



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

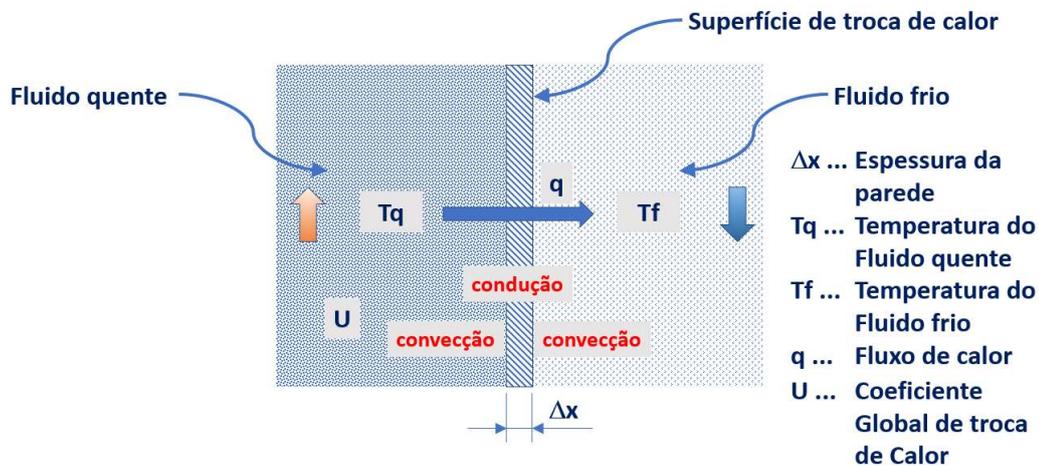
Prof. Antonio Carlos da Silva

AULA 02 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA DE CALOR

Em um trocador de calor, o fluxo de calor (calor trocado entre os fluidos), também denominado **Carga Térmica** do trocador, depende:

- da diferença de temperatura entre os fluidos (DT);
- da área da superfície de troca de calor (A); e
- das resistências à troca de calor, representadas por um Coeficiente Global de Troca de Calor (U).



Equação do Trocador de Calor:

$$q = -U.A.DT$$

Resistência global ao fluxo de calor: $1/U.A$

- Resistência da condução na parede: R_{par}
- Resistência da convecção do fluido quente: R_{Cq}
- Resistência da convecção do fluido frio: R_{Cf}
- Resistência das incrustações (condução): R_i



Incrustações em tubos de trocadores de calor

Resistências:

$$R_{Ci} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} \quad R_{Ce} = \frac{1}{h_e \cdot A_e} \quad R_{par} = \frac{\Delta x}{k \cdot A_m}$$

Desprezando-se a Resistência devida às incrustações:

$$\sum R = \frac{1}{U_i \cdot A_i} = R_{Ci} + R_{par} + R_{Ce} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\Delta x}{k \cdot A_m} + \frac{1}{h_e \cdot A_e}$$

$$\boxed{\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x \cdot A_i}{k \cdot A_m} + \frac{A_i}{h_e \cdot A_e}}$$

Para uma seção circular:

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

MÉTODO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA MÉDIA LOGARÍTMICA – DTML

A temperatura varia à medida que cada fluido escoar no trocador de calor e a troca de calor se processa.

Dessa forma, a diferença de temperatura não é constante no trocador de calor, salvo raras exceções.

Um dos métodos de cálculo dos parâmetros de operação de um trocador de calor baseia-se na estimativa de uma diferença de temperatura média, que representa a troca de calor se fosse mantida constante em toda a extensão dos escoamentos no trocador de calor.

Para o cálculo de trocadores de calor adotam-se algumas condições simplificadoras:

1. O Coeficiente Global de Troca de Calor, U , mantém-se constante ao longo do trocador de calor.
2. Os Calores Específicos dos dois fluidos são independentes da temperatura.
3. As vazões mássicas dos dois fluidos são mantidas constantes.
4. Não há trocas de calor com o ambiente.

Método DTML:

Em um ponto qualquer do Trocador de Calor: $-\Delta T = (T_A - T_B)$

Ao longo do Trocador de Calor: $-d(\Delta T) = dT_A - dT_B \quad (1)$

Para um fluido escoando no trocador de calor e sofrendo variação de temperatura é válida a expressão:

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Nessa expressão, m é a vazão mássica do fluido, C_p é o calor específico a pressão constante e ΔT é a variação de temperatura do fluido ao escoar pelo Trocador de Calor

$$-dq_A = -m_A \cdot C_{pA} \cdot \Delta T_A \quad \text{e} \quad -dq_B = -m_B \cdot C_{pB} \cdot \Delta T_B$$

$$dT_A = \frac{dq_A}{m_A \cdot Cp_A} \text{ e } dT_B = \frac{dq_B}{m_B \cdot Cp_B}$$

Na Equação (1): $-d(\Delta T) = \frac{dq_A}{m_A \cdot Cp_A} - \frac{dq_B}{m_B \cdot Cp_B}$ (2)

Se $dq_A + dq_B = 0 \quad \therefore \quad dq_A = -dq_B \quad \therefore \quad -d(\Delta T) = dq_A \cdot \left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)$ (3)

$$dq_A = \frac{-d(\Delta T)}{\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)} \quad (4)$$

Integrando a equação (3): $\int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} -d(\Delta T) = \int_0^q dq_A \cdot \left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)$
 $-(\Delta T_2 - \Delta T_1) = q_A \cdot \left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)$ (5)

Da equação (4):

$$dq_A = -U \cdot \Delta T \cdot dA = \frac{-d(\Delta T)}{\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)}$$

$$-\left[\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right) \right] \cdot U \cdot dA = \frac{-d(\Delta T)}{\Delta T}$$

Integrando:

$$-\left[\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right) \right] \cdot U \cdot \int_0^A dA = - \int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T}$$

$$\left[\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right) \right] \cdot U \cdot A = \ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \quad (6)$$

Das equações (5):

$$-(\Delta T_2 - \Delta T_1) = q_A \cdot \left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right)$$

e (6):

$$\left[\left(\frac{1}{m_A \cdot Cp_A} + \frac{1}{m_B \cdot Cp_B} \right) \right] \cdot U \cdot A = \ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

tem-se:

$$\left[\frac{-(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{q_A} \right] \cdot U \cdot A = \ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

$$q_A = - U \cdot A \cdot \left[\frac{-(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \right]$$

$$\Delta T_{ML} = \left[\frac{-(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \right]$$

Diferença de Temperatura Média Logarítmica

EXERCÍCIOS

- 1) Um trocador de calor de casco e tubos, operando em contracorrente, deve ser empregado para aquecer água à vazão $m = 0,8 \text{ kg/s}$ desde 30°C até 80°C , com um óleo quente entrando a 120°C e saindo a 85°C . O coeficiente de transferência de calor global é $U = 125 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. O calor específico da água é $C_p = 4.180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$. Calcule a área de transferência de calor necessária.
- 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.
- 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 $0,08 \text{ kg/s}$ 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, $1.000 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $80 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. As resistências térmicas da parede e das incrustações são desprezíveis. Calcule o comprimento necessário do tubo. Considere os calores específicos da água $4.180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ e do óleo $2.090 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.