

Exercícios

- 1) Duas bombas iguais estão associadas em série para o bombeamento d'água a 30°C ($\rho = 996 \text{ kg/m}^3$ e $p_{\text{vapor_abs}} = 0,0429 \text{ kgf/cm}^2$). Sendo dados:

$$H_B = 54 - 0,0250 \times Q^2$$

$$\eta_B = -0,0870 \times Q^2 + 4,5 \times Q$$

a. CCB da bomba: $NPSH_{\text{req}} = 7,5 - 0,00250 \times Q^2$

$$[Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{h}}; [H_B] = [NPSH_{\text{req}}] = \text{m}; [\eta_B] = \%$$

b. CCI da instalação operando com as bombas associadas em série:
 $H_S = 65 + 0,0300 \times Q^2$.

- a. Pede-se o ponto de trabalho ($Q_\tau; H_{B_\tau}; \eta_{B_\tau}; N_{B_\tau}$) da associação e de cada bomba na associação.
- b. Sabendo que para a situação de operação do item a) a perda de carga na tubulação antes da primeira bomba é dada por $H_{p_{aB1}} = 6 \times 10^{-3} \times Q^2 \Rightarrow [H_{p_{aB1}}] = \text{m}; [Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, que ela está instalada a 3,2 m acima do nível de captação que está submetido a pressão barométrica igual a 93200 Pa, pede-se verificar a existência, ou não do fenômeno de cavitação.

Solução

- a. O ponto de trabalho ocorre no cruzamento da CCI com a CCB, no caso da associação em série das bombas, temos:

$$2 \times (54 - 0,0250 \times Q_{\text{as}_\tau}^2) = 65 + 0,0300 \times Q_{\text{as}_\tau}^2$$

$$108 - 0,05 \times Q_{\text{as}_\tau}^2 = 65 + 0,0300 \times Q_{\text{as}_\tau}^2$$

$$0,08 \times Q_{\text{as}_\tau}^2 = 43 \therefore Q_{\text{as}_\tau} = \sqrt{\frac{43}{0,08}} \cong 23,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow (0,75)$$

$$H_{B_{\text{as}_\tau}} = 108 - 0,05 \times 23,2^2 \cong 81,1\text{m} \Rightarrow (0,50)$$

Como é a associação em série de duas bombas iguais, temos que o rendimento da associação e das bombas na associação é o mesmo, portanto:

$$\eta_{B_{as\tau}} = \eta_B = -0,087 \times 23,2^2 + 4,5 \times 23,2 \cong 57,6\% \Rightarrow 0,75$$

A vazão das bombas na associação é a mesma, portanto no ponto de trabalho igual a 23,2 m³/h (0,25), já a carga manométrica seria a metade, isto porque:

$$H_{B_{as}} = H_B + H_B = 2 \times H_B \Rightarrow \text{bombas iguais}$$

$$H_B = \frac{81,1}{2} \cong 40,55\text{m} \Rightarrow (0,5)$$

Para o cálculo da potência da associação, temos:

$$N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B} = \frac{996 \times 9,8 \times \left(\frac{23,2}{3600}\right) \times 40,55}{0,576} \cong 4428,3\text{W} \Rightarrow (0,5)$$

$$N_{B_{as}} = 2 \times N_B \cong 8856,6\text{W} \Rightarrow (0,25)$$

- b. Para se verificar o fenômeno de cavitação, devemos calcular o NPSH_{disponível} e este deve ser maior que o NPSH_{requerido} isto para existir uma reserva contra a cavitação.

$$NPSH_d = z_i + \frac{P_{i_{abs}} - P_{vapor}}{\gamma} - H_{p_{aB}}$$

$$NPSH_d = -3,2 + \frac{93200 - 0,0429 \times 10^4 \times 9,8}{996 \times 9,8} - 6 \times 10^{-3} \times 23,2^2 \cong 2,6\text{m} \Rightarrow (1,5)$$

$$NPSH_d - NPSH_r = 2,6 - \left(7,5 - 0,00250 \times 23,2^2\right) \cong -3,6\text{m} \Rightarrow (1,0)$$

$$\therefore \text{está cavitando} \Rightarrow (1,0)$$

2) Duas bombas iguais (figura 16.12) são instaladas em série, em um sistema no qual há uma diferença de nível de 60 m. Sabendo-se que os níveis de captação e distribuição encontram-se abertos à pressão atmosférica e que para uma vazão de 180 m³/h a carga do sistema é igual a 108,6 m, pede-se:

- a vazão e a carga manométrica da associação em série das bombas;
- a vazão e a carga manométrica de cada bomba na associação;
- a vazão e a carga manométrica de uma bomba funcionando isoladamente.

Observações: considere o coeficiente de perda de carga distribuída invariável com a vazão, considere desprezível a variação da equação da CCI para o funcionamento da associação de bombas e o funcionamento isolado de uma única bomba.

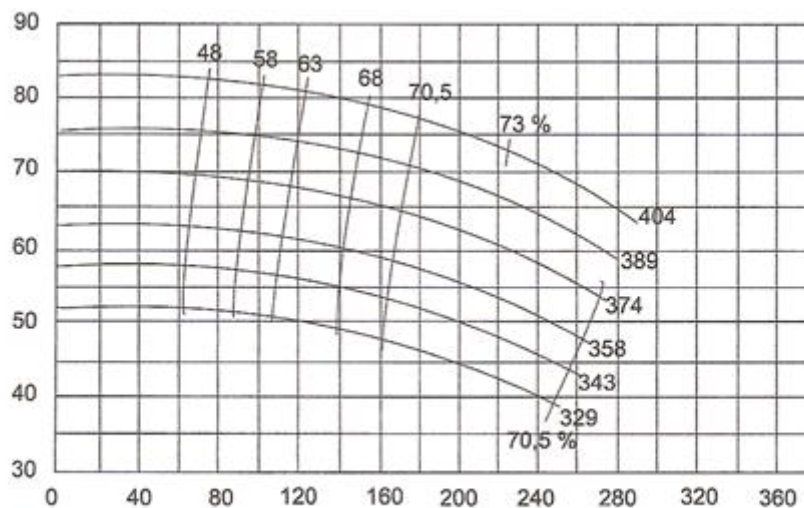


Figura 16.12 – Curva de desempenho da bomba KSB Etanorm 100-400.

Solução

a. $H_S = H_{est} + B_{inst} \times Q^2$

$H_{est} = 60\text{m} \therefore H_S = 60 + B_{inst} \times Q^2$

Para a vazão de 180m³/h a carga do sistema é igual a 108,6m,

portanto: $108,6 = 60 + B_{inst} \times 180^2 \Rightarrow B_{inst} \cong 1,5 \times 10^{-3} \frac{\text{h}^2}{\text{m}^5} \Rightarrow (1,0)$ e aí

temos a equação da CCI: $H_S = 60 + 1,5 \times 10^{-3} \times Q^2$.

Para a associação em série das bombas e como elas são iguais, temos:

Q(m ³ /h)	0	40	80	120	160	200	240	280
H _s (m)	60	62,4	69,6	81,6	98,4	120	146,4	177,6

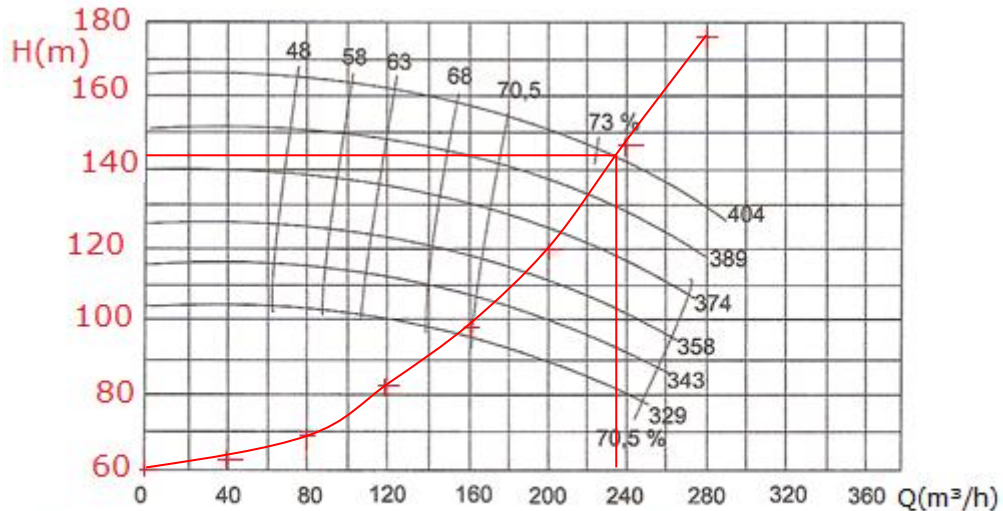


Figura 16.12 – Curva de desempenho da bomba KSB Etanorm 100-400.

A vazão de trabalho pode ser lida no gráfico e seria aproximadamente 237 m³/h e aí podemos determinar a carga manométrica pela equação da CCI, isto porque no ponto de trabalho, temos: $H_s = H_{Bas}$, portanto:

$$H_{B_{as}} = 60 + 1,5 \times 10^{-3} \times 237^2 = 144,3 \text{ m}.$$

Outra maneira de se determinar o ponto de trabalho, seria obtendo a equação da CCB ($H_{B_{as}} = A \times Q^2 + B \times Q + C$) e aí temos:

1. para $Q=0$ m³/h temos $H_{Bas} = 176$ m, portanto: $C = 176$ m;

2. para $Q=130$ m³/h temos $H_{Bas} = 160$ m, portanto:

$$160 = A \times 130^2 + B \times 130 + 176 \Rightarrow -16 = A \times 130^2 + B \times 130$$

$$\frac{-16}{130} = A \times 130 + B \therefore B = -0,1231 - 130 \times A$$

3. para $Q=200$ m³/h temos $H_{Bas} = 150$ m, portanto:

$$150 = A \times 200^2 + B \times 200 + 176 \Rightarrow -26 = A \times 200^2 + (-0,1231 - 130 \times A) \times 200$$

$$-1,38 = A \times 14000 \therefore A \cong -9,86 \times 10^{-5} \frac{\text{h}^2}{\text{m}^5} \Rightarrow B = -0,1231 - 130 \times -9,86 \times 10^{-5}$$

$$B \cong -0,1103 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \Rightarrow H_{B_{as}} = -9,86 \times 10^{-5} \times Q^2 - 0,1103 \times Q + 176$$

No ponto de trabalho temos $H_S = H_{B_{as}}$:

$$60 + 1,5 \times 10^{-3} \times Q^2 = -9,86 \times 10^{-5} \times Q^2 - 0,1103 \times Q + 176$$

$$1,5986 \times 10^{-3} \times Q^2 + 0,1103 \times Q - 116 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{-0,1103 + \sqrt{0,1103^2 + 4 \times 1,5986 \times 10^{-3} \times 116}}{2 \times 1,5986 \times 10^{-3}} \cong 237,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow (1,0)$$

$$H_{B_{as}} = 60 + 1,5 \times 10^{-3} \times 237^2 = 144,3 \text{m} \Rightarrow (1,0)$$

b. Cada bomba na associação opera com a mesma vazão, portanto 237,1 m³/h e com a carga manométrica pela metade, ou seja:

$$H_B = \frac{H_{B_{as}}}{2} = \frac{144,3}{2} \cong 72,15 \text{m} \Rightarrow (1,0)$$

c. Como a CCI não muda para o funcionamento de uma só bomba, temos:

Q(m ³ /h)	0	40	80	120	160
H _s (m)	60	62,4	69,6	81,6	98,4

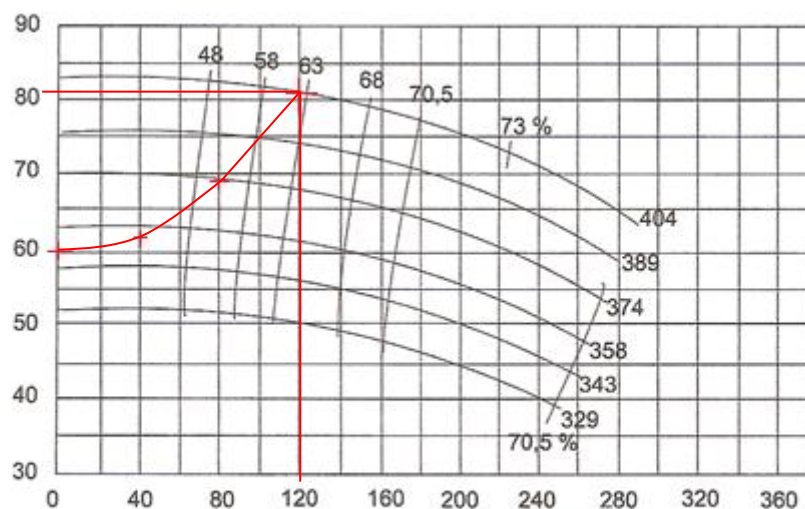


Figura 16.12 – Curva de desempenho da bomba KSB Etanorm 100-400.

(1,0)

A vazão de trabalho pode ser lida no gráfico e seria $120 \text{ m}^3/\text{h}$ e como esta vazão está na tabela fica fácil a determinação da carga manométrica que seria $81,6 \text{ m}$. (2,0)