Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Mecánica

Auxiliar Nº 2 ME43B

Profesor: Ramón Frederick G.

Profesor Auxiliar: Sergio Courtin V.

1. DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR. Se debe enfriar un caudal de agua caliente de 1 kg/s de 90 a 60° C mediante un segundo fluido (agua fría), que está disponible con un caudal mayor (2 kg/s), a una temperatura de 40°C. Para esta aplicación se diseñará un intercambiador de calor. Se decide usar un intercambiador de tubos concéntricos, y de experiencia previa se determina que los diámetros interior y exterior del tubo central, serán de 0.0381 y 0.03048 m respectivamente. La conductividad del material del tubo es de 50 W/mK. El calor específico del agua es de 4180 J/kgK. Se determina también que los coeficientes convectivos serán de 4366 y 7600 W/m^2K para el fluido caliente y el frío respectivamente (a pesar de usar agua a ambos lados de la pared los coeficientes individuales difieren debido a la diferencia de caudales). El intercambiador operará en contracorriente. Usando los balances y la ecuación de transferencia obtenga el área de intercambio necesaria (área exterior del tubo). Determine también la longitud del intercambiador (De ser necesario indique el número necesario de tramos en serie, de 4 m de largo c/u), la eficiencia y el número de unidades de transferencia.

2. BALANCES DE ENERGIA Y ECUACION DE TRANSFERENCIA. Se debe calentar 5000 kg/hr de un aceite (C=2500 J/kgK) desde 90ºC hasta 30ºC. Para esto se tiene un caudal de agua de 3000 kg/hr, (C=4180 J/kgK) disponible a 20ºC. Se usará un intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente. Determinar:

   a) Calor intercambiado y temperatura de salida del agua.

   b) Diferencia de temperatura logarítmica, producto UA y Nº de unidades de transferencia del intercambiador necesario.

   c) Calor máximo que sería posible transferir con las condiciones de entrada dadas. Eficiencia del intercambio, con el intercambiador especificado en *b*).

3. CALOR TOTAL TRANSFERIDO DESDE UNA PLACA PLANA. Una placa plana de 2 m de ancho por 4 m de largo está a 50ºC. En la dirección del lado más largo fluye aire a 0ºC, con una velocidad de corriente libre de 1.8 m/s, paralelo a la placa. Encuentre el calor total transferido por la placa al aire. Indicación: Utilice el coeficiente convectivo medio para la placa. Considere también constantes las propiedades del aire: Viscosidad = $1{,}85 \times 10^{-5}$ kg/ms, Conductividad = 0.0262 W/mK, C = 1005 J/kgK, Densidad = 1.177 kg/m^3.

1. Datos:

- W= 1 kg/s
- T_e= 90 ^oC
- T_s= 60 ^oC
- w= 2 kg/s
- t_e= 40 ^oC
- d_i= 0.03048 m
- d_e= 0.0381 m
- k= 50 W/mK
- C= 4180 J/kgK
- h_2= 4366 W/m^2K
- h_1= 7600 W/m^2K

La configuración del problema es:

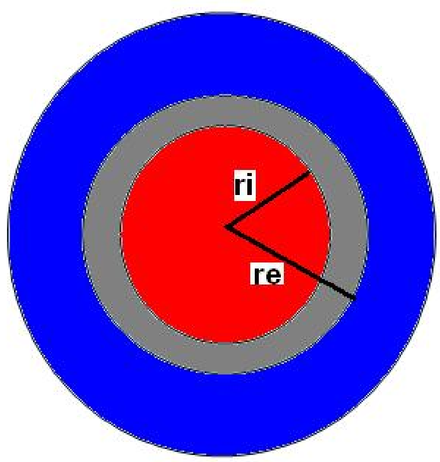

Figura 1: Vista en corte del intercambiador

Sol: Balance térmico:

$$Q = WC(T_e - T_s) = wc(t_s - t_e)$$

$$Q = 1 \cdot 4180(90 - 60) = 125400[W]$$

$$\Rightarrow 125400 = 2 \cdot 4180(t_s - 40)$$

$$\Rightarrow t_s = 65^oC$$

El gráfico de las temperaturas v/s distancia sería:

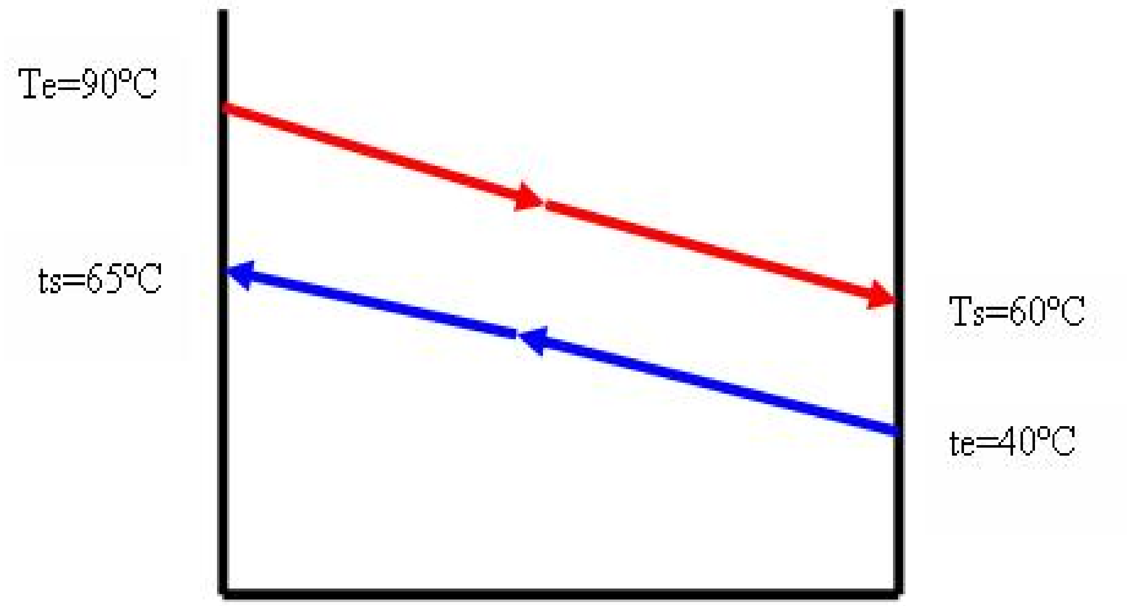

Figura 2: Progresión de Temperaturas en Contracorriente

El ΔT_{log} es:

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

$$\Delta T_{log} = \frac{(90-65)-(60-40)}{ln(25/20)} = 22{,}4$$

El coeficiente global de transferencia de calor, U:

$$\frac{1}{U_e} = \frac{r_2}{h_1 r_1} + \frac{r_2 ln(r_2/r_1)}{k} + \frac{1}{h_2}$$

$$\frac{1}{U_e} = \frac{0{,}01905}{7600 \cdot 0{,}01524} + \frac{0{,}01905 ln(0{,}01905/0{,}01524)}{50} + \frac{1}{4366}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{U_e} = 4{,}7 \times 10^{-4}$$

$$U_e = 2091{,}86$$

El área se calcula como:

$$Q = UA\Delta T_{log}$$

$$125400 = 2091{,}86A22{,}4$$

$$\Rightarrow A = 2{,}67$$

La longitud del intercambiador:

$$A = 2\pi r_e L$$

$$2{,}67 = 2\pi 0{,}01905L$$

$$\Rightarrow L = 22{,}31$$

Tramos en serie=$L/4$=5.58 La eficiencia del intercambio como el calor real transferido dividido por el calor máximo que se puede transferir:

$$\epsilon = \frac{Q_{re}}{Q_{max}} = \frac{WC(T_e - T_s)}{(WC)_{min}(T_e - t_e)} = \frac{wc(t_s - t_e)}{(WC)_{min}(T_e - t_e)}$$

$$\epsilon = \frac{125400}{1 \cdot 4180(90 - 40)} = 0{,}6$$

Número de unidades de transferencia del intercambiador, representa el cuociente entre la capacidad de transferencia de calor por grado de diferencia de temperatura entre los dos fluidos (representada por UA), y la cantidad de calor a transferir por grado de calentamiento o enfriamiento (representada por C_{min}.):

$$NUT = \frac{UA}{WC_{min}}$$

$$NUT = \frac{2091{,}86 \times 2{,}67}{4180} = 1{,}33$$

2. Datos:

   - W= 5000 kg/hr=18000000 kg/s
   - w= 3000 kg/hr=10800000 kg/s
   - T_e= 90 ^oC
   - T_s= 30 ^oC
   - t_e= 20 ^oC
   - C_{aceite}= 2500 J/kgK
   - C_{agua}= 4180 J/kgK

   a) Sol: Balance térmico:

$$Q = WC(T_e - T_s) = wc(t_s - t_e)$$

$$Q = 18000000 \cdot 2500(90 - 30) = 27 \times 10^{11}[W]$$

$$\Rightarrow 27 \times 10^{11} = 10800000 \cdot 4180(t_s - 20)$$

$$\Rightarrow t_s = 79{,}8^oC$$

   b) El ΔT_{log} es:

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

$$\Delta T_{log} = \frac{(90 - 79{,}8) - (30 - 20)}{ln(10{,}2/10)} = 10{,}1$$

   El producto UA:

$$Q = UA\Delta T_{log}$$

$$27 \times 10^{11} = UA10{,}1$$

$$\Rightarrow UA = 267326732673{,}267326732673$$

$$NUT = \frac{UA}{WC_{min}}$$

$$NUT = \frac{267326732673{,}267326732673}{18000000 \cdot 2500} = 5{,}94$$

   c) EL calor máximo es:

$$Q_{max} = (WC)_{min}(T_e - t_e)$$

$$Q_{max} = 18000000 \cdot 2500(90 - 20) = 315 \times 10^{10}$$

   La eficiencia es:

$$\epsilon = \frac{Q_{re}}{Q_{max}}$$

$$\epsilon = \frac{27 \times 10^{11}}{315 \times 10^{10}} = 0{,}85$$

3. Datos:

   - L=4 m
   - T_{placa}= 50 °C
   - T_{aire}= 0 °C
   - U_0= 1.8 m/s
   - μ= 1.85×10^{-5} kg/ms
   - k= 0.0262 W/mK
   - C= 1005 J/kgK
   - ρ= 1.177 kg/m^3

   Sol: Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{\mu C}{k}$$

$$Pr = \frac{1{,}85 \times 10^{-5} \cdot 1005}{0{,}0262} = 0{,}71$$

   Número de Reynolds:

$$Re_L = \frac{U_0 \rho L}{\mu}$$

$$Re_L = \frac{1{,}8 \cdot 1{,}177 \cdot 4}{1{,}85 \times 10^{-5}} = 458075{,}67$$

   Número de Nusselt:

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}L}{k} = 0{,}664 Pr^{1/3} Re_L^{1/2}$$

$$\overline{Nu} = 0{,}664 \cdot (0{,}71)^{1/3} \cdot (458075{,}67)^{1/2} = 400{,}91$$

$$\overline{h} = \frac{\overline{Nu}k}{L}$$

$$\overline{h} = \frac{400{,}91 \cdot 0{,}0262}{4} = 2{,}62 W/m^2K$$

   El calor total transferido es:

$$q = \overline{h}(T_{placa} - T_{aire})$$

$$q = 2{,}62(50 - 0) = 131{,}3 W/m^2$$