
Equivalente eléctrico del calor

Objetivo

Determinar la cantidad de energía eléctrica equivalente a una determinada cantidad de energía térmica, así como comprender el efecto Joules y la capacidad calorífica.

Introducción

En el Experimento 1, se determina experimentalmente el equivalente eléctrico de calor. Se sumerge una lámpara incandescente en una cantidad conocida de agua y se añaden unas gotas de tinta china al agua para que sea opaca a la luz visible. Se mide la temperatura del agua. Luego, la lámpara se ilumina con una corriente y un voltaje fijos durante un intervalo de tiempo medido, de modo que se puede calcular la energía que entra en la lámpara. Controlando la temperatura del agua también se puede calcular el calor producido por la lámpara. La relación entre la energía eléctrica que fluye hacia la lámpara y el calor producido por la lámpara determina el equivalente eléctrico del calor.

Sin tinta, la energía térmica y la radiación infrarroja de la lámpara son absorbidas por el agua, pero la luz visible se escapa. Para determinar la cantidad de energía que se liberó en forma de luz, el calor transferido al agua se resta de la energía eléctrica total que fluyó hacia la lámpara. La relación entre la energía luminosa y la energía eléctrica da la eficiencia de la lámpara.

Teoría

Para determinar el equivalente eléctrico del calor J_e , es necesario determinar la corriente eléctrica que fluye por la lámpara, E , así como la energía total absorbida por el agua, H .

Cuando una corriente I circula a través de la lámpara se genera una diferencia de potencial V , la potencia P que disipa el calefactor por el efecto Joule está dada por:

$$P = I \cdot V \quad (1)$$

Si I se mide en Ampere y V en Volt, la potencia queda expresada en Watt. La energía suministrada a la lámpara en un tiempo t será:

$$E = \int_{t=0}^t I(t) \cdot V(t) \cdot dt = I \cdot V \cdot t = P \cdot t \quad (2)$$

donde hemos supuesto que I y V son aproximadamente constantes. La energía eléctrica E se expresa en Joules, por lo que podemos deducir la cantidad de energía requerida para generar una caloría. Para lo que necesitamos la capacidad calorífica, C' , que por definición es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una muestra en 1 grado Celsius. Por lo que si H unidades de energía térmica se agregan a una sustancia y producen un cambio de temperatura ΔT , entonces

$$H = C' \Delta T \quad (3)$$

El calor específico c de una sustancia es la capacidad calorífica por unidad de masa. Se definió originalmente a la *caloría* como la cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius.

$$c = \frac{C'}{m} \quad (4)$$

De modo que si H unidades de energía térmica se transfieren a una masa m , cambiando su temperatura en ΔT , el calor específico de la sustancia es:

$$c = \frac{H}{m \Delta T} \quad (5)$$

Lo cual permite expresar la energía térmica H transferida de una sustancia m y sus alrededores para un cambio de temperatura ΔT :

$$H = mc \Delta T = m \int_{T_i}^{T_f} c dT = m(T_f - T_i)c \quad (6)$$

De este modo, la cantidad de calorías entregadas al agua se calcula a través de la medición de la variación de temperatura de la misma, el valor de calor específico c del agua (siendo $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$), la masa del agua M_a , y sumando a esta el equivalente en agua de la capacidad calorífica de la Jarra de Equivalencia Eléctrica de Calor (EEC), M_c (con un valor de 23 g) para obtener la masa total, se obtiene:

$$H = (M_a + M_c)(T_f - T_i)(1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}) \quad (7)$$

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

$$E(J) = J_e \cdot H(cal) \quad (8)$$

Donde J_e tiene unidades de Joule/cal y representa la Equivalencia Eléctrica del Calor. Despejando J_e se obtiene:

$$J_e = \frac{E}{H} \quad (9)$$

Se define a la caloría en función de la unidad de energía Joule, siendo el valor teórico de este 1 cal = 4.184 Joule. Los resultados obtenidos experimentalmente deberían encontrarse en un rango del 5% de este valor. Si es obtenido un valor en este rango al realizar la Parte I, utilizar este para la Parte II, en caso contrario, utilizar el valor teórico.

La eficiencia de la lámpara es definida como la energía convertida a luz visible dividida por el total de la energía eléctrica que entra en la lámpara. Suponiendo que toda la energía que no contribuye a H es liberada como luz visible, la ecuación para la eficiencia de la lámpara sería:

$$Eficiencia = \frac{(E - H_j)}{E} \quad (10)$$

El valor de la eficiencia varía de acuerdo con el voltaje y bulbo utilizado. Los valores generalmente aceptados para la eficiencia de una luz incandescente se encuentran en el rango de 10 a 15 %.

Materiales

- Jarra EEC
- Calorímetro
- Tinta china
- Fuente de Poder
- Interfaz PASCO con cable y adaptador
- Sensor de temperatura PASCO
- Agua fría
- Cables punta banana
- Multímetro

-
- Balanza
 - Cronometro

Parte I: El Equivalente Eléctrico del Calor

Instalación del equipo

1. Encender la Fuente de Poder y ajustarla aproximadamente a 11.5 Volts, una vez ajustado el voltaje de la fuente, apagarla. **NOTA: No exceder el voltaje a más de 13 Volts.**
2. Conectar dos cables bananas a la conexión positiva y negativa de la fuente, conectar el extremo del cable banana conectado a la fuente a la conexión positiva del multímetro. Conectar un cable banana a la conexión negativa del Multímetro, dejar ambos cables banana restantes sin conexión momentáneamente.
3. Conectar el Sensor de Temperatura a una computadora. Ejecutar el software PASCO Capstone y configurar una pantalla de indicador digital para mostrar la temperatura.

Procedimiento

1. Comience a registrar para obtener la temperatura ambiente, registre esta temperatura como T_r en la Tabla 1. Detenga el registro.
2. Mida la masa de la Jarra EEC (con la tapa puesta), y registre esta masa como M_j en la Tabla 1.
3. Remueva la tapa de la Jarra y rellénela con agua fría hasta la línea indicatoria. **No sobrellenarla.** El agua debe encontrarse 10°C por debajo de la temperatura ambiente, pero tener una temperatura exacta no es algo crítico.

4. Añada aproximadamente 12 gotas de Tinta China al agua; suficientes para que el filamento de la lámpara sea apenas visible mientras se encuentra encendida.
5. Coloque la tapa a la Jarra, conecte los cables banana libres a los conectores en la tapa de la Jarra de forma correspondiente.
6. Inserte la Jarra dentro de un Calorímetro.
7. Coloque el Sensor de Temperatura dentro de la Jarra a través del agujero que se encuentra en la parte superior de la misma.



Figura 1: Agua entintada con filamento apenas visible

- Comience a registrar la temperatura, agite el agua gentilmente mientras se observa la temperatura. Una vez el agua se caliente hasta un valor entre 6 a 8 grados menos que la temperatura ambiente, encienda la Fuente de Poder y comience a medir el tiempo con el Cronometro. Registre la temperatura inicial como T_i en la Tabla 1.
8. Mida el voltaje (V) y la corriente (I), registre estos datos en la Tabla 1. En caso de ser necesario, conecte un segundo Multímetro al circuito para medir el voltaje, dado que puede presentar variaciones al mostrado en la fuente, pese a no ser muy significativa.
 9. Una vez la temperatura se encuentre por encima de la temperatura ambiente al igual que lo estaba por debajo ($T_r - T_i = \text{Temperatura} - T_r$), apague la Fuente de Poder y detenga el Cronometro, registre el tiempo como t en la Tabla 1. Agite el agua gentilmente mientras se observa la temperatura. Cuando la temperatura comience a decaer, registre la temperatura pico como T_f en la Tabla 1.
 10. Mida la masa de la jarra con el agua, registre esta masa como M_{aj} en la Tabla 1.



Figura 2: Montaje Parte I

Datos y Cálculos

Tabla 1. Datos medidos

Temperatura ambiente T_r	
Masa de la Jarra EEC M_j	
Masa conjunta (Agua y Jarra) M_{aj}	
Voltaje V	
Corriente I	
Tiempo medido t	
Temperatura inicial T_i	
Temperatura final T_f	

Para determinar la equivalencia eléctrica del calor (J_e), es necesario determinar la energía eléctrica total que fluyó en la lámpara (E) y el calor total absorbido por el agua (H).

E, la energía eléctrica entregada por la lámpara:

Determinar la Energía Eléctrica circulada en la lámpara, utilizando la ecuación (2)

$E =$ _____

H, el calor transferido al agua (y la Jarra EEC):

Determinar el Calor Total absorbido por el agua, utilizando la ecuación (7).

Para determinar la masa del agua M_a , es necesario sustraer a la masa conjunta M_{aj} la masa de la Jarra M_j .

$M_a =$ _____

H = _____

J, el Equivalente Eléctrico de Calor:

Una vez determinados los valores E y H, proceder a calcular la Equivalencia Eléctrica de Calor con los valores obtenidos, utilizar la ecuación (10).

$J_e =$ _____

Preguntas

1. ¿Qué efecto pueden producir los siguientes factores en la exactitud de la determinación de J_e , el Equivalente Eléctrico del Calor? ¿Puedes estimar la magnitud de estos efectos?
 - a. El agua entintada no es completamente opaca a la luz visible.
 - b. Existe cierta transferencia de energía térmica entre la Jarra EEC y la atmosfera del ambiente. (¿Cuál es la ventaja de empezar el experimento por debajo de la temperatura ambiente y terminarlo a la misma cantidad por encima de la temperatura ambiente?)
2. ¿Cómo se compara J_e con J, el equivalente mecánico de calor? ¿Por qué?

Parte II: Eficiencia de la Lámpara Incandescente**Procedimiento**

Repita la Parte I, exceptuando la Tinta China (paso 4) o el Calorímetro (paso 6). Registre los mismos datos que en la Parte I, y utilice los mismos cálculos para determinar E y H.



Figura 3: Montaje Parte II (No utilizando Tinta)

Datos y Cálculos

Tabla 2. Datos medidos sin Tinta o Calorímetro

Temperatura ambiente T_r	
Masa de la Jarra EEC M_j	
Masa conjunta (Agua y Jarra) M_{aj}	
Voltaje V	
Corriente I	
Tiempo medido t	
Temperatura inicial T_i	
Temperatura final T_f	

Para determinar la eficiencia de la lámpara, es necesario determinar la energía eléctrica total que fluyó en la lámpara (E) y el calor total absorbido por el agua (H).

E, la energía eléctrica entregada por la lámpara:

Determinar la Energía Eléctrica circulada en la lámpara, utilizando la ecuación (2)

E = _____

H, el calor transferido al agua (y la Jarra EEC):

Determinar el Calor Total absorbido por el agua, utilizando la ecuación (7).

Para determinar la masa del agua M_a , es necesario sustraer a la masa conjunta M_{aj} la masa de la Jarra M_j . (Convertir H a Joules multiplicándolo por J_e obtenido en la Parte I, registrarlo como H_j)

M_a = _____

H = _____

H_j = _____

Eficiencia

Una vez determinados los valores E y H, proceder a calcular la eficiencia de la lámpara con los valores obtenidos, utilizar la ecuación (10).

Eficiencia = _____

Preguntas

1. ¿Qué efecto pueden producir los siguientes factores en la exactitud de la determinación de la eficiencia de la lámpara? ¿Puedes estimar la magnitud de estos efectos?
 - a. El agua no es completamente transparente a la luz visible.
 - b. No toda la radiación infrarroja es absorbida por el agua.
 - c. El Calorímetro no fue utilizado, por lo que hay alguna transferencia de energía térmica entre la Jarra EEC y la atmosfera del ambiente.
2. ¿Es la lámpara incandescente más eficiente como un foco de luz o un calentador?