

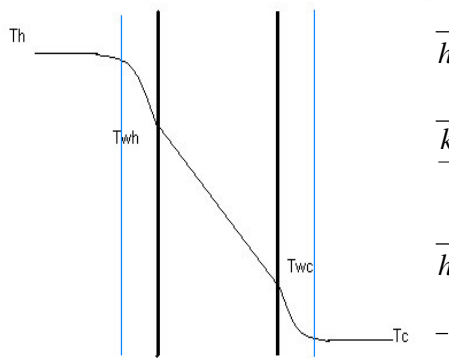
Auxiliar N° 1 IQ46B.

Temas:

- Transferencia en placas planas.
- Transferencia de calor en cilindros.
- Intercambiadores de tubos concéntricos.

Resumen ecuaciones.

Placa plana



$$\frac{q}{h_h A} = (T_h - T_{wh})$$

$$\frac{q}{\frac{k_w A}{\Delta x}} = (T_{wh} - T_{wc})$$

$$\frac{q}{h_c A} = (T_{wc} - T_c)$$

Sumando se obtiene

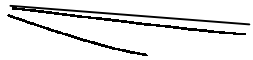
$$q = \frac{T_h - T_c}{R_T}$$

con

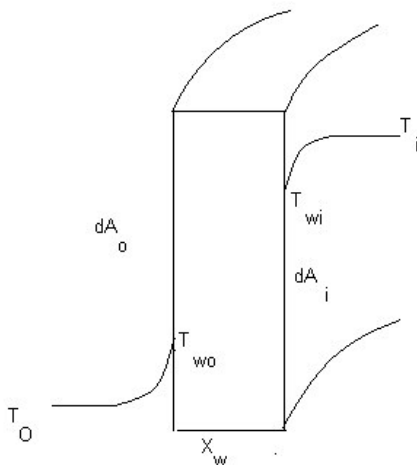
$$R_T = R_h + R_w + R_c = \frac{1}{h_h A} + \frac{1}{\frac{k_w A}{\Delta x}} + \frac{1}{h_c A}$$

$$q = U \cdot (T_h - T_c)$$

$$U = \frac{1}{R_T}$$



Transferencia de calor a través de cilindros.



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

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

$$dq = h_o (T_{wo} - T_o) dA_o$$

$$dq \left[\frac{1}{h_i dA_i} + \frac{x_w}{k_w dA_L} + \frac{1}{h_o dA_o} \right] = T_i - T_o$$

Expresándolo en función de dA_o se obtiene

$$\frac{dq}{dA_o} = \frac{T_i - T_o}{\frac{D_o}{D_i h_i} + \frac{x_w}{k_w} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o}} \quad \text{Con}$$

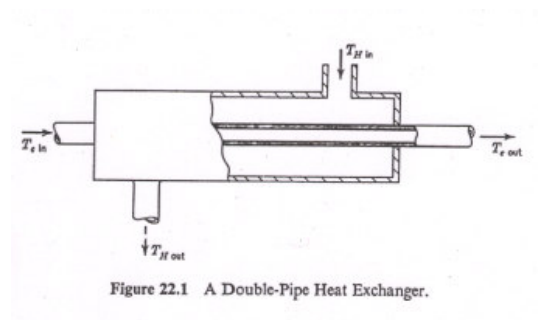
$$\frac{dA_o}{dA_i} = \frac{D_o}{D_i} \quad \text{y} \quad \frac{dA_o}{dA_L} = \frac{D_o}{D_L}$$

$$q = \frac{T_i - T_o}{R_o} \cdot dA_o \quad \text{lo cual es equivalente a} \quad q = U_o (T_i - T_o) \cdot dA_o$$

$$R_o = \frac{D_o}{D_i h_i} + \frac{x_w}{k_w} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o}$$

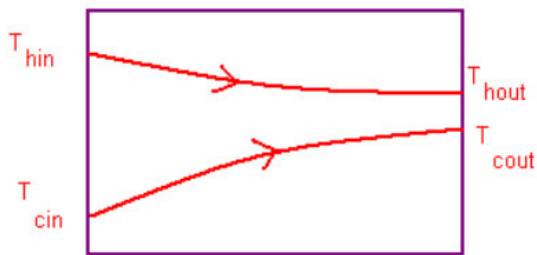
$$U_o = 1/R_o$$

Intercambiadores de calor de tubos concéntricos.



$$Q_T = U_o A_o \Delta T_L$$

$$\Delta T_L = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$



flujo paralelo



contra-corriente

BALANCE DE CALOR TOTAL EN EL INTERCAMBIADOR:

Q_h : Calor que cede el fluido caliente

Q_c = Calor que absorbe el fluido frío

$$Q_h = (mC_p)_h \cdot (T_{hin} - T_{hout})$$

$$Q_c = ((mC_p)_c \cdot (T_{cout} - T_{cin}))$$

Si no hay pérdidas importantes de calor: $Q_h = Q_c = Q_T$ (Balance de calor total del intercambiador)

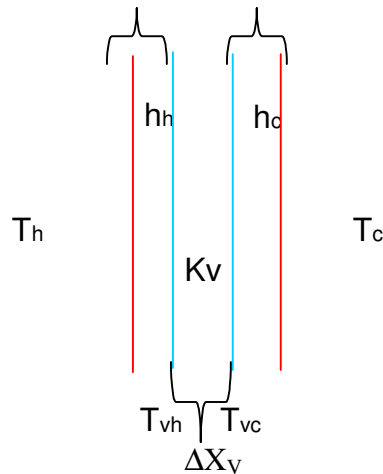
Problema 1.

a) Calcule el calor cedido por un ventanal de área igual a $A_v = 11.305 \text{ [m}^2\text{]}$ y conductividad térmica $K_v = 0.787 \text{ [W/(m K)]}$ y espesor $\Delta X_v = 0.005 \text{ [m]}$. En un día a 22°C y 10°C (considere $h_h = 156.15 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$ y $h_c = 31.23 \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$).

Solución.

Calor perdido por Ventanas.

Capa limite Capa limite



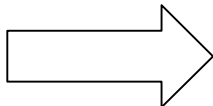
Luego planteamos las ecuaciones transferencia de calor por conducción y convección en las 3 zonas relevantes (convección en el área exterior del vidrio, convección en el interior del vidrio y conducción en el vidrio)

$$\frac{q_v}{h_h A_v} = (T_h - T_{vh}) \quad (\text{convección en el área exterior del vidrio})$$

$$\frac{q_v}{\frac{k_v A_v}{\Delta x_v}} = (T_{vh} - T_{vc}) \quad (\text{convección en el área exterior del vidrio})$$

$$\frac{q_v}{h_c A_v} = (T_{vc} - T_c) \quad (\text{convección en el área interior del vidrio})$$

Sumando se obtiene



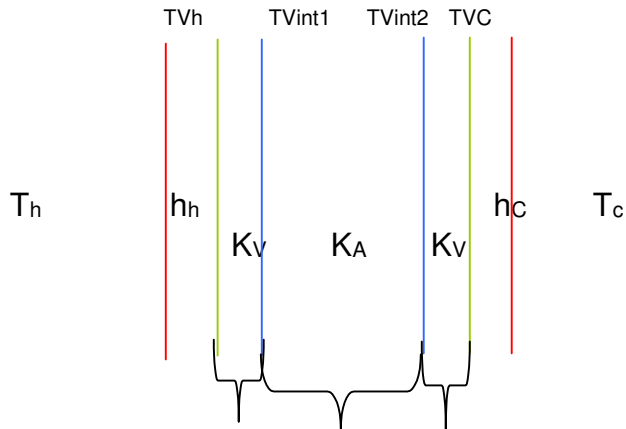
$$q_v \left(\frac{1}{h_h A_v} + \frac{1}{\frac{k_v A_v}{\Delta x_v}} + \frac{1}{h_c A_v} \right) = T_h - T_c$$

Reemplazando los datos se obtiene que

$$\boxed{q_v = 3029.65 \text{ [W]}}$$

b) Calcule el ahorro de energía si en sus ventanas se instalara doble vidrio (dos láminas de vidrio con una capa de aire estanco de 3 mm retenida entremedio).

Solución.



El problema es similar al anterior, solo debemos plantear las ecuaciones de transferencia de calor (2 de conducción en los vidrios, una de conducción en el aire estanco y 2 de convección).

$$\frac{q_{Vdoble}}{h_h A_V} = (T_h - T_{Vh}) \quad (\text{convección en el interior})$$

$$\frac{q_{Vdoble}}{k_V A_V} = (T_{Vh} - T_{Vint1}) \quad (\text{conducción en un vidrio})$$

$$\Delta x_V$$

$$\frac{q_{Vdoble}}{k_A A_V} = (T_{Vint1} - T_{Vint2}) \quad (\text{Conducción en aire estanco})$$

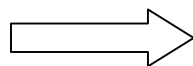
$$\Delta x_V$$

$$\frac{q_{Vdoble}}{k_V A_V} = (T_{Vint2} - T_{VC}) \quad (\text{conducción en el otro vidrio})$$

$$\Delta x_V$$

$$\frac{q_{Vdoble}}{h_c A_V} = (T_{Vc} - T_c) \quad (\text{Convección en el exterior})$$

Sumando se obtiene



$$q_{Vdoble} \left(\frac{1}{h_h A_V} + \frac{2}{\frac{k_V A_V}{\Delta x_V}} + \frac{1}{\frac{k_A A_V}{\Delta x_A}} + \frac{1}{h_c A_V} \right) = T_h - T_c$$

Luego reemplazando se obtiene

$$\boxed{q_{Vdoble} = 818.005 [\text{W}]}$$

Nota: Es importante destacar que el método de resolución de los problemas de transferencia de calor en placas planas y en cilindros es similar, sin importar la cantidad de interfases que tengamos. Solo es necesario plantear las ecuaciones de transferencia y luego sumar, de manera de poder expresar el calor transferido en función de los parámetros y temperaturas conocidas.

Problema 2.

En un intercambiador cilíndrico de diámetro externo 2 cm e interno 1.8 cm. Determine:

- Coeficiente global de transferencia de calor (U_o)
- Resistencia global a la transferencia de calor (R_o)
- Resistencia de conducción (R_w)
- Resistencias de convección. (R_c y R_h)

Considere los siguientes datos:

$$h_i = 30.000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_o = 300 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_w = 1135.65 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$X_w = 1 \text{ mm}$$

Solución.

Reemplazando los datos se obtiene :

$$D_L = \frac{(D_o - D_i)}{\ln(D_o / D_i)} = \frac{0.02m - 0.018m}{\ln\left(\frac{0.02m}{0.018m}\right)} = 1.89 \cdot 10^{-2} m$$

$$R_o = \frac{D_o}{D_i h_i} + \frac{x_w}{k_w} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o} = \frac{0.02}{0.018 \cdot 30000} + \frac{0.001}{1135.65} \cdot \left(\frac{0.02}{1.89 \cdot 10^{-2}} \right) + \frac{1}{300}$$

$$R_o = 3.7 \cdot 10^{-5} + 9.31 \cdot 10^{-7} + 3.3 \cdot 10^{-3} = 3.37 \cdot 10^{-3} \left[\frac{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{W} \right]$$

$$U_o = 1 / R_o = 296.62 \left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \right]$$

Nota: Las resistencias de conducción y convección quedan propuestas, calcular también el porcentaje de cada resistencia. Analizar Cual es la etapa limitante de la transferencia

Problema 3.

Para la producción de un cierto producto, se requiere ingresar a un reactor un flujo de agua de 1800 m³/hr a 20°C. Sin embargo el agua se extrae desde la red publica a solo 8°C. Se pretende instalar un intercambiador de calor de tubos concéntricos el cual utilizara como flujo de alta temperatura un flujo de 1000 m³/hr a 130°C.

Se le solicita Dimensionar el área A₀ del intercambiador de tubos concéntricos.

Datos.

C_p agua = 1 cal/gr °C

C_p fluido = 0.5 cal/gr °C

ρ agua= 1000[kg/m³]

ρ fluido= 2500[kg/m³]

Hint: Utilice el coeficiente de transferencia de calor obtenido en la pregunta 2. (U₀ =267.8[W/m²°C])

Solución.

Si identificamos las variables conocidas tenemos(t_{hin}, tc_{in}, tc_{out} y flujo frio y flujo caliente)

Este tipo de problemas de dimensionamiento de intercambiadores de tubos concéntricos posee un algoritmo de solución clásico.

1. Calcular el calor transferido total.
2. Luego bajo la hipótesis de inexistencia de perdidas de calor , calcular , t_{hout}.
3. Luego calcular el área del intercambiador a partir de las ecuaciones

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

Resolvámoslo

El calor absorbido por el agua se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$Q_c = ((mC_p)_c \cdot (T_{c_{out}} - T_{c_{in}})) \quad (1)$$

$$Q_c = 1800 \left[\text{m}^3 / \text{hr} \right] \cdot 1000 \left[\text{kg/m}^3 \right] \cdot 1 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} \right] \cdot (20^\circ \text{C} - 8^\circ \text{C}) \quad (2)$$

$$Q_c = 2.16 \cdot 10^7 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \right] \quad (3)$$

Bajo el supuesto de que no hay perdidas de calor importantes podemos imponer que:

$$Q_h = Q_c = Q_T \quad (4)$$

Pero además se tiene que

$$Q_h = ((mC_p)_c \cdot (T_{hout} - T_{hin})) \quad (5)$$

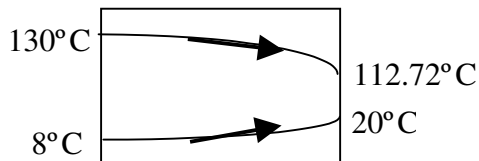


Igualando las ecuaciones 3,4 y 5 se obtiene que :

$$2,16 \cdot 10^7 = ((mC_p)_c \cdot (T_{in} - T_{out})) \Rightarrow t_{hout} = 130^\circ C - \frac{2,16 \cdot 10^7 \left[\frac{Kcal}{hr} \right]}{1000 \left[m^3 / hr \right] \cdot 2500 \left[kg/m^3 \right] \cdot 0.5 \left[\frac{Kcal}{Kg^\circ C} \right]}$$

Con lo cual se obtiene $t_{hout} = 112.72^\circ C$

Supongamos el fluido en Co-corriente o Flujo Paralelo.

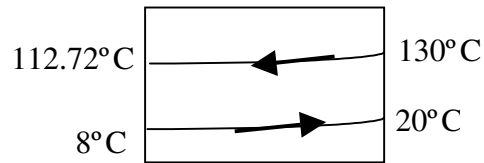


$$\text{Calculemos ahora } \Delta T_L = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(130 - 8) - (112.72 - 20)}{\ln \left(\frac{(130 - 8)}{(112.72 - 20)} \right)} = 106.69^\circ C$$

Luego podemos obtener el área del intercambiador como

$$A_o = \frac{Q_T}{U_o \cdot \Delta T_L} = \frac{2.16 \cdot 10^7 \left[\frac{Kcal}{hr} \right]}{106.69^\circ C \cdot 267.8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]} = \frac{2.5 \cdot 10^7 W}{106.69^\circ C \cdot 267.8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]} = 875 m^2$$

Supongamos el fluido en Contra-corriente.



$$\text{Calculemos ahora } \Delta T_L = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(112.72 - 8) - (130 - 20)}{\ln \left(\frac{(112.72 - 8)}{(130 - 20)} \right)} = 107.34^\circ \text{C}$$

Luego podemos obtener el área del intercambiador como

$$Ao = \frac{Q_T}{U_o \cdot \Delta T_L} = \frac{2.16 \cdot 10^7 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \right]}{107.34^\circ \text{C} \cdot 267.8 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}} \right]} = \frac{2.5 \cdot 10^7 \text{ W}}{107.34^\circ \text{C} \cdot 267.8 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}} \right]} = 869.7 \text{ m}^2$$

Se observa una pequeña disminución del área al utilizar los fluidos en contracorriente.