

## Problema y sistema

150000 kg.hr<sup>-1</sup> de etanol deben ser enfriado desde 80°C a 40°C en un PHE disponible, usando agua a 25°C con una temperatura de salida máxima de 40°C.

El PHE posee 110 placas de 0,5 m x 1.5 m y puede ser ajustado a 3 mm de distancia entre placas (espesor de placa 0.75 mm, conductividad térmica 21 W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>). La configuración es 1-1. El diámetro interno del ducto de conexión interplaca es de 10 cm. Verificar si es posible el uso de este intercambiador y estimar la caída de presión esperada.

Sin en lugar de un intercambiador PHE, se utiliza en STHE 1-2 para las mismas condiciones de servicio, ¿cuál sería su área requerida?

Las propiedades termofísicas del etanol y el agua a las temperaturas medias de 60°C y 32.5°C son: cP 2.435 / 4.187 kJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>; μ: 0.5872 / 0.77725 cP; conductividad térmica: 0.1594 / 0.6164 W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>; densidad 753.3 / 995.0 kg.m<sup>-3</sup>. Asuma que coeficientes peliculares de ensuciamiento son 10000 / 10000 W.m<sup>-2</sup>.°C<sup>-1</sup>.

## DATOS

$$Q_{met} := 150000 \frac{kg}{hr} \quad Temp_{H_{in}} := 80 \quad Temp_{H_{out}} := 40 \quad Temp_{proH} := 60$$

$$Temp_{C_{in}} := 25 \quad Temp_{C_{out}} := 40 \quad Temp_{proC} := 32.5$$

$$N_{pl} := 110 \quad L_p := 1.5 \text{ m} = 1.5 \text{ m} \quad b := 0.5 \text{ m} \quad s := 3 \text{ mm} \quad e_p := 0.75 \text{ mm}$$

$$k_p := 21 \frac{W}{m \cdot \Delta^\circ C}$$

Intercambiador de placa  
configuración 1:1  
fluido de servicio: agua  
fluido de trabajo: etanol

$$d_{hole} := 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$kJ := 1000 \text{ J}$$

$$cP := 0.01 \text{ poise}$$

$$cP_{et} := 2.435 \frac{kJ}{kg \cdot \Delta^\circ C}$$

$$cP_a := 4.187 \frac{kJ}{kg \cdot \Delta^\circ C}$$

$$\mu_{et} := 0.5872 \text{ cP} \quad \mu_a := 0.77725 \text{ cP}$$

$$k_{et} := 0.1594 \frac{W}{m \cdot \Delta^{\circ}C} = 0.159 \frac{kg \cdot m}{s^3 \cdot K}$$

$$k_a := 0.6164 \frac{W}{m \cdot \Delta^{\circ}C}$$

$$\delta_{et} := 753.3 \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta_a := 995 \frac{kg}{m^3}$$

$$R_{ad} := \left( \frac{1}{10000 \frac{W}{m^2 \cdot \Delta^{\circ}C}} + \frac{1}{10000 \frac{W}{m^2 \cdot \Delta^{\circ}C}} \right) = (2 \cdot 10^{-4}) \frac{s^3}{K}$$

$$C := 0.374$$

$$A := 0.67$$

$$D_H := \frac{4 \cdot b \cdot s}{2 \cdot (b + s)} = 0.006 \text{ m}$$

$$B := 0.33$$

$$X := 0.15$$

## DESARROLLO

### INCISO A verificación del intercambiador y caída de presión

$$q := (Q_{met} \cdot cP_{et} \cdot (Temp_{Hin} - Temp_{Hout})) \cdot K$$

$$q = (4.058 \cdot 10^3) \text{ kW}$$

Valores de prueba

$$Q_{ma} := 1 \frac{kg}{hr}$$

Solver Restricciones

$$q = (Q_{ma} \cdot cP_a \cdot (Temp_{Cout} - Temp_{Cin})) \cdot K$$

$$Q_{ma} := \text{find}(Q_{ma}) = (2.326 \cdot 10^5) \frac{kg}{hr}$$

$$A_p := L_p \cdot b = 0.75 \text{ m}^2$$

$$A_{tdis} := A_p \cdot N_{pl} = 82.5 \text{ m}^2$$

$$N_{pl} := \frac{N_{pl} - 1}{1}$$

$$G(Q_m) := \frac{Q_m}{N_{chp} \cdot b \cdot s}$$

$$Re(Q_m, D_H, \mu) := \frac{G(Q_m) \cdot D_H}{\mu} \quad Pr(\mu, k, cP) := \frac{cP \cdot \mu}{k}$$

$$Nu(Q_m, D_H, \mu, k, cP) = C \cdot Re(Q_m, D_H, \mu)^a \cdot Pr(\mu, k, cP)^b \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{wall}}\right)^x$$

no se tiene en cuenta el efecto de pared

$$Nu(Q_m, D_H, \mu, k, cP) := C \cdot Re(Q_m, D_H, \mu)^A \cdot Pr(\mu, k, cP)^B$$

$$D_H = 0.006 \text{ m}$$

$$h_i(Q_m, D_H, \mu, k, cP) := \frac{Nu(Q_m, D_H, \mu, k, cP) \cdot k}{D_H}$$

$$h_i := h_i(Q_{met}, D_H, \mu_{et}, k_{et}, cP_{et}) = (6.348 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$h_o(Q_m, D_H, \mu, k, cP) := \frac{Nu(Q_m, D_H, \mu, k, cP) \cdot k}{D_H}$$

$$h_o := h_o(Q_{ma}, D_H, \mu_a, k_a, cP_a) = (2.292 \cdot 10^4) \frac{\text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$U_{gd} := \left( \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + R_{ad} + \frac{e_p}{k_p} \right)^{-1} = (2.289 \cdot 10^3) \frac{\text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$U_{gc} := \left( \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \frac{e_p}{k_p} \right)^{-1} = (4.222 \cdot 10^3)$$

$$(Temp_{Cout} - Temp_{Cin}) = 15$$

$$(Temp_{Hin} - Temp_{Hout}) = 40$$

$$\Delta T_{max} := (Temp_{Hin} - Temp_{Hout}) \cdot K = 40 \text{ K}$$

$$C_H := cP_{et} \cdot Q_{met} = (1.015 \cdot 10^5) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$C_C := cP_a \cdot Q_{ma} = (2.706 \cdot 10^5) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$C_{min} := C_H = (1.015 \cdot 10^5) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{K}}$$

$$q_{max} := C_{min} \cdot \Delta T_{max} = (4.058 \cdot 10^3) \text{ kW}$$

$$LMTD_{ctc} := \left( \frac{(Temp_{Hout} - Temp_{Cin}) - (Temp_{Hin} - Temp_{Cout})}{\ln \left( \frac{(Temp_{Hout} - Temp_{Cin})}{(Temp_{Hin} - Temp_{Cout})} \right)} \right) \cdot \Delta^\circ C = 25.489 \text{ K}$$

$$NTU := \frac{\Delta T_{max}}{LMTD_{ctc}} = 1.569$$

$F_t := 0.97$  vs NTU  
 $F_t$  obtenido de la gráfica  $F_t$  vs NTU

$$A_{tnec} := \frac{q}{U_{gd} \cdot LMTD_{ctc} \cdot F_t} = 71.711 \text{ m}^2$$

Valores de prueba

$$A_t := 1 \text{ m}^2$$

Restricciones

$$NTU = U_{gd} \cdot \frac{A_t}{C_{min}}$$

Solver

$$A_{tnec} := \text{find}(A_t) = 69.56 \text{ m}^2$$

Por el método LMTD

Por el método épsilon NTU

$$\frac{A_{tnec}}{A_{tdis}} = 0.843$$

el área disponible es suficiente para realizar el servicio, por lo tanto, se puede usar éste intercambiador

$$J_f(Q_m, D_H, \mu) := 0.6 \cdot Re(Q_m, D_H, \mu)^{-0.3}$$

$$L_t := \sqrt{L_p^2 + b^2}$$

$$\Delta P_p(Q_m, D_H, \mu, \delta) := 8 \cdot J_f(Q_m, D_H, \mu) \cdot \left( \frac{L_t}{D_H} \right) \cdot \frac{G(Q_m)^2}{2 \cdot \delta}$$

$$\Delta P_{po}(Q_m, d_{hole}, \delta) := 1.3 \cdot \frac{8 \cdot Q_m^2}{\delta \cdot \pi^2 \cdot d_{hole}^4}$$

$$\Delta P_{pa} := \Delta P_p(Q_{ma}, D_H, \mu_a, \delta_a) = 29.287 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{pet} := \Delta P_p(Q_{met}, D_H, \mu_{et}, \delta_{et}) = 16.867 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{pca} := \Delta P_p(Q_{ma}, d_{hole}, \delta_a) = 44.22 \text{ kPa}$$

$$\Delta P_{pet} := \Delta P_p(Q_{met}, d_{hole}, \delta_{et}) = 24.285 \text{ kPa}$$

$$\Delta P := \Delta P_{pa} + \Delta P_{paa} + \Delta P_{pet} + \Delta P_{poet} = 114.66 \text{ kPa}$$

**INCISO b cambiar por un coraza tubo 1:2, área?**