



EFEECTO JOULE

Oscar Mimalchi; Diego Basante
Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería

Resumen: Toda corriente eléctrica que circula a través de una resistencia eléctrica, provoca que esta última libere calor, el cual es adsorbido por el medio que lo rodea; este proceso de pasar de energía eléctrica a calor se explica mediante el Efecto Joule. En este informe se mostrara la forma en que se determinó el Equivalente Eléctrico del Calor experimental (J_{exp}) y su discrepancia con el Equivalente Mecánico del Calor teórico ($J_{teo}=4,186/calorías$), además de la relación entre la Energía potencial eléctrica perdida en un elemento resistivo y el calor ganado por el sistema calorímetro mas agua; todo esto se obtuvo por medio de tres diferentes masas de agua vertidas en un calorímetro, a las cuales se les fue aumentando la temperatura por medio de la transformación de la energía eléctrica que recorría la resistencia en energía calórica, el aumento de la temperatura se registró constantemente con un termómetro durante 10 minutos, lo que permitió obtener la relación entre el incremento de temperatura y el tiempo, y con esto el Equivalente Mecánico del Calor experimental (J_{exp}) para cada experimento con diferente masa de agua. [1] **El experimento dejo como conclusión que** se cumple la Ley de joule ya que los equivalentes de J experimentales hallados en cada caso fueron muy cercanos al valor teórico de esta $J=4,186 J/cal$.

1. INTRODUCCIÓN

En la vida cotidiana utilizamos muchos artefactos u electrodomésticos que sin pensarlo, basan su funcionamiento en el efecto joule, es el caso de los calefactores eléctricos, la plancha, los hornos, las tostadoras entre otros del ámbito hogar, en el caso industrial están los soldadores, las pistolas a calor, entre otros; todos estos aparatos lo que hacen es utilizar el efecto joule para adquirir y utilizar el calor que se desprende por el paso de la electricidad; pero también en la vida cotidiana solemos ver aquellos aparatos que suelen tener sistemas de ventilación o refrigeración para reducir el calor generado por el efecto joule en los diferentes sistemas y que pueden dañar

dispositivos tan delicados como los circuitos integrados, microchips, etc.

En 1840, pasado ya algún tiempo largo desde el momento en que muchos científicos empezaron a estudiar el efecto del calentamiento de los conductores por el paso de la corriente eléctrica, el científico James Joule, que desde muy joven se interesó por la medida de la temperatura de los motores, encontró la ley que rige la producción de calor por el paso de una corriente eléctrica a través de un conductor, esta ley es conocida como efecto joule o efecto calorífico, el cual dicta que la cantidad de calor producido es directamente proporcional a la resistencia R del conductor, al tiempo t y al cuadrado de la intensidad de corriente I , es decir $Q=I^2Rt$. Este

efecto también puede ser explicado a través de las formas de conducción de electrones en un metal, donde la energía disipada por los choques internos de estos, aumenta la agitación térmica del material, lo que trae como consecuencia un aumento de la temperatura y por consiguiente una producción de calor que se disipa por el medio que rodea al productor. [2]

1.1. Objetivos

- Determinar el Equivalente Eléctrico del Calor experimental (J_{exp}) y su discrepancia con el Equivalente Mecánico del Calor teórico ($J_{teo}=4,186/calorías$)
- Encontrar la relación entre la Energía potencial eléct. perdida en un elemento resistivo y el Calor ganado por el sistema calorímetro más agua. [1]

1.2. Marco Teórico

James Joule por medio de sus experimentos demostró que no solo la energía térmica permite elevar la temperatura sino que también otra forma de energía suministrada a un sistema puede realizar el mismo efecto, además de que obtuvo también el número de Joule necesarios para aumentar en un grado la temperatura de un gramo de agua.

Si a un vaso con agua con cierta temperatura, se le introduce una resistencia (calorímetro) a la cual se le aplica una diferencia de potencial V entre sus bornes, por la cual se hace pasar una intensidad de corriente I , la potencia consumida o rapidez con que se disipa la energía eléctrica en forma de calor en el resistor está dada por:

$$P = VI [Ecu. 1]$$

donde V es la caída de potencial en la resistencia e I es la corriente que circula por la resistencia. La energía eléctrica cedida o generada W durante un tiempo t , es:

$$W = VI(\Delta t) [Ecu. 2]$$

La cantidad de energía transformada para generar una cantidad de calor en un tiempo t , se gasta en elevar tanto la temperatura del agua como también las paredes del recipiente y otros elementos del calorímetro y otra parte es emitida por radiación al exterior, si tenemos que la temperatura inicial es T_i y la final T_f , tenemos que el valor ganado por el sistema Q_{sis} , agua más calorímetro, puede determinarse mediante la expresión:

$$Q_{sis} = (M_{agua}C_{agua} + M_{cal}C_{cal})(T_f - T_i) [Ecu. 3]$$

donde C_{agua} y C_{cal} , corresponde al calor específico del agua y del calorímetro respectivamente.

El valor en Joules correspondiente a una caloría, llamado el Equivalente Mecánico del calor (J_{teo}) es igual a: [1][3][4][5]

$$J_{teo} = \frac{W}{Q_{sis}} [Ecu. 4]$$

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Inicialmente se procedió a construir el circuito (Figura 1) que se utilizaría como montaje experimental y posteriormente se ajustó la fuente de tal forma que circulara

una corriente de 3 a 4 A. El circuito se dejó desconectado del borne positivo de la fuente mientras se empezaba a realizar el experimento.

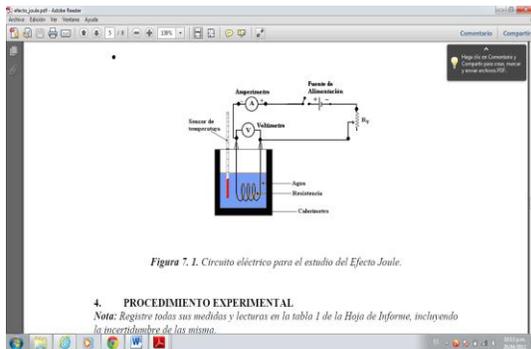


Figura 1. Circuito Eléctrico para el estudio del Efecto Joule [1]

II. Después de tener el circuito armado y ajusto, se procedió a pesar el vaso pequeño del calorímetro (vacío y sin el anillo de caucho que lo rodea).

III. Posteriormente se vertió en el vaso pequeño del calorímetro una cierta cantidad de agua y se pesó nuevamente, que por diferencia se halló la cantidad de agua añadida (alrededor de 100g).

IV. Con la masa del agua y del vaso pequeño del calorímetro ya obtenidas, se procedió a colocar el vaso pequeño del calorímetro con agua dentro del recipiente mayor del mismo y seguidamente ambos se sellaron con la parte final de este, que es el que contiene la resistencia que debió quedar inmersa en el agua del vaso pequeño y que sería la encargada de transformar aquella energía eléctrica que pasa por ella en energía calórica que se disiparía por el agua y por el calorímetro.

V. Con el calorímetro ya cuadrado, se introdujo un termómetro para medir los cambios de temperatura e inicialmente se tomó la temperatura inicial (T_i) de agua, en el instante anterior a conectar el circuito a la fuente

VI. Ya con todo listo, se conectó el borne positivo de la fuente al circuito e inmediatamente se empezaron a tomar los valores de incremento de temperatura cada minuto hasta el minuto 10. A medida que pasaban los diez minutos, el agua se estuvo agitando para obtener una distribución equilibrada del agua en el vaso. Estos datos obtenidos se fueron registrando en la **tabla 1** y finalmente después terminado el proceso de tomar los diez datos se desconectó el circuito de la fuente

El procedimiento llevado a cabo desde el paso **III** hasta el paso **VI**, se repitió para una cantidad de agua alrededor de los 150g y para una de alrededor de 200g; los datos de temperaturas, masa del agua y del calorímetro, los tiempos, la corriente y la diferencia de potencial se observan en la **Tabla 2 y 3** respectivamente.

3. RESULTADOS

En primera instancia se tomó los datos a medir y se registraron en la tabla 1 y 2 para cada una de las mediciones:

A partir de los datos obtenidos en el primer procedimiento, en donde la masa

del agua fue $M_{agua}=111,22 \pm 0,05g$ nos disponemos a calcular $M_c=M_{agua} \cdot C_{acual} + M_{cal} \cdot C_{cal}$, de la cual ya conocemos todos los datos, así que:

$$M_{c1} = 111,22 \cdot 1 + 47,25 \cdot 0,215 = 121,615$$

Y de la misma forma calculamos M_c para los 2 procedimientos restantes, en donde la única variación era M_{agua} :

$$M_{c2} = 165,29 \cdot 1 + 47,25 \cdot 0,215 = 175,685$$

$$M_{c3} = 214,1 \cdot 1 + 47,25 \cdot 0,215 = 224,495$$

Además, calculamos el VI para cada caso, a partir de la corriente medida en el circuito y el voltaje medido en la resistencia:

1. VI=20,148 watts
2. VI=20,347 watts
3. VI=20,83 watts

Luego, ya con estos datos de potencia, calculamos la desviación estándar con ayuda de la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{prom})^2}{n}} \quad \text{Ec.5}$$

$$S = 0.2825 \text{ watts}$$

Como paso a seguir graficamos la Temperatura en función del tiempo, una sola gráfica para los tres procedimientos a partir de los datos consignados en las **tablas No1, 2 y 3**, presentada a continuación:

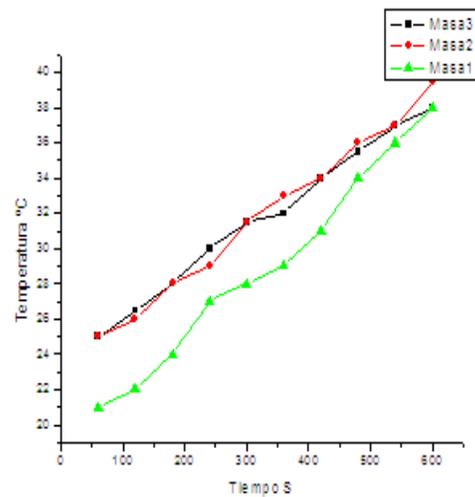


Figura No.2 Gráfica de Temperatura en función del tiempo, de los tres casos del experimento.

A partir de ésta gráfica y usando el programa de para graficar, encontramos la pendiente **m**, el intercepto **b** y el coeficiente de correlación **r**, para cada una de las curvas descritas.

- Para el caso 1 (masa1):
 $m = 0,03172 \pm 0,00116$
 $b = 18,53333 \pm 0,43368$
 $r = 0,994565$
- Para el caso 2 (masa 2):
 $m = 0,02667 \pm 0,000710669$
 $b = 23,1 \pm 0,26458$
 $r = 0,99717$
- Para el caso 3 (masa3):
 $m = 0,02429 \pm 0,0005986$
 $b = 23,73333 \pm 0,22287$
 $r = 0,99758$

Analizando la **Figura No. 2** podemos notar que dos de las 3 curvas parecen ser muy cercanas y en un principio podemos pensar o atribuir esto a las temperaturas iniciales, ya que para cada una la temperatura inicial (T_i) es de 25°C a diferencia de la primera, para la cual la temperatura inicial es de 21°C .

Además podemos apreciar que las 3 relaciones de Temperatura vs Tiempo parecen describir un comportamiento lineal esperado, ya que el aumento de la temperatura en el agua es proporcional al tiempo en el que la resistencia, cargada con voltaje, esta sumergida en ella.

Con los datos calculados anteriormente de Mc y VI, nos disponemos a calcular la constante de Joule experimental para cada caso usando la siguiente relación, descrita a partir de la **ecuación 4**:

$$J = \frac{V \cdot I}{m \cdot Mc} \quad \text{Ec. 6}$$

$$J1 = \frac{20,148}{0,03172 \cdot 121,615} = 5,13 \pm 0,03788 \text{ j / cal}$$

$$J2 = \frac{20,387}{0,02667 \cdot 175,685} = 4,34 \pm 0,03295 \text{ j / cal}$$

$$J3 = \frac{20,83}{0,02429 \cdot 224,495} = 3,91 \pm 0,04673 \text{ j / cal}$$

Ya con estos valores de J experimentales encontramos el valor de Error porcentual de cada una de ellas respecto a la J teórica que es $J=4,186 \text{ j/cal}$, con ayuda de la ecuación:

$$\text{Error \%} = \frac{J_{exp} - J_{teo}}{J_{teo}} \cdot 100\%$$

Hallando así:

$$\text{Error 1} = 22,55\%$$

$$\text{Error 2} = 3,67\%$$

$$\text{Error 3} = -6,59\%$$

A partir de los resultados obtenidos, podemos decir que en comparación con el valor teórico de $J= 4,186 \text{ j / cal}$, nuestros J experimentales son muy cercanos a ese valor, a excepción de nuestro J experimental del caso 1 que muestra

una gran diferencia, también puede estar tal vez relacionada con que el valor de temperatura inicial que para este caso fue de 21°C a diferencia de los dos casos siguientes para los cuales la temperatura inicial fue de 25°C . Y las pequeñas diferencias de los J exp de los casos 2 y 3 respecto a la J teórica se deben tal vez a los cálculos hechos con las pendientes, debido a que puede ser que al usarlas con sus incertidumbres el valor cambie lo necesario para llegar a un valor mas cercano a $4,186 \text{ j / cal}$.

Ahora, habiendo hallado lo valores de las pendientes para cada caso y teniendo los valores de masa de agua usados en cada uno, graficamos la relación de pendiente inversa en función de la masa de agua, en la siguiente figura:

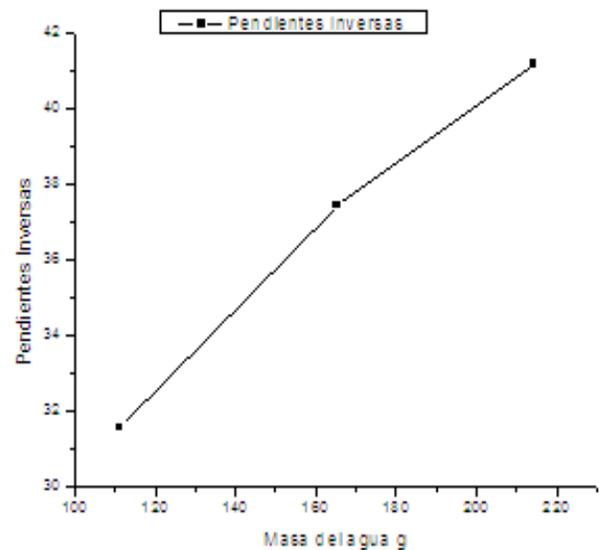


Figura No.3 Grafica de la relación de pendiente inversa en función de la masa de agua, desarrollada a partir de la ecuación 6.

De la grafica anterior y con ayuda del programa usado para hacerla, encontramos la pendiente y el intercepto que tendría al ser linealizada, lo obtenido es:

$$m=0,16105 \pm 0,0182$$

$$b=21,76492 \pm 0,45237$$

Para esta grafica, la pendiente representa el valor proporcional de la capacidad calorífica del agua. Para nuestro caso el resultado es $m=0,16105$, pero el esperado es $0,2$ idealizando el valor de $J=4,186$ y promediando el valor de $VI=20,1$ watts. A pesar de todo, la diferencia entre los dos valores no es mucha y podemos decir que el resultado es el esperado, tomando en cuenta los diferentes variables que intervinieron en el experimento y pudieron interferir en este resultado.

4. CONCLUSIONES

Apreciamos el cumplimiento de la Ley de joule ya que los equivalentes de J experimentales hallados en cada caso fueron muy cercanos al valor teórico de esta $J=4,186$ J/cal.

Pudimos observar el cumplimiento del principio de conservación de energía al ver que la energía de potencial eléctrico aplicado

en la resistencia se transformaba en energía calórica al estar en contacto con el agua.

REFERENCIAS

[1] Guía de Practicas Laboratorio de Electromagnetismo, Universidad del Valle, Facultad de Ciencias, Departamento de Física.

[2] El Efecto Joule y los Artefactos que trabajan con este efecto. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Caracas 2011.

[3] SEARS. Física Universitaria. Volumen 2. Onceava edición. México: Cengage Learning 2009

[4] Experimento de Joule. Equivalente Mecánico del Calor. Física, Estadística y Termodinámica, en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm>

[5] YOUNG, H. FREEDMAN, R. Física Universitaria. Volumen 2. Decima segunda edición. Pearson Educación. México D.F. 2009