

Folha de exercícios nº7 (Permutadores de calor)

7-1- Um permutador de calor tem que arrefecer 20 kg/s de água quente de 360 K a 335 K, usando 25 kg/s de água fria de temperatura de entrada 300 K. Se a velocidade da água conduzir a um coeficiente global constante de $2 \text{ kW m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, calcular a área total necessária:

- a) Num permutador em contra-corrente.
- b) Num permutador em co-corrente.
- c) Num permutador de passagem múltipla, com a água fria a fazer duas passagens pelos tubos e a água quente a fazer uma passagem ao longo do exterior dos tubos.

Água: $C_p = 4181 \text{ J/(kg.K)}$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

7-2- Num permutador de calor em contra-corrente, quer-se arrefecer 1,25 kg/s de benzeno (calor específico $1,9 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ e densidade 880 kgm^{-3}) de 350 K a 300 K, dispondo-se de água à temperatura de 290 K. O permutador tem tubos de diâmetro exterior 25mm e interior de 22 mm, e a água circula pelos tubos. Se os coeficientes de filme para a água e para o benzeno forem respectivamente $0,85$ e $1,70 \text{ kW m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ e se se puder desprezar a resistência de incrustação, qual deve ser o comprimento total de tubo necessário sabendo que se pretende usar a menor quantidade de água possível e que a temperatura desta não deve ultrapassar 320 K? ($k_{\text{tubo}} = 20 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

7-3- Um permutador de calor de envólucro e tubos (com 10 tubos que realizam 8 passagens pelo envólucro) está dimensionado para aquecer 2,5 kg/s de água de 15°C a 85°C . O aquecimento é conseguido graças à passagem de um óleo de processo, que se encontra disponível a 160°C . O coeficiente de filme do lado do óleo assume o valor de $400 \text{ W/(m}^2.\text{K)}$. A água circula pelo interior dos tubos. Os tubos possuem um diâmetro externo de 25 mm e um diâmetro interno de 23 mm. Sabendo que o óleo sai do permutador de calor a 100°C , calcule:

- a) O caudal mássico de óleo necessário para realizar a operação desejada.
- b) O comprimento que deverá ter cada tubo do permutador.
- c) A área total necessária.

Dados:

Factor de correcção de θ_m : $Y = 0,87$

Conductividade da parede do tubo: $k_w = 45 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Óleo – $C_p = 2350 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Água - $C_p = 4181 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\mu = 548 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$; $k = 0,643 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\rho = 1000 \text{ kgm}^{-3}$

7-4- Condensa-se benzeno à temperatura de 353 K no exterior dos tubos dum permutador de calor do tipo caixa/tubos, com tubos verticais de diâmetros interior 22 mm e exterior 25 mm, fazendo passar água pelo interior dos tubos a um caudal de 0,03 m³/s. Qual será o comprimento total de tubo necessário, sabendo que a água entra a 290 K e sai a 300 K, e que o coeficiente de transferência de calor do lado da água é 850 W m⁻² K⁻¹?

- Condutividade térmica do material da parede do tubo: 45 W m⁻¹ K⁻¹

- Água: C_p=4181 J/(kg.K); ρ=1000 kg/m³

- Benzeno: μ = 0.35 x10⁻³ kg m⁻¹ s⁻¹; k = 0.15 W m⁻¹ K⁻¹; ρ = 880 kg m⁻³; λ = 394 kJ kg⁻¹

Coeficientes de filme

A) No interior dos tubos: $Nu = 0,023.Re^{0,8}.Pr^n$

$$\left(\frac{h_i d_i}{K}\right) = 0,023 \cdot \left(\frac{\rho \cdot d_i u}{\mu}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^n$$

$$n = \begin{cases} 0,4 & \text{– aquecimento do fluido} \\ 0,3 & \text{– arrefecimento do fluido} \end{cases}$$

Exemplo importante: água de refrigeração

(aquecimento do fluido)

$$h_i = 1063 \cdot (1 + 0,00293 \cdot T) \cdot \frac{u^{0,8}}{d_i^{0,2}}$$

B) No interior das serpentinas:

$$h_{i(\text{serp.})} = h_{i(\text{tubo recto})} \times \left(1 + 3,5 \cdot \frac{d_i}{d_s}\right)$$

$$h_{i(\text{serp.})} = 0,023 \cdot \frac{K}{d_i} \left(\frac{\rho d_i u}{\mu}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^n \cdot \left(1 + 3,5 \cdot \frac{d_i}{d_s}\right)$$

Água de refrigeração:

$$h_{i(\text{serp.})} = 1063 \cdot (1 + 0,00293 \cdot T) \cdot \frac{u^{0,8}}{d_i^{0,2}} \cdot \left(1 + 3,5 \cdot \frac{d_i}{d_s}\right)$$

h_i – coeficiente de filme (interior)

K – condutividade...
 R – massa específica
 M – viscosidade
 C_p – calor específico
 }
 do fluido

u – velocidade de fluxo

T – média aritmética das temperaturas de entrada e saída

diâmetros
 {

 d_i – interno (do tubo ou da serpentina)
 d_s – da hélice

C) No exterior (em reactores)

... da serpentina:
$$h_s = 0,87 \cdot \frac{K}{d_r} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{L^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{0,62}$$

... da camisa:
$$h_c = 0,36 \cdot \frac{K}{d_r} \left(\frac{\mu}{\mu_c} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{L^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{2/3}$$

L – diâmetro da pá de agitação

N – rotações da pá por unidade de tempo

d_r – diâmetro do tanque ou reactor (cilíndrico)

μ_s (ou μ_c) – viscosidade do fluído agitado, exterior à serpentina (ou à camisa) na região adjacente à serpentina (ou à camisa)

(μ, K, C_p e ρ referem-se ao fluído agitado em globo)

D) No exterior dos tubos rectos dos condensadores

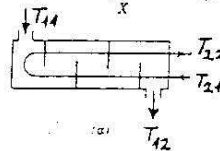
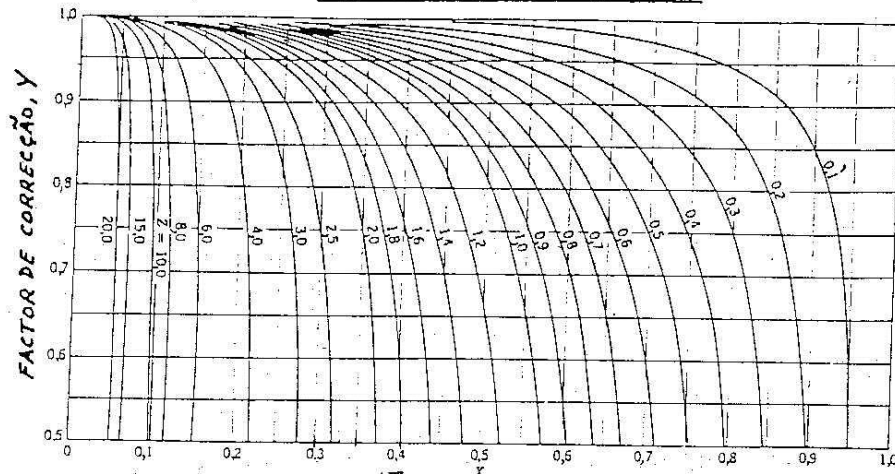
... horizontais:
$$h_e = 1,19 \cdot \left(\frac{k^3 \rho^2 g}{4M\mu} \right)^{1/3}$$
 Onde M = G/(comprimento total dos tubos)

... verticais:
$$h_e = 1,47 \cdot \left(\frac{k^3 \rho^2 g}{4M\mu} \right)^{1/3}$$
 Onde M = G/(perímetro molhado)

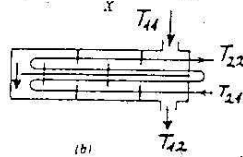
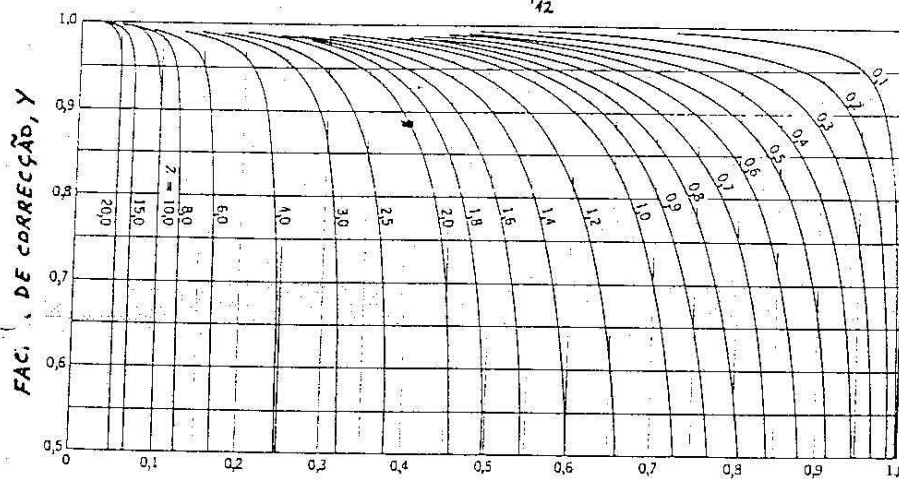
G – caudal mássico condensado

g – aceleração da gravidade

= Factores de correcção de θ_m =



a) - Uma só passagem no invólucro e duas ou mais passagens nos tubos

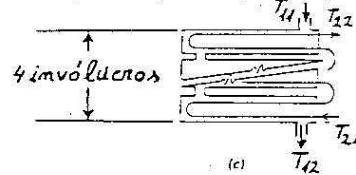
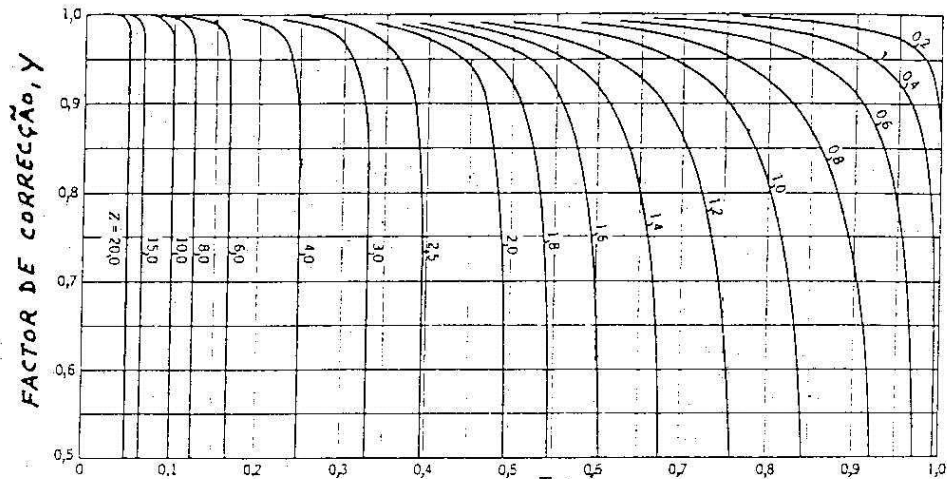


b) - Dupla passagem no invólucro e quatro ou mais passagens nos tubos

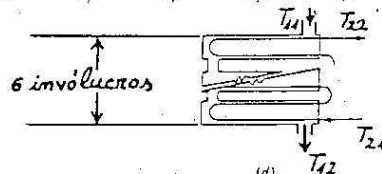
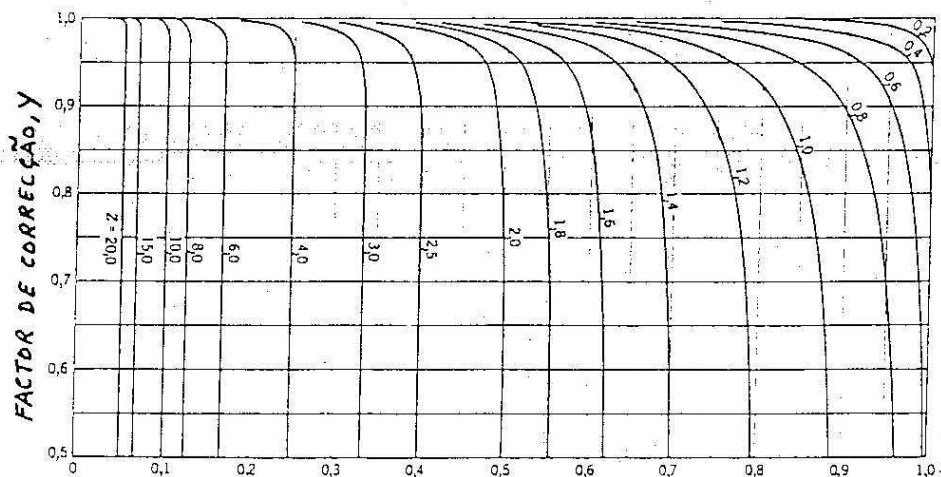
$$X = \frac{T_{22} - T_{21}}{T_{11} - T_{21}} \quad Z = \frac{T_{11} - T_{12}}{T_{22} - T_{21}}$$

340
285

= Factores de correcção de θ_m (continuação) =



c) - Quatro passagens no involucre e oito ou mais passagens nos tubos



d) - Seis passagens no involucre e doze ou mais passagens nos tubos

$$X = \frac{T_{22} - T_{21}}{T_{11} - T_{21}}$$

$$Z = \frac{T_{11} - T_{12}}{T_{22} - T_{21}}$$

341
200