

Auxiliar N° 2 IQ46B.

Temas:

- Intercambiadores de tubos y carcaza.
- Transferencia de calor con aletas.
- Evaporadores.

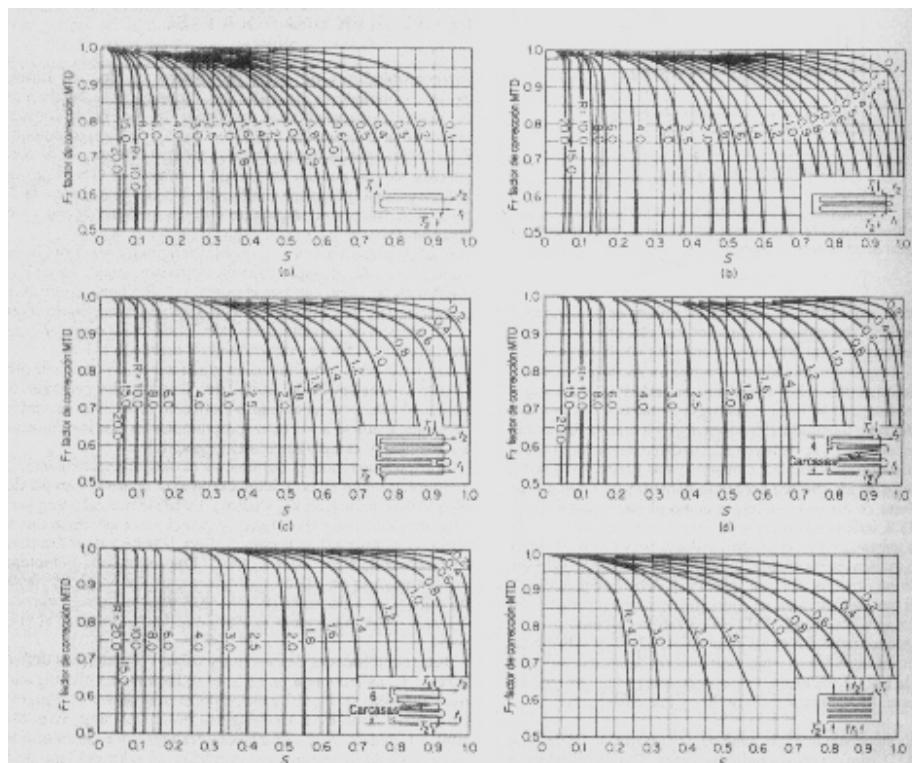
Aclaración tubos y carcaza.

- 1- Identificar tipo de intercambiador (Co o contra corriente, y tipo 1-2 o 2-4 ,etc) es decir analizar flujos de entrada y salida
- 2- Calcular ΔT_L (considerando temperaturas de entrada y salida de la carcaza).
- 3- Calcular z y η (considerando temperaturas de entrada y salida de la carcaza).
- 4- Del grafico correspondiente obtener F .

$$\eta_H = \frac{T_{COUT} - T_{CIN}}{T_{HIN} - T_{CIN}}$$

$$Z = \frac{T_{HIN} - T_{HOUT}}{T_{COUT} - T_{CIN}}$$

$$Q_T = U_o A_o \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \cdot F$$



Pregunta 1. Intercambiadores de tubos y carcaza.

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:

$$\begin{aligned}h(\text{agua-tubo}) &: 2300 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \\h(\text{benceno-tubo}) &: 1500 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \\k(\text{tubos}) &: 40 \text{ Kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \\C_p(\text{benceno}) &: 0.45 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C} \\C_p(\text{agua}) &: 1.00 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$U(\text{intercambiador}) : 500 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

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

Solución

$$D_I = 30 \text{ Mm.}$$

$$x_w = 3 \text{ Mm.}$$

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

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

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

$$h_I = 2300 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$h_O = 1500 \text{ Kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$k_w = 40 \text{ Kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

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

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_{ho}, T_{co}) 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.

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

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

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

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

$$\Rightarrow F_G = 0.5$$

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

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

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

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

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

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 de define:

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

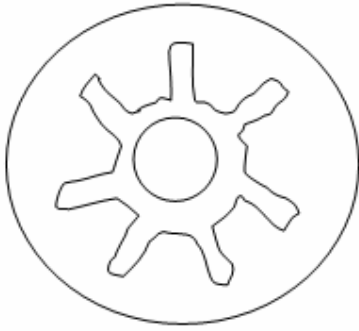
$$z = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \text{Razón entre } \Delta T \text{ de cada fluido}$$

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

Pregunta 2. Intercambiadores de tubos y carcaza.

- Temperatura media logarítmica en intercambiadores de calor: su origen (¿como se llega a ella?) y utilidad en términos conceptuales (¿para que sirve?).
- ¿para que sirven las aletas en un intercambiador de calor?. ¿que variables determinan el largo ideal para las aletas?

Transferencia de calor con aletas.



$$dq = h_i (T_i - T_{wi}) dA_i$$

$$dq = k_w \frac{(T_{wi} - T_{wo}) dA_L}{x_w}$$

$$dq = h(A_o + A_F \eta)(T_{wo} - T_o)$$

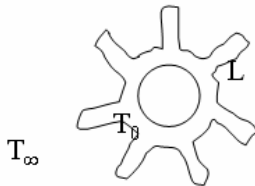
$$R_i = \frac{A_i}{(A_o + \eta_F A_F) h_o} + \frac{x_w}{k_w} \left(\frac{D_i}{D_L} \right) + \frac{1}{h_i}$$

$$U_i = 1/R_i$$

$$q = U_i A_i \Delta T_L$$

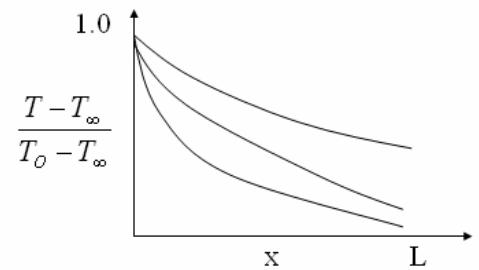
$$\eta_f = q/q_M$$

q es el calor real transmitido por la aleta y qM es el calor máximo que es posible transferir por la aleta (caso en que T(x)=T_O).



$$\frac{T - T_\infty}{T_o - T_\infty} = \frac{\cosh[m(L-x)]}{\cosh mL}$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}}$$

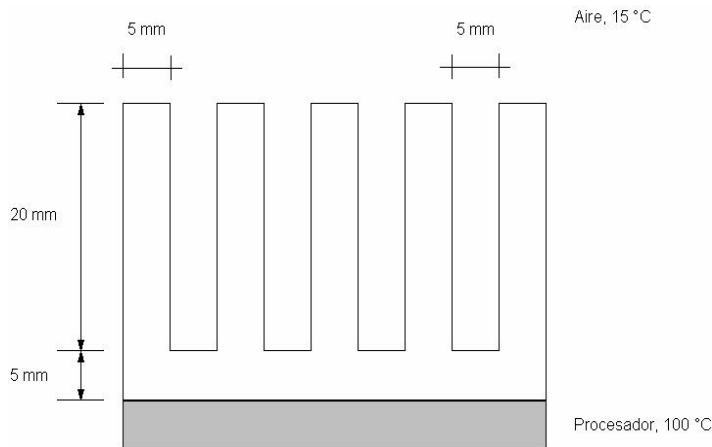


- Aprender a utilizar gráficos de eficiência.

Pregunta 3: Intercambiadores con aletas.

3) Para enfriar el procesador de un computador personal se utilizan disipadores de calor conectados a ventiladores, de modo de mantener la operación de la CPU a una temperatura controlada. El disipador de calor se puede entender como una superficie metálica con aletas para mejorar la transferencia de calor.

En el diseño de un nuevo procesador “Pulentium XII”, se desea verificar el comportamiento del sistema ventilador – disipador asociado. Si la superficie del procesador se mantiene a 100 °C y el aire circula a 15°C, determine el calor que es capaz de retirar del sistema.



El largo de las aletas es 45 mm, su espesor es 5 mm y la altura de 20 mm, espaciadas unas de otras por 5 mm.

Suponga que la conductividad del disipador es suficientemente alta y el proceso de transferencia de calor está controlado por la convección forzada en la cara externa.

($h_{\text{aire-disipador}} = 200 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, $k = 500 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$).

Utilice el siguiente gráfico de eficiencia para aletas rectas rectangulares.

Solución

Para esta aleta se tiene:

$$L = 20 \text{ mm}$$
$$e = 5 \text{ mm}$$

$$L_{pC} = 2 \cdot (45 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) = 0.1 \text{ m}$$
$$S = 45 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 0.000225 \text{ m}^2$$

$$L_p / S = (0.1 \text{ m}) / 0.000225 \text{ m}^2 = 444.44 [1/\text{m}]$$

$$a_F = \sqrt{\frac{h_o \cdot \frac{L_p}{S}}{k}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 444.44}{500}} = 13.33$$

$$X_f = 0.02 \text{ m} \Rightarrow a_f \cdot x_f = 0.266$$

Utilizando el gráfico: $\eta = 0.95$

$$\begin{aligned}\text{Area aletas} &= 5 \text{ aletas} * ((20 * 45) * 2 + (5 * 45) + (20 * 5) * 2) [\text{mm}^2] \\ &= 0,01113 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Área Base Descubierta} &= 4 \text{ bases} * (5\text{mm} * 45\text{mm}) [\text{mm}^2] \\ &= 0.0009 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$Q = h_0 * (A_B + \eta * A_F) * (T_{\text{pared}} - T_{\text{aire}})$$

$$Q = 200 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} * (0.0009 \text{ m}^2 + 0.95 * 0.011 \text{ m}^2) * (100^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})$$

$$Q = 192.95 \text{ kcal / h.}$$

Pregunta 4: Intercambiadores con aletas.

4. (35%) Una señora circula en una motocicleta a 80 Km/hr en un día soleado en que la temperatura del aire es 20°C. La motocicleta posee un motor de 2 HP que es enfriado por aire con la ayuda de aletas exteriores. El rendimiento del combustible a esta velocidad es de 50 km/Lt.

Determine la temperatura que adquiere el motor en el estado estacionario.

Datos sobre el motor :

Considere el motor como un cilindro de 10cm de alto y 6 cm diámetro externo, con un espesor de pared de 1cm, que tiene aletas circulares de diámetro 12 cm y 3mm de espesor sobre el manto cilíndrico. La aletas dejan entre sí espacios de 3mm, y están hechas de aluminio. Considere que la eficiencia de estas aletas es 90%

El rendimiento del motor es de 15 %, osea un 85% de la energía de la combustión se transforma en calor que debe disiparse. Se sabe además que un 85% del calor generado se disipa a través de los gases de escape.

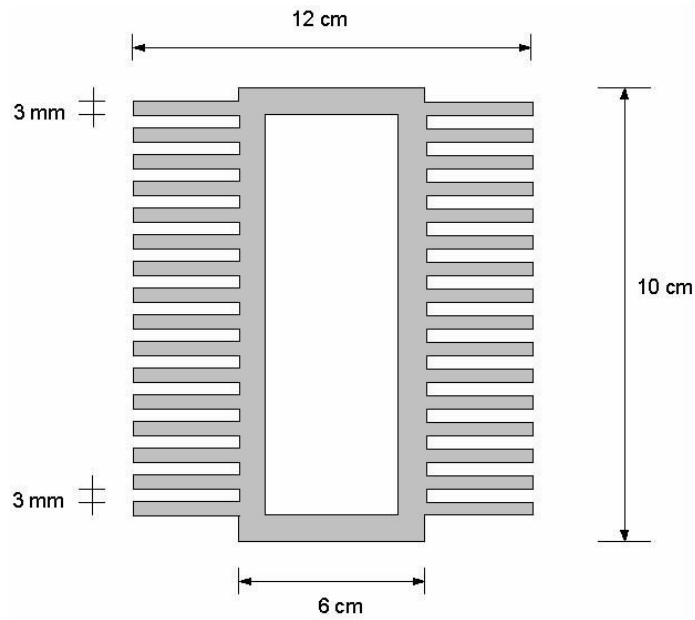
Datos sobre transferencia de calor:

El coeficiente de transferencia de calor h_o (externo) aumenta con la velocidad del aire y se puede calcular por la relación simplificada: $h_o(\text{W/hr m}^2) = 2 + 6 v^{1/3}$, en que v es la velocidad del aire en km/hr.

La conductividad del aluminio es : 200 W/m °C

Calor de combustión de gasolina: 3×10^7 joule/Lt

Simplificaciones: Suponga que resistencia por convección en el interior del motor es despreciable ($h_i = \infty$). Desprecie el calor disipado en ambas caras planas del cilindro.



SOLUCIÓN PROBLEMA 4

En primer término se debe estimar la carga de calor que debe retirarse a través de las paredes del motor.

$$\text{Energía Producida} = \frac{\text{Velocidad}(\text{Km/hr})}{\text{Rendimiento}(\text{Km/lit})} * Q(\text{J/lit})$$

$$\text{Energía Producida} = \frac{80(\text{Km/hr})}{50(\text{Km/lit})} * 3 * 10^7 (\text{J/lit})$$

$$\text{Energía Producida} = 4.8 * 10^7 \text{ J/hr} = 13333 \text{ W}$$

$$\text{Calor producido} = 0.85 * \text{Energía Producida}$$

$$\text{Calor producido} = 11333 \text{ W}$$

$$\text{Calor a disipar} = 0.15 * \text{Calor producido}$$

$$\text{Calor a disipar} = 1700 \text{ W} = Q_D$$

$$Q = U_i * A_i * \Delta T$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_o} \frac{A_i}{A_b + \eta * A_F} + \frac{x_M}{k_M} \frac{D_i}{D} + \frac{1}{h_i}}$$

$$h_o = 2 + v^{1/3} = 2 + (80)^{1/3}$$

$$h_o = 27.85 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_I = \pi * D_I * L = 3.14159 * 0.04 * 0.1$$

$$A_I = 0.0126 \text{ m}^2$$

A_b = Area no cubierta por aletas en la cara externa.

Cada aleta mide 3 mm como hay 16 aletas, entonces la longitud cubierta por aletas es 48 mm, y en consecuencia la longitud no cubierta por aletas es 52 mm.

$$A_b = \pi * D_o * L_b = 3.14159 * 0.06 * 0.052$$

$$A_b = 0.0098 \text{ m}^2$$

A_F = Area de las aletas

$A_F = N^\circ \text{ Aletas} * (2 \text{ caras} * \text{Area de cada cara} + \text{Area del perfil de la aleta})$

$$A_F = 16 * [2 * \pi/4 * (0.12^2 - 0.06^2) + 0.003 * \pi * 0.12]$$

$$A_F = 0.2895 \text{ m}^2$$

$\eta = 0.9$ (dato del enunciado)

$$A_b + \eta * A_F = 0.2704 \text{ m}^2$$

X_M = espesor de la pared del motor = 0.01 m

k_M = conductividad de la pared del motor = 200 W/m °C

$$D_I = 0.04 \text{ m} \quad D_o = 0.06 \text{ m}$$

$$\langle D \rangle = (D_o - D_I) / \ln(D_o/D_I) = 0.0493 \text{ m}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{27.85} + \frac{0.0126}{0.2704} + \frac{0.01}{200} + \frac{0.04}{0.0493}}$$

$$U_i = 583.5 \text{ W / m}^2 \text{ °C}$$

$$Q = U_i * A_i * (T_{\text{Motor}} - T_{\text{Aire}}) = Q_D$$

$$1700 \text{ W} = (583.5 \text{ W/m}^2 \text{ °C}) * (0.0126 \text{ m}^2) * (T_{\text{Motro}} - 20 \text{ °C})$$

$$\therefore T_{\text{Motor}} = 251.2 \text{ °C}.$$

Pregunta 5: Intercambiadores con aletas.

a) Un tubo en el que circula vapor transfiere calor al aire exterior de un recinto con la ayuda de aletas externas circulares. ¿Cree Ud. que puede variar el calor transferido si el tubo se instala horizontal o verticalmente? ¿Explique porqué?.

b) Aparte de las razones de seguridad en el manejo, que razones técnicas podría darle Ud. a la señora del Problema 2 para que no use falda larga cuando maneje su motocicleta.

- a) Debe existir una variación esperándose que sea mayor en el caso que el tubo se instala horizontalmente. La importancia de esta variación puede estar definida por a lo menos las dos siguientes razones. Al calentarse el aire este asciende por lo cual en el caso de instalación horizontal la diferencia de temperatura será constante a lo largo de toda la longitud del tubo (la temperatura interna esta definida por la temperatura de condensación del vapor), en cambio si se instala verticalmente la diferencia de temperatura en la parte superior puede ser bastante menor y la transferencia de calor disminuye. Por otro lado en los procesos de convección natural el coeficiente local de transferencia esta influenciado por esta diferencia de temperatura y por la posición, ya que h depende del movimiento relativo que es producido gravitacionalmente.
- b) Al utilizar una falda larga se puede entorpecer el flujo de aire a través de las aletas del motor, produciendo una disminución del coeficiente de película para la convección (observar formula asociada en el problema). Además este mismo hecho producirá un aumento de la temperatura del aire que rodea al motor reduciendo la transferencia de calor. Adicionalmente se puede pensar que si la falda cubre completamente el motor, el área de transferencia es ahora el área de la tela que cubre el motor eliminando el aumento de área de las aletas. En el mismo sentido se puede pensar que la tela posee una baja conductividad térmica, en consecuencia incorpora una gran resistencia a la transferencia de calor en el proceso. Todo lo anterior lleva a pensar que la presencia de la falda larga disminuirá la transferencia de calor y en consecuencia aumentará la temperatura de operación del motor con el riesgo que ello significa.