

El enfriamiento de los cuerpos

Julio E. Rodríguez L.
Universidad Nacional de Colombia

1. La convección

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor, se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido que transporta el calor entre zonas que tienen diferentes temperaturas.

Este fenómeno es un mecanismo de transmisión calórica que se produce en un fluido cuando una parte de éste se mezcla con otra a causa de los movimientos de la masa del mismo. El proceso real de transmisión de energía de una partícula o molécula del fluido a otra sigue siendo un proceso de conducción, pero la energía puede transportarse de un punto a otro del espacio por el desplazamiento del mismo fluido.

El movimiento del fluido puede producirse por causas mecánicas externas (un ventilador, una bomba, etc.) en este caso el proceso se llama *convección forzada*. Pero si el movimiento del fluido se produce solamente por diferencias de densidad creadas por las diferencias de temperatura que existen en la masa de fluido el proceso se denomina *convección libre o natural*.

El estudio de la velocidad de transmisión de calor por convección desde una superficie sólida por medio de un fluido ambiente, exige una comprensión clara de los principios de la conducción de calor y de la dinámica de fluidos. Todos estos factores en la mayoría de los casos complejos, pueden reunirse en un solo parámetro recurriendo a la *ley de Newton sobre el enfriamiento*:

La transferencia de calor por convección se expresa mediante la *Ley de Newton del enfriamiento* :

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_A) \quad (1)$$

donde h es el coeficiente de transmisión o intercambio de calor por convección o conductancia térmica unitaria, es importante notar que se trata de una conductancia térmica y no una propiedad del material (como la conductividad térmica), A_s es el área superficial del cuerpo en contacto con el fluido, T_s es la temperatura en la superficie del cuerpo y T_A es la temperatura del medio ambiente.

Si la temperatura de cuerpo es mayor a la del ambiente, entonces este experimenta una pérdida de calor, la cual será proporcional a la diferencia de temperatura, por lo tanto se puede expresar como:

$$dQ = -mcdT \quad (2)$$

donde m es la masa del cuerpo, y c su calor específico. El signo menos indica una pérdida de energía.

Combinando las ecuaciones 1 y 2 se puede expresar la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\frac{dT}{dt} = -\kappa(T - T_A) \quad (3)$$

donde κ es una constante de proporcionalidad conocida como parámetro de enfriamiento $\kappa = hA/mc$. La solución de esta ecuación diferencial de primer orden es de la forma:

$$T(t) = A + B \cdot \exp(-t/\tau) \quad (4)$$

donde A y B son constantes. El parámetro $\tau = \kappa^{-1}$ se mide en unidades de tiempo (verifíquelo) y representa el **tiempo característico del enfriamiento**.

Teniendo en cuenta que en un tiempo cero la temperatura es la temperatura inicial T_i y cuando $t \gg 1$ la temperatura tiende a la temperatura final T_f , por lo tanto la ecuación 4 se puede escribir como:

$$T(t) - T_f = (T_i - T_f)\exp(-t/\tau) \quad (5)$$

En el caso en que el sistema tenga una fuente de energía que le proporcione calor, entonces la potencia suministrada se puede expresar como:

$$P = mc \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

Expresando la temperatura en función del tiempo, se tiene la siguiente ecuación:

$$T = T_A + \frac{P}{mc} t \quad (7)$$

Es decir que la temperatura del sistema varía linealmente con el tiempo. Por otra parte, si hay pérdidas por convección, entonces el balance de energía viene dado por:

$$P = mc \frac{dT}{dt} + hA(T - T_A) \quad (8)$$

Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{mc} - \frac{hA}{mc}(T - T_A) \quad (9)$$

La solución de esta ecuación diferencial para un cuerpo que recibe calor de una fuente de energía y está afectado por la ley del enfriamiento de Newton, variando desde la temperatura ambiente (T_A) hasta una temperatura T , se obtiene:

$$T = T_A + \frac{P}{hA} \left[1 - e^{-\frac{hA}{mc} t} \right] \quad (10)$$

2. La práctica

- Estudie el proceso de enfriamiento del cilindro de hierro en función del tiempo, para esto caliéntelo hasta la temperatura de ebullición del agua y luego tome los datos de su temperatura en función del tiempo.
- Para el análisis grafique en cada caso el comportamiento de la temperatura en función del tiempo y luego haga la gráfica apropiada que le permita encontrar la constante que caracteriza el enfriamiento así como verificar el valor de la temperatura inicial (T_i).
- Estudie el comportamiento de la constante de enfriamiento τ en función del área del cilindro. Compare sus resultados con lo predicho por la teoría.
- Cómo verificaría si un cuerpo inicialmente a una temperatura inferior a la del ambiente alcanza la temperatura ambiente según el mismo modelo propuesto por Newton para el enfriamiento?.
- Proponga un proceso experimental que le permita verificar el modelo propuesto en la ecuación 10.

3. Preguntas

- Se podría conocer la temperatura final del cuerpo que se enfría midiendo su temperatura en función del tiempo, solamente durante un intervalo de tiempo?.
- Dos amigos van a tomar un café, el primero le agrega leche justo cuando se lo sirven y el otro 10 minutos después cuando toman el primer sorbo. Cual de los dos toma el café más caliente, si los dos agregan la misma cantidad de leche y a la misma temperatura?.
