

Equivalente eléctrico del calor *

Julio E. Rodríguez L.
Universidad Nacional de Colombia

* Tomado y adaptado de www.fisicarecreativa.com

1. Objetivos

- Estudiar la relación entre el trabajo eléctrico con el calor.
- Determinar cuantitativamente la relación entre el Joule y la caloría.

2. Introducción

De acuerdo con el principio de conservación de la energía se puede afirmar que si una cantidad de energía de algún tipo se transforma completamente en calor, la variación de la energía interna resultante debe ser equivalente a la cantidad de energía entregada. En esta práctica se busca demostrar la equivalencia entre la energía eléctrica entregada a un sistema y el cambio en su energía interna. Entonces si la energía se mide en *Joules* y el calor en *calorías*, nos propondremos también encontrar la equivalencia entre estas unidades.

3. El Calorímetro

Es un dispositivo muy útil en la realización de experimentos de termodinámica, consiste en un recipiente considerado idealmente como un sistema aislado. En este caso este dispositivo contiene un líquido (en general agua), un termómetro y otros elementos como un agitador o una resistencia eléctrica. Si por algún método suministramos una cantidad de calor Q al sistema, la temperatura del calorímetro aumentará en una cantidad ΔT . La expresión que relaciona estas cantidades es:

$$Q = (c_{agua} \cdot m_{agua} + c_{term} \cdot m_{term} + c_x \cdot m_x) \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$= c_{agua} \cdot \left(m_{agua} + \left\{ \frac{c_{term} \cdot m_{term} + c_x \cdot m_x}{c_{agua}} \right\} \right) \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$= c_{agua} \cdot (m_{agua} + \{M_{eq}\}) \cdot \Delta T \quad (3)$$

Aquí, c_{agua} , c_{term} y c_x son los calores específicos del agua, termómetro y agitador (u otro objeto dentro del calorímetro), respectivamente, y sus correspondientes masas m_{agua} , m_{term} y m_x . Como se ve en la ecuación 2, el término entre llaves es una constante para un calorímetro en particular, y como tal puede agruparse todo este término en una sola constante M_{eq} , la cual se designa como el equivalente en agua del calorímetro.

Así, M_{eq} representa una masa de agua cuya capacidad calorífica es igual a la del termómetro, recipiente, agitador y todos los demás componentes del calorímetro.

Una forma simple de determinar el valor de M_{eq} consiste en la utilización de dos volúmenes de agua a distintas temperaturas: una masa de agua m_1 a T_1 (caliente, a una sobre de la temperatura ambiente, T_{amb}), y otra masa de agua m_2 a T_2 (fría, por debajo de T_{amb}), la cual está en el calorímetro junto a los demás elementos. Una vez medidas las temperaturas T_1 y T_2 , los dos volúmenes de agua se mezclan en el calorímetro, el cual se equilibrará térmicamente a una temperatura T_f . Entonces, la conservación de la energía nos permite escribir:

$$Q = c_{agua} \cdot (m_1 + M_{eq}) \cdot (T_f - T_1) = c_{agua} \cdot (m_2) \cdot (T_2 - T_f) \quad (4)$$

De donde se tiene que:

$$M_{eq} = m_2 \cdot \frac{(T_2 - T_f)}{(T_f - T_1)} - m_1 \quad (5)$$

Dado que el calorímetro no está totalmente aislado del medio, siempre hay intercambio de calor entre el calorímetro y el medio, lo que altera la igualdad (4). Para minimizar los errores sistemáticos introducidos por este intercambio térmico es aconsejable, partir de una docena de grados debajo de la T_{amb} y procurar que la temperatura final (T_f) esté una cantidad similar de grados por arriba de T_{amb} , esto es:

$$T_2 - T_f \approx T_f - T_1 \quad (6)$$

Lo cual significa que en promedio el calor que el medio entrega al sistema en la primera parte del proceso, es devuelta por el sistema al medio en la segunda parte.

4. El trabajo eléctrico

En esencia la práctica consiste en suministrar energía eléctrica a un conductor (resistencia eléctrica) rodeada de agua dentro de un calorímetro, y medir el calor transferido en éste. Como la potencia eléctrica entregada a un sistema viene dada por la ecuación $P = IV$, donde I es la corriente y V la diferencia de potencial. Entonces, la energía suministrada (trabajo eléctrico) a la resistencia en un determinado tiempo t será:

$$W_{elec} = \int_0^t I(t) \cdot V(t) \cdot dt \approx IVt = P_{elect} \cdot t \quad (7)$$

Lo cual es válido si se mantienen I y V aproximadamente constantes.

Si expresamos el trabajo eléctrico W_{elec} en Joules podemos encontrar el valor requerido para generar una caloría. La cantidad de calorías entregadas al agua se calcula a través de la medición de la variación de la temperatura ΔT de la misma y su masa (m_{agua}) la cual es dada por:

$$Q = c_{agua} \cdot (m_{agua} + M_{eq}) \cdot \Delta T \quad (8)$$

5. La práctica

Mida la temperatura ambiente T_{amb} . Llene el vaso con agua fría hasta que la resistencia esté totalmente inmersa en el agua (el agua deberá estar aproximadamente a unos 10^0C por debajo de la temperatura ambiente). Conecte la fuente de voltaje a los terminales de la resistencia, así como el amperímetro y voltímetro (figura 1), de tal manera que pueda leer simultáneamente la corriente y el voltaje que van a la resistencia.

Ubique el vaso dentro del calorímetro y coloque el termómetro dentro del mismo para medir la temperatura del agua. Revuelva el agua con el termómetro hasta que la temperatura se equilibre (T_i) por debajo de la temperatura ambiente y encienda la fuente mientras toma el tiempo (t_i). Tome nota de la corriente el voltaje. Mida la temperatura del agua en función del tiempo. Cuando la temperatura sea tal que $T - T_{amb} \approx T_{amb} - T_i$ apague la fuente y anote el tiempo (t_f). Continúe mezclando y lea el termómetro hasta que la temperatura llegue a un máximo (T_f).

Otra forma alternativa para determinar la masa equivalente es medir diferentes valores de ΔT para diferentes intervalos de tiempo $t_a = t_f - t_i$ manteniendo la resistencia conectada mientras se aplica la misma potencia eléctrica. Al graficar ΔT medido en función de t_a . Según (7) y (8), la pendiente de la recta que obtendría sería:

$$Pendiente(\Delta T vs t_a) = \frac{P_{elect}}{C_{agua} \cdot (m_{agua} + M_{eq})} \quad (9)$$

Determinando esta pendiente y conociendo m_{agua} y c_{agua} , es posible determinar M_{eq} . Usando este valor (ó el calculado anteriormente), grafique W_{elec} [Joules] versus Q [cal] y obtenga el equivalente eléctrico del calor.