

## Carcaza y tubos.

1) Un caudal de 500 Kg/h de benceno a 95°C, se debe enfriar con un caudal de 400 Kg/h de agua que llega a 15°C utilizando un intercambiador de tubos concéntricos de 10 m de longitud en contracorriente. Los tubos internos tienen diametro externo 30 mm y espesor 3 mm. En estas condiciones determine:

- A) Coeficiente global de transferencia de calor referido al area externa.
- B) Las temperaturas de salida de cada uno de los fluidos.
- C) El calor transferido en el proceso.
- D) Si para realizar la misma tarea se utiliza un intercambiador de tubos y carcaza del tipo 2-4, determine cuantos tubos de 1 m de longitud debe contener este intercambiador. Suponga que el benceno va por el lado de la carcaza.

Datos:

h (agua-tubo)	:	2300 Kcal/(m <sup>2</sup> *h*°C)
h (benceno-tubo)	:	1500 Kcal/(m <sup>2</sup> *h*°C)
k (tubos)	:	40 Kcal/(m*h*°C)
Cp (benceno)	:	0.45 cal/gr °C
Cp (agua)	:	1.00 cal/gr °C

U (intercambiador) : 500 Kcal/(m<sup>2</sup>\*h\*°C)

Suponga que el agua fluye a través de los tubos internos.

## Solución

D<sub>i</sub> = 30 Mm.

x<sub>w</sub> = 3 Mm.

$$D_o = 24 \text{ mm.} \quad \Rightarrow \quad D_L = \frac{D_o - D_i}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} \quad D_L = 26.89 \text{ mm.}$$

$$L = 50 \text{ cm.} \quad \Rightarrow \quad \text{Area} = \pi * D_o * L = 0.942 \text{ m}^2.$$

$$\text{A) } U_o = \frac{1}{\frac{D_o}{D_i} \frac{1}{h_i} + \frac{x_w}{k_w} \frac{D_o}{D_L} + \frac{1}{h_o}}$$

h<sub>i</sub> = 2300 Kcal/(m<sup>2</sup>\*h\*°C)

h<sub>o</sub> = 1500 Kcal/(m<sup>2</sup>\*h\*°C)

k<sub>w</sub> = 40 Kcal/(m\*h\*°C)

$$U_o = \frac{1}{\frac{30}{24} \frac{1}{2300} + \frac{0.003}{40} \frac{30}{26.89} + \frac{1}{1500}} = 772.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 * \text{h} * ^\circ \text{C}}$$

**B) y C)**

Diferencia de temperatura:  $(\Delta T)_{\ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$

$$\Delta T_1 = T_{ho} - T_{ci} = T_{ho} - 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{hi} - T_{co} = 95 \text{ } ^\circ\text{C} - T_{co}$$

$$(\Delta T)_{\ln} = \frac{(95 - T_{co}) - (T_{ho} - 15)}{\ln\left(\frac{95 - T_{co}}{T_{ho} - 15}\right)}$$

$$Q = U_o * A_o * (\Delta T)_{\ln}$$

Balances de calor:

Para el equipo:  $Q = U_o * A_o * \frac{(95 - T_{co}) - (T_{ho} - 15)}{\ln\left(\frac{95 - T_{co}}{T_{ho} - 15}\right)}$

Para el agua:  $Q = \dot{m} C_p * (T_{co} - T_{ci})$   
 $Q = 400 * 1 * (T_{co} - 15)$

Para el banceno:  $Q = \dot{m} C_p * (T_{hi} - T_{ho})$   
 $Q = 500 * 0.45 * (95 - T_{ho})$

Como el calor transferido es igual entodos los casos, se define un sistema de tres ecuaciones y tres incognitas ( Q, T<sub>ho</sub>, T<sub>co</sub>) que debe ser resuelto.

La solución es:  $Q = 15784 \text{ Kcal/h}$   
 $T_{ho} = 24.84 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $T_{co} = 54.46 \text{ } ^\circ\text{C}$

**D)** Se deben utilizar las correlaciones gráficas para intercambiadores de tubos y carcaza de 2 pasos por la carcaza y 4 pasos por los tubos.

$$Q = U * A * (\Delta T)_{\ln} * F_G$$

$$(\Delta T)_{\ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = 21.68^\circ\text{C}$$

$$\eta = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} = \frac{54.46 - 15}{95 - 15} = 0.49$$

$$z = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}} = \frac{95 - 24.8}{54.46 - 15} = 1.78$$

$$\Rightarrow F_G = 0.5$$

$$Q = 500 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} * A \text{ m}^2 * 21.68^\circ\text{C} * 0.5 = 15784 \text{ Kcal/h}$$

$$\Rightarrow A = 2.91 \text{ m}^2$$

$$\text{Area Tubo} = \pi * D_O * L = 3.14159 * 0.03 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0.09425 \text{ m}^2$$

$$N^\circ \text{ Tubos} = \text{Area Total} / \text{Area Tubo}$$

$$N^\circ \text{ Tubos} = 30.87 \approx 31 \text{ tubos.}$$

Nota: Consideración sobre el calculo de los factores de corrección

En una formulación general se tiene que el factor de corrección en intercambiadores de tubos y carcaza, depende de la circulación relativa de los fluidos. Luego si denotamos:

$T_1 = T^a$  de entrada del fluido por la carcaza

$T_2 = T^a$  de salida del fluido por la carcaza

$t_1 = T^a$  de entrada del fluido por los tubos

$t_2 = T^a$  de salida del fluido por los tubos

entonces se define:

$$\eta = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \text{Eficiencia del calentamiento}$$

$$z = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \text{Razón entre } \Delta T \text{ de cada fluido}$$

y usando estos factores se determina el factor de corrección  $F_G$ .