

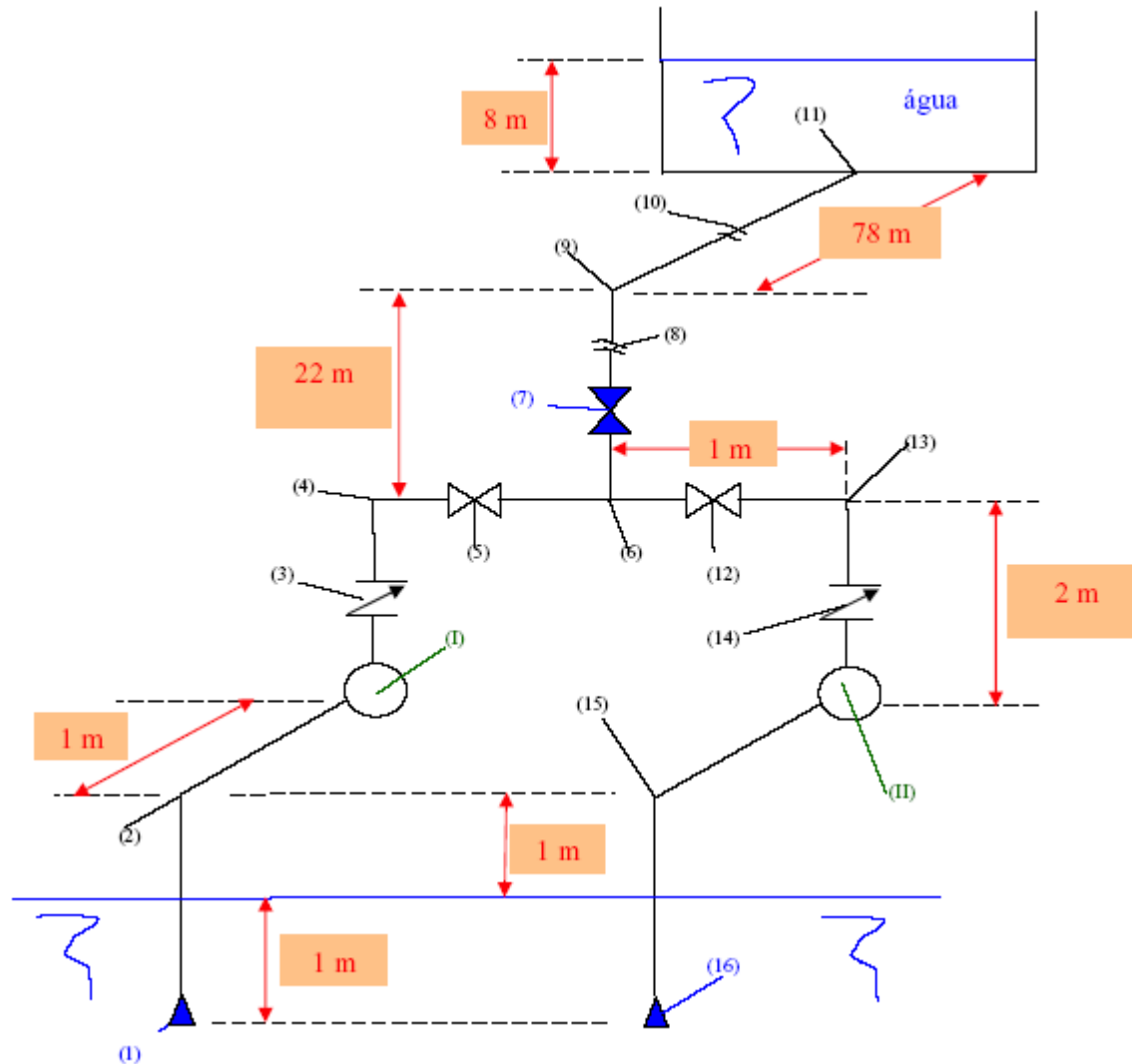
Mecânica dos fluidos para engenharia química

25/05/2010

Associação em paralelo de bombas hidráulicas

Exemplo

Seja a instalação a seguir



- (1) e (16) - válvulas de pé com crivo
- (2), (4), (9), (13) e (15) - joelhos de 90⁰
- (3) e (14) - válvulas de retenção vertical
- (5) e (12) - válvulas gavetas
- 6) - tê
- (7) - válvula globo reta sem guia
- (8) e (10) - representação de corte no desenho da tubulação
- (11) - entrada normal
- (I) e (II) - bombas centrífugas radiais

Nota: Os trechos de (1) a (6) e de (16) a (6) são idênticos e a tubulação é considerada nova.

CCB

Q (m ³ /h)	H _B (m)	η _B (%)	NPSH (m)
0	79		
10	77,3	50,4	5,1
20	69,1	75,4	8,9
30	54,2	68,8	14,2
40	32,7	30,6	21,0

Pede-se:

- o ponto de trabalho para associação em paralelo das bombas;
- a verificação do fenômeno de cavitação para esta nova situação.

Dados: Tubulação de aço 40, que para a sucção tem um diâmetro nominal de 3" ($D_{int} = 77,9 \text{ mm}$ e $A = 47,7 \text{ cm}^2$) e para o recalque tem um diâmetro nominal de 2,5" ($D_{int} = 62,7 \text{ mm}$ e $A = 30.9 \text{ cm}^2$), peso específico da água a 20°C , aceleração da gravidade igual a $9,8 \text{ m/s}^2$ e pressão barométrica igual a 700 mmHg.

Solução

Trata-se de uma instalação com duas entradas e uma saída, adotando-se o PHR nos níveis de captação, tem-se:

$$\gamma \times Q_{ap} \times H_{s_{ap}} = \gamma \times Q_{ap} \times H_{distribuição} + 2 \times \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{p_{3''}} + 2 \times \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{p_{dB-6}} + \gamma \times Q_a \times H_{p_{6-11}}$$

Dividindo-se todos os membros por $\gamma \times Q_a$ resulta:

$$H_{sa} = H_{distribuição} + H_{p_{3''}} + H_{p_{depoisda bomba até 6}} + H_{p_{6-11}}$$

$$H_{p_{3''}} \rightarrow \text{calculado para } \frac{Q_a}{2}$$

$$H_{p_{depoisda bomba até 6}} \rightarrow \text{calculado para } \frac{Q_a}{2}$$

$$H_{p_{6-11}} \rightarrow \text{calculado para } Q_a$$

$$H_{\text{distribuição}} = 33\text{m}$$

$$H_{p_{3''}} = f_{3''_{Q_{a/2}}} \times \frac{(3 + 32 + 2,82)}{0,0779} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times \left(47,7 \times 10^{-4}\right)^2} = f_{3''_{Q_{a/2}}} \times 272164,4 \times Q_a^2$$

$$H_{p_{2,5''_{\text{dB-6}}}} = f_{2,5''_{Q_{a/2}}} \times \frac{(3 + 32 + 2,35 + 1,03)}{0,0627} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times \left(30,9 \times 10^{-4}\right)^2} = f_{2,5''_{Q_{a/2}}} \times 817719,6 \times Q_a^2$$

$$H_{p_{2,5''_{6\text{-dist}}}} = f_{2,5''_{Q_a}} \times \frac{(100 + 3,43 + 21,38 + 2,35 + 0,9)}{0,0627} \times \frac{(Q_a)^2}{2 \times 9,8 \times \left(30,9 \times 10^{-4}\right)^2} = f_{2,5''_{Q_a}} \times 10913723,0 \times Q_a^2$$

$$H_{S_{\text{ap}}} = 33 + 2 \times f_{3''_{Q_{a/2}}} \times 272164,4 \times Q_a^2 + 2 \times f_{2,5''_{Q_{a/2}}} \times 817719,6 \times Q_a^2 + f_{2,5''_{Q_a}} \times 10913723,0 \times Q_a^2$$

$$H_{S_{\text{ap}}} = 33 + f_{3''_{Q_{a/2}}} \times 544328,8 \times Q_a^2 + f_{2,5''_{Q_{a/2}}} \times 1635439,2 \times Q_a^2 + f_{2,5''_{Q_a}} \times 10913723,0 \times Q_a^2$$

Dados para a determinação dos coeficientes de perda de carga distribuída

propriedades do fluido transportado					
temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	p_v (Pa)	ν (m ² /s)
20		1,00E-03	998,2		1,004E-06

propriedades do local		
g =	9,8	m/s ²
patm =		Pa

mat. tubo aço			
	espessura	Dint (mm)	A (cm ²)
	40	62,7	30,9
		77,9	47,7
	K(m)	DH/k	
	4,80E-05	1306	
			16229

A partir deste ponto se determina os coeficientes de perda de carga distribuída e traçam-se a CCI e a CCB para obtenção do ponto de trabalho.

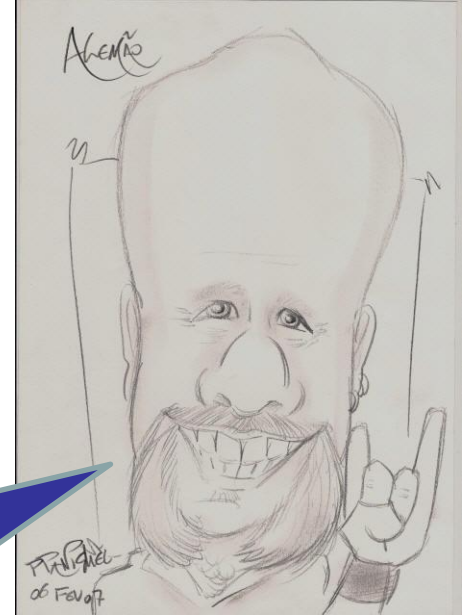
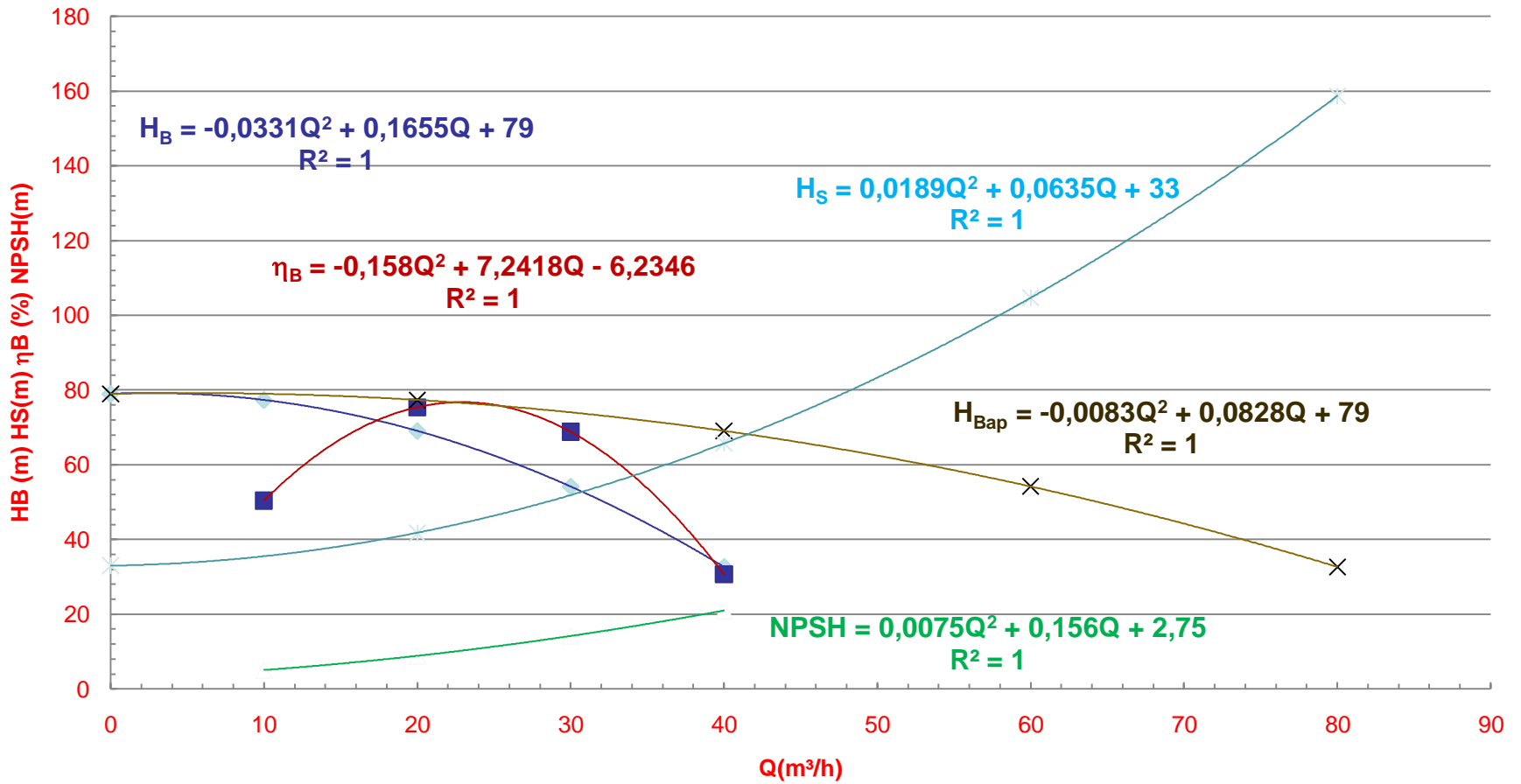


Tabela de resultados

Q (m ³ /h)	Q _{ap} (m ³ /h)	H _B (m)	η _B (%)	NPSH (m)	f _{3"Qa/2}	f _{2,5"Qa/2}	f _{2,5"Qa}	H _s (m)
0	0	79			0	0	0	33
10	20	77,3	50,4	5,1	0,0234	0,0231	0,0212	41,7
20	40	69,1	75,4	8,9	0,0212	0,0212	0,0201	65,7
30	60	54,2	68,8	14,2	0,0202	0,0205	0,0196	104,7
40	80	32,7	30,6	21,0	0,0197	0,0201	0,0193	158,7



- ◆ HB (m)
- × Associação em paralelo
- Polinômio (rendimento)
- Polinômio (CCI)
- rendimento
- × CCI
- Polinômio (NPSH)
- △ NPSH
- Polinômio (Associação em paralelo)

Ponto de trabalho da associação em paralelo

$$H_S = H_{B_{ap}}$$

$$0,0189 \times Q^2 + 0,0635 \times Q + 33 = -0,0083 \times Q^2 + 0,0828 \times Q + 79$$

$$0,0272 \times Q^2 - 0,0193 \times Q - 46 = 0$$

$$\therefore Q_\tau = \frac{0,0193 + \sqrt{0,0193^2 + 4 \times 0,0272 \times 46}}{2 \times 0,0272} \rightarrow Q_\tau \cong 41,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0189 \times 41,3^2 + 0,0635 \times 41,3 + 33 \rightarrow H_{B_\tau} \cong 67,9\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,0158 \times 41,3^2 + 7,2418 \times 41,3 - 6,2346 \rightarrow \eta_{B_\tau} \cong 23,4\%$$

$$\text{NPSH}_R = 0,0075 \times 41,3^2 + 0,156 \times 41,3 + 2,75 \rightarrow \text{NPSH}_R \cong 22\text{m}$$

$$N_{B_\tau} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left(\frac{41,3}{3600} \right) \times 67,9}{0,234} \rightarrow N_{B_\tau} \cong 32564,6\text{W}$$

Verificação do fenômeno de cavitação

Determinação da pressão de vapor segundo a tabela da KSB

Temperatura °C	Pressão de vapor		Peso específico (kgf/dm ³)
	mm Hg	kgf/cm ²	
15	12,7	0,0174	0,999
20	17,4	0,0238	0,998
25	23,6	0,0322	0,997
30	31,5	0,0429	0,996
35	41,8	0,0572	0,994
40	54,9	0,0750	0,992
45	71,4	0,0974	0,990
50	92,0	0,1255	0,988
55	117,5	0,1602	0,986
60	148,8	0,2028	0,983
65	186,9	0,2547	0,981
70	233,1	0,3175	0,978
75	288,5	0,3929	0,975
80	354,6	0,4828	0,972
85	433,0	0,5894	0,969
90	525,4	0,7149	0,965
95	633,7	0,8620	0,962
100	760,0	1,0333	0,958
105	906,0	1,2320	0,955
110	1075,0	1,4609	0,951
115	1269,0	1,7260	0,947
120	1491,0	2,0270	0,943

Verificação da cavitação para uma das bombas

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = z_{\text{inicial}} + \frac{P_{\text{inicial}_{\text{abs}}} - P_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{p_{\text{aB}}}$$

$$z_{\text{inicial}} = -2\text{m}$$

$$P_{\text{inicial}_{\text{abs}}} = 700\text{mmHg} \cong 93325,7\text{Pa}$$

$$P_{\text{vapor}} = 0,0238 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} (\text{abs}) \cong 2332,4\text{Pa}$$

$$H_{p_{\text{aB}}} = 0,0211 \times 272164,4 \times \left(\frac{41,3}{(3600)} \right)^2 \cong 0,756\text{m}$$

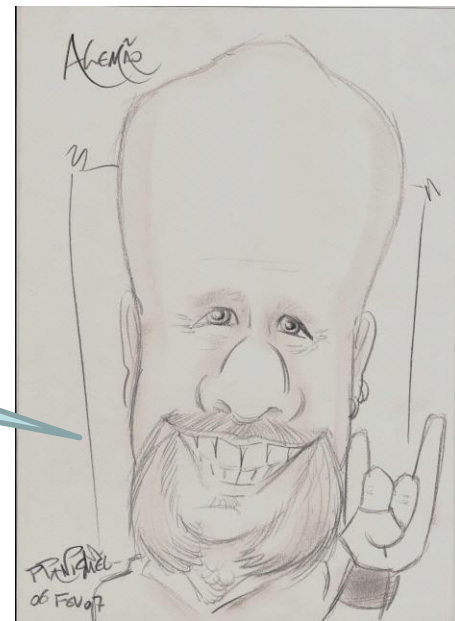
$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = -2 + \frac{93325,7 - 2332,4}{998,2 \times 9,8} - 0,756 \rightarrow \text{NPSH}_{\text{disp}} \cong 6,5\text{m}$$

Verificação do fenômeno

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} - \text{NPSH}_{\text{req}} = 6,5 - 22$$

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} - \text{NPSH}_{\text{req}} = -15,5\text{m}$$

Está ocorrendo o fenômeno de cavitação



Extra

Escreva a equação da CCI para o funcionamento de uma única bomba e compare com a CCI da associação em paralelo.