

Equivalente eléctrico del calor

Objetivo

Estudio de la relación entre el trabajo eléctrico y el calor y determinación de la relación entre el Joule y la caloría.

Introducción

El principio de conservación de la energía nos dice que si una dada cantidad de energía de algún tipo se transforma completamente en calor, la variación de la energía térmica resultante debe ser equivalente a la cantidad de energía entregada. En este experimento buscamos demostrar la equivalencia entre la energía entregada a un sistema y el calor en que se convierte. Si la energía se mide en Joules y el calor en calorías, nos proponemos también encontrar la equivalencia entre estas unidades. A la relación cuantitativa entre Joules y calorías la llamaremos *equivalente eléctrico* (o *mecánico*) del calor, y la denominaremos J_e . Recordamos que Joule es la unidad de energía del Sistema Internacional de unidades: $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$; y una caloría es la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de agua para elevarle la temperatura 1°C (desde 14.5°C hasta 15.5°C).

Calorímetro

Un dispositivo muy útil para los experimentos de termodinámica es el calorímetro de mezclas, que consiste en un recipiente con una buena aislación térmica y que contiene un líquido (por lo regular agua), un termómetro y otros elementos, como un agitador y un calefactor (resistencia eléctrica). No debemos olvidar que el calorímetro participa como parte integrante en los procesos de transferencia de calor que se realicen en él y por tal motivo es importante caracterizar su comportamiento térmico. Si por algún método suministramos una cantidad de calor Q al sistema, la temperatura del calorímetro aumentará una cantidad ΔT . La relación entre estas cantidades será:

$$Q = (c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} + c_{\text{termom}} \cdot m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} \cdot m_{\text{xx}}) \cdot \Delta T \quad (1a)$$

$$Q = c_{\text{agua}} \cdot \left(m_{\text{agua}} + \left\{ \frac{c_{\text{termom}} \cdot m_{\text{termom}} + c_{\text{xx}} \cdot m_{\text{xx}}}{c_{\text{agua}}} \right\} \right) \cdot \Delta T \quad (1b)$$

$$Q = c_{\text{agua}} \cdot (m_{\text{agua}} + \{M_{\text{eq}}\}) \cdot \Delta T \quad (1c)$$

Aquí, c_{agua} es el calor específico del agua, c_{termo} representa el calor específico del termómetro y c_{xx} el calor específico del recipiente, agitador y demás elementos dentro del calorímetro, estos dos últimos desconocidos en general. Las masas correspondientes son: m_{agua} , m_{termo} y m_{xx} . Para un dado calorímetro, el término entre llaves de (1b) es una constante con dimensión de masa, y puede agruparse en una sola constante M_{eq} , que se designa como *el equivalente en agua del calorímetro*. M_{eq} tiene un significado físico simple: representa una masa de agua cuya capacidad calorífica es igual a la del conjunto constituido por el termómetro, recipiente, agitador y todos los demás componentes del calorímetro.

Desarrollo de la práctica

El principio de este experimento consiste en suministrar energía eléctrica a un calefactor (resistencia eléctrica) sumergido en agua contenida dentro de un calorímetro y medir el calor desarrollado. Como calefactor puede usarse un calentador de inmersión (Figura 1). Cuando por el calefactor o resistencia circula una corriente eléctrica I y se desarrolla en él una diferencia de potencial V , la potencia P que disipa el calefactor por efecto Joule está dada por:

$$P = I V \quad (2)$$

Si I se mide en Ampere y V en Volt, la potencia queda expresada en Watt. La energía suministrada al calefactor en un tiempo t_{exp} será:

$$W_{el\acute{e}ctrico} = \int_{t=0}^{t_{exp}} i(t) \cdot V(t) \cdot dt \approx i \cdot V \cdot t_{exp} = P \cdot t_{exp} \quad (3)$$

donde hemos supuesto que I y V son aproximadamente constantes. Si expresamos la energía eléctrica $W_{el\acute{e}ctrico}$ en Joules, podemos deducir cuál es la cantidad de Joules requeridos para generar una caloría.

Sabiendo que el calefactor es colocado dentro de un recipiente con agua, esta aumentara su temperatura acorde a la energía recibida. De este modo, la cantidad de calorías entregadas al agua se calcula a través de la medición de la variación de temperatura ΔT de la misma, conociendo la masa de agua m_{agua} , y el equivalente en agua del calorímetro M_{eq} :

$$Q = c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv}) \Delta T \quad (4)$$

Si suponemos que toda la energía eléctrica entregada se convierte en calor, podemos escribir la igualdad

$$W_{el\acute{e}ctrico} \text{ (J)} = J_e \cdot Q \text{ (cal)} \quad (5)$$

donde J_e tiene unidades de Joule/cal y representa la cantidad de Joules requeridos para producir una caloría. Reemplazando (3) y (4) en (5) se tiene que

$$P \cdot t = J_e \cdot c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv}) (T(t) - T_{inicial}) \quad (6)$$

Donde ahora t es el tiempo en el cual se registra la temperatura $T(t)$ y $T_{inicial}$ la temperatura al comienzo del experimento ($t = 0$)

Reacomodando la ec (6) de modo que quede $(T(t) - T_{inicial})$ en fc. de t queda como pendiente

$$pend = \frac{VI}{J_e c_{agua} (m_{agua} + M_{equiv})} \quad (7)$$

donde se reemplazó P por IV . Esta pendiente tiene dos variables que no conocemos J_e y M_{equiv} , por lo que se necesita un paso mas para poder obtener J_e . Escribiendo (7) de otro modo se tiene que

$$m_{agua} = \frac{VI}{J_e c_{agua}} \frac{1}{pend} - M_{equiv} \quad (8)$$

Realizando las mediciones de la ec (6) para distintas masas de agua se obtendrán distintas pendientes (una por cada masa). De este modo graficando m_{agua} vs $1/pend$ se obtiene de la ec (8) a J_e de la pendiente y a M_{equiv} de la ordenada al origen.

Sugerencias

- Realizar las mediciones con un mínimo de 8 masas de agua distintas
- Usar masas de más de 100g de agua.
- No olvidar de agitar el calorímetro constantemente mientras se le suministra energía, de lo contrario el aumento de temperatura del agua no será homogéneo dando como resultando valores muy apartados del esperado.

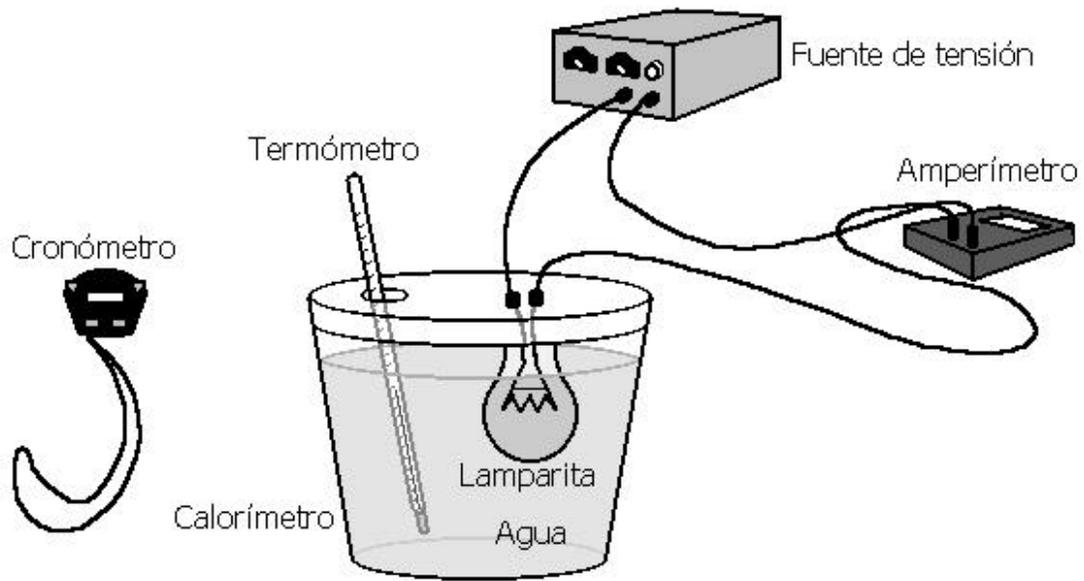


Figura 1: Diagrama del experimento.