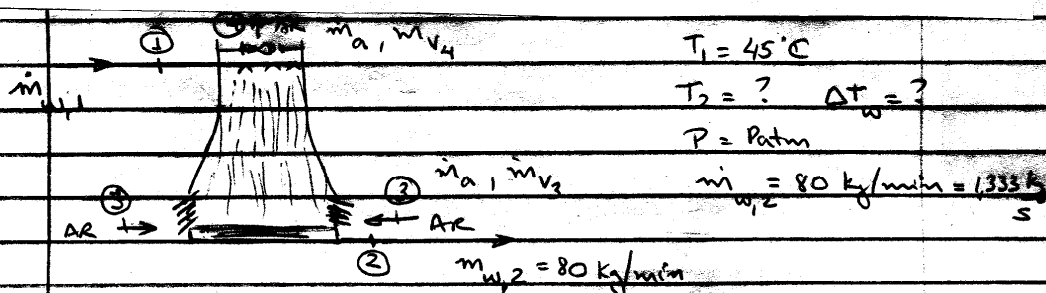


RESOLUÇÃO

EM672 A - SISTEMAS FLUIDO-TÉRMICOS I

1ª. Prova - 22/04/2010

1. (2,0) Água líquida a 45 °C entra em uma torre de resfriamento operando em estado estacionário. Água resfriada deixa a torre com vazão mássica de 80 kg/min. Não existe adição de água de reposição nessa torre. Um ventilador localizado no interior da torre aspira ar a 17 °C e 60 % de umidade relativa à uma vazão de 110 m³/min. Ar saturado deixa a torre a 30 °C. A pressão atmosférica no local é igual a 1 atm (101,325 kPa). Desprezando as perdas de energia através das paredes da torre e as variações de energia cinética e energia potencial, determine a variação de temperatura da água ao atravessar a torre.



AR ENTRADA (3) $\left\{ \begin{array}{l} T_3 = 17^\circ\text{C} \\ \phi_3 = 60\% \\ Q_3 = 110 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \end{array} \right. \Rightarrow \text{CONST} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} w_3 = 7,25 \text{ g/kg} \\ v_3 = 0,832 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_3 = 35 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$

AR SAÍDA (4) $\left\{ \begin{array}{l} T_4 = 30^\circ\text{C} \\ \phi_4 = 100\% \end{array} \right. \Rightarrow \text{CONST} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} w_4 = 27,2 \text{ g/kg} \\ h_4 = 100 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$

$T_1 = 45^\circ\text{C} \rightarrow h_{f,1} = 188,45 \text{ kJ/kg}$

$\dot{m}_a = \frac{Q_3}{v_3} = 2,204 \text{ kg/s}$

Balanco de massa: $\dot{m}_a w_3 + \dot{m}_{\text{evap}} = \dot{m}_a w_4$

$\Rightarrow \dot{m}_{\text{evap}} = \dot{m}_a (w_4 - w_3) = 0,044 \text{ kg/s}$

Logo: $\dot{m}_{w,1} = \dot{m}_{w,2} + \dot{m}_{\text{evap}} = 1,333 + 0,044 = 1,377 \text{ kg/s}$

Balanco de energia: $\dot{m}_{w,1} h_{f,1} + \dot{m}_a h_3 = \dot{m}_{w,2} h_{f,2} + \dot{m}_a h_4$

$$1,377 \cdot 188,45 + 2,204,35 = 1,333 \cdot h_{f,2} + 2,204,100$$

$$\therefore h_{f,2} = 87,2 \text{ kJ/kg}$$

Da tabela de prop. suas: $T_2 \cong 21^\circ\text{C}$

Logo: $\Delta T = T_1 - T_2 \cong 24^\circ\text{C}$

2. (2,5) Uma instalação frigorífica que utiliza R134a como refrigerante opera com ciclo de resfriamento por compressão de vapor onde as temperaturas de evaporação e de condensação são 10°C e 40°C , respectivamente. O refrigerante deixa o evaporador saturado, ao passo que na saída do condensador o seu sub-resfriamento é de 4°C . A instalação é utilizada para resfriar 10 kg/s de água, desde 30 até 15°C . Estime a potência de compressão necessária considerando regime permanente de operação e eficiência de compressão igual a 80% . Desprezar as perdas de cargas nos trocadores de calor do ciclo.

$$T_{\text{evap}} = 10^\circ\text{C} \rightarrow P_{\text{evap}} = 0,415 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{cond}} = 40^\circ\text{C} \rightarrow P_{\text{cond}} = 1,01 \text{ MPa}$$

ponto 1: vapor saturado

ponto 3: sub-resfriado de 4°C

$$\therefore T_3 = 40 - 4 = 36^\circ\text{C}$$

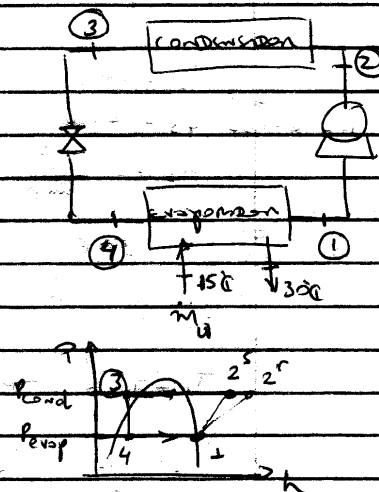
$$\dot{m}_w = 10 \text{ kg/s}$$

$$\Delta T_w = 30 - 15 = 15^\circ\text{C}$$

$$\dot{w}_c = ?$$

$$\eta_c = 0,80$$

$$T_1 = 10^\circ\text{C} \quad \begin{cases} h_1 = 404,40 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 1,7224 \text{ kJ/kgK} \end{cases}$$



$$P_2 \cong P_{\text{cond}} \cong 1 \text{ MPa} \quad s_2 = 1,7224 \Rightarrow h_2^s \cong 422,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_f|_{36^\circ\text{C}} = 250,41 \text{ kJ/kg} = h_4$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_w \Delta h_w$$

$$T = 30^\circ\text{C} \rightarrow h_w = 125,79 \text{ kJ/kg}$$

$$T = 15^\circ\text{C} \rightarrow h_w = 62,99 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{evap} = 10 (125,79 - 62,99)$$

$$\dot{Q}_{evap} = 628 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_{evap}}{(h_1 - h_4)} = \frac{628}{404,4 - 250,41} = 4,08 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{ref}} = \frac{h_2^s - h_1}{h_2^r - h_1}$$

$$\dot{Q}_c = \frac{422,7 - 404,4}{0,8} = 22,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W}_c = \dot{m}_R \dot{Q}_c = 4,08 \cdot 22,88 = 93,4 \text{ kW}$$

3. (1,0) Estime a umidade relativa máxima do ar interior de uma câmara de armazenamento de alimentos mantida a 15°C , cujas paredes refrigeradas são mantidas a 8°C , de modo a evitar a condensação do vapor de água presente no ar.

$$\phi_{max} = \left(\frac{p_{v,max}}{p_g} \right)_{15^\circ\text{C}} = \frac{p_{g,8^\circ\text{C}}}{p_{g,15^\circ\text{C}}} = \frac{901072}{901705} = 0,629$$

$$\phi_{max} = 62,9\%$$

4. (1,0) Um sistema de bombeamento opera em condição muito próxima a de cavitação transportando água a 30°C. Considere o que ocorreria caso a temperatura da água passasse para 40°C. Justifique sua resposta a partir de equações fundamentais.

$$30^{\circ}\text{C} \rightarrow P_{\text{sat}} \approx P_v|_{30^{\circ}\text{C}} = 4,246 \text{ kPa}$$

$$40^{\circ}\text{C} \rightarrow P_v = 7,38 \text{ kPa}$$

$$\text{Logo: } P_s < P_v|_{40^{\circ}\text{C}} \text{ e a bomba cavita}$$

B.C. na linha de sucção

$$P_s - P_r = \frac{\rho \cdot V_s^2}{2} + e_s + h_s$$

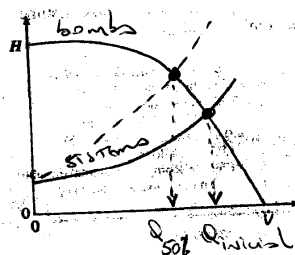
$$P_r - P_s = \frac{\rho \cdot V_s^2}{2} + e_s + h_s = H_s$$

$$H_{s, \text{max}} = \frac{P_r - P_v}{\rho} = \frac{V_s^2}{2} + e_s + h_s$$

$$\text{Logo: } P_s \approx P_v|_{30^{\circ}\text{C}} \text{ que é menor que } P_v|_{40^{\circ}\text{C}}$$

\therefore a bomba cavita

5. (1,0) A figura abaixo mostra uma representação gráfica da carga líquida da bomba como função da capacidade da bomba. São apresentadas as curvas de desempenho da bomba e curva do sistema. Suponhamos que a bomba esteja situada entre dois tanques grandes de água com suas superfícies livres abertas para a atmosfera. Explique qualitativamente o que aconteceria à curva de desempenho da bomba e à curva do sistema, se uma válvula do sistema de tubulação fosse fechada de 100% aberta para 50% aberta, com todos os demais dados inalterados. Em seguida, explique o que aconteceria ao ponto operacional, ou seja, a vazão do ponto operacional diminuiria, aumentaria ou permaneceria constante?

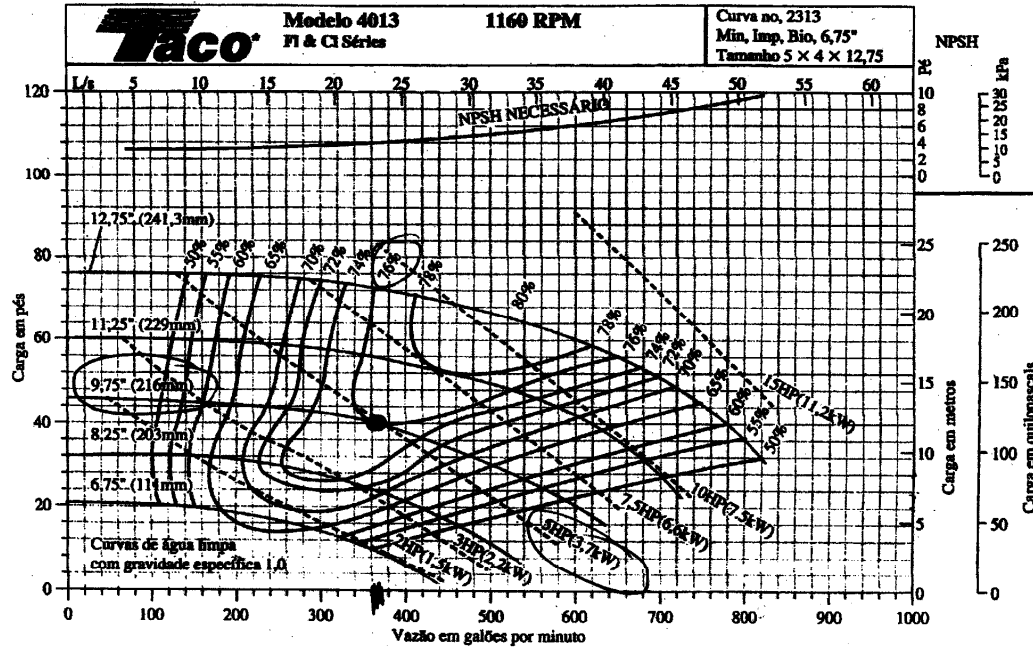


A curva da bomba não varia pois é função da geometria e características construtivas da bomba.

A curva do sistema modifica-se conforme o esquema pois a perda de carga aumenta.

$\therefore Q$ diminuiria

6. (2,5) Um sistema de bombeamento que utiliza a bomba centrífuga da série FI, modelo 4013 da Taco operando a 1160 rpm e com rotor de 216 mm, opera transportando água a 20°C, em seu ponto de rendimento máximo. Estime a potência útil recebida pelo fluido. Caso a rotação da bomba fosse alterada para 2000 rpm, qual seria a vazão de fluido recalçada?



No ponto de operação: $Q = 370 \text{ gpm}$ ($\approx 23 \text{ L/s}$)

$$\eta = 76\%$$

$$\dot{W} = 5 \text{ HP} (3,7 \text{ kW})$$

$$\dot{W}_{\text{util}} = \dot{W} \cdot \eta = 5 \cdot 0,76 = 3,8 \text{ HP} (2,8 \text{ kW})$$

Relações de similaridade:

$$\frac{Q_I}{Q_{II}} = \frac{n_I}{n_{II}} \Rightarrow \frac{Q_{II}}{Q_I} = \frac{n_{II}}{n_I}$$

$$Q_{II} = \frac{2000}{1160} \cdot 370 = 637,9 \text{ gpm}$$

$$(3974 \text{ L/s})$$