

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
<i>Tema 1.</i> CONDUCCIÓN EN RÉGIMEN ESTACIONARIO.....	13
<i>Tema 2.</i> CONDUCCIÓN EN RÉGIMEN VARIABLE.....	39
<i>Tema 3.</i> SUPERFICIES ADICIONALES	67
<i>Tema 4.</i> CONVECCIÓN.....	87
<i>Tema 5.</i> TRANSMISIÓN DE CALOR EN LOS CAMBIOS DE ESTADO	115
<i>Tema 6.</i> INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	141
<i>Tema 7.</i> RADIACIÓN	169
<i>Tema 8.</i> GENERACIÓN DE CALOR	183
<i>Tema 9.</i> PRODUCCIÓN DE FRÍO	213

62)

Un cambiador de calor agua-agua de 2 pasos por tubo y 1 por carcasa, en el que entran 4000 kg/h de agua a 140 °C que circula por fuera de los tubos y 10000 kg/h de agua a 40 °C que circula por el interior de los mismos, tiene la siguiente configuración:

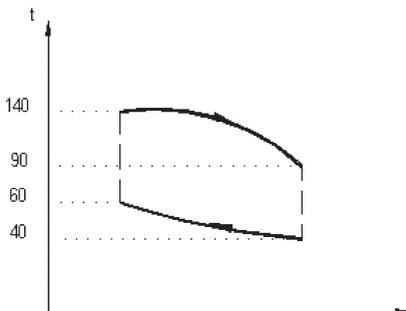
- Area de intercambio: 2,97 m²
- Longitud: 1,655 m
- Separación entre los centros de los tubos: 2,54 cm
- Disposición de los tubos: Triangular
- Tubos de acero al carbono de 1,5% de C de 19/17,5 mm
- Separación entre tabiques deflectores: 10 cm
- Coefficiente de ensuciamiento: 8,6·10⁻⁵ m²· °C/W
- Diámetro de la carcasa 20,5 cm
- Nº de tubos: 32

Determinar:

1. Si este intercambiador de calor podrá intercambiar un mínimo de 250000W
2. ¿Cuáles serán las temperaturas reales de salida de los fluidos?. ¿Cuál será la cantidad de calor real intercambiada?.

SOLUCIÓN:

Supondremos que las temperaturas de salida de salida de ambos fluidos son: $t_{cs} = 90\text{ °C}$ y $t_{fs} = 60\text{ °C}$



$$\Delta t_{lmcc} = \frac{(140 - 60) - (90 - 40)}{\ln\left(\frac{80}{50}\right)} = 63,83\text{ °C}$$

En la figura 9-19:

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{20}{100} = 0,2 \\ R &= \frac{50}{20} = 2,5 \end{aligned} \right\} F = 0,96$$

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta t_{lmc} \cdot F ; \quad U = \frac{250000}{2,97 \cdot 63,83 \cdot 0,96} = 1373,68 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

$$A = n' \cdot p_t \cdot \pi \cdot d_e \cdot L ; \quad n' = \frac{2,97}{2 \cdot \pi \cdot 0,019 \cdot 1,655} = 15,03 \rightarrow 16 \text{ tubos}$$

Como son 2 pasos por tubo, el nº de real de tubos será el doble 32 tubos.

a) Cálculo de h_e :

Datos del agua a 115 °C:

$$\rho = 946,6 \text{ kg} / m^3$$

$$t_{mp} = \frac{140 + 90}{2} = 115 \text{ } ^\circ C$$

$$C_p = 4,2382 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$$

$$k = 0,6815 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$$

$$\mu = 0,2446 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot s$$

$$Pr = 1,52$$

Según el epígrafe 10.2.2 del libro de Termotecnia, para disposición triangular:

$$D_e = \frac{3,44 \cdot e^2}{\pi \cdot d} - d ; \text{ siendo: } e = 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ m y } d = 19 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_e = \frac{3,44 \cdot 2,54^2 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 19 \cdot 10^{-3}} - 19 \cdot 10^{-3} = 1,81 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Superficie de paso entre baffles:

$$S = \frac{\phi_c}{e} \cdot a \cdot b = \frac{0,205}{0,0254} \cdot (0,0254 - 0,019) \cdot 0,1 = 5,16 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$G_t = \frac{\dot{m}}{S} = \frac{1,1}{5,16 \cdot 10^{-3}} = 215,11 \text{ kg} / s \cdot m^2$$

$$Re = \frac{G_t \cdot D_e}{\mu} = \frac{215,11 \cdot (1,81 \cdot 10^{-2})}{0,2446 \cdot 10^{-3}} = 15917,79 \rightarrow \text{turbulento}$$

Según [6.39]: $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 59,94$

$$h_e = \frac{59,94 \cdot 0,6815}{1,81 \cdot 10^{-2}} = 2256,85 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

b) Cálculo del h_i :

Datos del agua a 50 °C:

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,182 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$$

$$k = 0,6405 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$$

$$\mu = 0,5471 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot s$$

$$Pr = 3,57$$

$$t_{mp} = \frac{60 + 40}{2} = 50 \text{ } ^\circ C$$

$$V_f = n \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot u_f; \quad \frac{2,77}{998} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0175^2}{4} \cdot u_f$$

$$u_f = \frac{2,77 \cdot 4}{998 \cdot 16 \cdot \pi \cdot 0,0175^2} = 0,72 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{0,72 \cdot 0,0175 \cdot 998}{0,5471 \cdot 10^{-3}} = 22984,47 \rightarrow \text{turbulento}$$

Según [6.39]: $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 118,01$

$$h_e = \frac{118,01 \cdot 0,6405}{0,0175} = 4319,16 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$$

$$U_s = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 \cdot h_i} + \frac{r_2 \cdot \ln r_2 / r_1}{k} + \frac{1}{h_e} + ce}$$

$$U_s = \frac{1}{\frac{19}{17,5 \cdot 4319,16} + \frac{0,0085 \cdot \ln 19 / 17,5}{36} + \frac{1}{2256,85} + 8,6 \cdot 10^{-5}} = 1250,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$$

Como $U_s < U$, el cambiador si sirve para el intercambio de calor que se precisa.

2) Se utiliza el método de NTU:

$$(\dot{m} \cdot C_p)_c = 1,11 \cdot 4238,2 = 4704$$

$$(\dot{m} \cdot C_p)_f = 2,77 \cdot 4182 = 11584,6$$

En la figura 10.9:

$$\left. \begin{aligned} C_R &= \frac{(\dot{m} \cdot C_p)_{menor}}{(\dot{m} \cdot C_p)_{mayor}} = \frac{4704}{11584,6} = 0,4 \\ NTU &= \frac{U \cdot A}{(\dot{m} \cdot C_p)_{menor}} = \frac{1250,4 \cdot 2,97}{4704} = 0,78 \end{aligned} \right\} \varepsilon = 0,5$$

$$\varepsilon = 0,5 = \frac{t_{ce} - t_{cs}}{t_{ce} - t_{fe}}; \quad 0,5 = \frac{140 - t_{cs}}{140 - 40}; \quad t_{cs} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(\dot{m} \cdot C_p)_c \cdot \Delta t_c = (\dot{m} \cdot C_p)_f \cdot \Delta t_f; \quad 4704 \cdot (140 - 90) = 11584,6 \cdot (t_{fs} - 40)$$

$$t_{fs} = 60,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{real} = \left(\dot{m} \cdot C_p \right)_c \cdot \Delta t_c = 235225 \text{ W}$$

Como $\dot{Q}_r < 250000 \text{ W}$ el planteamiento es correcto.