



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 05 E 06 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS

08/setembro/2020

8) Necessita-se projetar um trocador de calor para resfriar uma solução de álcool etílico ($C_p = 3840 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$) com vazão de $9,7 \text{ kg/s}$, de 75°C até 45°C com água fria ($C_p = 4.180 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$) entrando nos tubos a 10°C a $9,6 \text{ kg/s}$. O coeficiente global de troca de calor baseado na superfície externa do tubo é $500 \text{ W/m}^2.\text{}^\circ\text{C}$. Calcule a área da superfície de transferência de calor nas configurações:

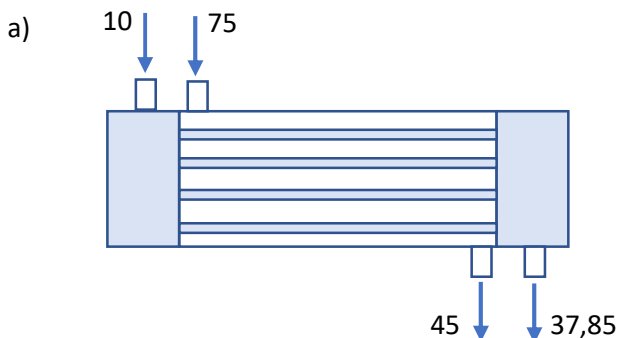
- Trocador 1,1 com correntes paralelas;
- Trocador 1,1 contracorrente;
- Trocador 1,2;
- Trocador com correntes cruzadas, fluidos misturados.

Alcool etílico	Água fria	$Q = U.A.DT_{ML}$
$C_p = 3840$	$C_p = 4180$	
$m = 9,7$	$m = 9,6$	
$TA_1 = T_{qe} = 75$	$TB_1 = T_{fe} = 10$	
$TA_2 = T_{qs} = 45$	$TB_2 = T_{fs} = ?37,85$	

$$Q = m.C_p.\Delta T$$

$$Q = 9,7.3840.(75 - 45) \rightarrow Q = 1.117.440\text{W}$$

$$1117440 = 9,6.4180.(T_{fs} - 10) \rightarrow T_{fs} = 37,85\text{C}$$

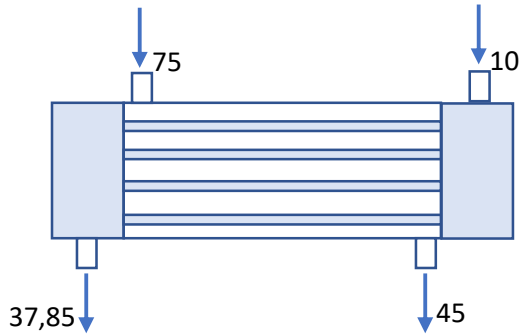


$$\Delta T_1 = 75 - 10 = 65 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = 45 - 37,85 = 7,15 \text{ C} \rightarrow DT_{ML} = (65 - 7,15)/\ln(65/7,15) \rightarrow DT_{ML} = 26,21 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \rightarrow 1117440 = 500.A.26,21 \rightarrow A = 85,27 \text{ m}^2$$

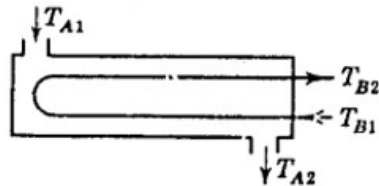
b)



$$\Delta T_1 = 75 - 37,85 = 37,15 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = 45 - 10 = 35 \text{ C} \quad \rightarrow \quad DTML = (37,15 - 35) / \ln(37,15/35) \rightarrow DTML = 36,06 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \rightarrow 1117440 = 500.A.36,06 \rightarrow A = 61,98 \text{ m}^2$$



c) Uma passagem no casco e duas ou mais passagens nos tubos

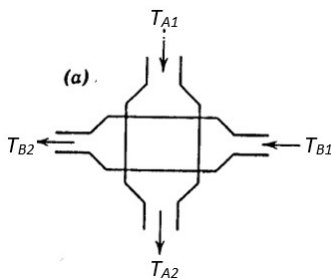
$$X = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{A1} - T_{B1}} \quad \text{e} \quad Z = \frac{T_{A1} - T_{A2}}{T_{B2} - T_{B1}}$$

$$X = (37,85 - 10) / (75 - 10) \rightarrow X = 0,4285$$

$$Z = (75 - 45) / (37,85 - 10) \rightarrow Z = 1,08 \rightarrow Y = 0,9$$

$$DTML_{1,2} = 36,06 \cdot 0,9 \rightarrow DTML = 32,45 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \rightarrow 1117440 = 500.A.32,45 \rightarrow A = 68,87 \text{ m}^2$$



d)

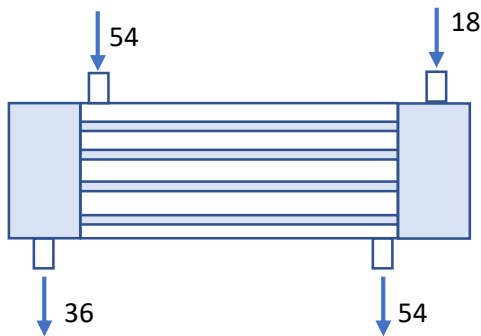
$$y = 0,93$$

$$DTML = 36,06 \cdot 0,93 \rightarrow DTML = 33,54 \text{ C}$$

$$Q = U.A.DTML \rightarrow 1117440 = 500 \cdot A \cdot 33,54 \rightarrow A = 66,63 \text{ m}^2$$

10/setembro/2020

9) Necessita-se construir um condensador de vapor de água de casco e tubos, com tubos horizontais de diâmetro externo 25 mm (0,025 m) e diâmetro interno 22 mm (0,022 m), de passe único, com o vapor condensando-se a 54°C no exterior dos tubos. A água de refrigeração entra em cada tubo a 18°C, com vazão 0,7 kg/s por tubo e sai a 36°C. O coeficiente de transferência de calor na condensação do vapor é $h_e = 8.000 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Calcule o comprimento do tubo. As propriedades da água são: $C_p = 4.180 \text{ J/kg}\cdot\text{°C}$, $k = 0,61 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ e $\mu = 0,86\cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$. Desprezar a resistência da parede do tubo ao fluxo de calor.



Vapor d'água
 $T_{qe} = 54$
 $T_{qs} = 54$

Água fria
 $T_{fe} = 18$
 $T_{fs} = 36$
 $C_p = 4180$
 $K = 0,61$
 $\mu = 0,86\cdot 10^{-3}$
 $m = 0,7$

$$Q = U.A.DT_{ML}$$

Para cada tubo:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,7 \cdot 4180 \cdot (36 - 18) \rightarrow Q = 52.668 \text{ W (por tubo)}$$

Cálculo de DT_{ML} :

$$\Delta T_1 = 54 - 36 = 18\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 54 - 18 = 36\text{C} \rightarrow DT_{ML} = (36 - 18) / \ln(36/18) \rightarrow DT_{ML} = 26\text{C}$$

Cálculo de h_i :

$$Pr = C_p \cdot \mu / k \rightarrow Pr = 4180 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} / 0,61 \rightarrow Pr = 5,893$$

$$Re = 4 \cdot m / (\pi \cdot D_i \cdot \mu) \rightarrow Re = 4 \cdot 0,7 / (3,1415927 \cdot 0,022 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3}) \rightarrow Re = 47107$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = h \cdot D / k \rightarrow 0,023 \cdot 47107^{0,8} \cdot 5,893^{0,4} = h \cdot 0,022 / 0,61 \rightarrow h_i = 7100 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$$

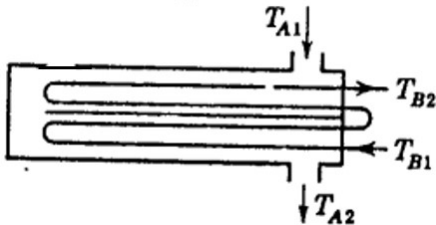
$$1/U_i = 1/h_i + D_i/h_e \cdot D_e \rightarrow 1/U_i = 1/7100 + 0,022 / (8000 \cdot 0,025) \rightarrow U_i = 3986,52 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot DT_{ML} \rightarrow 52668 = 3986,52 \cdot A \cdot 26 \rightarrow A_i = 0,51 \text{ m}^2 \text{ (por tubo)}$$

$$A_i = \pi \cdot D_i \cdot L \rightarrow 0,51 = 3,1415927 \cdot 0,022 \cdot L \rightarrow L = 7,36 \text{ m}$$

10) Precisa-se de um trocador de calor de casco e tubo para resfriar uma solução com $C_p = 3260 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, de 80°C para 50°C , com vazão $3,3 \text{ kg/s}$, com água, $C_p = 4180 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$, entrando nos tubos a 18°C , na vazão de $4,1 \text{ kg/s}$. Os tubos devem ter diâmetro externo 26 mm ($0,026 \text{ m}$) e diâmetro interno 24 mm ($0,024 \text{ m}$). Calcule a área de troca de calor para um trocador na configuração 2-4, considerando:

- para a solução: $h = 7100 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- para a água: $\mu = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ e $k = 0,61 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
- trocador de calor: **16 tubos**



Solução	Água	$Q = U \cdot A \cdot DTML$
$C_p = 3260$	$C_p = 4180$	
$T_{A1} = 80$	$T_{B1} = 18$	
$T_{A2} = 50$	$T_{B2} = ?$ 36,83	
$m = 3,3$	$m = 4,1$	
	$\mu = 0,86 \cdot 10^{-3}$	
	$k = 0,61$	

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow q = 3,3 \cdot 3260 \cdot (80 - 50) \rightarrow \mathbf{Q = 322740 \text{ W}}$$

$$322740 = 4,1 \cdot 4180 \cdot (T_{B2} - 18) \rightarrow T_{B2} = 36,83 \text{ C}$$

Cálculo de DTML para 1,1 contracorrente:

$$\Delta T_1 = T_{A1} - T_{B2} = 80 - 36,83 \rightarrow \Delta T_1 = 43,17 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_{A2} - T_{B1} = 50 - 18 \rightarrow \Delta T_2 = 32 \text{ C} \quad \rightarrow \quad DTML = (43,17 - 32) / \ln(43,17 / 32) \rightarrow DTML = 37,31 \text{ C}$$

Correção do DTML:

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

$$X = (36,83 - 18) / (80 - 18) \rightarrow X = 0,3$$

$$Z = (80 - 50) / (36,83 - 18) \rightarrow Z = 1,6 \quad \rightarrow \quad y = 0,975$$

$$DTML = 37,31 \cdot 0,975 \rightarrow \mathbf{DTML = 36,38 \text{ C}}$$

Cálculo de U:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = h \cdot D / k$$

$$Pr = C_p \cdot \mu / k \rightarrow Pr = 4180 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} / 0,61 \rightarrow Pr = 5,893$$

$$Re = 4 \cdot m / \pi \cdot D \cdot \mu \rightarrow Re = 4 \cdot (4,1 / 4) / (3,1415927 \cdot 0,024 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3}) \rightarrow Re = 63230$$

$$h \cdot 0,024 / 0,61 = 0,023 \cdot 63230^{0,8} \cdot 5,893^{0,4} \rightarrow h_i = 8236 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$1 / U_i = 1 / h_i + D_i / h_e \cdot D_e \rightarrow 1 / U_i = 1 / 8236 + 0,024 / (7100 \cdot 0,026) \rightarrow \mathbf{U_i = 3977 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Cálculo da área do trocador de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot DTML \rightarrow 322740 = 3977 \cdot A \cdot 36,38 \rightarrow \mathbf{A = 2,23 \text{ m}^2}$$