

Cuarto Parcial

Problema 1:

Calcule la caída de presión por unidad de largo de tubo ($\Delta P/L$) para el tránsito de aire a través del ánulo de un intercambiador de doble tubo. El intercambiador consiste en un tubo externo ID 3" y un tubo interno OD 2"; los tubos son de acero comercial. El tubo interno tiene 12 aletas con un alto de 3/4" y espesor de 1/16". El aire se encuentra a una temperatura promedio de 300 K y presión promedio de 400 kPa (C_p : 1005,7 J/kg °C; μ : 1,846.10⁻⁵ Pa.s; k : 0,026 W/m K), para una velocidad de 60 m/s. ¿Es apropiado este intercambiador para un largo total de 3 m y un límite de 0,5 bar de caída de presión? (6 p)

Problema 2:

Se dispone de un intercambiador de calor de tipo 1-2, con una carcasa de 31 pulg, 4 m de largo, tubos de 3/4 pulg OD (BWG 14), ocho deflectores, arreglo triangular con separación (pitch) de 1 pulg. Se necesita saber si este intercambiador es adecuado para enfriar una corriente de amoníaco de 35 kg/s que se encuentra a 55 °C. Como fluido de enfriamiento se tiene agua tratada de torre de enfriamiento, a una tasa de 65 kg/s y a 5 °C.

- Haga la asignación de flujo y explique la razón por la cual hace dicha asignación.
- Con un U_o aproximado (de las tablas), haga un primer estimado de las temperaturas de salida de los fluidos. Use el método del ϵ -NTU.
- Afine el estimado de las temperaturas de salida de los fluidos calculando el U_{os} del sistema.
- Con base en los resultados obtenidos, evalúe si el intercambiador disponible es adecuado para el propósito deseado. Use el criterio de su preferencia (CF o SDA). No tiene que hacer la evaluación del desempeño hidráulico.

(10 p)

Preguntas:

Responda las siguientes preguntas de forma razonada:

- ¿Qué sucede con las temperaturas de los fluidos y el U_o cuando se alargan los tubos de un intercambiador? (1,5 p)
- ¿Qué puede hacerse cuando el área de intercambio, A_o , resulta muy grande y se requiere una menor? (1,5 p)
- ¿Qué significa el R_{st} , coeficiente de ensuciamiento total? (1 p)

Tablas de datos:

Amoníaco líquido

Temperatura, °C	ρ , kg/m ³	C_p , J/kg K	ν , m ² /s . 10 ⁻⁶	k , W/m K
20	611,8	4798	0,359	0,521
30	596,4	4890	0,349	0,507
40	581,0	4999	0,340	0,493
50	564,3	5116	0,330	0,476

Agua líquida

Temperatura, °C	ρ , kg/m ³	C_p , J/kg K	μ , Pa.s . 10 ⁻³	k , W/m K
4,4	999,8	4208	1,55	0,575
10	999,2	4195	1,31	0,585
15,56	998,6	4186	1,12	0,595
21,11	997,4	4179	0,98	0,604

05/10/07

Operaciones Unitarias II

Cuanto Parcial
Resolución

Problema 1:

Datos del tubo:

Doble tubo, tubo interno con aletas, acero comercial.

$$D_i = 3" (ID); \quad D_i = 0,076 \text{ m}$$

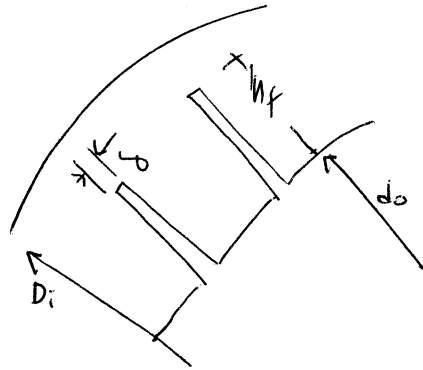
$$d_o = 2" (OD); \quad d_o = 0,051 \text{ m}$$

$$N_f = 12 \text{ aletas}$$

$$h_f = 3/4 \text{ pulg} = 0,019 \text{ m}$$

$$\delta = 1/16 \text{ pulg} = 0,002 \text{ m}$$

$$E = 0,045 \text{ mm}$$



⊙

Datos del fluido, aire:

$$\bar{T}, K = 300 \text{ K}$$

$$\bar{P}, Pa = 400.000 \text{ Pa}$$

$$\bar{V} = 60 \text{ m/s}$$

$$\mu = 1,846 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Cálculos:

Hace falta calcular el diámetro hidráulico =

$$D_h = \frac{4 \left[\frac{\pi D_i^2}{4} - \frac{\pi d_o^2}{4} - N_f h_f \delta \right]}{\pi D_i + \pi d_o + N_f (2h_f + \delta)} = 0,010 \text{ m}$$

No se dispone de la densidad del aire; se supondrá que el gas es ideal, lo cual no es tan mala suposición

3/8

porque la presión no es tan alta y la temperatura es relativamente alta:

$$\rho = \frac{\bar{P} P_M}{R \bar{T}} = 4.7 \text{ kg/m}^3 ; R = 8314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{kgmol} \cdot \text{K}}$$

Cálculo del factor de fricción:

$$\left. \begin{array}{l} E/D_h = 0,00454 \\ Re = \frac{\rho \bar{v} D_h}{\mu} = 198.525 \end{array} \right\} f = 0.0076 \text{ (Ec. Churchill)}$$

Caida de presión ($-\Delta P/L$):

$$\left(\frac{-\Delta P}{L} \right) = 2f \frac{\rho \bar{v}^2}{D_h} = 25.702 \text{ Pa./m} = 0,257 \text{ bar/m}$$

Para un tubo de 3m $\rightarrow (-\Delta P) = 0,771 \text{ bar/m} > 0,5 \text{ bar}$

La caída de presión es excesiva.

Problema 2:

Datos del intercambiador 1-2:

$$D_c = 31 \text{ pulg} = 0,787 \text{ m}$$

$$d_o = 0,0191 \text{ m}$$

$$d_i = 0,0148 \text{ m (BWG 14)}$$

$$t_f = 0,0254 \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$N_b = 3 \text{ deflectors}$$

$$B = L / (N_b + 1) = 0,44 \text{ m}$$

Arreglo triangular.

De las tablas: $N_t = 728$ tubos

Datos de los fluidos:

	Fluido frío Agua tratada	Fluido caliente Amoníaco
$m, \text{kg/s}$	65	35
$T_1, ^\circ\text{C}$	5	55
$R_s, \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$	0,000176	0,000176

- a) Asignación: Los dos fluidos tienen el mismo factor de suciedad, por lo que es indiferente por donde transiten bajo este punto de vista. Puede tomarse entonces el criterio de flujo y se asigna el amoníaco por la carcasa por ser el de menor flujo.
- b) Para usar el método del E-NTU se necesita un estimado de U_o y de los C_p de los fluidos.
 Estimado de U_o : 1000-2500 (tablas)
 $U_o = 1750 \text{ W/m}^2\text{K}$ (promedio del intervalo)

Estimados de C_p :

Para avanzar el cálculo, se pueden tomar los C_p a las temperaturas de entrada de los fluidos:
 Amoníaco (55°C) \rightarrow se toma C_p a 50°C , $5116 \text{ J/}^\circ\text{C K}$
 Agua (5°C) \rightarrow se toma C_p a $9,9^\circ\text{C}$, $4208 \text{ J/}^\circ\text{C K}$

$$C_{\text{fluo}} = 65 \times 4208 = \dot{m}_f \cdot C_{p_f} = 273520 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$C_{\text{NH}_3} = \dot{m}_c C_{p_c} = 179060 \text{ W/K} \rightarrow C_{\text{min}}$$

$$C^* = \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{max}}} = 0,655$$

Área del intercambiador:

$$A_0 = \pi D_0 L N_f = 174 \text{ m}^2$$

Cálculo del NTU: $NTU = \frac{U_0 A_0}{C_{\min}} = 1,703$

Obtención de ϵ :

De la figura $\epsilon = 0,61$

De la ecuación $\epsilon = 0,623$

Entonces, como $\epsilon = \frac{\Delta T_{\text{real}}}{\Delta T_{\text{max}}} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{c1} - T_{f1}} = \frac{55 - T_{c2}}{55 - 5} = 0,623$

$$T_{c2} = \underline{23,8 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c c_{p,c} \Delta T_c = 5.530.092 \text{ W} = \dot{m}_f c_{p,f} \Delta T_f$$

$$T_{f2} = \underline{25,4 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

c) Con este primer estimado de temperatura se pueden buscar las propiedades de los fluidos y ~~se~~ hacer un cálculo más real del U_0 .

	Agua tratada Tubos	Amoníaco Carcasa
\dot{m} , Kg/s	65	35
T_1 , $^\circ\text{C}$	5	55
T_2 , $^\circ\text{C}$	25,4	23,8
\bar{T} , $^\circ\text{C}$	15,2	39,4
c_p , J/KgK	4186	4999
ρ_f , Kg/m ³	998,6	581
μ , Pa.s	0,00112	$1,97 \times 10^{-4}$ ($\mu = 2p$)
k , w/mK	0,604	0,493
Pr	7,9	2,0
C w/K	272090	174.965

Cálculo de $U_{os} =$

Paso tubos:

$$\dot{m}_t, \text{ kg/s} = \dot{m} / (N_t / N_p) = 0,18 \text{ kg/s}$$

$$N_t, \text{ m/s} = \frac{\dot{m}_t}{\rho A_t} = \frac{\dot{m}_t}{\rho \frac{\pi}{4} d_i^2} = 1,03 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho v_t d_i}{\mu} = 13666$$

$$Pr = 7,9$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 13666 \\ Pr = 7,9 \end{array} \right\} Nu = 100,9 \rightarrow h_i = \frac{Nu k}{d_i} = 4048 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Paso carcasa:

$$A_t = \frac{(P_t - d_o) D_c B}{P_t} = 8,75 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$D_{eq} = \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} P_t^2 - \frac{\pi}{4} d_o^2 \right)}{\pi d_o} = 0,0133 \text{ m}$$

$$G = \frac{\dot{m}_c}{A_t} = 400 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

$$Re = \frac{G D_{eq}}{\mu} = 37047$$

$$Pr = 2$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 37047 \\ Pr = 2 \end{array} \right\} Nu = 96,2 \rightarrow h_o = \frac{Nu k}{D_{eq}} = 2322 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

$$\text{Cálculo de } R_{st} = R_{so} + \frac{d_o}{d_i} R_{si} = 0,0004 \text{ K/W}$$

$$U_{os} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{so} + \frac{d_o}{d_i} \left(R_{si} + \frac{1}{h_i} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{st} + \frac{d_o}{d_i} \times \frac{1}{h_i}}$$

$$U_{os} = 870 \text{ W/m}^2 \text{K} \quad (\text{se desprecia resistencia de la pared del tubo})$$

$$U_{or} = \left(\frac{1}{U_{os}} - R_{st} \right)^{-1} = 1337 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

$$\text{Nuevo } C^* = 0,643$$

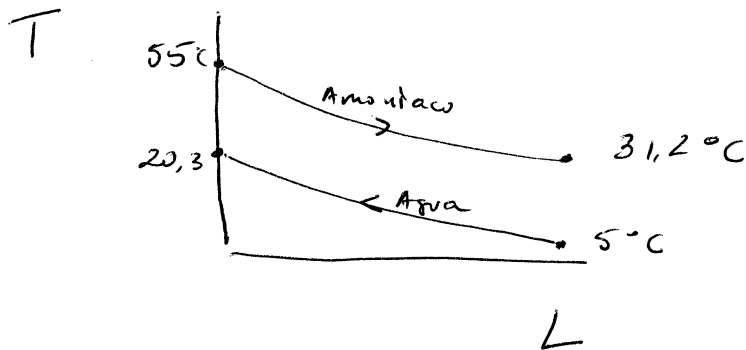
$$\text{Nuevo } NTU = \frac{U_o A_o}{C_{\min}} = \frac{370 \cdot 174}{174 \cdot 965} = 0,846$$

Obtención de ϵ :

$$\text{de la figura } \epsilon = 0,48 \rightarrow T_{c2} = 31,2^\circ\text{C}$$

$$\text{de la ecuación } \epsilon = 0,476 \rightarrow T_{f2} = 20,3^\circ\text{C}$$

Con estas temperaturas se puede repetir todo el procedimiento hasta que coincidan los valores de temperaturas supuestas con los calculados. En todo caso, los resultados son razonables:



c) Evaluación del desempeño térmico:

$$CF = \frac{U_o S}{U_o L} = 0,65 \quad SOA = 100 U_o L_{st} = 53,8 \%$$

El intercambiador está en poco sobrediseñado para los propósitos, pero sí. Por supuesto, faltaría la evaluación del desempeño hidráulico para poder decir con todos los elementos a mano.

Preguntas:

a) Cuando aumenta la longitud del intercambiador, aumenta el área de transferencia. Esto hace que el fluido frío salga más caliente y el fluido caliente, más frío.

El U_o se veía modificado en la medida en que las propiedades de los fluidos cambian con los aumentos de ΔT (ΔT_c y ΔT_f). El U_o puede aumentar o disminuir en la medida que el cambio de temperatura afecta al fluido en el menor h . Sin embargo, para incrementos moderados de ΔT_i , U_o no debería cambiar de forma significativa.

b) Pueden tomarse varias medidas, entre ellas, aquellas que permiten aumentar el U_o , lo cual se logra incrementando las velocidades por tubos y carcasa. La velocidad por los tubos puede aumentarse disminuyendo el diámetro interno de los tubos o aumentando el # de pases por los tubos. La velocidad por la carcasa puede aumentarse colocando deflectores a espacios menores, disminuyendo el espacio entre tubos, pasando de arreglo cuadrado a triangular.

Si el área es demasiado grande, se puede pasar en dividir los flujos. Heja aún, se pueden usar intercambiadores más eficientes como los de placas.

c) El h_{sc} cuantifica el grado de ensuciamiento de un intercambiador, lo cual determina la frecuencia de mantenimiento del mismo.