



## OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

### AULAS 05 e 06 - CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR

#### CÁLCULO DO COEFICIENTE DE PELÍCULA

Para escoamento no interior de tubos, aplica-se a **Equação de Dittus-Boelter**, para determinação do coeficiente de película (convecção):

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^y$$

Para fluido esfriando:  $y = 0,3$

Para fluido aquecendo:  $y = 0,4$

Nu ... Número de Nusselt ...  $Nu = \frac{h \cdot D}{k}$

Re ... Número de Reynolds ...  $Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D \cdot \mu}$

Pr ... Número de Prandtl ...  $Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$

h ... Coeficiente de película (convecção interna no tubo)

k ... Condutividade térmica do fluido

D ... Diâmetro interno do tubo

$\rho$  ... Massa específica do fluido

$\mu$  ... Viscosidade dinâmica do fluido

$C_p$  ... Calor específico a pressão constante do fluido

O Número de Nusselt é uma relação entre as resistências convectiva ( $h \cdot D$ ) e condutiva ( $k$ ), no fluido.

O Número de Reynolds está relacionado ao regime de escoamento interno no tubo.

O Número de Prandtl é uma relação entre a difusividade de momento ( $C_p \cdot m$ ) e difusividade térmica ou condutiva ( $k$ ) no fluido

## EXERCÍCIOS

9) Necessita-se construir um condensador de vapor de água de casco e tubos, com tubos horizontais de diâmetro externo 25 mm e diâmetro interno 22 mm, 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  $h_e = 8.000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Calcule o comprimento do tubo. As propriedades da água são:  $C_p = 4.180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $k = 0,61 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e  $\mu = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ . Desprezar a resistência da parede do tubo ao fluxo de calor.

10) Precisa-se de um trocador de calor de casco e tubo para resfriar uma solução com  $C_p = 3260 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , de 80°C para 50°C, com vazão 3,3 kg/s, com água,  $C_p = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , entrando nos tubos a 18°C, na vazão de 4,1 kg/s. Os tubos devem ter diâmetro externo 26 mm e diâmetro interno 24 mm. 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:  $\mu = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$  e  $k = 0,61 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

- trocador de calor: 16 tubos

11) Quer-se projetar um trocador de calor de casco e tubos para resfriar 9,7 kg/s de solução de etanol,  $C_p = 3.840 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , de 85°C até 55°C, com água fria,  $C_p = 4.180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , entrando nos tubos a 10°C na vazão 12,15 kg/s. Os tubos deverão ter diâmetro externo 25 mm e diâmetro interno 22 mm. Calcular a área de troca de calor em cada uma das seguintes configurações:

- trocador de calor 1,1 correntes paralelas;
- trocador de calor 1,1 contracorrente;
- trocador de calor 1,2;
- trocador de calor 2,4.