



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

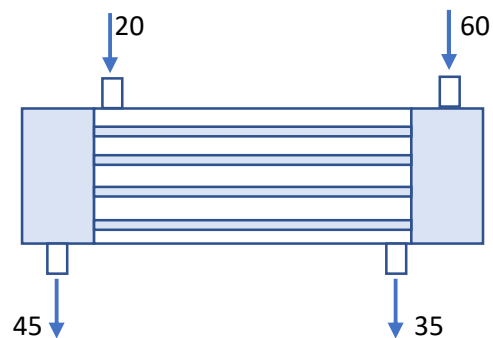
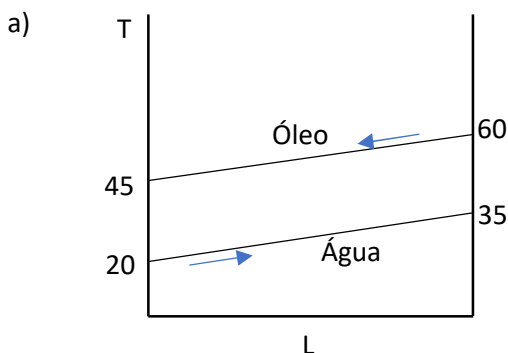
Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 03 E 04 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

01/setembro/2020

2) Um resfriador de óleo de um grande motor a diesel deve resfriar óleo de 60°C para 45°C, empregando água do mar a temperatura de entrada 20°C, com uma elevação da temperatura de 15°C. A carga térmica do projeto é $Q = 140 \text{ kW}$ e o coeficiente global de transferência de calor médio, baseado na superfície externa dos tubos é $70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Calcule a área da superfície de transferência de calor num escoamento de passe único em: (a) contracorrente; (b) correntes paralelas.



Óleo
 $T_{qe} = 60$
 $T_{qs} = 45$

Água
 $T_{fe} = 20$
 $T_{fs} = 35$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{DTML}$$

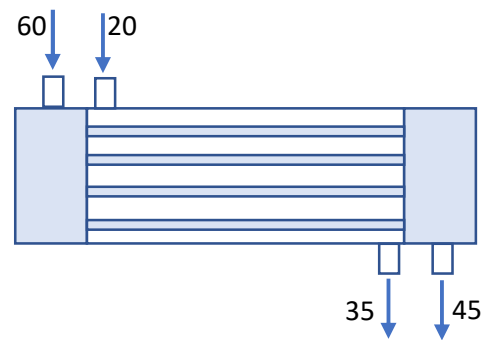
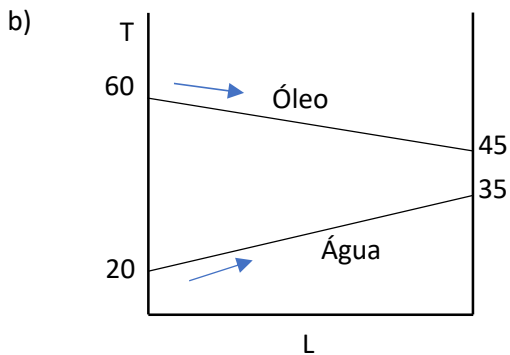
$$\Delta T_1 = 45 - 20 = 25 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = 60 - 35 = 25 \text{ C}$$

$$\text{DTML} = 25 \text{ C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{DTML}$$

$$140.000 = 70 \cdot A \cdot 25 \rightarrow A = 80 \text{ m}^2$$



$$\Delta T_1 = 60 - 20 = 40 \text{ C}$$

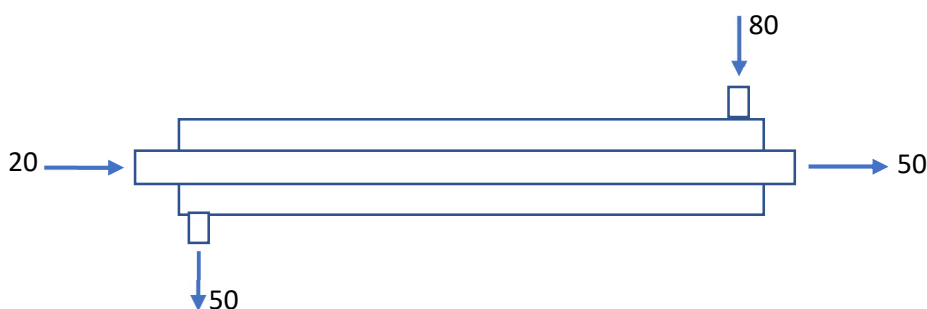
$$\Delta T_2 = 45 - 35 = 10 \text{ C}$$

$$DTML = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \rightarrow DTML = (10 - 40) / \ln(10/40) \rightarrow DTML = 21,64 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \rightarrow 140.000 = 70.A.21,64 \rightarrow A = 92,42 \text{ m}^2$$

Observa-se que o trocador em contracorrente requer uma área da superfície de troca de calor menor que o trocador em correntes paralelas. Isso demonstra que a operação do trocador de calor em contracorrente é a maneira mais eficiente para trocadores de passes únicos.

3) Quer-se resfriar óleo de máquina de 80°C para 50°C em um trocador de calor tubular concêntrico de passe único, operando em contracorrente, resfriado por água a 20°C. A água flui dentro de um tubo com diâmetro interno $D_i = 25 \text{ mm}$, a uma vazão mássica 0,08 kg/s e o óleo flui através do espaço anular a uma vazão $m = 0,16 \text{ kg/s}$. Os coeficientes de película no lado da água e no lado do óleo são, respectivamente, 1.000 W/m².°C e 80 W/m².°C. As resistências térmicas da parede e das incrustações são desprezíveis. Calcule o comprimento necessário do tubo. Considere os calores específicos da água 4.180 J/kg.°C e do óleo 2.090 J/kg.°C.



Óleo
 $T_{qe} = 80$
 $T_{qs} = 50$
 $m = 0,16$
 $h = 1000$
 $C_p = 2.090$

Água
 $T_{fe} = 20$
 $T_{fs} = 50$
 $m = 0,08$
 $h = 80$
 $C_p = 4.180$

$$Q = U.A.DTML$$

$$Q = m.C_p.\Delta T \rightarrow Q = 0,16.2090.(80-50) \rightarrow Q = 10.032 \text{ W}$$

$$\rightarrow 10032 = 0,08.4180.(T_{fs} - 20) \rightarrow T_{fs} = 50 \text{ C}$$

$$\Delta T_1 = 50 - 20 = 30 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = 80 - 50 = 30 \text{ C} \rightarrow DTML = 30 \text{ C}$$

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x \cdot D_i}{k \cdot D_m} + \frac{D_i}{h_e \cdot D_e}$$

$$h_i = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_e = 80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

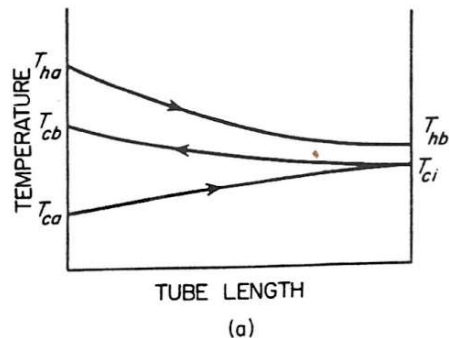
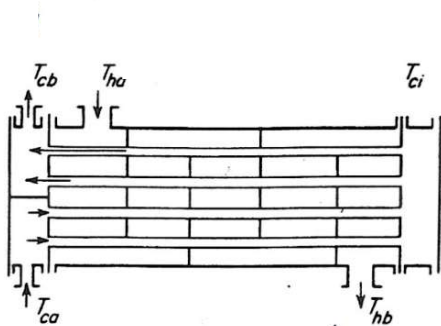
$$1/U = 1/1000 + 1/80 \rightarrow U = 74,07 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{DTML} \rightarrow 10032 = 74,07 \cdot A \cdot 30 \rightarrow A = 4,51 \text{ m}^2$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L \rightarrow 4,51 = 3,1415927 \cdot 0,025 \cdot L \rightarrow L = 57,48 \text{ m}$$

03/setembro/2020

4) No trocador de calor apresentado na ilustração, os valores das temperaturas são: $T_{ca} = 21,1^\circ\text{C}$, $T_{cb} = 54,4^\circ\text{C}$, $T_{ha} = 115,8^\circ\text{C}$ e $T_{hb} = 48,9^\circ\text{C}$. Determine a Diferença de Temperatura média logarítmica para esse trocador de calor.



Para o trocador de calor 1,1 contracorrente:

$$\Delta T_1 = T_{qe} - T_{fs} = T_{ha} - T_{cb} = 115,8 - 54,4 = 61,4 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_{qs} - T_{fe} = T_{hb} - T_{ca} = 48,9 - 21,1 = 27,8 \text{ C}$$

$$\text{DTML}_{1,1cc} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \rightarrow \text{DTML} = (61,4 - 27,8) / \ln(61,4 / 27,8) \rightarrow \text{DTML} = 42,40 \text{ C}$$

$$X = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{A1} - T_{B1}} \text{ e } Z = \frac{T_{A1} - T_{A2}}{T_{B2} - T_{B1}}$$

$$T_{A1} = T_{ha} = 115,8$$

$$T_{A2} = T_{hb} = 48,9$$

$$T_{B1} = T_{ca} = 21,1$$

$$T_{B2} = T_{cb} = 54,4$$

$$X = (54,4 - 21,1) / (115,8 - 21,1) \rightarrow X = 0,35$$

$$Z = (115,8 - 48,9) / (54,4 - 21,1) \rightarrow Z = 2,01 \rightarrow Y = F_{corr} = 0,75$$

$$\text{DTML}_{1,2} = \text{DTML}_{1,1} \cdot Y \rightarrow \text{DTML} = 42,40 \cdot 0,75 \rightarrow \text{DTML} = 31,8 \text{ C}$$

5) Um trocador de calor com dois passes no casco e quatro passes nos tubos, tem água no lado do casco e salmoura nos tubos. A água é resfriada de 18°C até 6°C, com a salmoura entrando a -1°C e saindo a 3°C. O coeficiente de troca é $U = 600 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$. Calcule a área de transferência de calor necessária para um projeto com carga térmica $Q = 24.000 \text{ W}$.

| | | |
|------------------|------------------|----------------|
| Água | Salmoura | $Q = U.A.DTML$ |
| $TA1 = Tqe = 18$ | $TB1 = Tfe = -1$ | |
| $TA2 = Tqs = 6$ | $TB2 = Tfs = 3$ | |

Para um trocador 1,1 contracorrente:

$$\Delta T1 = Tqe - Tfs = 18 - 3 = 15$$

$$\Delta T2 = Tqs - Tfe = 6 - (-1) = 7 \quad \rightarrow \quad DTML = (15 - 7) / \ln(15/7) \quad \rightarrow \quad DTML = 10,5 \text{ C}$$

$$X = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{A1} - T_{B1}} \quad \text{e} \quad Z = \frac{T_{A1} - T_{A2}}{T_{B2} - T_{B1}}$$

$$X = (3 - (-1)) / (18 - (-1)) \quad \rightarrow \quad X = 0,21$$

$$Z = (18 - 6) / (3 - (-1)) \quad \rightarrow \quad Z = 3 \quad \rightarrow \quad Y = 0,98$$

$$DTML_{2,4} = DTML_{1,1} \cdot Y \quad \rightarrow \quad DTML = 10,5 \cdot 0,98 \quad \rightarrow \quad DTML = 10,29 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \quad \rightarrow \quad 24000 = 600.A.10,29 \quad \rightarrow \quad A = 3,89 \text{ m}^2$$

6) Um trocador de calor de um passe no casco e dois passes nos tubos, tem água nos tubos e óleo de máquina no casco. Deve ser projetado para aquecer 1,5 kg/s de água de 30°C a 80°C, com óleo de máquina entrando a 120°C e saindo a 80°C. O coeficiente de transferência global é $U = 250 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ e o calor específico a pressão constante da água é $Cp = 4.180 \text{ J/kg} \cdot \text{°C}$. Calcule a área de transferência de calor necessária.

| | | |
|------------------|-------------------|----------------|
| Água | Óleo | $Q = U.A.DTML$ |
| $m = 1,5$ | | |
| $TB1 = Tfe = 30$ | $TA1 = Tqe = 120$ | |
| $TB2 = Tfs = 80$ | $TA2 = Tqs = 80$ | |
| $Cp = 4.180$ | | |

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad \rightarrow \quad Q = 1,5 \cdot 4180 \cdot (80 - 30) \quad \rightarrow \quad Q = 313.500 \text{ W}$$

Para o trocador de calor 1,1 contracorrente:

$$\Delta T1 = Tqe - Tfs = 120 - 80 = 40 \text{ C}$$

$$\Delta T2 = Tqs - Tfe = 80 - 30 = 50 \text{ C} \quad \rightarrow \quad DTML = (40 - 50) / \ln(40/50) \quad \rightarrow \quad DTML_{1,1} = 44,81 \text{ C}$$

$$X = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{A1} - T_{B1}} \quad \text{e} \quad Z = \frac{T_{A1} - T_{A2}}{T_{B2} - T_{B1}}$$

$$X = (80 - 30) / (120 - 30) = 0,56$$

$$Z = (120 - 80) / (80 - 30) = 0,8 \quad \rightarrow \quad Y = 0,8$$

$$DTML = 44,81 \cdot 0,8 \quad \rightarrow \quad DTML = 35,85 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \quad \rightarrow \quad 313500 = 250.A.35,85 \quad \rightarrow \quad A = 34,98 \text{ m}^2$$

7) Um trocador de calor de um passe no casco e dois passes nos tubos deve ser projetado para aquecer 2 kg/s de água de 40°C até 120°C, fluindo nos tubos, utilizando água quente pressurizada entrando no casco a 300°C com uma vazão de 1,03 kg/s. O coeficiente de transferência de calor global é $U = 1250 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Os calores específicos a pressão constante são 4.180 J/kg.°C para o fluido frio e 4.660 J/kg.°C para o fluido quente. Determinar a área de transferência de calor necessária.

| | | |
|----------------|---------------------|-----------------------------------|
| Água fria | Água quente | $Q = U \cdot A \cdot \text{DTML}$ |
| $m = 2$ | $m = 1,03$ | |
| $T_{B1} = 40$ | $T_{A1} = 300$ | |
| $T_{B2} = 120$ | $T_{A2} = ?$ 160,66 | |
| $C_p = 4.180$ | $C_p = 4.660$ | |

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = 2 \cdot 4180 \cdot (120 - 40) \rightarrow Q = 668.800 \text{ W}$$

$$\rightarrow 668800 = 1,03 \cdot 4660 \cdot (300 - T_{A2}) \rightarrow T_{A2} = 160,66 \text{ C}$$

Para o trocador de calor 1,1 contracorrente:

$$\Delta T_1 = T_{qe} - T_{fs} = 300 - 120 = 180 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_{qs} - T_{fe} = 160,66 - 40 = 120,66 \text{ C} \rightarrow \text{DTML} = (180 - 120,66) / \ln(180/120,66) = 148,36 \text{ C}$$

$$X = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{A1} - T_{B1}} \text{ e } Z = \frac{T_{A1} - T_{A2}}{T_{B2} - T_{B1}}$$

$$X = (120 - 40) / (300 - 40) = 0,31$$

$$Z = (300 - 160,66) / (120 - 40) = 1,74 \rightarrow Y = 0,92$$

$$\text{DTML}_{1,2} = 148,36 \cdot 0,92 \rightarrow \text{DTML} = 136,49 \text{ C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \text{DTML} \rightarrow 668800 = 1250 \cdot A \cdot 136,49 \rightarrow A = 3,92 \text{ m}^2$$