

7.8 Cavitação

Nesta unidade, apresentamos o fenômeno de cavitação observado em instalações de bombeamento.

Para que possamos compreender o fenômeno de cavitação, consideramos um trecho de uma dada instalação de bombeamento representado pela figura 7.2, onde calculamos a pressão na entrada da bomba.

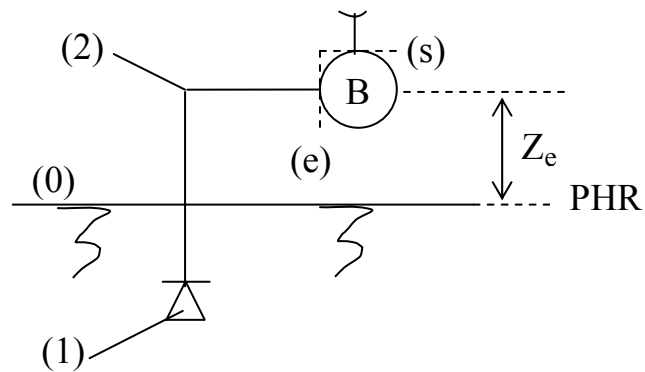


Figura 7.2

Aplicando a equação da energia de (0) a (e), temos:

$$p_e = -\gamma \cdot \left(Z_e + \frac{v_e^2}{2g} + H_{p_{\text{sucção}}} \right) \quad \text{equação 7.6}$$

Através da temperatura de escoamento do fluido, com auxílio de um manual de termodinâmica, podemos determinar a pressão de vapor - p_{vapor} (tensão de vapor), que representa a pressão que para a temperatura de escoamento, teríamos a mudança de líquido para vapor em um processo isobárico.

Se a $p_{e_{\text{abs}}}$ ($p_e + p_{\text{atm}}$) for menor ou igual a p_{vapor} , temos o fenômeno de evaporação à temperatura de escoamento, que é denominado de **cavitação**.

Notas:

- 1 → O fenômeno de cavitação observado na entrada da bomba ($p_{e_{abs}} \leq p_{vapor}$) 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 atmosfera, 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.

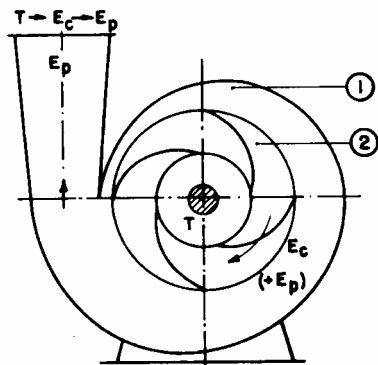


Figura 7.3



Figura 7.3.b

Nota: (1) – carcaça da bomba e (2) é o seu rotor.

O fenômeno de cavitação, geralmente propicia os seguintes problemas:

1° → *erosão*

2° → *vibrações*

3° → *diminuição do rendimento*

4° → *diminuição do tempo vida da bomba ...*

As figuras 7.4 e 7.5 mostram rotores de turbina e de bomba, respectivamente, que foram submetidos ao fenômeno de cavitação durante um dado período.



Figura 7.4

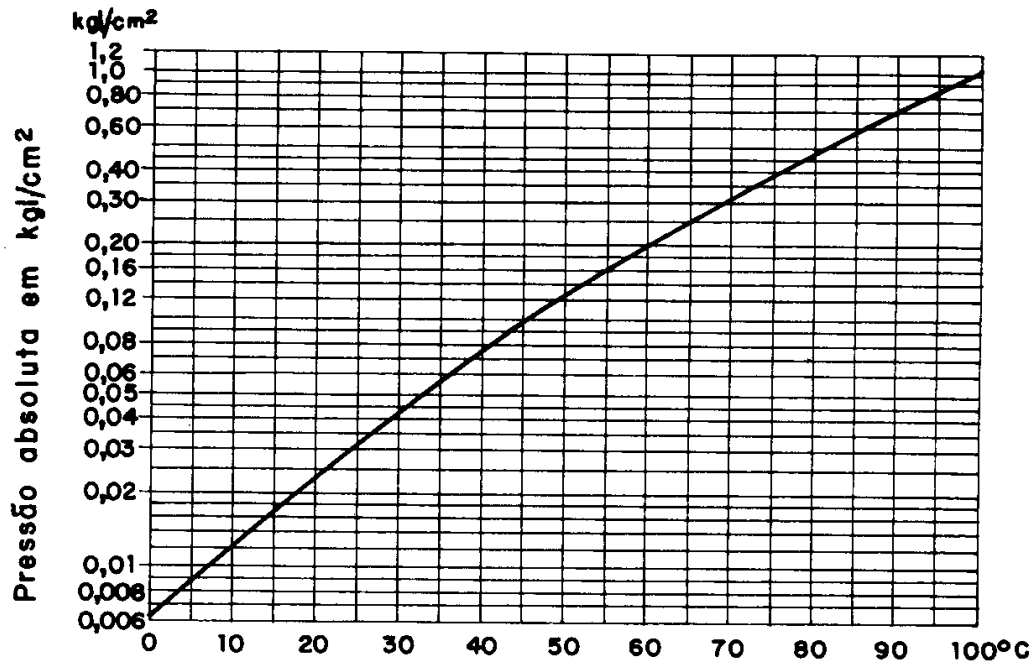
Figura 7.5 →



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 baseados na equação 7.6, onde objetiva-se trazer a p_e o mais perto possível da p_{atm} , ou até mesmo superior a ela.

Nota: O gráfico¹ a seguir fornece as pressões de vapor, na escala absoluta, para a água em temperaturas de 0° C a 100° C

¹ O gráfico foi extraído do livro Bombas e Instalações de Bombeamento (página 198)



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

- 1° → 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 $z_e < 0$.
- 2° → a tubulação de sucção deve ser a menor possível com a finalidade de diminuir a $H_{p_{\text{sucção}}}$.
- 3° → na tubulação de sucção devem ser usados os acessórios estritamente necessários com a finalidade de diminuir a $H_{p_{\text{sucção}}}$.
- 4° → o diâmetro de sucção deve ser um diâmetro superior ao diâmetro de recalque com a finalidade, tanto de diminuir a carga cinética de entrada da bomba, quanto diminuir $H_{p_{\text{sucção}}}$.

5° → 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 4° mencionado acima, já que quanto maior o diâmetro maior o custo da tubulação.

7.9 Verificação do Fenômeno de Cavitação

Como mencionado no item anterior a condição de $p_{e,abs} > p_{vapor}$ 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 \equiv Net Positive Suction Head, ou A P L S \equiv 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 $NPSH_{disponível}$.

Para a verificação do fenômeno, devemos lembrar que:

1° → O NPSH da figura 7.6 representa o $NPSH_{requerido}$

2° → A equação 7.7 possibilita o calculo do $NPSH_{disponível}$, onde a condição necessária e suficiente para que não ocorra o fenômeno de cavitação é: $NPSH_{disponível} > NPSH_{requerido}$, ou $NPSH_{disponível} - NPSH_{requerido} = \text{reserva contra a cavitação}$.

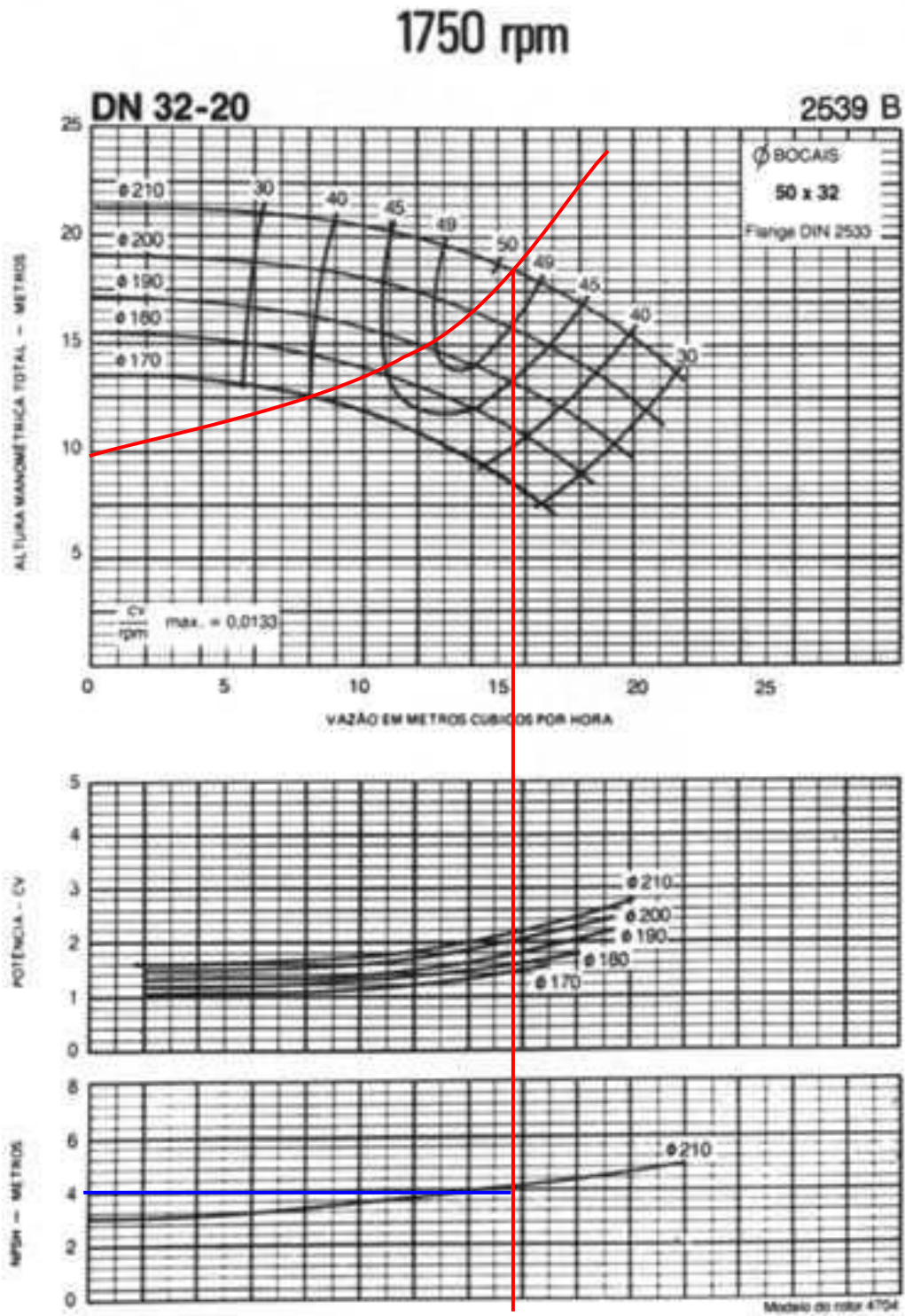


Figura 7.6

$$\begin{aligned} \text{NPSH}_{\text{disponível}} &= \text{NPSH}_d = H_{e_{\text{abs}}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma} \\ \text{NPSH}_d &= H_{0_{\text{abs}}} - H_{p_{\text{sucção}}} - \frac{p_{\text{vapor}}}{\gamma} \\ \text{NPSH}_d &= Z_0 + \frac{p_{0_{\text{abs}}} - p_{\text{vapor}}}{\gamma} - f_s \cdot \frac{(L_s + \sum L_{es})}{D_H} \cdot \frac{v_s^2}{2g} \end{aligned} \quad \text{equação 7.7}$$

onde:

$Z_0 \rightarrow$ obtido com o PHR adotado no eixo da bomba:

$v_s \rightarrow$ velocidade média de sucção obtida com a vazão do ponto de trabalho.

Notas:

1ª \rightarrow Não é nosso objetivo “esgotar” o assunto sobre cavitação, mesmo porque este texto é básico.

2ª \rightarrow Existem fórmulas específicas dos fabricantes para a determinação do $\text{NPSH}_{\text{requerido}}$ para exemplificar este fato fornecemos a fórmula comumente utilizada pela Sulzer:

$$\text{NPSH}_{\text{requerido}} = \text{NPSH}_r = (0,3 \cdot a \cdot 0,5) \times n \times \sqrt{Q}, \text{ onde:}$$

$$n \rightarrow \text{em rps e } Q \rightarrow \text{em } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3ª → Mencionamos a seguir alguns materiais que na ordem crescente resistem ao fenômeno de cavitação:

FºFº → Alumínio → bronze → aço fundido → aço doce laminado → bronze fosforoso → bronze manganês → aço-cromo → ligas de aço inoxidável especiais.

4ª → Atualmente recorre-se a *elastômeros* (neoprene, poliuretano), que são aplicados na forma líquida, aderindo ao metal e aumentando sua resistência a cavitação. Alguns podem, até ser usados na recuperação de rotores cavitados, outro método é através da solda elétrica e em seguida esmerilha-se o rotor.

Nota: Existem situações onde não temos o $NPSH_{requerido}$, que é um parâmetro fundamental para verificarmos o fenômeno de cavitação, nestas situações pode-se recorrer ao *fator de cavitação* ($\sigma \cdot \text{ou} \cdot \theta$), que também é denominado de *fator de cavitação de Thoma*² e através dele determina-se o $NPSH_{requerido}$, já que:

$$NPSH_{requerido} = \sigma \times H_B \quad \text{equação 7.8}$$

O *fator de cavitação de Thoma* pode-se ser determinado em função da rotação específica³:

$$n_s = 3,65 \times \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \quad \text{equação 7.9}$$

² Homenagem ao pesquisador Dieter Thoma

³ Um excelente parâmetro para se especificar o tipo de rotor que propicia um bom rendimento, para tal consulte o livro Bombas e Instalações de Bombeamento – página 171 a 183

onde:

n = rotação da bomba em rpm

Q = vazão do ponto de trabalho em $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

H_B = carga manométrica no ponto de trabalho em m

n_s = rotação específica em rpm

Com a rotação específica na figura 7.7 (gráfico de Stepanoff⁴), obtemos o **fator de cavitação de Thoma** e com ele podemos determinar o $NPSH_{\text{requerido}}$ pela equação 7.8.

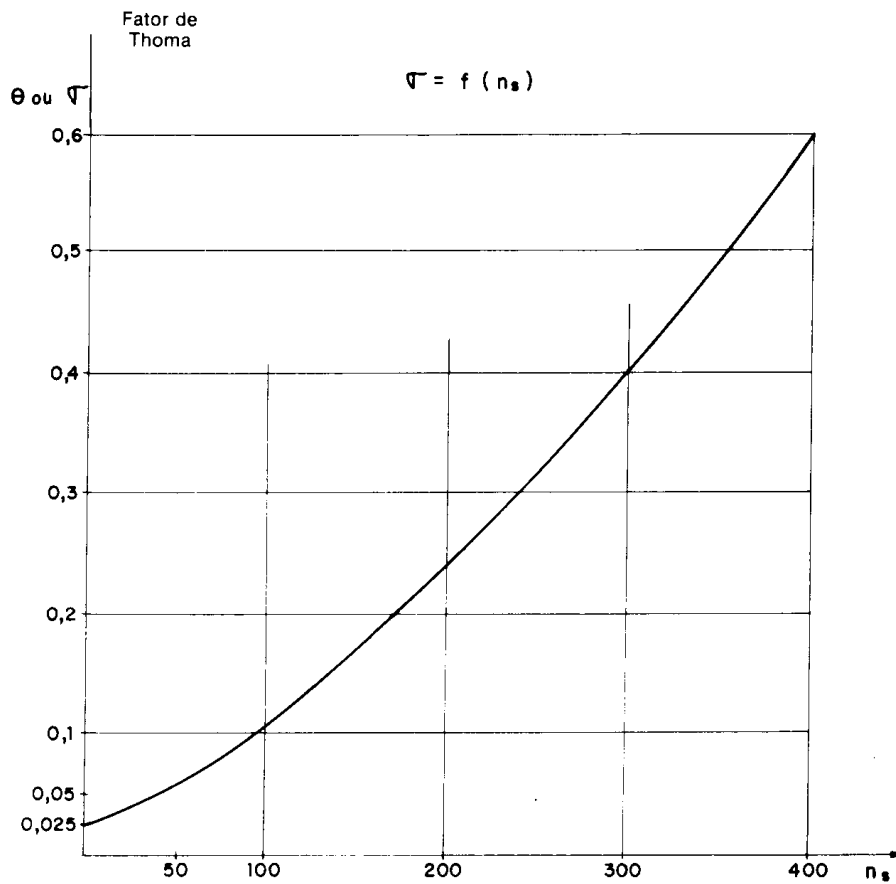


Figura 7.7

⁴ Ibidem – página 193

É importante salientar que existem outras maneiras de determinarmos o *fator de cavitação de Thoma* e uma excelente fonte de consulta é o livro *Bombas e Instalações de Bombeamento* – páginas 192 a 194.

A	mor	C	almo
L	ouco	L	úcido
p	E	A	MIGO
M	undo e	U	nico
tes	Ã	D	e
	O (de)	v	r o
Estar vivo	O	mund	O
			conquistar

Para refletir: **VIDA**⁵

Há alguns anos, nas olimpíadas especiais de Seattle, nove participantes, todos com deficiência mental ou física, alinharam-se para a largada da corrida dos 100 metros rasos. Ao sinal, todos partiram, não exatamente em disparada, mas com vontade de dar o melhor de si, terminar a corrida e ganhar.

Todos, com exceção de um garoto, que tropeçou no asfalto, caiu rolando e começou a chorar. Os outros oito ouviram o choro. Diminuíram o passo e olharam para trás. Então eles viraram e voltaram. Todos eles.

Uma das meninas, com Síndrome de Down, ajoelhou, deu um beijo no garoto e disse: "- Pronto, agora vai sarar". E todos os nove competidores deram-se os braços e andaram juntos até a linha de chegada. O estádio inteiro levantou e os aplausos duraram muitos minutos. E as pessoas que estavam ali, naquele dia, continuam repetindo essa história até hoje.

⁵ Autor desconhecido, ou se alguém o conhecer me envie a informação ralemao@fei.edu.br

Talvez os atletas fossem deficientes mentais... Mas, com certeza, não eram deficientes da sensibilidade...

Por que?

Porque, no fundo, todos nós sabemos que o que importa nesta vida é mais do que ganhar sozinho.

O que importa nesta vida é ajudar os outros a vencer, mesmo que isso signifique diminuir o passo e mudar de curso...

Pensem nisso e tenham um dia diferente...

