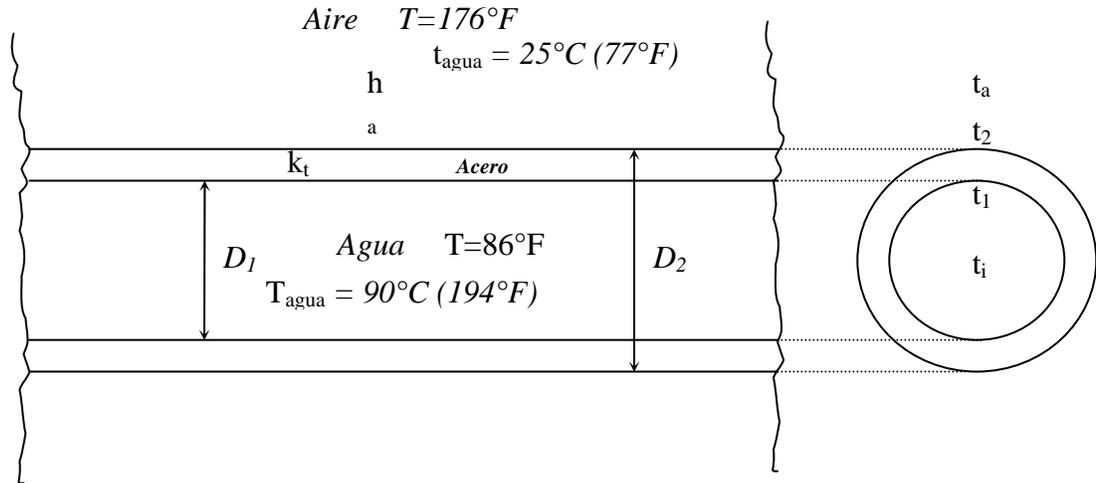


## Ejercicios de transferencia de calor a través de la pared de un tubo

### Ejercicio #1

Calcular la pérdida de calor de una tubería al aire.

Un tubo de acero de 2 pulgadas (diámetro nominal) lleva agua a 90 °C (194 °F), este se encuentra expuesto al aire ambiente a una temperatura de 25 °C (77 °F). ¿Cuál será la pérdida de calor por pie lineal?



Existen dos resistencias en la transferencia de calor:

Pared del tubo:

$$q = \frac{2\pi k_t}{2.3 \log \frac{D_2}{D_1}} (t_1 - t_2)$$

Radiación y convección al aire:

$$q = h_a \pi D_2 (t_2 - t_a)$$

Combinando estas ecuaciones que reflejan el flujo de calor por cada resistencia y el como el flujo de calor es el mismo a la largo de todo el área de transferencia, vamos a calcular el flujo de calor desde el interior del tubo hasta el aire ambiente es decir  $(t_1 - t_a)$

$$(t_1 - t_a) = q \left( \frac{2.3}{2\pi k_t} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_a \pi D_2} \right)$$

El término dentro del paréntesis del denominador son las dos resistencias. Por tanto la ecuación se reduce a:

$$q = \frac{\pi (t_1 - t_a)}{\left( \frac{2.3}{2k_t} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_a D_2} \right)}$$

Solución:

$\pi$  es una constante matemática relacionada con la fórmula de una circunferencia y tiene valor de 3.1416.

$D_2$  y  $D_1$  son variables que significan el diámetro externo e interno de la tubería respectivamente, al igual que  $\pi$  son constantes que no dependen de la temperatura.

$k_t$  es valor de la conductividad térmica de la tubería, este valor es característico de cada material y varía en función de la temperatura.

$h_a$  es el coeficiente convectivo del aire y al igual que la conductividad térmica de la tubería varía en función de la temperatura pero no de la misma forma que la conductividad térmica, el coeficiente convectivo es también una propiedad característica de cada material.

Debo suponer la temperatura de la pared externa del tubo para así calcular mediante una gráfica preestablecida el coeficiente convectivo de aire.

Suponga  $t_2 = 185^\circ\text{F}$ ,  $t_2 - 77^\circ\text{F} = 108^\circ\text{F}$ ,  $h_a = 2.48 \text{ Btu/h.pie}^2.\text{°F}$

Se supone también que la temperatura de la pared interna del tubo igual a la temperatura del líquido, es decir,  $t_i = t_l$ .

La conductividad del acero a  $194^\circ\text{F}$  es ( $k_{\text{acero}} = k_t$ ) =  $26 \text{ Btu/h.pie}^2.(\text{°F/pie})$

$$q = \frac{3.1416(194^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})}{\left( \frac{2.3}{2(26)} \log \frac{2.380}{1.939} + \frac{1}{2.48(2.38/12)} \right)} = 180.445 \text{ Btu / h(pie - lineal)}$$

Luego se chequea la temperatura que se supuso en la pared externa del tubo, utilizando la ecuación de transferencia de calor de la pared interna a externa del tubo, es decir, utilizando únicamente la resistencia del tubo:

$$180.445 \text{ Btu / h(pie - lineal)} = \frac{2 * 3.1416 * 26(194^\circ\text{F} - t_2)}{\left( 2.3 \log \frac{2.380}{1.939} \right)}; \quad t_2 = 193.77^\circ\text{F}$$

$185^\circ\text{F} \neq 193.77^\circ\text{F}$ , no es correcto.

Ahora se supone una nueva temperatura para la pared externa del tubo  $t_2 = 193.77^\circ\text{F}$ .

$t_2 = 193.77^\circ\text{F}$ ,  $t_2 - 77^\circ\text{F} = 116.77^\circ\text{F}$ ,  $h_a = 2.5 \text{ Btu/h.pie}^2.\text{°F}$

$$q = \frac{3.1416(194^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})}{\left( \frac{2.3}{2(26)} \log \frac{2.380}{1.939} + \frac{1}{2.5(2.38/12)} \right)} = 181.89 \text{ Btu / h(pie - lineal)}$$

De nuevo se chequea la temperatura que se supuso en la pared externa del tubo, utilizando la ecuación de transferencia de calor de la pared interna a externa del tubo, es decir, utilizando únicamente la resistencia del tubo:

$$181.89 \text{ Btu / h(pie - lineal)} = \frac{2 * 3.1416 * 26(194^\circ\text{F} - t_2)}{\left( 2.3 \log \frac{2.380}{1.939} \right)}; \quad t_2 = 193.77^\circ\text{F}$$

$t_2 = 193.77^\circ\text{F} = 193.77^\circ\text{F}$ , es correcto.

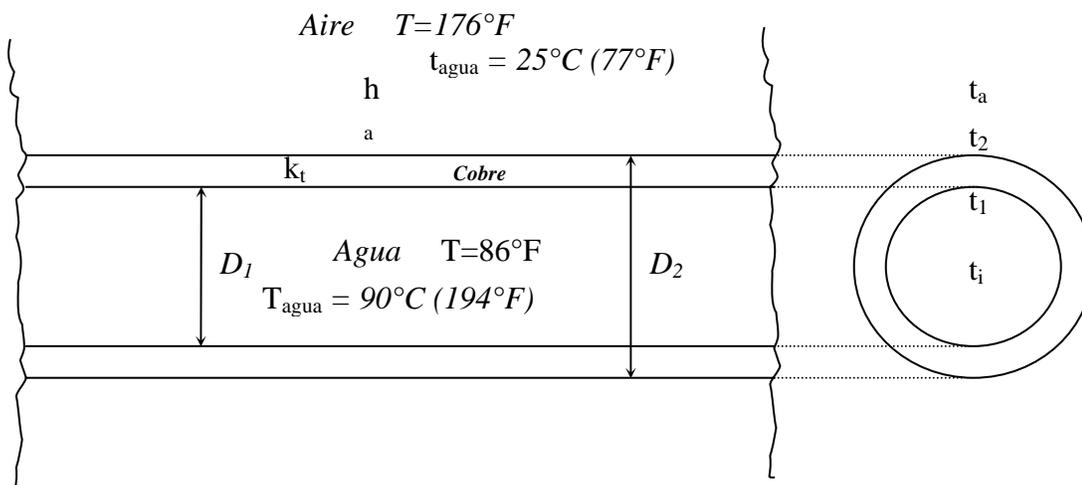
## Ejercicio #2

Calcular la pérdida de calor de una tubería al aire.

Un tubo de cobre de 2 pulgadas (diámetro nominal, tomando en cuenta que el diámetro nominal es el mismo que para el caso de la tubería de acero) lleva agua a 90 °C (194 °F), este se encuentra expuesto al aire ambiente a una temperatura de 25 °C (77 °F). ¿Cuál será la pérdida de calor por pie lineal?

Se va realizar el mismo ejercicio anterior con las mismas condiciones pero la tubería es de cobre.

La única variación será la resistencia que ofrece el cobre a la transferencia de calor, esta es mucho menor a la que ofrece el acero, se puede observar claramente ya que su conductividad térmica es significativamente mayor a la del acero:



Conductividad térmica del acero ( $k_{\text{acero}}$ ) a 194 °F = 26 Btu/h.pie<sup>2</sup>.(°F/pie)

Conductividad térmica del cobre ( $k_{\text{cobre}}$ ) a 194 °F = 220 Btu/h.pie<sup>2</sup>.(°F/pie)

Al igual que en el ejemplo anterior existen dos resistencia en la transferencia de calor:

Pared del tubo:

$$q = \frac{2\pi k_t}{2.3 \log \frac{D_2}{D_1}} (t_1 - t_2)$$

Radiación y convección al aire:

$$q = h_a \pi D_2 (t_1 - t_a)$$

Combinando:

$$(t_1 - t_a) = q \left( \frac{2.3}{2\pi k_t} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_a \pi D_2} \right)$$

El término dentro del paréntesis son las dos resistencias. Por tanto la ecuación se reduce a:

$$q = \frac{\pi (t_1 - t_a)}{\left( \frac{2.3}{2k_t} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_a D_2} \right)}$$

Solución:

$\pi$  es una constante matemática relacionada con la fórmula de una circunferencia y tiene valor de 3.1416.

$D_2$  y  $D_1$  son variables que significan el diámetro externo e interno de la tubería respectivamente, al igual que  $\pi$  son constantes que no dependen de la temperatura.

$k_t$  es valor de la conductividad térmica de la tubería, este valor es característico de cada material y varía en función de la temperatura.

$h_a$  es el coeficiente convectivo del aire y al igual que la conductividad térmica de la tubería varía en función de la temperatura pero no de la misma forma que la conductividad térmica, el coeficiente convectivo es también una propiedad característica de cada material.

Debo suponer la temperatura de la pared externa del tubo para así calcular mediante una gráfica preestablecida el coeficiente convectivo de aire.

Suponga  $t_2 = 193.95$  °F,  $t_2 - 77$ °F = 116.95 °F,  $h_a = 2.5$  Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F

La conductividad del cobre a 194 °F es ( $k_{\text{cobre}} = k_t$ ) = 220 Btu/h.pie<sup>2</sup>.(°F/pie)

$$q = \frac{3.1416(194^\circ F - 77^\circ F)}{\left( \frac{2.3}{2(220)} \log \frac{2.380}{1.939} + \frac{1}{2.48(2.38/12)} \right)} = 182.21 \text{ Btu} / h(\text{pie} - \text{lineal})$$

Luego se chequea la temperatura que se supuso en la pared externa del tubo, utilizando la ecuación de transferencia de calor de la pared interna a externa del tubo, es decir, utilizando únicamente la resistencia del tubo:

$$182.21 \text{ Btu} / h(\text{pie} - \text{lineal}) = \frac{2 * 3.1416 * 220(194^\circ F - t_2)}{\left( 2.3 \log \frac{2.380}{1.939} \right)}; \quad t_2 = 193.97 \text{ }^\circ\text{F}$$

193.95 °F = 193.97 °F, es correcto.