



Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Facultad de Ciencias  
Escuela de Física



## Medición del calor específico de una muestra metálica mediante calorimetría

**Elaborada por:** R. Mejía, C. Ramirez

**Adaptada por:** A. Bautista, D. Bulnes, H. Maradiaga, D. García, M. Valdés, M. Reyes

### Introducción

Una de las leyes y pilares fundamentales de la física es la conservación de la energía, lo más seguro es que a estas alturas se haya encontrado con ella en diversas formas, en el estudio de conservación de energía mecánica, en el estudio de conservación de momento y el estudio de osciladores, en el estudio del calor también es un pilar fundamental.

La proposición es tan sencilla como poderosa: la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma de un estado a otro o se transfiere de un sistema a otro, en este laboratorio utilizaremos calorimetría para verificar la veracidad de dicha ley.

La calorimetría es el estudio del intercambio de calor entre diferentes cuerpos, al hacer diversos experimentos Joseph Black se dio cuenta que diferentes cuerpos llegan a diferentes temperaturas finales en su equilibrio térmico, aún cuando las temperaturas iniciales eran idénticas, es decir que cada material tiene características únicas de cómo reaccionar a la transferencia de calor, a esto lo llamamos coeficiente de calor específico y es único para cada material.

En este laboratorio también utilizaremos calorimetría para determinar de qué está hecha una muestra metálica a partir de su coeficiente de calor específico.

### Objetivos

1. Analizar como el calor de una muestra desconocida se transfiere a otras sustancias en contacto térmico dentro de un calorímetro.
2. Determinar el calor específico de una muestra desconocida mediante calorimetría.

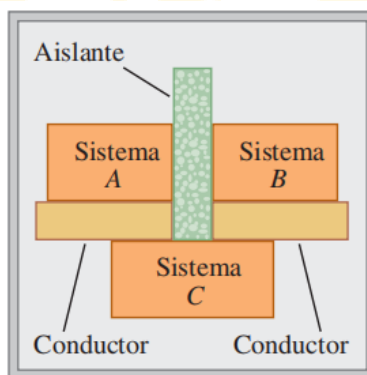
### Materiales y equipo

1. 2 beakers de vidrio de 1000 ml
2. Estufa eléctrica 120V 565W
3. 1 rollo de 320m de hilo trenzado
4. Calorímetro

5. Set de dos muestras metálicas
6. Balanza digital
7. Interfaz digital SPARK
8. 2 sensores de temperatura PASPORT
9. 1 galón de agua
10. 1 litro de agua mineral

## Marco teórico

La temperatura es esa cualidad que le brindamos a un objeto de estar “frío” o “caliente”. Aunque esto sea subjetivo en base a nuestros sentidos, es intuitivo pensar que existe una cantidad con la que podamos medir dicha temperatura. Utilizamos entonces un instrumento llamado termómetro para poder medirla, esta se hace en diferentes escalas de temperatura como grados Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) o Kelvin (K). La temperatura está relacionada de forma intrínseca con la energía de las partículas de una forma macroscópica, por lo que podemos intuir que a menor temperatura menor energía y viceversa. Esto conlleva pensar en los cambios en la temperatura, cuando medimos con un termómetro, este entra en contacto con el objeto al cual deseamos medir su temperatura, el objeto cede o recibe energía por calor, lo que se manifiesta en un cambio en su temperatura hasta llegar ambos a la misma temperatura. Este proceso se le llama **equilibrio térmico**, y la convención dice que los objetos “calientes” ceden energía a los objetos “fríos”. A esta transferencia de energía se le denomina **transferencia de calor** y a la energía que se transfirió se le llama **calor**. Podemos definir entonces la **ley cero de la termodinámica** como “*Si inicialmente C está en equilibrio térmico con A y con B, entonces A y B también están en equilibrio térmico entre sí.*”



Representación de la Ley Cero de la Termodinámica

A la energía asociada a la temperatura se le llama **energía interna**, y se define como la suma de todas las energías de las partículas microscópicas que componen el sistema, al ser una energía su unidad está dada por los Joules (J). Por lo que podemos decir entonces que la transferencia de calor de un sistema A a un sistema B es la transferencia de energía interna de A a B hasta llegar al equilibrio térmico.

El calor está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Siendo  $Q$  el calor en Joules,  $m$  la masa en kilogramos y  $\Delta T$  la diferencia de temperatura en escala Celsius o absoluta.

Podemos definir diferentes tipos de sistemas los cuales describen la conservación de la energía:

1. **Sistema Abierto:** un sistema termodinámico donde se transfiere energía y masa entre el sistema y sus alrededores.
2. **Sistema Cerrado:** un sistema termodinámico donde solo hay transferencia de energía entre el sistema y sus alrededores.
3. **Sistema Aislado:** un sistema termodinámico donde no hay transferencia de energía y masa entre el sistema y sus alrededores.

Definimos la **primera ley de la termodinámica** como “ la energía interna de un sistema cambia cuando se le transfiere calor o se realiza un trabajo sobre él ”, definiendo la siguiente ecuación:

$$\Delta U = Q + W \quad (2)$$

Con  $\Delta U$  cambio en la energía interna,  $Q$  el intercambio de calor con los alrededores y  $W$  el intercambio de trabajo con los alrededores. Tomando la primera ley de la termodinámica en un sistema aislado, tendremos que  $\Delta U = 0$ , por lo que  $Q = 0$  y  $W = 0$ . Definimos el calor neto como:

$$\sum Q_i = 0 \quad (3)$$

Si se considera que se aplica la técnica de la calorimetría para determinar el valor de la capacidad calorífica específica de una sustancia desconocida, y el calorímetro corresponde a un sistema aislado, que contiene agua, recipiente interno del calorímetro y muestra desconocida, se sabe que los calores involucrados al entrar estos tres en contacto térmico es:

$$Q_a = m_a c_a (T_f - T_{ia}) \quad (4)$$

$$Q_{cal} = m_{cal} c_{cal} (T_f - T_{ia}) \quad (5)$$

$$Q_m = m_m c_m (T_f - T_{im}) \quad (6)$$

Con  $Q_a$  el calor transferido del agua,  $Q_{cal}$  el calor transferido del calorímetro y  $Q_m$  el calor transferido de la muestra metálica,  $m_a$  la masa del agua,  $m_{cal}$  la masa del calorímetro y  $m_m$  la masa de la muestra metálica,  $c_a$  el calor específico del agua,  $c_{cal}$  el calor específico del calorímetro y  $c_m$  el calor específico de la muestra metálica,  $T_{ia}$  es la temperatura inicial tanto del agua como del calorímetro,  $T_{im}$  la temperatura inicial de la muestra metálica y  $T_f$  la temperatura final del sistema. Cambiando los valores de (4), (5) y (6) en la ecuación (3) tendríamos:

$$m_a c_a (T_f - T_{ia}) + m_{cal} c_{cal} (T_f - T_{ia}) + m_m c_m (T_f - T_{im}) = 0 \quad (7)$$

## Procedimiento experimental

### Medición del calor específico de la muestra desconocida

1. Encienda la estufa, coloque la perilla en su valor máximo, llene el beaker con un mínimo de 800ml de agua y ponga a hervir el agua sobre la estufa.
2. Utilizando la balanza digital, mida la masa de la muestra del metal desconocido y la masa del calorímetro, registre los valores en la Tabla 1.
3. Coloque el calorímetro sobre la balanza y ponga la balanza en 0.
4. Llene aproximadamente a la mitad el calorímetro con agua, mida la masa del agua y registre su valor en la Tabla 2.
5. Coloque con cuidado el calorímetro con agua dentro del recipiente revestido con fibra de vidrio.
6. Espere a que el agua en el beaker hierva. Una vez que esté hirviendo, introduzca la muestra en el beaker, asegurándose de que no toque las paredes ni el fondo del recipiente. Espere 5 segundos y registre la temperatura inicial de la muestra en la Tabla 2 utilizando el termómetro digital.
7. Coloque el termómetro digital dentro del calorímetro, lea la temperatura inicial del agua en la interfaz SPARK y anote este valor en la Tabla 2, cuando haya tomado la medida de temperatura, retire el termómetro digital.
8. Saque la muestra del metal del beaker con agua hirviendo y llévelo dentro del calorímetro, posteriormente tape el calorímetro.
9. Introduzca por el agujero de la tapa del calorímetro el termómetro digital.
10. Agite el calorímetro suavemente en círculos sin despegarlo del mesón por 3 minutos hasta que la temperatura leída en la interfaz SPARK ya no suba y se mantenga constante, reporte este valor de temperatura (temperatura final o de equilibrio) en la Tabla 2.
11. Con cuidado, retire el recipiente de aluminio del calorímetro, para ello deberá hacer un poco de presión sobre el material aislante del calorímetro para evitar que se mueva.
12. Vierta el agua del recipiente de aluminio en otro beaker de 1000 ml
13. Repita los pasos del 2 al 11, 4 veces.
14. Repita todos los pasos anteriores para la Tabla 2 y Tabla 4

## Registro de datos experimentales

$m_m$ (g)	$m_{cal}$ (g)	$\delta m_m$ (g)	$\delta m_{cal}$ (g)

Tabla 1: Mediciones de los valores de masa para recipiente, agua y muestra metálica (Primera muestra metálica).

N	$m_a$ (g)	$T_{ia}$ (°C)	$T_{im}$ (°C)	$T_f$ (°C)	$\delta m_a$ (g)	$\delta T_{ia}$ (°C)	$\delta T_{im}$ (°C)	$\delta T_f$ (°C)
1								
2								
3								
4								

Tabla 2: Mediciones para la masa de agua en el recipiente y valores de temperatura inicial y final de equilibrio (Primera muestra metálica).

$m_m$ (g)	$m_{cal}$ (g)	$\delta m_m$ (g)	$\delta m_{cal}$ (g)

Tabla 3: Mediciones de los valores de masa para recipiente, agua y muestra metálica (Segunda muestra metálica).

N	$m_a$ (g)	$T_{ia}$ (°C)	$T_{im}$ (°C)	$T_f$ (°C)	$\delta m_a$ (g)	$\delta T_{ia}$ (°C)	$\delta T_{im}$ (°C)	$\delta T_f$ (°C)
1								
2								
3								
4								

Tabla 4: Mediciones para la masa de agua en el recipiente y valores de temperatura inicial y final de equilibrio (Segunda muestra metálica).

## Tratamiento de datos experimentales

### Medición indirecta del calor específico de la muestra desconocida

- Con los datos registrados en sus tablas calcule el calor específico de la muestra metálica desconocida para cada medición a partir de la siguiente ecuación

$$c_m = \left( \frac{m_{cal}c_{cal} + m_a c_a}{m_m} \right) \left( \frac{T_f - T_{ia}}{T_{im} - T_f} \right) \quad (8)$$

en donde:

1.  $m_m$ : Masa de la muestra.
2.  $m_a$ : Masa del agua.
3.  $m_{cal}$ : Masa del calorímetro.
4.  $c_a$ : Calor específico del agua.
5.  $c_{cal}$ : Calor específico del calorímetro.
6.  $T_f$ : Temperatura de equilibrio.
7.  $T_{ia}$ : Temperatura inicial del agua en el calorímetro.
8.  $T_{im}$ : Temperatura inicial de la muestra.

$$c_a = 4.182 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$c_{cal} = 0.896 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

- Calcule la media de los valores de calor específico obtenidos en el paso anterior (uno para cada muestra)

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_{m_i}}{N}$$

en donde  $N$  es el número de mediciones.

- Calcule el error estadístico del calor específico

$$\sigma_{\bar{c}_m} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (\bar{c}_m - c_{m_i})^2}$$

- Calcule la incertidumbre en la medida indirecta del calor específico para cada medición.

$$\delta c_m = c_m \sqrt{\frac{c_a^2 \delta m_a^2 + c_{cal}^2 \delta m_{cal}^2}{(m_a c_a + m_{cal} c_{cal})^2} + \frac{(\delta T_f)^2 + (\delta T_{ia})^2}{(T_f - T_{ia})^2} + \frac{(\delta m_m)^2}{m_m^2} + \frac{(\delta T_f)^2 + (\delta T_{im})^2}{(T_f - T_{im})^2}}$$

- Seleccione el valor que más se repita tanto para el coeficiente de calor específico de la muestra como para la incertidumbre asociada en cada medición.
- Calcule la incertidumbre absoluta del calor específico

$$\Delta c_m = \sqrt{\delta c_m^2 + \sigma_{\bar{c}_m}^2}$$

en donde  $\delta c_m$  es la moda estadística (el valor que más se repite) de la incertidumbre en la medida indirecta del calor específico y  $\sigma_{\bar{c}_m}$  es la incertidumbre estadística.

- Reporte el valor del calor específico de la muestra metálica como:

$$\langle c_m \rangle = (\bar{c}_m \pm \Delta c_m) \text{ J/g } ^\circ\text{C}$$

en donde  $\bar{c}_m$  es el valor central del calor específico de la muestra y  $\Delta c_m$  es la incertidumbre absoluta del calor específico.

## Análisis de Resultados

1. Compare el resultado obtenidos para el calor específico del metal desconocido  $\bar{c}_m$  con los datos teóricos proporcionados por el fabricante dados en la Tabla 5 para determinar el error porcentual  $\%E$ , para cada valor de calor específico calculado.

$$\%E = \frac{|c_{ref} - \bar{c}_m|}{\bar{c}_m} \times 100 \%$$

2. ¿Qué tan buena es la precisión de este experimento? Determine la incertidumbre relativa porcentual  $\%I_p$  para cada valor de calor específico calculado.

$$\%I_p = \frac{\Delta c_m}{\bar{c}_m} \times 100 \%$$

3. ¿Cuál de las cantidades físicas medidas considera que contribuye más con la incertidumbre absoluta  $\Delta c_m$  asociada a la medición del calor específico?
4. ¿Considera que el problema planteado fue resuelto satisfactoriamente, cómo podría mejorar? Explique.
5. Realice un gráfico de discrepancia para el valor de calor específico obtenido  $c_m$ , utilizando el valor de referencia proporcionado en la Tabla 5, e indique si la discrepancia es significativa o no.
6. Con los resultados obtenidos para cada valor de calor específico, determine si el sistema es aislado o no.
7. ¿Los resultados obtenidos para cada valor de calor específico son compatibles con el principio de conservación de la energía?, si no es así, explique los motivos por lo que no se pudo comprobar el principio de conservación de la energía.

Cilindro	Material	$c_{ref} \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$
A	Zinc	0.390
B	Aluminio	0.900
C	Acero Inoxidable	0.450
D	Cobre	0.390
E	Latón	0.350

Tabla 5: Valores de referencia para el calor específico de los metales.

## Cuestionario

1. Si en lugar de calentar el metal calentamos el agua en el calorímetro, ¿cambiarían los resultados del experimento para el calor específico del metal?

2. ¿A qué temperatura hierve el agua? ¿Es esa temperatura la esperada que se menciona en los libros textos a los que hierve el agua?, y si no lo es, explique por qué.
3. Explique: ¿Qué significa que el valor de la transferencia de calor en alguna muestra es negativo?
4. Investigue: ¿Cuál es la dependencia del calor específico respecto a la temperatura?
5. Investigue al menos tres aplicaciones del calor específico en materiales sólidos y líquidos.

## Conclusiones

Redacte al menos tres (3) conclusiones con base en los resultados obtenidos y los objetivos planteados.

- 
- 
- 

## Bibliografía

Física Universitaria, Vol. I, Sears, Zemansky, Young, Friedman. 13. ed.  
Física para Ciencias E Ingeniería Vol. I, Serway, Jewett, 10ma. Ed.  
Introducción al análisis de Errores, John R. Taylor 2da ed.