



Departamento de Ingeniería Civil
Química y Biotecnología.
Facultad de Ciencias Físicas
y Matemáticas.
UNIVERSIDAD DE CHILE
[IQ46B] Operaciones de
Transferencia I; 2009 - Semestre II

Control 1: Parte Conceptual

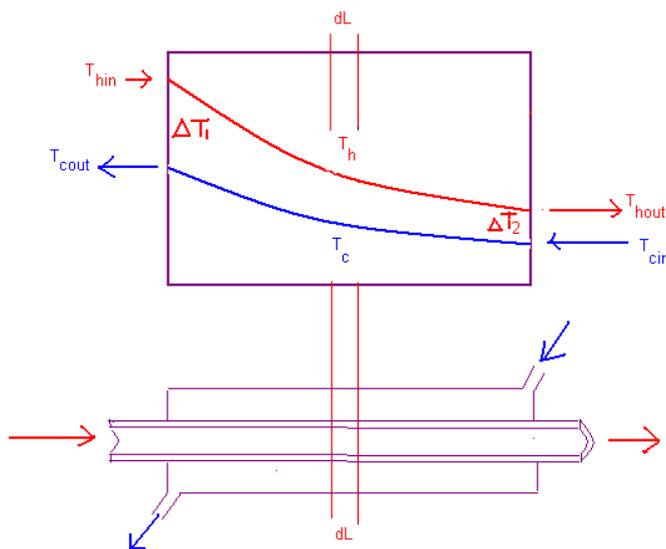
Profesor: Tomás Vargas.

Auxiliar: Melanie Colet.

Ayudante: Jorge Monardes – Diego Guiachetti.

Problema N° 1

a) Dibuje el esquema de un intercambiador de tubos concéntricos con flujo en contracorriente indicando los perfiles de temperatura para los líquidos frío y caliente.



(0,75 pts por cada esquema)

b) Escriba la fórmula para determinar el área de intercambio en este intercambiador en función de las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos.

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{\ln} \Rightarrow A_1 = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{\ln}} \quad (0,5 \text{ pts})$$

$$\text{Además } Q = m_{\text{caliente}} C_{p,\text{caliente}} (T_{h,\text{in}} - T_{h,\text{out}}) = m_{\text{frio}} C_{p,\text{frio}} (T_{c,\text{out}} - T_{c,\text{in}}) \quad (0,5 \text{ pts})$$

$$\text{Con } \Delta T_{\ln} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln\left(\frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}}\right)} \quad (0,5 \text{ pts})$$

c) Escriba la fórmula para determinar el área de intercambio para las mismas condiciones en ambos fluidos, pero un intercambiador de carcasa y tubo.

$$Q = A \cdot U \cdot F_G \cdot \Delta T_{\ln} \Rightarrow A_2 = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{\ln} \cdot F_G} \quad (F_G < 1) \quad (0,3 \text{ pts})$$

Era importante que se explicara de donde sale F_G . (0,2 pts)

$$Q = m_{\text{caliente}} C_{p,\text{caliente}} (T_{h,in} - T_{h,out}) = m_{\text{frio}} C_{p,\text{frio}} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (0,5 \text{ pts})$$

$$\text{Con } \Delta T_{\ln} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln\left(\frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}}\right)} \quad (0,5 \text{ pts})$$

d) Indique por qué el área de intercambio requerida en este último intercambiador es mayor que en el primero. Explique por qué, a pesar de requerirse mayor área siguen siendo los que se usan preferentemente en la industria.

Pensando en que para ambos casos deseas llevar a los fluidos a la misma temperatura de salida (eso sale del balance de calor de ambos fluidos y, por lo tanto, el valor de ΔT_{\ln} es igual en ambos casos de intercambiador) aquí el asunto pasa más bien por el factor F . La necesidad de un aumento de área en el carcasa-tubo pasa por el hecho de que las alteraciones en la forma de los tubos generan una transferencia menor en esas zonas que la que existe en los tubos concéntricos que son rectos todo el tiempo.

(0,75 pts)

Los intercambiadores de carcasa y tubo posibilitan incorporar una gran área de transferencia de tubos en un volumen compacto, por lo que es el preferido en la industria al disminuir la cantidad de espacio utilizado para esta operación.

(0,75 pts)

Problema Nº 2

La temperatura de autoignición de una sustancia es la mínima temperatura a la cual arderá espontáneamente en una atmósfera normal sin necesidad de una fuente externa de calor, como una llama o chispa. Se ha observado que la temperatura de

autoignición de un material dado disminuye cuando aumenta la concentración de oxígeno en el aire. Elabore una explicación de este comportamiento aplicando ecuaciones sencillas de balance entre el calor generador (por la combustión) y el calor disipado hacia el medio.

La conductividad térmica del oxígeno (0,02674 W/(m·K)) es levemente mayor a la del aire (0,02 W/(m·K)), de esta forma al aumentar la cantidad de oxígeno en el aire, aumenta la transferencia de calor.

(1 pts)

En efecto, el calor generado por combustión, $Q_{\text{producido}} = \Delta H_{\text{comb}}$, es disipado al medio por convección de acuerdo a la ecuación $Q_{\text{disipado}} = h \cdot A \cdot \Delta T = h \cdot A \cdot (T_{\text{material}} - T_{\text{ambiente}})$, siendo el coeficiente de convección mayor en el caso en que se tiene más oxígeno en el ambiente dado que depende directamente de la conductividad que es mayor (ver correlaciones). Luego, nótese que en la ecuación de calor pesa más el término h que la diferencia de temperaturas y, manteniéndose la temperatura del ambiente igual, la temperatura del material (que no es otra que su temperatura de ignición) disminuye.

En cuanto al balance energético, se tiene que:

$$Q_{\text{producido}} = Q_{\text{disipado}}$$

$$\Delta H_{\text{combustión}} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

A: Área que existe entre la masa de sustancia combustionante y el medio.

h: Coeficiente de convección entre la sustancia y el medio.

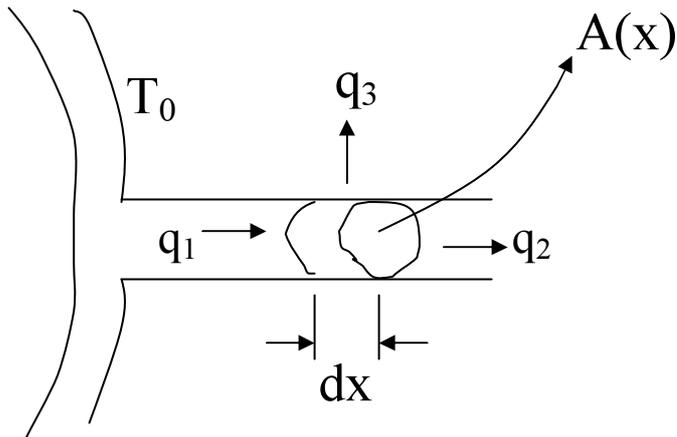
ΔT : Gradiente de temperatura entre el seno de la sustancia y el medio.

(5 pts)

Problema N° 3

a) Escriba la ecuación de balance de calor en un corte diferencial de largo dx , situado a $x=x$, de una aleta metálica cilíndrica de radio r . La base de la aleta (pegada al tubo) está a temperatura $T=T_0$. La temperatura del aire es $T=T_\infty$. La conductividad de la aleta es k y el coeficiente de transferencia de calor por convección es h_0 .

El esquema del corte es el siguiente:



(q_1 : calor que entra por conducción; q_2 calor que sale por conducción; q_3 : calor que sale por convección)

$$q_1 = -k \cdot A \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_x \quad q_2 = -k \cdot A \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_{x+dx} \quad q_3 = h \cdot A_s \cdot (T - T_\infty) \quad (1 \text{ pts})$$

Con $A = \pi \cdot r^2$ (área transversal) y $A_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dx$ (área superficie externa)

Realizando el balance de energía se tiene que:

$$q_1 = q_2 + q_3 \rightarrow -k \cdot A \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_x = -k \cdot A \cdot \left[\frac{dT}{dx} \right]_{x+dx} + h \cdot A_s \cdot (T - T_\infty)$$

Acomodando los términos:

$$\pi \cdot r^2 \cdot k \left(\left[\frac{dT}{dx} \right]_{x+dx} - \left[\frac{dT}{dx} \right]_x \right) = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dx \cdot h \cdot (T - T_\infty)$$

Finalmente:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{2 \cdot h}{r \cdot k} (T - T_\infty) \quad (1 \text{ pts})$$

Resolviendo la ecuación aplicando las condiciones de borde:

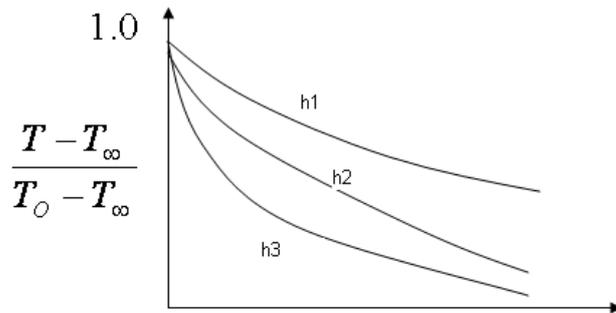
$$T(0) = T_0 \text{ y } \left(\frac{dT}{dx}\right)_L = 0$$

Se tiene que:

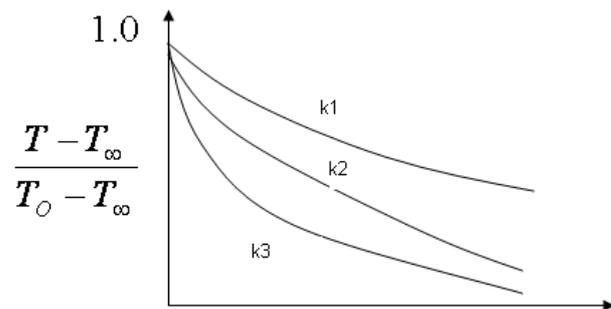
$$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \frac{\cosh[m(L - x)]}{\cosh mL}$$

$$m = \sqrt{\frac{2h}{kr}}$$

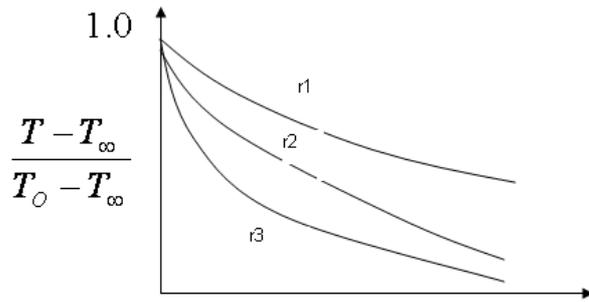
b) Dibuje perfiles de temperatura $(T - T_\infty)/(T_0 - T_\infty)$ versus x , para valores crecientes de r , h y k (separadamente).



Con $h_1 < h_2 < h_3$ (0,65 pts)

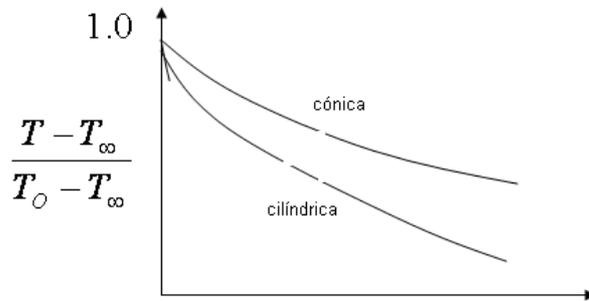


Con $k_1 > k_2 > k_3$ (0,65 pts)



Con $r_1 > r_2 > r_3$ (0,7 pts)

c) Dibuje un perfil cualquiera $(T - T_\infty) / (T_0 - T_\infty)$ versus x para la aleta cilíndrica y compárela con el perfil obtenido para una aleta similar pero cuyo radio r decrece con el aumento de x (forma cónica). Interesa que muestre si el perfil de temperaturas en la aleta cónica sube o baja con respecto a la cilíndrica. Explique por qué.



(1 pts)

La aleta cónica presenta menos pérdida de calor que la cilíndrica ya que existe mucho menos área de intercambio con el exterior, ya que esta va decreciendo a medida que se avanza por el eje x , por tanto la temperatura es mayor al interior de ésta que la cilíndrica. El perfil presenta una caída menos pronunciada.

(1 pts)

Problema N° 4

Con respecto al cuento "Encender una Hoguera" de Jack London: Aplicando los conceptos de generación y disipación de calor de varias razones por las cuales, en las condiciones ambientales en que se encuentra el protagonista del cuento, es tan dañino para su sobrevivencia (y su balance térmico) el sumergir por error un pie en un arroyo de modo que su zapato se llene de agua.

Analizando la vestimenta del explorador esta se puede describir como una serie de resistencias a la conducción de calor donde la principal resistencia es el sistema conformado por fibras entrecruzadas (pelaje animal, tejido, etc) y el aire estanco que se almacena en éste. El aire estanco presenta un bajo coeficiente de transmisión de calor por lo que representa una gran resistencia a la transferencia de calor.

(1 pts)

Al introducir el pie en el agua, este aire estanco pasa a ser reemplazado por agua (helada) cuyo coeficiente de transmisión de calor es mucho mayor que el del aire estanco, si el agua llegase a congelarse se presentaría conducción a través de esta capa de hielo.

(4 pts)

Si se introduce el pie en el agua el factor que cambia es la resistencia, haciéndose esta menor, por lo que el flujo de calor hacia el exterior será mayor. El cuerpo es incapaz de solventar este flujo de calor que se transmite desde el pie hacia el exterior mediante la circulación sanguínea, por lo que el pie se congela (necrosis por congelamiento).

Si esta situación no se remedia, rápidamente el pie se enfría, es decir, ΔT se hará menor a medida que pasa el tiempo haciendo menor también el flujo de calor.

(1 pts)

Problema N° 5

a) Explique por qué la economía de un evaporador de múltiple efecto aumenta con respecto a la de uno de simple efecto.

Se sabe que la economía es la relación entre la cantidad de agua eliminada con el vapor utilizado para ebullición la solución.

Por tanto se mejora la economía del proceso ya que el vapor producido en un efecto se usa para calentar en el efecto siguiente. Además los múltiples efectos permiten eliminar más agua de la solución utilizando el mismo calor.

(3 pts)

b) Explique por qué la capacidad de un sistema de evaporación de N efectos, cada uno de área A, no aumenta con respecto a la de un solo evaporador.

La capacidad corresponde a la cantidad de calor que puede ser transferido en un evaporador cualquier. De esta forma el mejoramiento de economía obtenido en los evaporadores múltiples no implica un aumento de capacidad. La capacidad es igual en todos los efectos porque por idealidad se asume que el calor transferido en todos los efectos es el mismo ($q = A_i U_i \Delta T_i$). Si el calor usado en calentar la solución hasta el punto de ebullición es despreciable, prácticamente todo el q_1 transferido a la solución sale como calor latente en el vapor que abandona la cámara 1. A su vez la temperatura del condensado que deja q_2 es prácticamente T_1 , la temperatura de ebullición del primer efecto. Luego el calor transferido en segundo efecto es prácticamente igual al primero, por tanto todo el evaporador funciona con el mismo q que se va desplazando en cada efecto.

(3 pts)