TEA007 - TERMODINÂMICA AMBIENTAL
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR
P03, 29 Setembro 2017
Prof. Michael Mannich

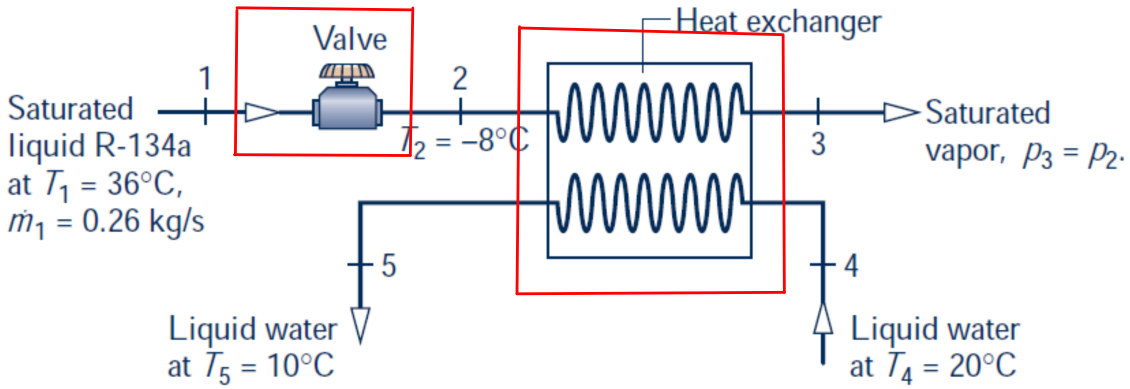
P03

NOME: GABARITO Assinatura: _____

1 [50] Considere o processo em regime permanente com os dados ilustrados na figura. O refrigerante 134a no estado de líquido saturado entra na válvula a $T_1 = 36\,°C$ com uma vazão mássica de $0.26\,kg\,s^{-1}$ e sofre um processo de estrangulamento até $T_2 = -8\,°C$. O refrigerante então entra no trocador de calor, saindo como vapor saturado sem qualquer decréscimo significativo na pressão. Água líquida entra como um fluxo separado no trocador de calor a $T_4 = 20\,°C$ e sai como líquido a $T_5 = 10\,°C$. As perdas de calor e os efeitos das energias cinética e potencial podem ser ignorados. Determine:

a) [20] a pressão do estado 2.

b) [30] a vazão mássica do fluxo de água líquida.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a) Primeira lei para a válvula em regime permanente:

$$\cancelto{0}{\dot{Q}_{valv}} - \cancelto{0}{\dot{W}_{valv}} + \dot{m}_{R134a}\left(h_1 + \cancel{\frac{1}{2}V_1^2} + \cancel{gz_1}\right) - \dot{m}_{R134a}\left(h_2 + \cancel{\frac{1}{2}V_2^2} + \cancel{gz_2}\right) = 0,$$

$$h_1 = h_2.$$

Estado 1: $T_1 = 36\,°C$ e $x_1 = 0.0$. Interpolando valores na tabela B.5.1,

$$h_1 = 249.10 + (36 - 35) \times \frac{256.54 - 249.10}{40 - 35} = 250.588\,kJ\,kg^{-1}.$$

Estado 2: $T_1 = -8\,°C$ e $h_2 = 250.588\,kJ\,kg^{-1}$. Da tabela B.5.1, nota-se que h_2 está entre os valores de entalpia do líquido saturado a $-8\,°C$ (algo entre $186.72\,kJ\,kg^{-1}$ e $193.32\,kJ\,kg^{-1}$) e do vapor saturado a $-8\,°C$ (algo entre $392.28\,kJ\,kg^{-1}$ e $395.34\,kJ\,kg^{-1}$). Logo, P_2 é a pressão de saturação a $-8\,°C$. Interpolando,

$$P_2 = 201.7 + (-8 + 10) \times \frac{244.5 - 201.7}{-5 + 10} = 218.82\,kPa. \quad \blacksquare$$

b) Primeira lei para o trocador de calor em regime permanente:

$$\cancelto{0}{\dot{Q}_{troc}} - \cancelto{0}{\dot{W}_{troc}} + \dot{m}_{R134a}\left(h_2 + \cancel{\frac{1}{2}V_2^2} + \cancel{gz_2} - h_3 - \cancel{\frac{1}{2}V_3^2} - \cancel{gz_3}\right) + \dot{m}_{agua}\left(h_4 + \cancel{\frac{1}{2}V_4^2} + \cancel{gz_4} - h_5 - \cancel{\frac{1}{2}V_5^2} - \cancel{gz_5}\right) = 0,$$

$$\dot{m}_{R134a}h_2 + \dot{m}_{agua}h_4 = \dot{m}_{R134a}h_3 + \dot{m}_{agua}h_5,$$

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{R134a}\frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_5}.$$

Continue a solução no verso ⟹

Estado 3: $P_3 = 218.82\,\text{kPa}$ e $x_3 = 1.0$. T_3 é a temperatura de saturação para esta pressão ($-8\,^\circ\text{C}$), e da tabela B.5.1,

$$h_3 = 392.28 + (-8 + 10) \times \frac{395.34 - 392.28}{-5 + 10} = 393.504\,\text{kJ}\,\text{kg}^{-1}.$$

Estado 4: água líquida a $20\,^\circ\text{C}$. A entalpia de líquidos varia pouco com a pressão, e aproxima-se h_4 pela entalpia da água líquida saturada a $20\,^\circ\text{C}$. Da tabela B.1.1, $h_4 = 83.94\,\text{kJ}\,\text{kg}^{-1}$.

Estado 5: água líquida a $10\,^\circ\text{C}$. Aproximando h_5 pela entalpia da água líquida saturada a esta temperatura, da tabela B.1.1, $h_5 = 41.99\,\text{kJ}\,\text{kg}^{-1}$. Assim,

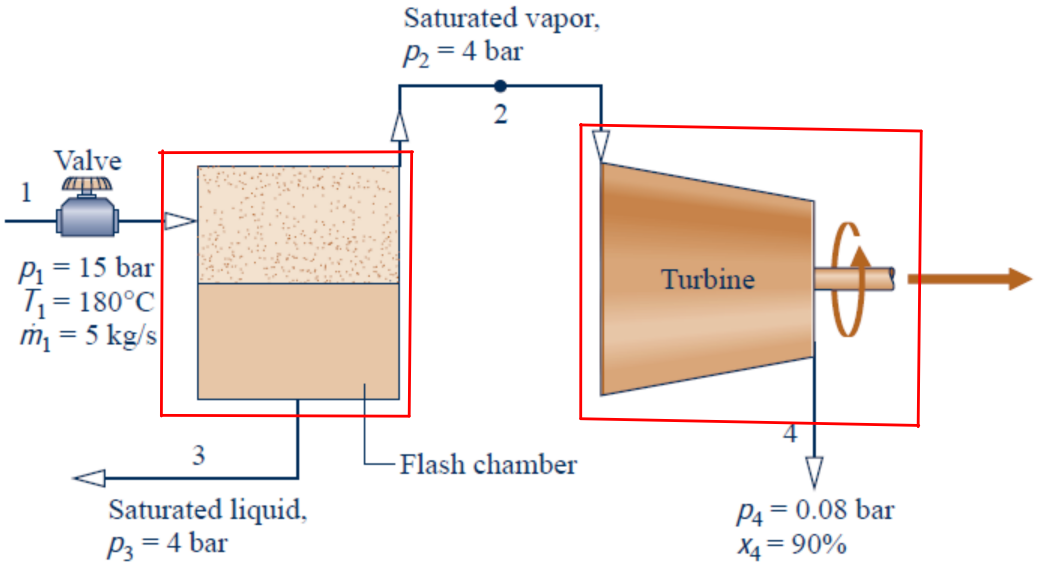
$$\dot{m}_{agua} = 0.26 \times \frac{393.504 - 250.588}{83.94 - 41.99} = 0.886\,\text{kg}\,\text{s}^{-1}. \quad \blacksquare$$

Continue a solução no verso $\Longrightarrow$

2 [50] Conforme ilustrado na figura, água quente de resíduos industriais a 15 bar, 180 °C com vazão mássica de 5 kg s^{-1} entra em um separador através de uma válvula. Líquido saturado e vapor saturado saem do separador em fluxos distintos, cada um a 4 bar. O vapor saturado entra na turbina e se expande até 0.08 bar e $x = 90\%$. As perdas de calor e os efeitos das energias cinética e potencial podem ser desprezados. Para a operação em regime permanente determine

a) [25] a vazão mássica que alimenta a turbina.

b) [25] a potência desenvolvida pela turbina.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a) Primeira lei para o separador em regime permanente:

$$\cancelto{0}{\dot{Q}_{sep}} + \dot{m}_1\left(h_1 + \cancel{\frac{1}{2}V_1^2} + \cancel{gz_1}\right) = \dot{m}_2\left(h_2 + \cancel{\frac{1}{2}V_2^2} + \cancel{gz_2}\right) + \dot{m}_3\left(h_3 + \cancel{\frac{1}{2}V_3^2} + \cancel{gz_3}\right) + \cancelto{0}{\dot{W}_{sep}},$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3.$$

Conservação da massa:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2.$$

Substituindo na primeira lei,

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)\, h_3,$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_3}.$$

Estado 1: $P_1 = 1500$ kPa e $T_1 = 180\,°\text{C} < T_{sat} = 198.32\,°\text{C}$ (tabela B.1.2). Trata-se de líquido comprimido, e sua entalpia pode ser aproximada por aquela do líquido saturado à mesma temperatura: da tabela B.1.1, $h_1 = 763.21$ kJ kg^{-1}.

Estado 2: $P_2 = 400$ kPa e $x_4 = 1.0$. Da tabela B.1.2, $h_2 = 2738.53$ kJ kg^{-1}.

Estado 3: $P_3 = 400$ kPa e $x_3 = 0.0$. Da tabela B.1.2, $h_3 = 604.73$ kJ kg^{-1}. Assim,

$$\dot{m}_2 = 5 \times \frac{763.21 - 604.73}{2738.53 - 604.73} = 0.3714\,\text{kg s}^{-1}. \quad \blacksquare$$

b) Primeira lei para a turbina em regime permanente:

$$\cancelto{0}{\dot{Q}_{turb}} + \dot{m}_2\left(h_2 + \cancel{\frac{1}{2}V_2^2} + \cancel{gz_2}\right) = \dot{m}_4\left(h_4 + \cancel{\frac{1}{2}V_4^2} + \cancel{gz_4}\right) + \dot{W}_{turb}.$$

Conservação da massa: $\dot{m}_2 = \dot{m}_4 \quad \Rightarrow \quad \dot{W}_{turb} = \dot{m}_2\,(h_2 - h_4)$.

Continue a solução no verso ⟹

Estado 4: $P_4 = 8\,\text{kPa}$ e $x_4 = 0.9$. Da tabela B.1.2, obtém-se as entalpias do líquido e do vapor saturados a esta pressão por interpolação:

$$h_l = 168.77 + (8 - 7.5) \times \frac{191.81 - 168.77}{10 - 7.5} = 173.378\,\text{kJ kg}^{-1},$$
$$h_v = 2574.79 + (8 - 7.5) \times \frac{2584.63 - 2574.79}{10 - 7.5} = 2576.758\,\text{kJ kg}^{-1}.$$

A entalpia no estado 4 é

$$h_4 = h_l + x(h_v - h_l) = 173.378 + 0.90 \times (2576.758 - 173.378) = 2336.42\,\text{kJ kg}^{-1}.$$

A potência da turbina é

$$\dot{W}_{turb} = 0.3714 \times (2738.53 - 2336.42) = 149\,\text{kW}. \quad \blacksquare$$

Continue a solução no verso ⟹