Actividad V.54 - Equivalente eléctrico del calor

Objetivo

Estudio de la relación entre el trabajo eléctrico y el calor. Determinación de la relación entre el Joule y la caloría. Estudio experimental de un calorímetro de mezclas.

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 J = 1 N.m; y una caloría es la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de agua para elevarle la temperatura 1 ºC (desde 14.5 ºC hasta 15.5 ºC).

Proyecto 1.- Determinación del equivalente en agua del calorímetro

Equipamiento básico recomendado: Un calorímetro. Un termómetro de mercurio que mida en el rango 0–100 ºC. Una balanza que aprecie décimas de gramo.

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. Aquí damos un método para obtener el parámetro del calorímetro denominado *equivalente en agua del calorímetro*, M_{eq}.

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:

$$Q = (c_{agua} \cdot m_{agua} + c_{termom} \cdot m_{termom} + c_{xx} \cdot m_{xx}) \cdot \Delta T \qquad (54.1a)$$

$$Q = c_{agua} \cdot \left(m_{agua} + \left\{ \frac{c_{termom} \cdot m_{termom} + c_{xx} \cdot m_{xx}}{c_{agua}} \right\} \right) \cdot \Delta T \qquad (54.1b)$$

$$Q = c_{agua} \cdot \left(m_{agua} + \{ M_{eq} \} \right) \cdot \Delta T \qquad (54.1c)$$

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 (54.1b) 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.

Existen varios métodos para determinar el valor de M_{eq}. Un modo simple de obtenerlo consiste en mezclar dos volúmenes de agua a distintas temperaturas: una masa de agua m_1 a T_1 (agua fría, una decena de grados debajo de la temperatura ambiente, T_{amb}), que se supone está en el calorímetro junto a los demás componentes, y otra masa de agua m_2 a T_2 (agua caliente, una decena de grados arriba de T_{amb}). 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. Por conservación de la energía tenemos:

$$Q = c_{agua} \cdot \left(m_1 + M_{eq}\right) \cdot (T_f - T_1) = c_{agua} \cdot \left(m_2\right) \cdot (T_2 - T_f) \qquad (54.2)$$

de donde:

$$M_{eq} = m_2 \cdot \frac{(T_2 - T_f)}{(T_f - T_1)} - m_1 \qquad (54.3)$$

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 (54.2). Para minimizar los errores sistemáticos introducidos por este intercambio térmico con el medio es aconsejable partir de una decena 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:

$$T_2 - T_f \approx T_f - T_1 \qquad (54.4)$$

De este modo, parte del calor que el medio entrega al sistema antes de la mezcla es devuelto por el sistema al medio después de la mezcla.

- Usando el procedimiento descripto, determine el equivalente en agua de su calorímetro y su incertidumbre, $M_{eq} \pm \Delta M_{eq}$.

Si se utiliza un termómetro conectado a una PC, se puede usar la técnica descripta en la Fig. 52.1 para determinar ΔT y corregir parcialmente los efectos de disipación térmica.

Proyecto 2. - Equivalente eléctrico del calor

Equipamiento básico recomendado: Un calorímetro. Un termómetro de mercurio o un sensor de temperatura conectado a una PC, que midan en el rango 0–100 ºC. Una balanza que aprecie décimas de gramo. Un calefactor de inmersión o resistencia 25 W o bien una lamparita de 12 V @ 25 W.

El principio de este experimento consiste en suministrar energía eléctrica a un calefactor (resistencia eléctrica) sumergido en el agua dentro de un calorímetro y medir el calor desarrollado. Como calefactor puede usarse un calentador de inmersión o una lamparita eléctrica de 12 V @ 25 W.

Cuando por el calefactor 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:

$$P = I\,V \qquad (54.5)$$

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:

$$W_{electrico} = \int_{t=0}^{t_{\exp}} i(t) \cdot V(t) \cdot dt \approx i \cdot V \cdot t_{\exp} = P \cdot t_{\exp} \qquad (54.6)$$

donde hemos supuesto que I y V son aproximadamente constantes.

Si expresamos la energía eléctrica $W_{eléctrico}$ en Joules, podemos deducir cuál es la cantidad de Joules requeridos para generar una caloría. 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}:

$$Q = c_{agua} \cdot (m_{agua} + M_{eq}) \cdot \Delta T. \qquad (54.7)$$

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

$$W_{eléctrico}\,(\mathrm{J}) = J_e .\, Q\,(\mathrm{cal}) \qquad (54.8)$$

donde J_e tiene unidades de Joule/cal y representa la cantidad de Joules requeridos para producir una caloría.

- Mida la temperatura ambiente T_{amb}. Llene un calorímetro con agua fría hasta que el calefactor quede totalmente inmerso en el agua (el agua deberá estar aproximadamente a unos 10 °C por debajo de la temperatura ambiente). Conecte la fuente de tensión a los terminales del calefactor y el amperímetro y el voltímetro (Fig. 54.1) de manera de poder medir la corriente y el voltaje en

el calefactor simultáneamente. Si como calefactor usa una lamparita, puede agregar al agua unas gotas de tinta negra de modo de mejorar la absorción de la luz producida por la lamparita y reducir así el escape de la radiación del calorímetro.

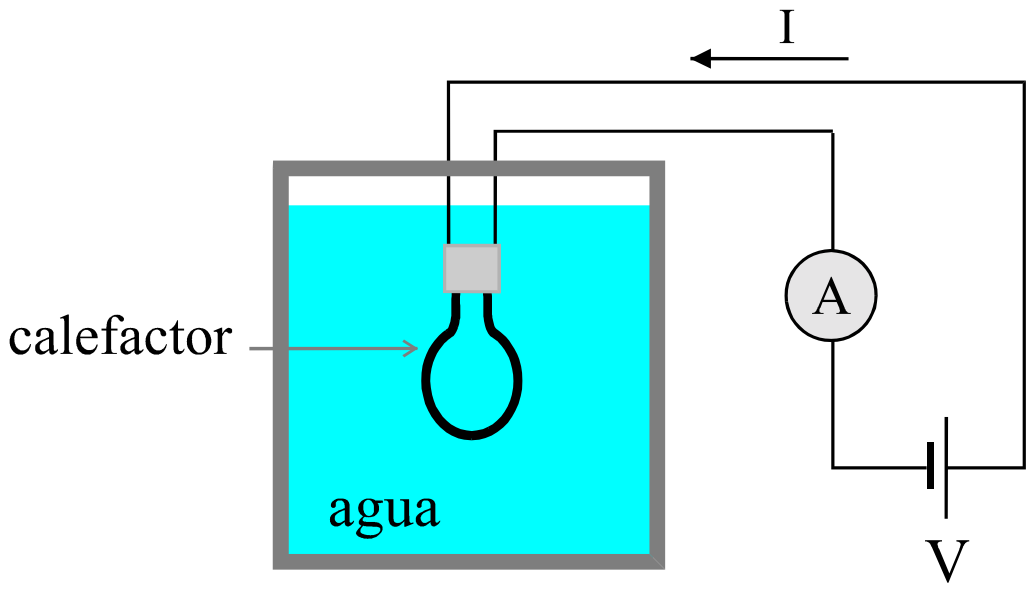

Figura 54.1 Diagrama del calorímetro para estudiar el equivalente eléctrico del calor.

➢ Coloque un termómetro en el calorímetro para medir la temperatura del agua. Revuelva el agua con el termómetro hasta que la temperatura se equilibre (en T_i) por debajo de la temperatura ambiente. A continuación encienda la fuente de tensión mientras toma el tiempo t_i. Tome nota de la corriente y la tensión y controle que no varíen demasiado (de lo contrario tome un valor promedio). 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 alcance un valor máximo, T_f. Repita estas operaciones manteniendo la lamparita encendida durante distintos intervalos de tiempo $t_{exp} = t_f - t_i$, mientras se aplica la misma potencia eléctrica. Una manera de controlar la marcha de este procedimiento consiste en representar gráficamente ΔT en función del t_{exp}. De acuerdo a las Ecs. (54.6)–(54.7) es de

esperar una relación lineal entre estas variables medidas. Realice el gráfico de ΔT en función del t_{exp} y analice la dependencia observada.

- Usando los valores m_{agua}, c_{agua} y M_{eq}, calcule $W_{eléctrico}$ y Q. Represente gráficamente $W_{eléctrico}$ (expresado en J) en función de Q (expresado en cal). De este gráfico obtenga el equivalente eléctrico del calor J_e [ver Ec.(54.8)] Compare su resultado con el valor aceptado J_e = 4.186 J/cal. Si hubiera una discrepancia significativa entre su valor experimental y el aceptado, analice las posibles causas de tal discrepancia (revise las hipótesis que pudieran estar insatisfechas en el experimento, posibles errores sistemáticos, errores de procedimiento, etc.).

Proyecto 3. - Equivalente mecánico del calor

Equipamiento básico recomendado: Equipo para determinar el equivalente mecánico del calor. Equipo Pasco . TD 8551A (Mech. Equiv Of Heat App.)

En este proyecto nos proponemos obtener la constante de proporcionalidad entre Joules y Calorías (J) (equivalente mecánico del calor J_e.) que se definió previamente, pero ahora entregando energía mecánica al sistema. Se utilizará el dispositivo de la figura 54-2. El procedimiento sugerido es el siguiente:

- Determine la masa del cilindro, m, y el diámetro externo, D.
- Retire cuidadosamente el cilindro de aluminio del aparato y enfríelo (por inmersión en un vaso con hielo) hasta una temperatura de por lo menos 10 grados por debajo de la ambiente. El cilindro se enfría para que cuando sea calentado por fricción el punto medio de las temperaturas inicial y final del mismo sea cercana a la temperatura ambiente. En la primera mitad del experimento el calor se transfiere del aire ambiente al cilindro y en la segunda mitad a la inversa, con lo cual el efecto se compensa aproximadamente y se minimizan los errores sistemáticos.
- Mida la temperatura ambiente y calcule las temperaturas inicial y final que tendrá el cilindro durante el experimento (aproximadamente 8°C por debajo y por encima de la temperatura ambiente). Consulte en la tabla de resistencia en función de la temperatura cuales son las resistencias que corresponden a las temperaturas deseadas. Cuando el cilindro esté suficientemente frío colóquelo nuevamente en su posición.

- Usando un multímetro, en modo de medir resistencias (ohmetro) monitoree el valor de la resistencia del termistor que le permite conocer la temperatura del cilindro.
- Usando la cuerda enroscada al cilindro, dé varias vueltas alrededor del mismo (4 a 6 vueltas). En el otro extremos de la cuerda cuelgue una masa o peso entre unos 3 a10 kg. Ajuste el otro extremo a la banda elástica de modo que no quede suelta, pero que pueda romperse o estirase de modo de "fusible mecánico", esto es muy importante, pues de otro modo puede dañar el equipo.
- Asegúrese que el contador de vueltas este en cero. Gire el manivela con velocidad moderada de modo que el peso se mantenga levantado del suelo a la misma altura.
- Cada 50 o 100 vueltas, mida de la *resistencia (temperatura T)* y el *número de vueltas N* del manivela.
- Continúe girando la manija lentamente hasta llegar hasta la temperatura final. Espere hasta que la temperatura llegue al máximo. Registre esta temperatura *T* (resistencia) y el número *N* de vueltas en el contador.

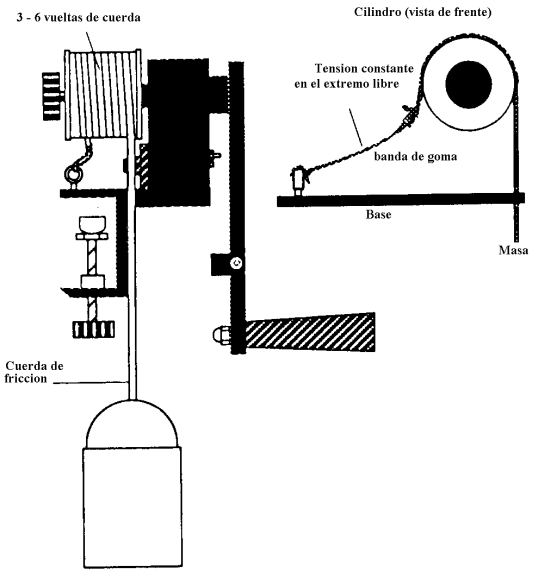

Figura 54.1 Diagrama esquemático del dispositivo propuesto (Equipo Pasco)

Demuestre analíticamente que el trabajo total realizado sobre el cilindro es:

$$W = m.g.R.(2\pi \cdot N) \qquad (54\text{-}9)$$

Donde *m* es la masa que cuelga de la soga; *g* es la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2); *R* es el radio del cilindro de aluminio; y *N* es el número total de vueltas dada por el manivela.
El calor total producido por la fricción en el cilindro de aluminio puede determinarse a partir del cambio de temperatura medido:

$$Q = m.c\,(T_f - T_i) \qquad (54\text{-}10)$$

donde m es la masa del cilindro de aluminio; y $\boldsymbol{c}$ es el calor específico del aluminio (0.220 cal/g°C). Grafique $T_{cilindro}$ en función de N (vueltas del manivela). ¿Qué puede concluir de este gráfico? A partir de este gráfico, construya otro gráfico del calor cedido al cilindro para aumentar su temperatura ($Q=m.c.(T-T_i)$) en función del trabajo realizado W (ec. 54-9). Obtenga de la pendiente de dicho gráfico el equivalente mecánico del calor, J_e, es:

$$J_e\left[cal/J\right] = \frac{dQ}{dW} \qquad (54\text{-}11)$$

Finalmente, compare los valores obtenidos de J_e usando todos los puntos intermedios de T versus N y los valores finales T_f y $\boldsymbol{N_f}$.

Bibliografía

1. J. E. Fernández y E. Galloni, *Trabajos prácticos de física* (Nigar, Buenos Aires, 1968).

2. B. L. Worsnop y H.T. Flint, *Curso superior de física práctica* (EUDEBA, Buenos Aires, 1964; original inglesa de Fethuen Co., Ltd., London, 1957).

3. *Física Vol.III – Física Cuantica y Estadistica* - M.Alonso y E.J. Finn - Fondo Educativo Interamericano Ed. ingleasa. Addison-Wesley- Reading Mass. 1967.- Fondo Educativo Interamericano 1970.

4. *Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería*- D. Halliday, R. Resnik y J. Walker. 4ta. Ed. (Trad. de Fundamentals of Physics – John Wiley & Sons, Inc. New York 1993).