IQ46B – Operaciones de transferencia I
Primavera/2007

Pauta Ejercicio 3

P1.- Se deben calcular la cantidad de tubos que caben en la superficie. En una placa de 1 m^2, los tubos tienen un diámetro de 0,X cm y la distancia entre los tubos es de 1 cm y dada la lista de alumnos a lo más los tubos tienen un diámetro de 0,9 cm, con esto caben 100 tubos en por lado:

➔ Tenemos 100x100 = 10.000 tubos.

Se debe ver el área ocupada por los tubos (A_f) y el área de la placa descubierta (A_t)

$$A_f = tubos \cdot \pi D(L + \frac{1}{4}D)$$
$$A_f = \frac{tubos}{10000} \cdot \pi 0,X(L + \frac{1}{4}0,X)[m^2]$$

$$A_t = 1 - tubos \cdot \pi r^2$$
$$A_t = 1 - \frac{tubos}{10000} \cdot \pi(\frac{0,X}{2})^2\ [m^2]$$

El calor disipado por la placa y los tubos respectivamente:

$$q_t = hA_t(T_{superficie} - T_\infty)$$

$$q_f = \eta_f hA_f(T_{superficie} - T_\infty)$$

Es necesario calcular η_f. Usando la figura 3-42:

$$\xi = (L + \frac{1}{4}D)\sqrt{2h/kD}$$

Finalmente: $$q_{total} = q_t + q_f$$

P2.a.- Para un tubo descrito, el flujo queda descrito por:

$$Q = Q_{conv,in} = Q_{cond} = Q_{conv,out}$$

, donde:
$Q_{conv,in}$: calor transferido al interior del tubo por convección
Q_{cond}: calor transferido a través del tubo por conducción
$Q_{conv,out}$: calor transferido al esterior del tubo por convección

La diferencia entre el caso con aletas y sin aletas es el $Q_{conv,out}$

$$Q_{conv,in} = A_{in} \cdot h_{in} \cdot (T_{in} - T_{wall,in}) \qquad (1)$$

$$Q_{cond} = \frac{A_{lm} \cdot k}{r_{out} - r_{in}} \cdot (T_{wall,in} - T_{wall,out}) \qquad (2)$$

Para el caso sin aletas:

$$Q_{conv,out} = A_{out} \cdot h_{out} \cdot (T_{wall,out} - T_{out}) \qquad (3.a)$$

Tratando aritméticamente las ecuaciones (resistencias térmicas en serie):

$$Q = \frac{(T_{in} - T_{out})}{1/_{h_{in}A_{in}} + {(r_{out} - r_{in})}/_{kA_{lm}} + 1/_{h_{out}A_{out}}}$$

$$A_{in} = 2\pi r_{in} \cdot L$$

$$A_{out} = 2\pi r_{out} \cdot L$$

$$A_{lm} = \frac{A_{out} - A_{in}}{Ln({A_{out}}/_{A_{in}})}$$

Con esto se calcula Q es estado estacionario, por metro de tubo (L es genérico)

$$Q = 413{,}24\ [\frac{w}{m}]$$

Luego 2 de las 3 ecuaciones 1, 2 o 3 se puede calcular $T_{wall,in}$ y $T_{wall,out}$., en la pauta se usa 1 y 3.a

$T_{wall,in}$ = 119,6 [°C]
$T_{wall,out}$ = 119,59 [°C]

P2.b.- Cada 0,5 cm de tubería hay una aleta de 0,2 cm (t=0,2) de espesor y 0,3 cm de cañería descubierta. Por cada metro de cañería se tienen hay 0,6 m de cañería descubierta y 0,4 cubierta de aletas. Mientras que la combinación aleta-cañería descubierta se repite 500 veces en un metro.

Por cada metro de cañería:

$$A_t = \frac{0,6}{l} \cdot 2\pi r_{out}$$
$$A_t = \frac{0,6}{l} \cdot 2\pi(0,03) \left[\frac{m^2}{m}\right]$$
$$A_t = \frac{0,6}{l} \cdot 2\pi(0,03) \left[\frac{m^2}{m}\right] = 0,113 \left[\frac{m^2}{m}\right]$$

$$A_f = \frac{500}{l} \cdot [\pi({r_L}^2 - {r_{out}}^2) + 2\pi r_{out} t]$$
$$A_f = \frac{500}{l} \cdot [\pi({r_L}^2 - {r_{out}}^2) + 2\pi r_{out} t]$$
$$A_f = \frac{500}{l} \cdot [\pi(0,06X)^2 - (0,03)^2) + 2\pi(0,03)(0,002)] \left[\frac{m^2}{m}\right]$$

, donde:
l: largo de la cañería [m]
A_t: área descubierta de la cañería (por el exterior)
A_f: área de las aletas.

Es necesario recalcular la transferencia de calor por el exterior del tubo debido a la presencia de las aletas:

$$Q_{conv,out} = Q_t + Q_f$$

, donde análogamente a la pregunta 1
Q_t: calor transferido por el área descubierta de la cañería
Q_f: calor transferido por las aletas.

$$Q_t = h_{out} A_t (T_{wall,out} - T_{out})$$

$$Q_f = \eta_f h_{out} A_f (T_{wall,out} - T_{out})$$

De las últimas 3 ecuaciones se puede obtener:

$$Q = (h_{out} A_t + \eta_f h_{out} A_f)(T_{wall,out} - T_{out})$$

$$\frac{Q}{h_{out}(A_t + \eta_f A_f)} = (T_{wall,out} - T_{out}) \rightarrow \ Q = \frac{(T_{wall,out} - T_{out})}{\frac{1}{h_{out}(A_t + \eta_f A_f)}} \ \rightarrow \ Q = \frac{(T_{wall,out} - T_{out})}{R}$$

En esta última expresión se puede notar la diferencia que existe con el caso sin aletas

NOTA: En el flujo de calor convectivo exterior sin aletas:

$$\frac{Q}{h_{out} A_{out}} = (T_{wall,out} - T_{out}) \rightarrow \ Q = \frac{(T_{wall,out} - T_{out})}{\frac{1}{h_{out} A_{out}}} \ \rightarrow Q = \frac{(T_{wall,out} - T_{out})}{R}$$

Luego, siguiendo el procedimiento de resistencias térmicas en serie:

$$Q = \frac{(T_{in} - T_{out})}{1/h_{in}A_{in} + (r_{out} - r_{in})/kA_{lm} + 1/h_{out}(A_t + \eta_f A_f)}$$

Es necesario calcular η_f., para esto se utiliza el gráfico 17.11.

$$\xi = (L + t)^{3/2}\sqrt{h/ktL}$$

Con $L = r_L - r_{out} = 0{,}06X - 0{,}03$ [m]

NOTA: deben fijarse que en el gráfico el ancho de la aleta se define como 2t, mientras que en el problema se define como t. FIJARSE EN ESTE CAMBIO DE NOTACIÓN.

Además, el otro parámetro necesario para entrar al gráfico.

$$\frac{r_L + t}{r_{out}} = \frac{0{,}06x + 0{,}002}{0{,}03}$$

Con esto se puede calcular Q.

El cálculo de las temperaturas interior y exterior del tubo se hace igual a la pregunta 1.

P2.c.- El porcentaje de cada resistencia en cada caso queda definida como:

Sin aletas:

$$[\%]_{in} = \frac{1/h_{in}A_{in}}{1/h_{in}A_{in} + (r_{out} - r_{in})/kA_{lm} + 1/h_{out}A_{out}}$$

$$[\%]_{wall} = \frac{(r_{out} - r_{in})/kA_{lm}}{1/h_{in}A_{in} + (r_{out} - r_{in})/kA_{lm} + 1/h_{out}A_{out}}$$

$$[\%]_{out} = \frac{1/h_{out}A_{out}}{1/h_{in}A_{in} + (r_{out} - r_{in})/kA_{lm} + 1/h_{out}A_{out}}$$

Para el caso con aletas es análogo, solo que hay que cambia la resistencia convectiva del lado exterior del tubo.