

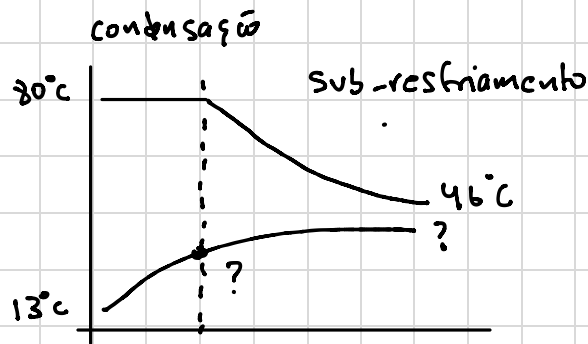
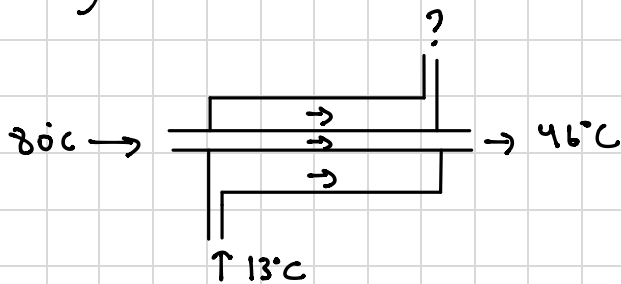
Uma coluna de fracionamento produz benzeno no estado de vapor saturado a 80°C . É necessário condensar e sub-resfriar cerca de 3630 kg/h de benzeno até uma temperatura de 46°C , usando água a 13°C como refrigerante, a uma vazão mássica de 18.148 kg/h . Dimensione e compare a área necessária no trocador de calor de fluxo paralelo e de fluxo inverso, considerando nos dois casos um fator global de troca de calor de $1135 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$L_{\text{benzeno}} = 3,945 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$$

$$C_{\text{benzeno}} = 1,758 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\text{água}} = 4186,9 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

I) Correntes paralelas



① Condensação

• Calor de condensação: (latente)

$$\dot{M}_{\text{benzeno}} = 3630 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{3630}{3600} = 1,01 \text{ kg/s}$$

$$\dot{q}_c = \dot{M} \cdot L \Rightarrow \dot{q}_c = 1,01 \cdot 3,945 \cdot 10^5 \Rightarrow \dot{q}_c = 3,98 \times 10^5 \text{ W}$$

• Temperatura da água no final da condensação

$$\dot{M}_{\text{água}} = 18148 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{18148}{3600} = 5,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{q}_c = \dot{M}_{\text{água}} \cdot C_{\text{água}} \cdot (T_s - T_e)$$

$$3,98 \times 10^5 = 5,04 \cdot 4186,9 \cdot (T_s - 13) \Rightarrow T_s = 31,9^{\circ}\text{C}$$

• MLDT $\Rightarrow$ Média logarítmica das diferenças de temperatura

$$\Delta T_{\text{máx}} = 80 - 13 = 67^{\circ}\text{C} ; \quad \Delta T_{\text{mín}} = 80 - 31,9^{\circ}\text{C} = 48,1^{\circ}\text{C}$$

$$\text{MLDT} = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T_{\text{mín}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T_{\text{mín}}}} = \frac{67 - 48,1}{\ln \frac{67}{48,1}} \Rightarrow \text{MLDT} = 57,0^{\circ}\text{C}$$

- Área para a troca de calor p/ condensação

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \text{MLDT}$$

$$A = \frac{\dot{q}_e}{U \cdot \text{MLDT}} \Rightarrow A = \frac{3,98 \times 10^5}{1135 \cdot 57} \Rightarrow A = 6,0 \text{ m}^2$$

② Subresfriamento

- Calor p/ resfriamento da temperatura (sensível)

$$\dot{q}_s = \dot{m}_{\text{benzeno}} \cdot C_{\text{benzeno}} \cdot (T_s - T_c)$$

$$\dot{q}_s = 1,01 \cdot 1,758 \cdot 10^3 \cdot (80 - 46) \Rightarrow \dot{q}_s = 6,04 \times 10^4 \text{ W}$$

- Temperatura de saída da água

$$\dot{q}_s = \dot{m}_{\text{água}} \cdot C_{\text{água}} \cdot (T_s - 31,9)$$

$$6,04 \times 10^4 = 5,09 \cdot 4186,9 \cdot (T_s - 31,9) \Rightarrow T_s = 34,7^\circ\text{C}$$

- MLDT

$$\Delta T_{\text{máx}} = 80 - 31,9 = 48,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{mín}} = 46 - 34,7 = 11,3^\circ\text{C}$$

$$\text{MLDT} = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T_{\text{mín}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T_{\text{mín}}}} \Rightarrow \text{MLDT} = \frac{48,1 - 11,3}{\ln \frac{48,1}{11,3}} \Rightarrow \text{MLDT} = 25,4^\circ\text{C}$$

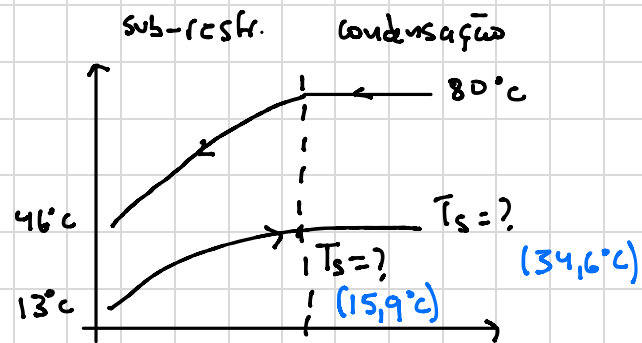
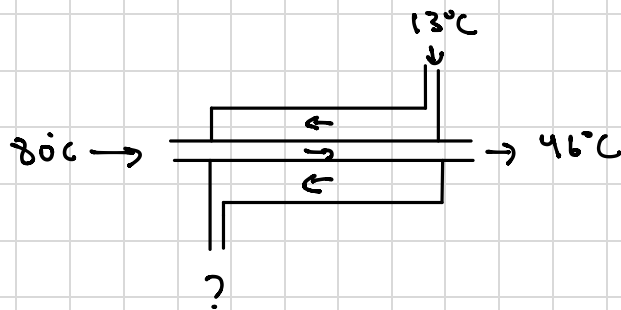
- Área para troca de calor p/ resfriar temperatura

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \text{MLDT} \Rightarrow A = \frac{6,04 \cdot 10^4}{1135 \cdot 25,4} \Rightarrow A = 2,1 \text{ m}^2$$

③ Área total do trocador paralelo

$$A_t = 6,0 + 2,1 \Rightarrow A = 8,1 \text{ m}^2$$

II) Correntes opostas



① Subresfriamento:

• Calor para subresfriamento (sensível)

$$\dot{q}_s = \dot{m}_{\text{benzeno}} \cdot C_{\text{benzeno}} \cdot (T_s - T_c)$$

$$\dot{q}_s = 1,01 \cdot 1785,5 \cdot (80 - 46) \Rightarrow \dot{q}_s = 6,13 \cdot 10^4 \text{ W}$$

• Temperatura da água na saída

$$\dot{q}_s = \dot{m}_{\text{água}} \cdot C_{\text{água}} \cdot (T_s - T_c)$$

$$6,13 \cdot 10^4 = 5,09 \cdot 4176,9 \cdot (T_s - 13) \Rightarrow T_s = 15,9^\circ\text{C}$$

• MLDT

$$\Delta T_{\text{máx}} = 80 - 15,9 = 64,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{mín}} = 46 - 13 = 33,0^\circ\text{C}$$

$$\text{MLDT} = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T_{\text{mín}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T_{\text{mín}}}} \Rightarrow \text{MLDT} = \frac{64,1 - 33,0}{\ln \frac{64,1}{33}} \Rightarrow \text{MLDT} = 46,8^\circ\text{C}$$

- Área para sub-resfriamento

$$\dot{q} = U \cdot A \cdot \text{MLDT} \Rightarrow A = \frac{6,13 \times 10^4}{1135 \cdot 46,8} \Rightarrow A = 1,15 \text{ m}^2$$

② Condensação

- Calor de condensação (Latente)

$$\dot{q}_c = 3,98 \times 10^5 \text{ W} \quad (\text{já calculado})$$

- Temperatura de saída da água

$$\dot{q}_c = \dot{m}_{\text{água}} \cdot C_{\text{água}} \cdot (T_s - T_c)$$

$$3,98 \cdot 10^5 = 5,09 \cdot 4186,9 \cdot (T_s - 15,9) \Rightarrow T_s = 34,6^\circ\text{C}$$

- MLDT

$$\Delta T_{\text{máx}} = 80 - 15,9 = 64,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{mín}} = 80 - 34,6 = 45,4^\circ\text{C}$$

$$\text{MLDT} = \frac{64,1 - 45,4}{\ln \frac{64,1}{45,4}} \Rightarrow \text{MLDT} = 54,2^\circ\text{C}$$

- Área p/ condensação

$$\dot{q}_c = U \cdot A \cdot \text{MLDT} \Rightarrow A = \frac{3,98 \times 10^5}{1135 \cdot 54,2} \Rightarrow A = 6,47 \text{ m}^2$$

③ Área total p/ trocador de correntes opostas

$$A_t = 1,15 + 6,47 \Rightarrow A_t = 7,62 \text{ m}^2$$

II) Comparação

Fluxo paralelo $\Rightarrow A_p = 8,1 \text{ m}^2$

Correntes opostas $\Rightarrow A_o = 7,6 \text{ m}^2 \Rightarrow$ mais eficiente (6% menor)