

Capacidad calorífica de 5 muestras sólidas

Diana C. Camargo, Diego A. Campos, Carlos A. Cruz

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias. Departamento de física.

29 de Septiembre de 2022

Resumen

Se halla la capacidad calorífica de cinco muestras sólidas de aluminio, cobre, hierro, latón y plomo. Para la toma de datos se utilizó un calorímetro genérico, el montaje asociado al sensor de temperatura $NTC10K$ y una balanza electrónica. Se observó que la relación de la temperatura del agua con la temperatura de la muestra puede aproximarse favorablemente a un modelo lineal con coeficientes de $R^2 = 0,97$, $R^2 = 0,93$, $R^2 = 0,998$, $R^2 = 0,991$ y $R^2 = 0,85$ respectivamente. De dicha relación se encontró el valor del calor específico y con base en este se determina que la capacidad calorífica de las muestras de aluminio, cobre, hierro, latón y plomo tienen un valor aproximado de $(8,58 \pm 0,09) [J/K]$, $(6,92 \pm 0,06) [J/K]$, $(22,8 \pm 0,06) [J/K]$, $(13,39 \pm 0,05) [J/K]$ y $(5,47 \pm 0,03) [J/K]$ con porcentajes de error de 3,4 %, 1,4 %, 0,6 %, 3,6 % y 10,7 % respectivamente con base en los valores calculados del calor específico. Se propusieron algunas consideraciones para mejorar el método experimental.

1. Introducción

La temperatura está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico a través del primer principio de la termodinámica. Observamos cambios en los cuerpos cuando cambian su temperatura, por ejemplo, la dilatación que experimenta un cuerpo cuando incrementa su temperatura. Esta propiedad puede ser usada para medir la temperatura de un sistema.

1.1. Calor

Cuando dos cuerpos A y B que tienen diferentes temperaturas se ponen en contacto térmico, después de un cierto tiempo, alcanzan la condición de equilibrio en la que ambos cuerpos están a la misma temperatura. Supongamos que la temperatura del cuerpo A es mayor que la del cuerpo B ($T_A > T_B$), observaremos que la temperatura de B se eleva hasta que se hace casi igual a la de A .

Cuando un sistema de masa grande se pone en contacto con un sistema de masa pequeña que está a diferente temperatura, la temperatura de equilibrio resultante está próxima a la del sistema grande. Decimos que una cantidad de calor ΔQ se transfiere desde el sistema de mayor temperatura al sistema de menor temperatura de manera que es proporcional al cambio de temperatura ΔT con una constante de proporcionalidad C denominada *capacidad calorífica*^[1].

$$Q = C\Delta T \tag{1}$$

Si A y B son los dos componentes de un sistema aislado, el cuerpo que está a mayor temperatura transfiere calor al cuerpo que está a menor temperatura hasta que ambas se igualan, de manera que:

$$\begin{aligned}\Delta Q_A &= C_A(T - T_A) \\ \Delta Q_B &= C_B(T - T_B)\end{aligned}\quad (2)$$

Cuando varios cuerpos a diferentes temperaturas se encuentran en un recinto adiabático se producen intercambios caloríficos entre ellos alcanzándose la temperatura de equilibrio al cabo de cierto tiempo. Cuando se ha alcanzado este equilibrio se debe cumplir que la suma de las cantidades de calor intercambiadas es cero.

1.2. Calor específico

La capacidad calorífica por unidad de masa se denomina *calor específico* y viene dada por:

$$C = mc \quad (3)$$

El calor específico es la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de una sustancia para que eleve en un grado centígrado su temperatura. Por tanto la fórmula 1 para la transferencia de calor entre 2 cuerpos se puede expresar en términos de la masa m , del calor específico c y del cambio de temperatura:

$$Q = mc(T_f - T_i) \quad (4)$$

A continuación, (ver Cuadro 1) se presentan los valores aceptado en la literatura para los calores específicos y capacidades caloríficas de los materiales de interés en el experimento.

Sustancia	Calor específico		Capacidad calorífica	
	$[J/kg \cdot K]$	$[cal/g \cdot ^\circ C]$	$[cal/cm^3 \cdot ^\circ C]$	$[J/K]$
Latón	380	0,090	0,786	12,920
Cobre	390	0,093	0,833	7,020
Hierro	450	0,107	0,843	22,950
Aluminio	880	0,210	0,567	8,880
Plomo	130	0,031	0,352	5,468

Cuadro 1: Calor específico de algunos materiales de interés. Tomado de [2]. La última columna se toma con base en los pesos de las muestras dadas en el laboratorio.

1.3. Calorímetro

Un calorímetro es un instrumento que sirve para medir las cantidades de calor suministradas o recibidas por los cuerpos. Es decir, sirve para determinar el calor específico de un cuerpo así como para medir las cantidades de calor que liberan o absorben los cuerpos. El tipo de calorímetro de uso más extendido consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro, la cantidad de energía liberada puede calcularse fácilmente [3].

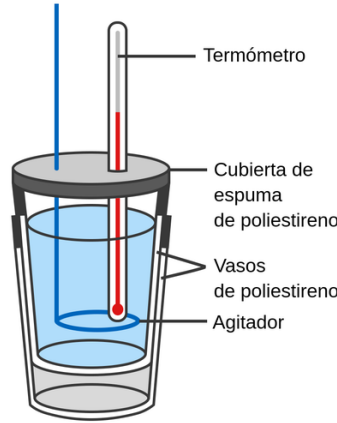


Figura 1: Partes de un calorímetro. Tomado de [3]

Supongamos que el calorímetro está a la temperatura inicial T_0 , y sea M_v la masa del vaso del calorímetro y C_v su calor específico, M la masa de agua que contiene el vaso y m y c la masa y calor específico del cuerpo a temperatura inicial T . Por tanto, en el equilibrio a la temperatura T_e se tendrá la siguiente relación:

$$(M + m_v c_v)(T_e - T_0) + mc(T_e - t) = 0 \quad (5)$$

Donde la capacidad calorífica o equivalente en agua del calorímetro es:

$$k = m_v c_v \quad (6)$$

k es una constante (con unidades de masa) para cada calorímetro y representa la cantidad de agua que tiene la misma capacidad calorífica que el vaso del calorímetro, parte sumergida del agitador y del termómetro. El calor específico será por tanto:

$$c = \frac{(M + k)(T_e - T_0)}{m(T - T_e)} \quad (7)$$

es de notar que el valor exacto la capacidad calorífica específica de una sustancia, y en particular de los metales se ve afectada por la temperatura y otros parámetros termodinámicos (volumen, presión, etc.) [4]

1.4. Cálculo de capacidades caloríficas

Para determinar las ecuaciones que describen el cambio de temperatura de la muestra en función del cambio de temperatura del agua se determina el valor del calor específico realizando un promedio de las capacidades caloríficas calculadas en cada punto, usando la siguiente relación:

$$C_{e_{muestra}} = \frac{C_{e_{agua}} * M_{agua} * \Delta T_{agua}}{M_{muestra} * \Delta T_{muestra}} \quad (8)$$

Donde $C_{e_{agua}}$ corresponde al calor específico y tiene un valor de $4190 \frac{J}{Kg \cdot K}$, M_{agua} a la masa de la agua que se midió para el experimento y corresponde a $(45 \pm 0,5)g$, ΔT_{agua} al cambio de temperatura del agua, $M_{muestra}$ a la masa de la muestra y $\Delta T_{muestra}$ al cambio de temperatura de la muestra.

2. Dispositivo experimental y procedimiento

2.1. Circuitos

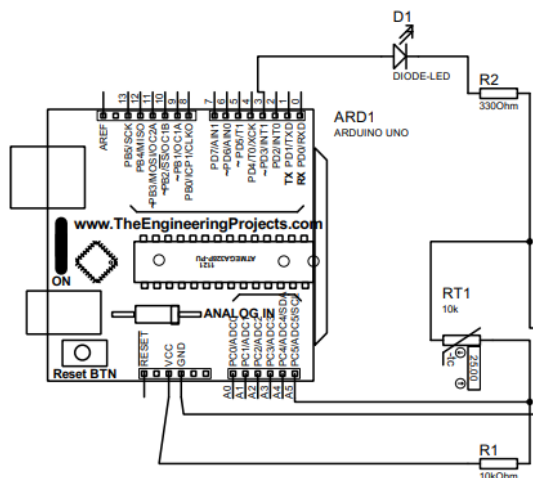


Figura 2: Montaje experimental del arduino

2.2. Materiales

Para el experimento se usaron los siguientes materiales:

- 3 recipientes metálicos para agua
- Contenedor con nitrógeno líquido
- Arduino UNO
- Resistencias de $10k\Omega$ y $3,3k\Omega$
- Led rojo
- Diodo
- Balanza digital
- Muestra de latón de masa $(34 \pm 0,5)g$
- Muestra de cobre de masa $(18 \pm 0,5)g$
- Muestra de hierro de masa $(51 \pm 0,5)g$
- Muestra de Aluminio de masa $(10 \pm 0,5)g$
- Muestra de plomo de masa $(38 \pm 0,5)g$

2.3. Procedimiento

Se introduce una cierta cantidad de masa de agua junto con el sólido de interés dentro del calorímetro, luego se alcanzará el equilibrio térmico a temperatura T_A . Posterior a eso, se introduce el sólido a un recipiente metálico que tiene una cierta cantidad de masa de agua a temperatura T_B donde $T_A > T_B$. Luego, se alcanzará nuevamente un equilibrio térmico. A través del sensor de temperatura introducido en el recipiente se determinan valores de cambio de temperatura en función de la masa de agua.



Figura 3: Calibración de la balanza electrónica

2.3.1. Calibración del termistor $10k\Omega$:

Para la realización del experimento, se construyeron el circuito mostrado en la figura 2, utilizando un termistor de $10k\Omega$. Para calibrar este sensor se establecieron tres puntos de calibración utilizando nitrógeno líquido para poner a cero grados un recipiente de agua, otro recipiente de agua a temperatura ambiente a $(19 \pm 0,5)^\circ C$, y con una estufa eléctrica se calienta agua a $(90 \pm 0,5)^\circ C$. Se miden los voltajes de entrada en cada uno de los puntos, utilizando el multímetro con termocupla de tipo K y la respectiva termo-resistencia y con esto se obtiene el comportamiento de ambas termo-resistencias.

2.3.2. Medidas de calor específico

Se tomó el recipiente de agua fría y se introdujo en otro recipiente mas grande para que funcionara a modo de calorímetro. Se calibró la balanza estableciendo en cero con el peso del recipiente vacío ($48g$). Posteriormente se tomó una muestra y se sumergió (con ayuda de una cuerda) en el agua hirviendo y se esperó a que la muestra entrara en equilibrio térmico con el agua. Después se retiro la muestra del agua hirviendo y se introdujo en el agua fría del calorímetro y se esperó a que nuevamente la muestra estuviera en equilibrio térmico con el agua, se tomó el cambio de temperatura del agua del calorímetro y el cambio de temperatura del cuerpo y se volvió a introducir el mismo en el agua hirviendo. Esto se realizó 5 veces por cada sustancia (latón, cobre, hierro, aluminio y plomo).

2.4. Código

Para las medidas se hace uso del software ARDUINO IDE 1.8.16 con el siguiente programa:

Cp/codigos/caracterizationCode.ino

```

1  #define RB 9730.0
2  #define VT 4.65
3  #define LED 3
4  #define termoRes A5
5
6  int v = 0;
7  int vB;
8
9  void setup() {
10     // put your setup code here, to run once:
11     pinMode(LED, OUTPUT);
12     Serial.begin(9600);
13     vB = analogRead(termoRes);
14     digitalWrite(LED, HIGH);
15 }
16
17 float vV(float v)
18 {
19     return (v * 5.0 / 1023.0);
20 }
21
22 float time()
23 {
24     return (millis() / 1000);
25 }
26
27 void loop() {
28     // put your main code here, to run repeatedly:
29     v = analogRead(termoRes);
30     Serial.print(time());
31     Serial.print("\t");
32     Serial.println(vV(v));
33     delay(500);
34 }

```

3. Resultados y análisis

3.1. Aluminio (Al)

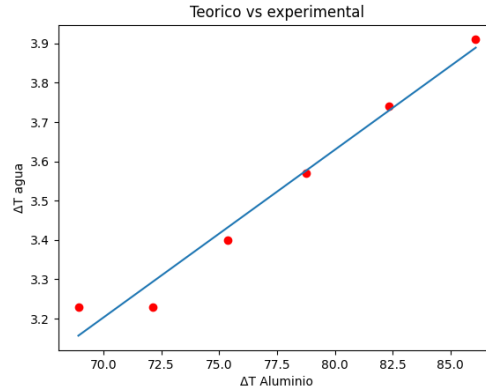


Figura 4: Cambio de temperatura del agua en función del cambio de temperatura del Aluminio

Al realizar la regresión lineal de los datos obtenidos, se obtiene que la curva que describe el comportamiento de estos está dada por,

$$\Delta T_a = (0,043 \pm 0,004)\Delta T_{Al} + (0,2 \pm 0,3) \quad (9)$$

Asociada a esta curva se obtiene un coeficiente de correlación lineal

$$R^2 = 0,97$$

Haciendo uso de la pendiente obtenida en la ecuación (11), se tiene que el calor específico (Ce) asociado a la muestra de Aluminio es de acuerdo a la ecuación (10) es de

$$Ce_{Al} = (860 \pm 10) \frac{J}{Kg \cdot K}$$

que difiere en un 2,3 % del valor de referencia (ver Cuadro 1). Finalmente, se tiene que su capacidad calorífica (Cc) está dada por:

$$Cc_{Al} = (8,58 \pm 0,09) \frac{J}{K}$$

que difiere en un 3,4 % del valor teórico (ver Ecuación 3).

3.2. Cobre (Cu)

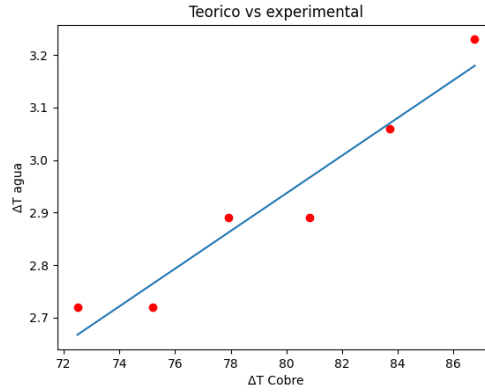


Figura 5: Cambio de temperatura del agua en función del cambio de temperatura del Cobre

Al realizar la regresión lineal de los datos obtenidos, se obtiene que la curva que describe el comportamiento de estos está dada por,

$$\Delta T_a = (0,036 \pm 0,005)\Delta T_{Cu} + (0,06 \pm 0,4) \quad (10)$$

Asociada a esta curva se obtiene un coeficiente de correlación lineal

$$R^2 = 0,93$$

Siguiendo el cálculo análogo realizado para la muestra de Aluminio, se tiene que el calor específico (Ce) asociado a la muestra de Cobre es de

$$Ce_{Cu} = (385 \pm 5) \frac{J}{Kg \cdot K}$$

que difiere en un 1,3 % del valor de referencia (ver Cuadro 1). Finalmente, se tiene que su capacidad calorífica (Cc) está dada por:

$$Cc_{Cu} = (6,92 \pm 0,06) \frac{J}{K}$$

que difiere en un 1,4 % del valor teórico (ver Ecuación 3).

3.3. Hierro (Fe)

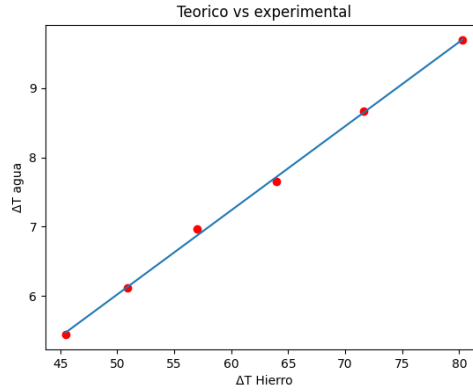


Figura 6: Cambio de temperatura del agua en función del cambio de temperatura del Hierro

Al realizar la regresión lineal de los datos obtenidos, se obtiene que la curva que describe el comportamiento de estos está dada por,

$$\Delta T_a = (0,121 \pm 0,002)\Delta T_{Fe} + (-0,1 \pm 0,1) \quad (11)$$

Asociada a esta curva se obtiene un coeficiente de correlación lineal

$$R^2 = 0,998$$

Siguiendo el cálculo análogo realizado para la muestra de Aluminio, se tiene que el calor específico (C_e) asociado a la muestra de Hierro es de

$$C_{e_{Fe}} = (447 \pm 2) \frac{J}{Kg \cdot K}$$

que difiere en un 0,7 % del valor de referencia (ver Cuadro 1). Finalmente, se tiene que su capacidad calorífica (C_c) está dada por:

$$C_{c_{Fe}} = (22,82 \pm 0,06) \frac{J}{K}$$

que difiere en un 0,6 % del valor teórico (ver Ecuación 3).

3.4. Latón

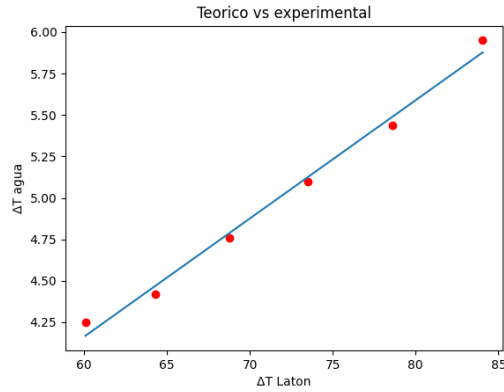


Figura 7: Cambio de temperatura del agua en función del cambio de temperatura del Latón

Al realizar la regresión lineal de los datos obtenidos, se obtiene que la curva que describe el comportamiento de estos está dada por,

$$\Delta T_a = (0,071 \pm 0,003)\Delta T_{\text{latón}} + (-0,1 \pm 0,2) \quad (12)$$

Asociada a esta curva se obtiene un coeficiente de correlación lineal

$$R^2 = 0,991$$

Siguiendo el cálculo análogo realizado para la muestra de Aluminio, se tiene que el calor específico (C_e) asociado a la muestra de Latón, que es una aleación entre Cobre y Zinc, es de

$$C_{e_{\text{latón}}} = (394 \pm 2) \frac{J}{Kg \cdot K}$$

que difiere en un 3,7 % del valor de referencia (ver Cuadro 1). Finalmente, se tiene que su capacidad calorífica (C_c) está dada por:

$$C_{c_{\text{latón}}} = (13,39 \pm 0,05) \frac{J}{K}$$

que difiere en un 3,6 % del valor teórico (ver Ecuación 3).

3.5. Plomo (Pb)

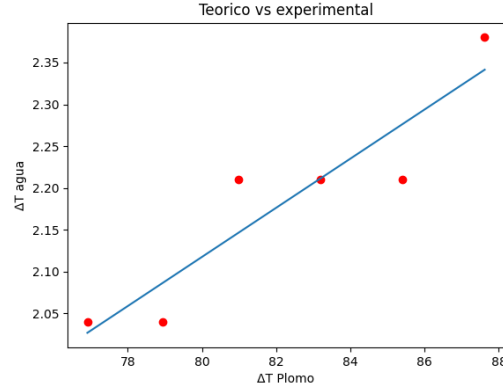


Figura 8: Cambio de temperatura del agua en función del cambio de temperatura del Plomo

Al realizar la regresión lineal de los datos obtenidos, se obtiene que la curva que describe el comportamiento de estos está dada por,

$$\Delta T_a = (0,029 \pm 0,006)\Delta T_{Pb} + (-0,2 \pm 0,5) \quad (13)$$

Asociada a esta curva se obtiene un coeficiente de correlación lineal

$$R^2 = 0,85$$

Siguiendo el cálculo análogo realizado para la muestra de Aluminio, se tiene que el calor específico (Ce) asociado a la muestra de Plomo es de

$$Ce_{Pb} = (132 \pm 2) \frac{J}{Kg \cdot K}$$

que difiere en un 1,5 % del valor de referencia (ver Cuadro 1). Finalmente, se tiene que su capacidad calorífica (Cc) está dada por:

$$Cc_{Pb} = (5,47 \pm 0,03) \frac{J}{K}$$

que difiere en un 10,7 % del valor teórico (ver Ecuación 3).

4. Conclusiones

Se comprobó que la temperatura del agua en función de la temperatura de las 5 muestras dadas da origen a una curva que tienen un comportamiento aproximadamente lineal con coeficientes de correlación asociados de $R^2 = 0,97$, $R^2 = 0,93$, $R^2 = 0,998$, $R^2 = 0,991$ y $R^2 = 0,85$ para las muestras de aluminio, cobre, hierro, latón y plomo respectivamente. En base en las pendientes de dichas relaciones se determina el calor específico de las muestras de aluminio, cobre, hierro, latón y plomo, se evidencia que los errores relativos para cada una de las medidas varían desde el 0,6 % al 10,7 %. Puede decirse que el experimento presentado tuvo, a grandes rasgos, buenos aciertos en su realización. Entre estos está la obtención de una relación cualitativa entre el calor específico de las muestras dadas, ya que fue comprobado experimentalmente que,

en promedio la capacidad calorífica por materiales satisface que $Pb < Cu < Al < \text{latón} < Fe$. Se considera que las fuentes de incertidumbre están mayoritariamente asociadas a la calibración del sensor de temperatura utilizado (NTC10K), pero también pueden estar asociadas a que al momento de tocar el termómetro para sacarlo de su lugar, la temperatura medida aumentó un grado celsius y además el hecho de que la temperatura en el salón donde se realizó la medición fue cambiando ligeramente con el pasar de las horas. Un ítem importante a mejorar es el número de repeticiones, ya que entre más volumen de datos se minimiza la desviación estándar y el error asociado a ella.

Referencias

- [1] https://labster-image-manager.s3.amazonaws.com/de70b4df-5706-458f-a310-ab2535d19f2f/Coffee_cup_calorimeter.es_ES.x512.png, constant pressure calorimeter , 1 diciembre 2020.
- [2] Koshkin N. I., Shirkévich M. G. (1975). Manual de Física Elemental., Editorial Mir, pág 74-75.
- [3] Antoine Laurent Lavoisier, Elements of Chemistry: In a New Systematic Order; Containing All the Modern Discoveries, 1789.
- [4] Bohirov V. V., Rakitina D. V., Y. S. Solnyshkov, Materiales de base para la decisión de tareas en el curso. “transferencia de calor y masa” / GOU VPO “Universidad estatal de energía de Ivanovo lleva el nombre de V. I. Lenin”. - Ivanovo, 2009.