPSH}_d = H_{e_{\text{abs}}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma}$$

$$\text{NPSH}_d = H_{\text{inicial}_{\text{abs}}} - H_{p_{aB}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma}$$

Supondo seção inicial com nível de reservatório :

$$\text{NPSH}_d = Z_{\text{inicial}} + \frac{p_{\text{inicial}_{\text{abs}}} - p_{\text{vapor}}}{\gamma} - f_{aB} \times \frac{(L_{aB} + \sum L_{e_{aB}})}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q^2_{\text{ponto de trabalho}}}{2g \times A_{aB}^2}$$

$Z_{\text{inicial}} \rightarrow$ obtida adotando-se o PHR no eixo da bomba

0 ideal...

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} - \text{NPSH}_{\text{requerido}} \geq 1,5 \text{ m}$$



7.12.45 A bomba hidráulica utilizada na instalação de recalque, cuja tubulação de sucção é esquematizada abaixo, tem o $NPSH_r = 2,0$ m. Verifique o fenômeno de cavitação. São dados:

$$Q = 4 \frac{\text{L}}{\text{s}}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \text{tubulação de aço 40 com } D_n = 2''$$

fluido água a 20°C ;

$$p_{\text{atm}} = 700 \text{ mmHg}$$

$$\sum L e_{aB} = 44,6 \text{ m}$$

$$p_m = -0,3 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Trecho da instalação do exercício 7.12.45

