

-13-

EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR

OBJETIVO.

Determinación del equivalente mecánico de la caloría, J , por un método eléctrico.

MATERIAL.

- Calorímetro (recipiente de paredes aislantes que permite el calentamiento de líquidos).
- Agitador
- Probeta y vaso de precipitado.
- Termómetro.
- Resistencia de calentamiento.
- Aparatos de medida: Amperímetro y voltímetro,
- Cronómetro.
- Cables para conexiones.

FUNDAMENTO TEÓRICO.

Por definición la caloría es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado Celsius. 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 producir el mismo efecto. Con estos experimentos obtuvo el equivalente mecánico, J , de la caloría, es decir el número de Julios necesarios para aumentar un grado la temperatura del gramo de agua, utilizando en su experimento trabajo mecánico. El paso inverso de transformación del calor en energía mecánica se demostró y encontró una importante aplicación en la máquina de vapor de Watt.

En esta práctica mediremos este equivalente utilizando la transformación de energía eléctrica en térmica.

En un recipiente lleno de agua a una cierta temperatura se introduce una resistencia eléctrica entre cuyos bornes se aplica una diferencia de potencial V produciéndose el paso de una intensidad de corriente I .

La potencia consumida en la resistencia al ser un conductor óhmico es:

$$P = V \cdot I \quad (\text{en vatios, si } I \text{ son amperios y } V, \text{ voltios}) \quad (1)$$

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

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (\text{en julios, si } t \text{ se mide en segundos}). \quad (2)$$

Esta energía eléctrica se transforma en calor como se observa si medimos la temperatura del agua antes y después.

La cantidad de calor generado en el tiempo t se invierte en elevar no solo la temperatura del agua sino también la de las paredes del recipiente y otros elementos del calorímetro.

Si la temperatura inicial es T_1 y la final es T_2 , se tiene:

$$Q = c_0(m + k)(T_2 - T_1) \quad (3)$$

donde c_0 es el calor específico del agua ($1 \text{ cal/g}^\circ\text{K}^{-1}$), m la masa en gramos del agua y k el llamado equivalente en agua del calorímetro, masa de agua capaz de absorber igual cantidad de calor que el calorímetro para la misma elevación de temperatura. Con estas unidades, el resultado de la expresión (3) son calorías.

El equivalente, J , de la caloría es:

$$J = W/Q \text{ (Julios/caloría)} \quad (4)$$

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

MODO DE OPERAR.

1) Determinación del equivalente en agua del sistema calorimétrico. Método de las mezclas.

Para poder obtener J a partir de las ecuaciones anteriores primero hay que determinar el equivalente en agua del calorímetro, k . En principio, para ello bastaría con saber la masa del calorímetro, M_0 y su calor específico, así como las masas y calores específicos del termómetro y del agitador, ya que:

$$k = \frac{\sum m_i c_{ei}}{c_0} \quad (5)$$

Sin embargo, como estas magnitudes no son fáciles de conocer, k se obtiene utilizando el método de las mezclas, que se describe a continuación:

- En primer lugar, se pesa el calorímetro tapado y seco obteniéndose su masa, M_0 .
- A continuación, se vierte en el calorímetro un volumen de agua conocido V_1 (unos 200 cm^3), que se determina con una probeta graduada, y se vuelve a pesar el vaso del calorímetro con el agua, obteniendo el valor M_1 . La masa de agua correspondiente a esta temperatura ($M_c = M_1 - M_0$) se calienta utilizando la resistencia calefactora hasta que alcance una temperatura T_c , del orden de 10°C por encima de la temperatura ambiente. Al calentar hay que cuidar que el termómetro no esté en contacto con la resistencia y al desconectar el circuito, dejando la resistencia dentro del recipiente, conviene agitar el contenido de este para homogeneizar la temperatura del agua.
- Por otro lado se enfrían unos 200 cm^3 de agua añadiendo una pequeña cantidad de hielo, hasta que su temperatura, T_f , sea del orden de 10°C por debajo de la ambiente. Esta masa M_f de agua fría se añade al calorímetro, se agita y se mide la temperatura de equilibrio de la mezcla T_e . Finalmente se vuelve a pesar el

calorímetro con agua obteniéndose el valor M_2 , a partir del que deducimos M_f , siendo $M_f = M_2 - M_1$.

Teniendo en cuenta que el calor perdido por el calorímetro, incluido el termómetro y el agitador y el agua caliente es igual al ganado por el agua fría se puede escribir:

$$(M_c + k) \cdot c_0 \cdot (T_c - T_e) = M_f c_0 (T_e - T_f) \quad (6)$$

y despejando:

$$k = \left[\frac{M_f (T_e - T_f)}{(T_c - T_e)} \right] - M_c = \left[\frac{(M_2 - M_1)(T_e - T_f)}{(T_c - T_e)} \right] - (M_1 - M_0) \quad (7)$$

2) Determinación del equivalente mecánico del calor, J :

Con el montaje anterior se calienta el agua contenida en el calorímetro, $M_t = M_2 - M_0$, durante un tiempo t , del orden de cuatro minutos, partiendo de la temperatura T_1 y llegando a la temperatura T_2 . Ambas temperaturas deben medirse. Se calcula la energía eléctrica, W , mediante la expresión (2) a través de las lecturas del voltímetro, amperímetro y cronómetro.

Se determina la cantidad de calor absorbida por sistema (agua y calorímetro) utilizando la expresión (3). Dividiendo estos dos resultados se tiene el valor de J :

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{V \cdot I \cdot t}{c_0 \cdot (M_t + k) \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{V \cdot I \cdot t}{c_0 \cdot (M_2 - M_0 + k) \cdot (T_2 - T_1)} \quad (8)$$

RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Nota: Es importante antes de abandonar el laboratorio calcular los valores de k y J y comentarlos con el tutor para asegurar la coherencia de los datos.

1. Determine el equivalente en agua del calorímetro y de su incertidumbre. Tenga en cuenta que es una medida indirecta puesto que su determinación se ha realizado a través de medidas de volúmenes y temperaturas, por tanto, primero hay que hallar las incertidumbres de las masas de agua, y de las temperaturas. Si sólo se ha realizado una medida de estas magnitudes en la incertidumbre sólo se puede tener en cuenta el error sistemático estimado por el experimentador evaluado a partir de la precisión de los aparatos.
2. Haga lo mismo con la determinación de J , midiéndolo dos veces y comparando los resultados. También es una medida indirecta en la que además de las medidas de masas y temperaturas, influyen las medidas de la tensión, la corriente eléctrica y el tiempo con sus incertidumbres. Compare el resultado obtenido con el valor conocido ¿Son compatibles? Evalúe su exactitud.
3. ¿Qué se podría hacer para reducir la incertidumbre de k y de J ?
4. Discuta brevemente los resultados.

TRABAJO PREVIO

Calcule la expresión de las incertidumbres de k y J . Discuta cuál de las expresiones que aparecen en la fórmula [7] y [8] es correcto usar en cada caso para calcular las incertidumbres. Presente las expresiones obtenidas en el cuaderno que utilice para el laboratorio o una hoja independiente.