



### Resolução Exercício - Aula 7:

Deseja-se aquecer 9820 lb/h de benzeno em um trocador duplo tubo de 80 a 120°F, usando tolueno que entra a 160 °F e sai a 100 °F. as densidades relativas são 0,88 e 0,87, respectivamente. Um fator de incrustação de 0,001 pode ser disponível para cada corrente e a queda de pressão permitida em cada corrente é de 10 psi. Dispomos de um certo número de grampos de 20 ft com tudo IPS de 2 por 1(1/4). Quantos grampos são necessários?

Benzeno:

$$\dot{m} = 9820 \text{ lb/h}$$

$$T_e = 80^\circ\text{F}$$

$$T_s = 120^\circ\text{F}$$

$$\rho = 0,88$$

Tolueno:

$$T_e = 160^\circ\text{F}$$

$$T_s = 100^\circ\text{F}$$

$$\rho = 0,87$$

$$f = 0,001 \text{ para cada corrente}$$

$$\Delta P = 10 \text{ psi}$$

Pela tabela Slide 6 - Aula 7:

Tubos IPS 2 e 1 1/4:

Seção interna:

$$D_i = 1,380 \text{ in} = 0,115 \text{ ft}$$

$$D_e = 1,66 \text{ in} = 0,138 \text{ ft}$$

Seção externa:

$$D_i = 2,067 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$D_e = 2,38 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

## Propriedades físicas:

$$\Rightarrow \text{benzeno} - T_m = \frac{80 + 120}{2} = 100^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0,5 \text{ cp (Slide 9 - Aula 7)}$$

$$\mu = 1,21 \text{ lb/ft.h}$$

$$C_p = 0,425 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F (Slide 11 - Aula 7)}$$

$$k = 0,085 \text{ Btu/h.ft.}^\circ\text{F (slide 13 - Aula 7)}$$

$$\Rightarrow \text{Tolueno:} - T_m = \frac{160 + 100}{2} = 130^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0,4 \text{ cp}$$

$$\mu = 0,99 \text{ lb/ft.h}$$

$$C_p = 0,44 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,085 \text{ Btu/h.ft.}^\circ\text{F}$$

Plo benzeno:

$$q = \dot{m} \cdot C_p \Delta T$$

$$q = 9820 \cdot 0,425 (120 - 80)$$

$$q = 166.940 \text{ Btu/h}$$

Plo tolueno:

$$q = \dot{m} \cdot C_p \Delta T$$

$$166.940 = \dot{m} \cdot 0,44 (160 - 100)$$

$$\dot{m} = 6323,48 \text{ Btu/h}$$

$$\Delta T_1 = 100 - 80 = 20^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 160 - 120 = 40^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_{mL} = \frac{20 - 40}{\ln \frac{20}{40}} = 28,66^\circ\text{F}$$

→ Seção interna - benzema:

$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,4}$  benzema aquecendo

$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} = \frac{0,425 \cdot 1,21}{0,085}$

$Pr = 6,05$

$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D_i \cdot \mu} = \frac{4 \cdot 9820}{\pi \cdot 0,115 \cdot 1,21}$

$Re = 89.900$

$Nu = \frac{h_i \cdot 0,115}{0,085} = 0,023 (89.900)^{0,8} (6,05)^{0,4}$

$h_i = 320,04 \text{ Btu/h ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

→ Seção anular - Toluena:

$Pr = \frac{0,44 \cdot 0,99}{0,085} = 5,12$

$Re = \frac{4 \cdot 6323,48}{\pi (0,172 + 0,138) \cdot 0,99} = 26.247,60$

$Nu = \frac{h_e \cdot D_h}{k} = 0,023 (26.247,60)^{0,8} (5,12)^{0,3}$

$D_h = 0,172 - 0,138 = 0,034 \text{ ft}$

$\frac{h_e \cdot 0,034}{0,085} = 128,58$

$h_e = 321 \text{ Btu/h ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

→ Coeficiente global,  $U_c$ :

$U_c = \frac{1}{\frac{D_c}{D_i \cdot h_i} + \frac{1}{h_e}} = 145,56 \text{ Btu/h ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

Porém, existe fator de incrustação em ambas as correntes.

$$U_{ef} = \frac{1}{\frac{D_c}{D_i \cdot h_i} + \frac{1}{h_e} + \underbrace{f_i + f_e}_{0,002}}$$

$$U_{ef} = 112,74 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

→ Cálculo da área:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$166.940 = 112,64 \cdot A_e \cdot 28,86$$

$$A_e = 51,35 \text{ ft}^2$$

Pl tubos IPS 1 1/4

0,435 ft<sup>2</sup> de área (Slide 6-Aula7)

$$L = \frac{51,35}{0,435} = 118 \text{ ft}$$

$$\text{ou } A = \pi \cdot D_c \cdot L \rightarrow L = 51,35 / (0,138 \cdot \pi) = 118,5 \text{ ft}$$

→ ligação de 3 grampos e 1 tubo de 20 ft cada

$$L_{\text{total real}} = 120 \text{ ft}$$

$$\text{Área real} = 120 \cdot 0,435 = 52,2 \text{ ft}^2$$

conseqüentemente  
Fator de incrustação será maior:

$$U_{\text{real}} = \frac{166.940}{52,2 \cdot 28,86} = 110,81 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$f_{\text{real}} = \frac{U_e - U_{\text{real}}}{U_e \cdot U_{\text{real}}} = \frac{145,56 - 110,81}{145,56 \cdot 110,81} = 0,0022$$

→ Queda de pressão:

\* Seção interna:

$$Re = 89.900$$

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{Re^{0,42}}$$

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(89.900)^{0,42}}$$

$$f = 0,0057$$

$$f = 0,88 \cdot 62,5 = 55$$

$$g = 4,18 \cdot 10^8 \text{ ft}^2/\text{s}^2$$

$$G = \frac{m}{A} \text{ (velocidade mássica)}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,115)^2}{4} = 0,0104 \text{ ft}^2$$

$$G = 9820 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{0,0104} \text{ ft}^2 = 943.000 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2$$

$$L = 120 \text{ ft}$$

$$\Delta F = \frac{4 \cdot 0,0057 \cdot (943.000)^2 \cdot 120}{2 \cdot 4,18 \cdot 10^8 \cdot (55)^2 \cdot 0,115}$$

$$\Delta F = 8,3 \text{ ft}$$

$$\Delta P = \frac{8,3 \cdot 55}{144} = 3,2 \text{ psi OK!}$$

↳  $\Delta P$  permitida até 40 psi

\* Seção anular:

$$Re = 26.247,60$$

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{(26.247,60)^{0,42}}$$

$$f = 0,0072 > f_{\text{interno}}$$

$$\rho = 0,87 \cdot 62,5 = 54,3$$

$$g = 4,18 \cdot 10^8 \text{ ft} / \text{s}^2$$

$$G = \dot{m} / A$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi (0,172^2 - 0,138^2)}{4}$$

$$A = 0,00826 \text{ ft}^2$$

$$G = \frac{6323,48}{0,00826} = 765.554,48 \text{ lb/Lh} \cdot \text{ft}^2$$

$$\Delta F = \frac{4 \cdot 0,0072 (765.554,48)^2 \cdot 120}{2 \cdot (4,18 \cdot 10^8) (54,3)^2 \cdot 0,034}$$

$$\Delta F = 23,5 \text{ ft}$$

$$V = \frac{G}{3600 \cdot \rho} = \frac{765.554,48}{3600 \cdot 54,3} = 3,92 \text{ ft/s}$$

$$F = 3 \left( \frac{V^2}{2g'} \right)$$

$n = n$  de grampos

$$F = 3 \cdot \left( \frac{3,92^2}{2 \cdot 32,2} \right) = 0,7 \text{ ft}$$

$$\Delta P = \frac{(23,5 + 0,7) \cdot 54,3}{144} = 9,2 \text{ psi OK!}$$

↓  
 $\Delta P_{\text{maximo}} =$

10 psi