

Determinación del equivalente eléctrico del calor

Julieta Romani, Paula Quiroga, María G. Larreguy y María Paz Frigerio

julietaromani@hotmail.com, comquir@ciudad.com.ar, merigl@yahoo.com.ar, mapaz@vlb.com.ar

*Laboratorio de Física III – 2002
Facultad de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Favaloro
Buenos Aires, Argentina*

Mediante este experimento logramos determinar el valor del equivalente eléctrico del calor. Transformamos la energía eléctrica de una resistencia en energía calórica, sumergiéndola en agua dentro de un calorímetro. A partir del calor que recibe el agua en calorías y la energía que proporciona la resistencia eléctrica en joules podemos conocer el equivalente eléctrico del calor.

Introducción

Por definición, la caloría es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado Celsius desde 14.5 °C. Los experimentos de Joule demostraron que no sólo la energía térmica permite elevar la temperatura, sino que también cualquier otra forma de energía suministrada a un sistema puede realizar el mismo efecto. Con estos experimentos Joule obtuvo el equivalente mecánico del calor, J_e , es decir el número de Joules necesarios para aumentar en un grado la temperatura de un gramo de agua, mediante la utilización de trabajo mecánico.

En este trabajo medimos este equivalente utilizando la transformación de energía eléctrica en térmica.

Si introducimos en un recipiente con agua a cierta temperatura, una resistencia eléctrica o una lamparita, y aplicamos una diferencia de potencial V entre sus bornes, observamos el paso de una intensidad de corriente I .

La potencia consumida en la resistencia de la lamparita es:

$$P = VI \quad (1)$$

La energía eléctrica W generada al cabo de un tiempo t , es:

$$W = VIt \quad (2)$$

Esta energía se transforma en calor. La cantidad de calor generado en el tiempo t se invierte en elevar no sólo la temperatura del agua sino también la de las paredes del recipiente y otros elementos del calorímetro. Otra parte del calor es emitido por radiación al exterior. Si la temperatura inicial es T_1 y la final T_2 , entonces:

$$Q = C_0(m + k)(T_2 - T_1) \quad (3)$$

donde C_0 es el calor específico del agua (a cal/g K), m la masa en gramos del agua y k el llamado equivalente en agua del calorímetro⁽¹⁾, masa de agua capaz de absorber igual cantidad de calor que el calorímetro para la misma elevación de temperatura. No consideramos la emisión de calor por radiación. Más adelante comprobamos que podemos dejarla de lado ya que no es significativa.

El equivalente, J_e , del calor, es:

$$J_e = W / Q \quad (4)$$

y su expresión se obtiene dividiendo la ecuación (2) por la (3).

Experimento

En primer lugar, buscamos el valor del equivalente en agua del calorímetro, k . En el apéndice de este trabajo se encuentran las ecuaciones necesarias para su cálculo. Utilizamos una balanza para pesar el agua que agregábamos al calorímetro. Mezclamos distintas cantidades de agua fría y caliente repetidas veces dentro del calorímetro y esperamos a que el sistema se estabilizara. Con un termómetro de mercurio medimos la temperatura final que alcanza el mismo en el equilibrio. De esta forma obtuvimos k , que representa una masa de agua cuya capacidad calorífica es igual a la del conjunto constituido por el termómetro, el recipiente y la lamparita.

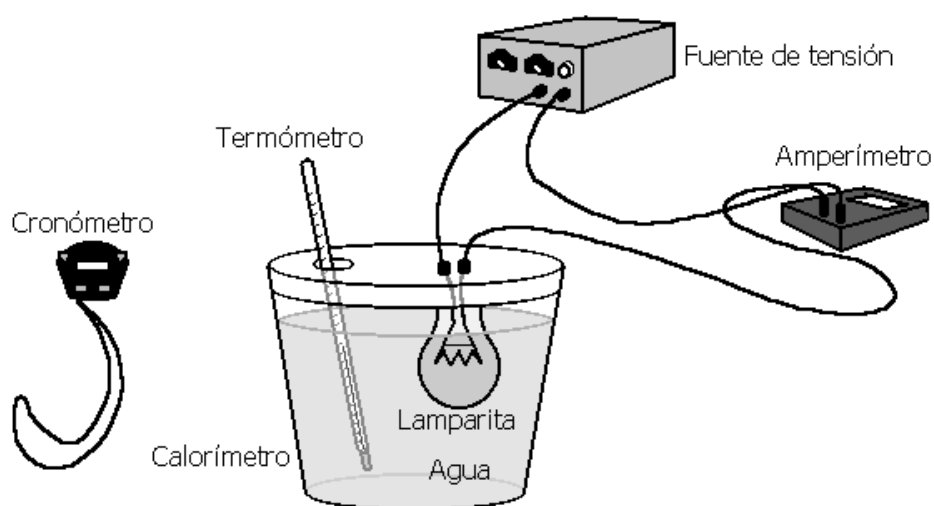


Figura 1. Diseño experimental para medir la constante eléctrica del calor a partir de la potencia disipada por una lamparita y el calor recibido por el agua dentro del calorímetro.

Una vez que contamos con el valor de k , pudimos llevar a cabo nuestro experimento principal. Para ello, necesitamos de una fuente de tensión, en nuestro caso con 12 volt, y un amperímetro para medir la corriente que circula por la resistencia eléctrica. Nuestra resistencia fue

una lamparita de 100 W. Proporcionamos a la lamparita una potencia de aproximadamente 29.2 W. En la figura 1 se ilustra la disposición de los elementos. Agregamos 220 ml de agua (210 g) al calorímetro y medimos su temperatura con el termómetro para distintos intervalos de tiempo determinados por un cronómetro.

Volvimos a repetir el experimento anterior agregando tinta negra al agua, de forma tal que no se perdiera calor por radiación.

Resultados

El valor que obtuvimos para la masa equivalente en agua del calorímetro fue de 20.3 g, pero con un error demasiado grande. Decidimos entonces realizar todos los cálculos necesarios a partir del valor que informa el fabricante de 23 g.

Comparamos la velocidad de transferencia del calor (temperatura *versus* tiempo) del agua en el calorímetro con la lamparita, antes y después de agregarle tinta. Realizamos el gráfico de la figura 2. Queremos ver si es significativa la pérdida de calor por radiación fuera del calorímetro cuando el agua está clara.

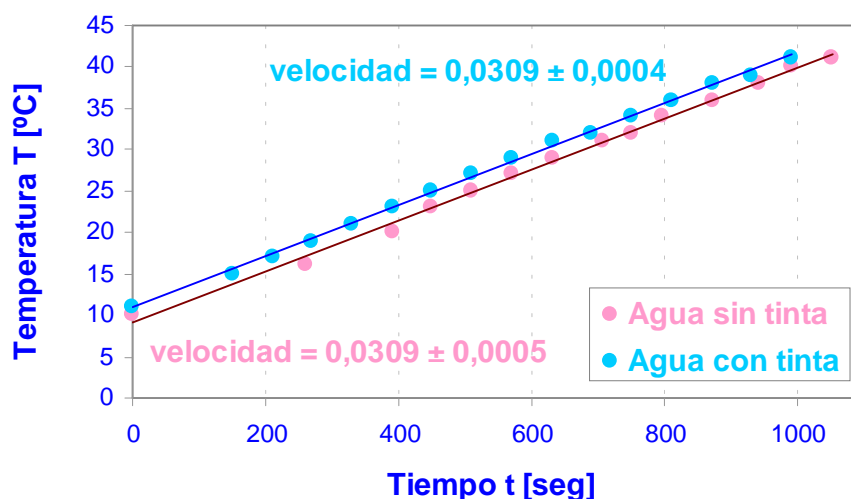


Figura 2. Gráfico comparativo del aumento de la temperatura del agua en función del tiempo cuando está pura y cuando tiene tinta para evitar que el calor se disipe por radiación fuera del calorímetro.

A partir de la ecuación (4), realizamos el gráfico de la potencia disipada por la lamparita en función del calor recibido por el agua (figura 3) y obtuvimos de la pendiente de la recta el valor del equivalente eléctrico del calor.

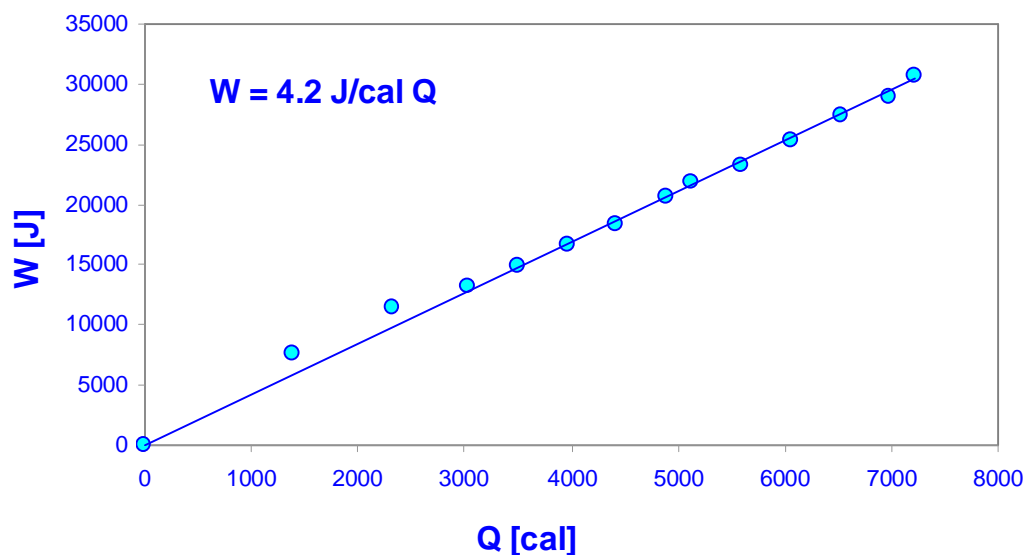


Figura 3. Gráfico del trabajo eléctrico W en función del calor Q del agua para la obtención del equivalente eléctrico del calor J_e . Obtuvimos $J_e = 4,2 \text{ J/cal} \pm 0,1 \text{ J/cal}$

Obtuvimos un valor de $4,2 \text{ J/cal} \pm 0,1 \text{ J/cal}$ para el equivalente eléctrico del calor. Utilizamos también en los cálculos el valor para la masa equivalente en agua del calorímetro que obtuvimos experimentalmente. En este caso, $J_e = 4,08 \text{ J/cal} \pm 0,07 \text{ J/cal}$. Parece ser un valor más preciso, sin embargo, el valor tabulado⁽²⁾ de la constante eléctrica del calor, $J_e = 4,18 \text{ J/cal}$, no cae dentro del intervalo. Podemos ver que usando la masa equivalente en agua del calorímetro proporcionada por el fabricante, el resultado que obtuvimos es correcto.

Conclusiones

El método que utilizamos para calcular la masa equivalente en agua del calorímetro es muy inestable. Por esta razón, decidimos realizar los cálculos a partir del valor que proporciona el fabricante. De todas formas, usamos el valor promedio de 20.3 g obtenido por nuestro método para hacer una comparación. Resultó que con nuestro valor, la constante eléctrica del calor sería de $J_e = 4,08 \text{ J/cal} \pm 0,07 \text{ J/cal}$.

Otro experimento que descartamos fue el de agregarle tinta al agua. No sólo vimos que la velocidad de transferencia de calor entre la lamparita y el agua no variaba en uno u otro caso (o por lo menos no había una diferencia notable ni significativa), sino que realizar los cálculos con este tipo de agua es dificultoso ya que el calor específico de la misma no se puede determinar fácilmente.

Finalmente, a partir de la ecuación (4) y con cuadrados mínimos de los datos experimentales, obtuvimos un valor para la constante eléctrica del calor de $4,2 \text{ J/cal}$, con un error absoluto de $0,1 \text{ J/cal}$, que concuerda bien con el valor aceptado de $4,18 \text{ J/cal}$.

Referencias

- 1) S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa*, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.
- 2) M. Zemansky, *Calor y termodinámica*, Aguilar, Madrid, 1973.

Apéndice

El calorímetro participa como parte integrante en los procesos de transferencia de calor que se realizan en él, por eso, es importante caracterizar su comportamiento térmico.

Si se suministra una cantidad Q de calor al sistema, la temperatura del calorímetro aumenta en una cantidad ΔT que se relacionan de la siguiente manera:

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

donde c_{agua} es el calor específico del agua, c_{term} el calor específico del termómetro y c_{xx} el calor específico del recipiente, la lamparita y otros componentes que pueda tener el calorímetro. Las masas correspondientes son m_{agua} , m_{term} y m_{xx} . Generalmente, c_{term} y c_{xx} son desconocidos.

La ecuación (1 a) puede agruparse también de la siguiente forma:

$$Q = c_{\text{agua}} \left[m_{\text{agua}} + \left(\frac{c_{\text{term}} m_{\text{term}} + c_{\text{xx}} m_{\text{xx}}}{c_{\text{agua}}} \right) \right] \Delta T = c_{\text{agua}} (m_{\text{agua}} + k) \Delta T \quad (2 \text{ a})$$

Como el término entre paréntesis en la primer expresión de la ecuación (2 a) para un calorímetro dado es una constante con dimensión de masa, se puede reemplazar por una constante k , designada como el equivalente en agua del calorímetro.

Para determinar el valor de k experimentalmente, mezclamos dos volúmenes de agua a distintas temperaturas: una masa de agua fría m_1 a temperatura T_1 y otra masa de agua caliente m_2 a temperatura T_2 . Los colocamos dentro del calorímetro, junto a los componentes del mismo. El sistema llega en el equilibrio térmico a una temperatura T_f . Por la conservación de las energías se tiene:

$$Q = c_{\text{agua}} (m_1 + k)(T_f - T_1) = c_{\text{agua}} m_2 (T_2 - T_f) \quad (3 \text{ a})$$

de donde:

$$k = m_2 \frac{T_2 - T_f}{T_f - T_1} m_1 \quad (4 \text{ a})$$

El método que proporciona la ecuación (4 a) es bastante inestable, es decir, produce grandes errores para pequeñas alteraciones de los valores. Para minimizar los errores sistemáticos conviene partir de una decenas debajo de la temperatura ambiente y procurar que la temperatura final esté una cantidad similar de grados por arriba de la temperatura ambiente.