

# Equivalente electro-mecánico del calor usando tecnología computarizada



Montero, Germán<sup>1,2</sup>, Rodríguez, Nicolás<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Humanidades y Educación. Departamento de Matemáticas y Física. Laboratorio de Enseñanza de la Física. Universidad del Zulia. Maracaibo- Venezuela

<sup>2</sup>Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. Maracaibo- Venezuela

E-mail: germanmontero71@gmail.com

(Recibido el 13 de Febrero de 2014, aceptado el 25 de Junio de 2014)

## Resumen

Para determinar el equivalente electro-mecánico del calor, se presenta un nuevo diseño experimental utilizando una resistencia eléctrica que está sumergida en un calorímetro lleno de agua, que ha sido diseñado en el laboratorio y un aparato que se utiliza para hacer las prácticas tradicionales del equivalente mecánico del calor. Estos aparatos a su vez, se encuentran conectados con instrumentos tecnológicos de medición de vanguardia. En el proceso experimental se pudo confirmar de manera instantánea visualizando la variación de la temperatura con respecto al tiempo. Posteriormente mediante la ley de conservación de la energía, se comprobó dicho fenómeno físico importante. Los resultados obtenidos durante el experimento estuvieron en concordancia con lo que predecía Joule, que el equivalente de 1 Cal es igual 4,18 J/cal, aunque los valores arrojados fueron menos del 1 % para el caso mecánico y 7,6% para el caso eléctrico, la cual son aceptable en correlación con la teoría.

**Palabras clave:** equivalente eléctrico, equivalente mecánico, calor, efecto Joule.

## Abstract

To determine the mechanical and electric equivalent of heat, a new experimental design is presented using an electrical resistance that is immersed in a calorimeter full of water, which has been designed in the laboratory and a device that is used to make the traditional practices of equivalent mechanical heat. These devices at same time are connected with technological measuring instruments. In this experimental process it could be confirmed the existence of the variation of temperature with respect time. Therefore, through the law of conservation of energy, it was proved that which important physical phenomena. The results obtained during the experiment were in agreement with that predicted Joule, the equivalent of 1 Cal is equal to 4.18 J/cal, although thrown values were less than 1% for the mechanical case and 7.6 % for electric case, which are acceptable in correlation with the theory.

**Keywords:** Electric equivalent, Mechanics equivalent, Heat.

**PACS:** 44.10+i, 44.15+a, 44.90+c

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

El presente investigación tiene como objetivo la determinación del equivalente eléctrico y mecánico del calor, por medio de la transformación de la energía mecánica y eléctrica, utilizando un aparato tradicional en los laboratorios de física y la energía eléctrica un calorímetro diseñado en el laboratorio que contiene 2 resistencias conectadas en serie, que posteriormente es surtido con agua natural.

Es sabido que una caloría [1], se define como la cantidad de energía térmica necesaria para elevar un gramo de agua en un grado centígrado desde 14,5°C a 15,5°C, como también a través de los aportes del experimento sobre el equivalente mecánico del calor de James Joule, el cual consintió en un dispositivo donde se realiza un trabajo sobre el agua al rotar la rueda de paletas a través de un trabajo ejercido por el descenso de unas pesas sujetadas por la cuerda que va a la rueda de paletas, donde se obtuvo que 1cal = 4.186 Joules.

La energía electro-mecánica se transforma en energía térmica, y su cambio lo efectúa a través del trabajo mecánico en forma manual utilizando el aparato del equivalente mecánico del calor tradicional que existe comúnmente en los laboratorios de física. Aunado a esto, para el caso eléctrico se obtuvo debido a la circulación de corriente eléctrica que atraviesa una resistencia eléctrica colocada en un recipiente aislado, sellado y lleno de agua. El calor saliente debido a ambos trabajos está expresado en calorías y la energía proporcionada, está dada en Joule, lo cual es posible determinar el equivalente electro-mecánico del calor.

## II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

### A. Equivalente Mecánico del Calor

Cuando se transfiere energía calorífica siempre se tiene que el calor ganado por un cuerpo o sistema debe ser igual al calor cedido por otro cuerpo o sistema, por consiguiente

para el caso de la conversión de la energía mecánica en energía calorífica tenemos que [2]:

$$W_m = F \cdot s = m \cdot g \cdot n \cdot \phi \cdot \pi \quad (1)$$

$$\boxed{W_m = m \cdot g \cdot n \cdot \phi \cdot \pi} \quad (2)$$

Donde:

$W_m$  : Energía mecánica.

$F = m \cdot g$  : Fuerza de fricción ( $m$ : masa suspendida;  $g$ : gravedad).

$s = n \cdot \phi \cdot \pi$  : Recorrido de la fricción ( $n$ : número de vueltas;  $\phi$  : diámetro del calorímetro).

La cantidad de energía calorífica viene dado por:

$$\left. \begin{array}{l} Q_C = C \cdot (T_e - T_0) \\ C = C_{cal} + C_T \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{Q_C = (C_{cal} + C_T) (T_e - T_0)} \quad (3)$$

Donde:

$Q_C$  : Energía calorífica

$C$  : Capacidad calorífica del sistema completo

$C_{cal}$  : Capacidad calorífica del calorímetro de cobre  
( $C_{cal} = 264 \text{ J}/\text{°C}$ )

$C_T$  : Capacidad calorífica del calorímetro del termómetro  
( $C_T = 5 \text{ J}/\text{°C}$ )

El aparato científico modelo TD 8551<sup>a</sup> de PASCO para Equivalencia Mecánica del Calor permite la determinación de dicha relación con buena exactitud (dentro del 5 % de error relativo), ver página web: [www.frro.utn.edu.ar](http://www.frro.utn.edu.ar) . En este aparato, mostrado en la figura 1, el procedimiento para medir una cantidad determinada de trabajo es efectuada por el giro de una manivela que acciona un cilindro de cobre, el cual tiene enrollada una cinta de nylon con varias vueltas a su alrededor diámetro. Al girar la manivela, hace que la fricción entre la cinta y el cilindro sea suficiente para soportar la masa colgada del otro extremo de dicha cinta.

Esto asegura que la acción del torque sobre el cilindro es constante y medible. Un contador mide el número de vueltas mientras se hace girar el cilindro y la cinta convierte el trabajo mecánico en energía térmica, la cual eleva la temperatura del cilindro de cobre. En la figura 1 se observa el sistema.

## B. Equivalente eléctrico del calor

La Ley de la conservación de la energía afirma que la energía no se crea ni se destruye, cambia de forma. Por ejemplo, cuando la energía térmica se trasforma en energía calorífica en un calefactor. Dicho de otra forma: la energía puede transformarse de una forma a otra o transferirse de un cuerpo a otro, pero en su conjunto permanece estable (o constante).



**FIGURA 1.** Fotografía del montaje experimental del equivalente mecánico del calor.

De esta manera [3] al pasar la corriente eléctrica por una resistencia, produce un trabajo sobre las moléculas de este, el cual por el roce con las moléculas de agua, pasa a ser por la Ley de la conservación de la energía, energía calórica, que fue definida como: "El calor generado por la potencia perdida generada en un resistor eléctrico, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que esta circula por el conductor. Esto se conoce como calentamiento de Joule". El calor se expresa como:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (4)$$

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos – cuando se les pone en contacto por medio de un conductor eléctrico – y obtener un trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz.

Al introducir en un recipiente con agua a una cierta temperatura, una resistencia eléctrica y aplicamos una diferencia de temperatura "y medimos" el paso de la intensidad de corriente  $I$ . La potencia consumida por la resistencia es:

$$P = V \cdot I \quad (5)$$

Entonces la energía eléctrica generada durante un determinado tiempo es:

$$W = P \cdot t \quad (6)$$

Por otra parte, por Ley de la conservación de la energía, esta se trasforma en energía calórica, a través de la resistencia

eléctrica. La cantidad de calor generado en el determinado tiempo se invierte en elevar la temperatura del agua y del recipiente en donde el agua está contenida. Por lo tanto la energía calórica transferida al agua es:

$$Q=C_0(m+Me)(Tf-Ti). \quad (7)$$

Donde:

$C_0$ : Calor específico del agua

$M$ : Masa del agua.

$Me$ : Masa del agua capaz de absorber igual cantidad de calor que el calorímetro para la misma elevación de temperatura.

$Tf-Ti = \Delta T$ : Diferencia de temperatura.

De este modo la relación entre la energía eléctrica y el calor la podemos escribir como:

$$J_e = \frac{W}{Q}. \quad (8)$$

Al despejar de la ecuación  $W$  nos queda la siguiente ecuación lineal

$$W = J_e \cdot Q. \quad (9)$$

Donde  $J_e$  es la pendiente de la recta.

### III. MÉTODO EXPERIMENTAL

#### A. Montaje del equivalente mecánico

El experimento consistió en realizar un montaje experimental que consta de un sistema mecánico conectado a un dispositivo electrónico (Figura 1). El diseño está distribuido en la conexión de un sensor de temperatura en el calorímetro mecánico y a su vez está conectado a una interface (Data Analyzer EA-200) [4, 6] como también incluyendo una calculadora gráfica Casio Class Pad 300 Plus [4, 5, 6].

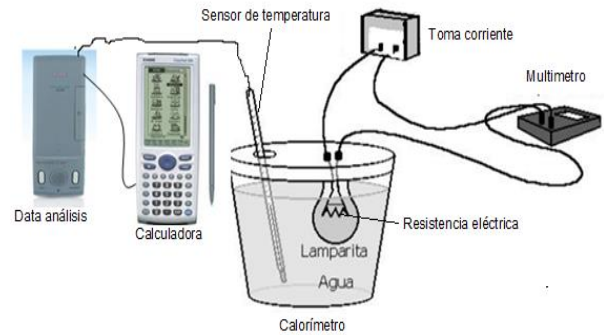
Una vez realizado el montaje experimental mostrado en la figura 1, se realizaron los siguientes pasos para realizar las medidas del equivalente mecánico del calor:

- Se ajusta el equipo realizando una prueba, para verificar si la cinta esta tensa y equilibrada con la polea de cobre y la pesa.
- El contador se ajusta a cero para contar las vueltas exactas que se van a medir, en este caso son 300 vueltas.
- Se calibra el equipo de instrumentación tecnológica para comenzar las medidas de la temperatura en función de tiempo mediante el sensor de temperatura, data analizar y calculadora Casio Class Pad 300 Plus.

#### B. Montaje del equivalente eléctrico

En esta sección se utilizó los siguientes materiales de laboratorio, que se pueden visualizar en la figura 2, tales

*Equivalente electro-mecánico del calor usando tecnología computarizada* como un calorímetro construido en el laboratorio, un multímetro digital, el sensor de temperatura, data analizar y la calculadora Casio Class Pad 300 Plus



**FIGURA 2.** Diseño esquemático del montaje experimental para el caso del equivalente eléctrico del calor.

Una vez conectado el sistema como se muestra en la Figura 3, se comienza a tomar las medidas con el empleo del programa Econ 200[6], que se encuentra en la calculadora. Los datos registrados de la temperatura con respecto al tiempo se grafican instantáneamente en la calculadora almacenando los datos, que posteriormente serán procesados en un programa de análisis de datos y graficas Microcal Origin[8] versión 8.01, registrado de la misma forma presentada por Montero[9].



**FIGURA 3.** Montaje Experimental del equivalente eléctrico del calor con la tecnología instrumental.

En el mismo sentido, se presentan los pasos previos detallados para realizar la experimentación del equivalente eléctrico del calor:

- El calorímetro usado en el experimento fue construido usando un envase de plástico envuelto en corcho (o anime) para evitar que se pierda el calor. Se le adapta la resistencia y se le aíslan los cables del agua de manera que la electricidad no tenga contacto con el agua.
- Se conecta la calculadora con el data análisis y el sensor de temperatura, configurando los parámetros para medir la temperatura en grados Celsius y el tiempo en segundos.

- Agregamos 500gr de agua al calorímetro y medimos su temperatura con el sensor de temperatura para distintos intervalos de tiempo, estableciendo un rango escogido en la calculadora.
- Se calculó la corriente utilizando la ley de Ohm

$$Q = \frac{V^2}{R} t, P = I \cdot V; V = I \cdot R \text{ (Ley de Ohm)}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{500\Omega} = 0.24 \text{ Amp}$$

Es la intensidad de corriente utilizada por el dispositivo. Donde Q es cantidad de energía térmica del sistema, t el tiempo, V diferencia de potencial, I intensidad de corriente, R resistencia, ΔW diferencia de trabajo

#### IV. RESULTADOS

Luego de establecer un intervalo de tiempo en la calculadora, se procede a accionar el experimento con todas condiciones adecuadas. Se guarda los datos crudos para luego procesarlos en un programa de la computadora y finalmente analizarlos. En las figuras 4 y 5, se representan los resultados obtenidos de manera instantánea para los experimentos del equivalente mecánico y eléctrico del calor respectivamente.

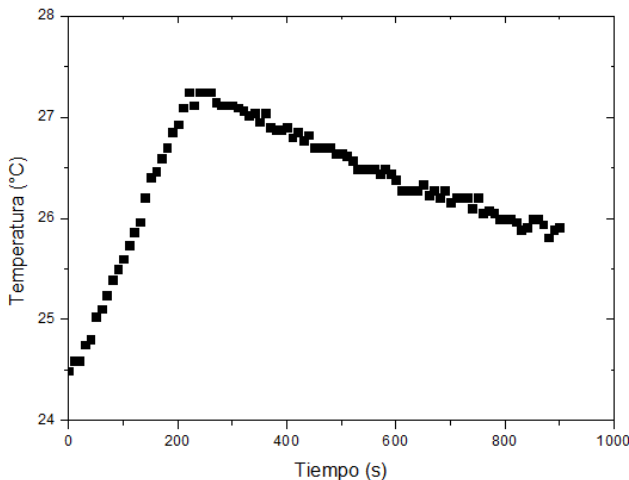


FIGURA 4. Gráfica obtenida experimentalmente de la calculadora del equivalente mecánico del calor.

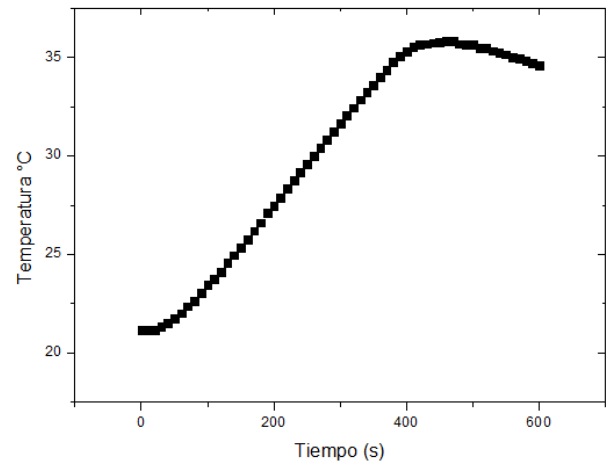


FIGURA 5. Gráfica obtenida experimentalmente de la calculadora del equivalente eléctrico del calor.

#### V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Después de analizar los resultados del equivalente mecánico del calor, se extrajo de la gráfica y de las ecuaciones, el cálculo respectivo para hallar el valor correspondiente equivalente térmico. Analizando el ajuste de la gráfica de la figura 6 se obtiene los valores necesarios para calcular dicho valor.

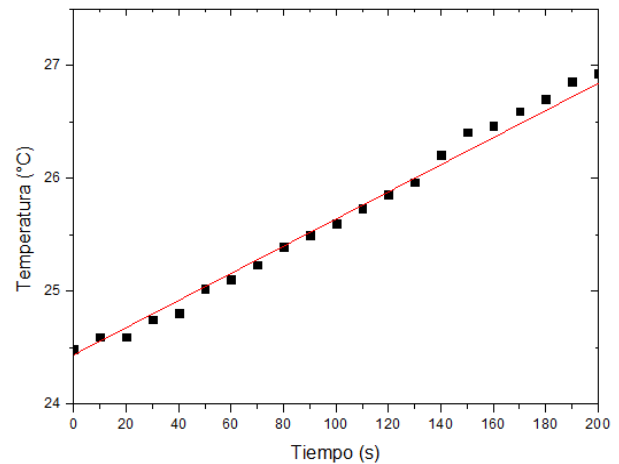


FIGURA 6. Gráfica de la Temperatura en función del tiempo del equivalente mecánico del calor.

De esta gráfica se obtiene los valores correspondientes de  $W_n$  y de  $Q_c$ , que son importante para calcular el valor de J. Los resultados arrojados fueron:

$$W_m = m \cdot g \cdot n \cdot \phi \cdot \pi = 2 \text{ kg} \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (300) \times (0.04 \text{ m}) \times (\pi) = 738,9025921 \text{ J.}$$

$$Q_c = (C_{cal} + C_T)(T_e - T_0) = (264 \text{ J/}^\circ\text{C} + 5 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (27,24 - 24,47) \text{ }^\circ\text{C} = 745,13 \text{ J.}$$

Si convertimos en calorías el valor sería: 178,0903442 calorías.

Entonces el valor de

$$J: 738,9025921J/178,0903442 \text{ calorías} = 4,149J/\text{cal}.$$

Donde el porcentaje de error es:

$$\%E = (4,149 - 4,184) / (4,149) * 100\% = 0,84\%.$$

Se puede observar que el resultado dio menos de 1%, lo que significa que la metodología experimental utilizada es óptima para este experimento.

Luego de realizar el primer experimento se bajaron los datos del calorímetro eléctrico y se realizaron los cálculos para determinada la energía eléctrica consumida por la resistencia eléctrica y la cantidad de calor que la resistencia eléctrica transmitió al agua. Estos resultados se reflejan en la representación de la energía eléctrica  $W$  y el calor  $Q$  suministrado durante un intervalo de tiempo (figura 7).

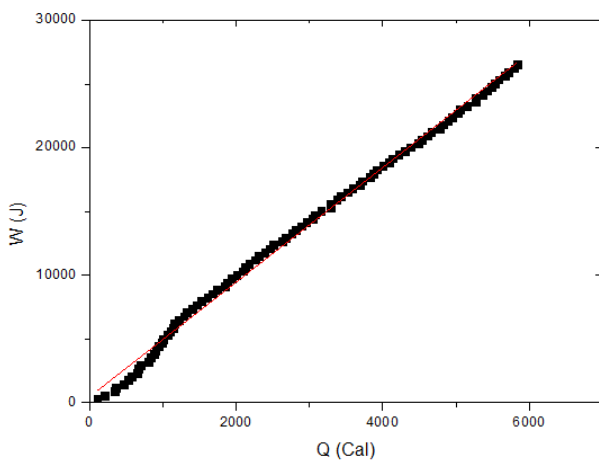


FIGURA 7. Gráfica de la Energía eléctrica en función del calor.

Luego del análisis de las variables se graficó la recta que más se aproxima a esos puntos y se determinó su pendiente realizando una regresión lineal:

$$Y = 4,50x + 465.$$

Valor experimental:

$$J_e = 4,5 \text{ J/Cal}, \text{ Valor teórico} = 4,184 \text{ J/Cal}.$$

Cálculo para incertidumbre:

$$E_{\text{Absoluto}} = |T_{\text{Experimental}} - T_{\text{Teórico}}| =$$

$$\left| 4,5 \frac{\text{J}}{\text{Cal}} - 4,184 \frac{\text{J}}{\text{Cal}} \right| = 0,316 \frac{\text{J}}{\text{Cal}}.$$

$$E_{\text{Relativo}} = \frac{E_{\text{absoluto}}}{T_{\text{experimental}}} = \frac{0,316 \text{ J/cal}}{4,184 \text{ J/Cal}} = 0,076.$$

$$\%E = E_{\text{Relativo}} \times 100\% = 0,076 \times 100\% = 7,6\%.$$

Este porcentaje es relativamente bajo con los resultados obtenidos mediante esta técnica experimental.

## VI. CONCLUSIONES

Los experimentos que están referidos al área de calorimetría presentan normalmente un rango de error alto, para el caso del equivalente mecánico del calor el resultado que se obtuvo es menos del 1%, lo que significa que la adquisición de datos obtenidos con la instrumentación tecnológica alcanza unos resultados casi perfectos para lograr el objetivo del experimento.

Al respecto del experimento eléctrico del calor, se obtuvo un 7,6% de error, lo cual es un resultado razonable, utilizando equipos de instrumentación tecnológica en el laboratorio de física.

Gracias al uso de la calculadora fue muy beneficioso, debido a que se permitió obtener datos exactos en la medición del incremento de la temperatura y facilitó el trabajo efectivamente, ya que no es necesario usar un cronómetro y menos estar pendiente de lo que ocurre con los resultados.

Por último a través de una regresión lineal que se realizó en las gráficas del equivalente electro-mecánico, se logró determinar el equivalente del calor.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Tippens, Paul E., *Física conceptos y aplicaciones*. (7<sup>ta</sup> Edición. Mc Graw Hill, México, 2001).
- [2] Pacheco H, Gerardo y colaboradores. *Manual de prácticas del laboratorio de termodinámica*. (2011). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Ciencias Básicas. p. 34. <http://www.dcb.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/FisicaQuimica/Termodinamica/MANUAL%20DE%20PRACTICAS.pdf>
- [3] Giancoli Douglas., *Física. Principios con aplicaciones*. (Editorial Pearson Prentice Hall, México, 1997).
- [4] CASIO Worldwide Education Website, <http://edu.casio.com/>
- [5] CASIO, Classpad, <http://classpad.net/>
- [6] CASIO International, <http://www.casio-intl.com/>
- [7] User's guides of the data analyzer from Casio or Texas Instruments.
- [8] Originlab Data analysis and Graphing Software. [www.originlab.com](http://www.originlab.com).
- [9] Montero, G., *Aceleración de cuerpos rígidos sobre un plano inclinado usando tecnología computarizada*, Rev. Electr. Quimer@ **1**, 10-13 (2013). <http://www.grincef.nurr.ula.ve/REQuimera/i>; [http://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/EQUIVALENTE\\_MECANICO\\_DEL\\_CALOR.pdf](http://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/EQUIVALENTE_MECANICO_DEL_CALOR.pdf).