

Las Crónicas de la Termodinámica: El Agua, el Aluminio y el Calorímetro

Felipe Ortiz, Fabian Trigo

Universidad de Valparaíso

Nota del autor

Universidad de Valparaíso, Facultad de Ciencias, Playa Ancha, Gran Bretaña

Datos de contacto:

fabian.trigo@alumnos.uv.cl ; felipe.ortiza@alumnos.uv.cl

## Resumen

El objetivo del presente experimento es la determinación de la constante de calor específico de un metal en particular: el aluminio. Con eso en mente, a partir de las leyes 0 y 1 de la Termodinámica, y con el uso de un sistema cerrado sin pérdida de calor, se calculó la constante, entregando un valor de  $c_{al} = 1.21 \pm 0.02 \left[ \frac{J}{gK} \right]$ , y hallándose un error del 33% con respecto a valores teóricos. El sistema se basa en agua y un calorímetro, con un rango de temperaturas entre 290 K y 360 K, el calor específico del aluminio no sufre alteraciones mayores que la décima [1] por tanto se toma como una constante

Palabras clave: *Calor, calor específico, equilibrio térmico.*

. Para ello

## Introducción (título de la publicación va aquí)

Téngase tres cuerpos: A, B y C. Si los cuerpos A y B están en equilibrio térmico y los cuerpos B y C están en equilibrio térmico, entonces A y C también están en equilibrio térmico. Cuando dos cuerpos están en contacto, una gradiente de temperatura (diferencia de temperatura en el contacto) produce en estos un flujo de calor. El calor entrante aumenta la temperatura de ese cuerpo, y el calor que deja otro cuerpo produce un descenso en la temperatura de este. La relación calor-temperatura (1):

$$\Delta Q = m c \Delta T \quad (1)$$

Donde  $Q$  es el calor,  $m$  es la masa,  $T$  la temperatura y  $c$  el calor específico medio. Significado del calor específico: cuánta energía (calor  $Q$ ) debe de entregarse a 1 gramo de material para incrementar su temperatura en un grado Celsius o en un Kelvin (2).

$$c = Q [J \text{ kgr}^{-1} K^{-1}] \quad (2)$$

Aplicación de límites para el calor específico:

$$c = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{Q}{m \Delta T} \quad (3)$$

Simetría traslacional temporal

Tengamos 3 cuerpos en distintas temperaturas en contacto, la temperatura final de equilibrio para estos cuerpos aislados estará dictada por las masas, temperaturas iniciales y calores específicos de estos cuerpos. Si efectuamos el mismo experimento (con iguales condiciones iniciales) en otro momento el resultado continuará siendo el mismo, tenemos una simetría en la traslación temporal, lo que por el teorema de Noether, exige una cantidad física que se conserve: **la energía**.

Como en el caso mecánico existe la energía potencial, tenemos la energía interna de un gas, en la que almacena energía para efectuar trabajo (expandirse o comprimirse) o entregar calor..

$$dU = \delta Q + \delta W \quad (4)$$

Al ser nuestro sistema de 3 cuerpos un sistema cerrado, no hay pérdida de calor ni trabajo entre el medio (aproximadamente en el intervalo de tiempo trabajado), por lo que la energía del sistema ha de permanecer constante.

$$\Delta U = U_f - U_i = 0 \quad (5)$$

Despreciando la expansión de los elementos (términos de trabajo) y siendo inicialmente dos cuerpos en equilibrio con un cuerpo externo introducido con mayor temperatura.

$$\Delta U = \Delta Q_a + \Delta Q_b + \Delta Q_c = 0 \quad (6)$$

Con la utilización de los conceptos desarrollados hasta ahora es posible despejar la capacidad calorífica del cuerpo **a**:

$$-m_a c_a [T_f - T_{ia}] = m_b c_b [T_f - T_{ib}] + m_c c [T_f - T_{ic}] \quad (7)$$

Puede darse el caso donde se disponga de un instrumento que esté conformado por distintos materiales, cada uno presente con una distinta cantidad de masa, para el cual la ecuación (1), tal y como está, podría no ser tan útil, sobre todo si se desconocen los valores de las masas de cada material. Cuando esto ocurre, pueden reemplazarse todos los productos entre masa y calor específico de cada material por una constante equivalente:

$$\Delta Q = (m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots + m_n c_n) \Delta T = k \Delta T \quad (8)$$

Donde la constante **k** se llama equivalente en agua.

## **Metodología**

### Materiales e instrumentos:

En la experimentación se requirió del uso de los siguientes materiales:

- Una pesa.
- Dos recipientes adiabáticos.
- Agua suficiente como para llenar ambos recipientes.
- Cualquier tipo de calentador de agua.
- Un trozo de aluminio.
- Un poco de hilo.
- Una interfaz PASCO.
- Dos termómetros compatibles dicha interfaz.
- Un computador con el software PASCO.

### Disposición de Termómetros:

En los siguientes procedimientos, se usarán siempre dos termómetros en dos cuerpos distintos.

Ambos termómetros estarán conectados a la interfaz PASCO, la cual a su vez estará conectada a un computador con el software asociado.

Uno de los termómetros estará en uno de los recipientes adiabáticos, lleno con agua caliente, que servirá para tener un dato de temperatura inicial, y el otro en el segundo recipiente, que será utilizado como calorímetro; este estará lleno con agua a temperatura ambiente o vacío (lleno de aire), dependiendo del caso. El último termómetro otorgará datos de temperatura en función del

tiempo, lo que permitirá saber tanto la temperatura inicial como la temperatura final del sistema y de sus componentes.

#### Medición del equivalente en agua del calorímetro:

Primero se necesita saber la masa del calorímetro por separado, así que se utiliza una pesa para obtener dicho dato.

Luego, puede observarse que este procedimiento es conceptualmente idéntico al caso de 3 cuerpos tratado en la introducción, inclusive más simple: primero se calentó una porción de agua a una temperatura elevada y se guardó su dato como la temperatura inicial del agua. Después se vertió el líquido dentro del calorímetro (antes vacío) y se cerró, de forma que fuera un sistema cerrado. Como se había especificado antes, el calorímetro también tiene un termómetro dentro, así que con la ayuda del software de PASCO puede observarse un gráfico de temperatura en función del tiempo. De esta manera, se puede identificar la temperatura inicial del calorímetro y la temperatura final, que será cuando la curva alcance un estado estacionario. Con estos datos y con la ecuación (7) para dos cuerpos y la ecuación (8), se calculó la constante de equivalencia en agua para el calorímetro.

#### Realización del experimento principal

Se tiene un sistema cerrado de 3 cuerpos: aluminio (a), agua (b), calorímetro (c). Para calcular la masa del agua se masó con una pesa su contenedor (el calorímetro) lleno de agua, y luego se le restó a eso la masa del calorímetro. El trozo de aluminio simplemente se masó por separado.

El agua y el calorímetro se encuentran en equilibrio térmico entre sí al iniciar el experimento, mientras que el aluminio está en equilibrio térmico con otra porción de agua (caliente) en la que está sumergido; el aluminio tiene un poco de hilo atado para poder moverlo con facilidad cuando se necesite. Las temperaturas iniciales del calorímetro y del trozo de aluminio son conocidas gracias a los termómetros presentes en cada recipiente con agua.

En un movimiento lo más rápidamente posible, se movió la masa de aluminio desde su recipiente con agua caliente al sistema agua-calorímetro y se cerró, para analizarlo como un sistema cerrado.

### Criterios

Se utilizó un solo termómetro dentro de cada masa de agua, debido a que el uso de dos termómetros en un único cuerpo nos entregará temperaturas distintas.

### Resultados

Medición del Calorímetro;

Cuerpo	Masa $\pm 0.005$ [gr]	Temperatura Inicial $\pm 1$ [Celsius]	Temperatura Final $\pm 1$ [Celsius]
Agua caliente	99.39	81.2	73.5
Calorímetro	346.27	18.2	73.5
Juntos	445.66	n/a	73.5

*Tabla 1: Experimento del Calorímetro*

Experimento Principal;

Cuerpo	Masa $\pm 0.005$ [gr]	Temperatura Inicial $\pm 1$ [Celsius]	Temperatura Final Equilibrio $\pm 1$ [Celsius]
Agua Fría	92.53	15.5	21.2
Calorímetro	346.27	15.5	21.2
Agua + Calorímetro	438.80	n/a	21.2
Aluminio	36.48	78.5	21.2

*Tabla 2: Experimento Aluminio*

Conditions		Heat Capacity (J/Kg-K)
Temperature (K)	Pressure (Pa)	
200	101325	790.5
250	101325	855.4
298.15	100000	897
350	101325	930.6
400	101325	955.5
500	101325	994.8
600	101325	1034

*Figura 1: Tabla online de la capacidad calorífica del aluminio como función de la temperatura.*

Como el calor específico no es invariante frente a la temperatura, se extraen de esta tabla dos valores teóricos concretos del calor específico del aluminio, que se encuentran cerca de los límites de temperatura a la que es sometido el trozo de aluminio, y en las cercanías del nivel del mar (condición en la que fue efectuada este experimento). Estos datos son: el correspondiente a



la temperatura de 298.15 K (25.00 °C),  $c_{al}^i$ , y el de 350 K (76.85 °C),  $c_{al}^s$ . Dichos valores serán utilizados para comparar los resultados.

### Resultado 1

El primer procedimiento entregó el siguiente valor para la constante de equivalencia en agua del calorímetro:  $k = 57.902 \pm 0.5 \left[ \frac{J}{K} \right]$

Esta constante fue utilizada en la segunda parte del experimento, para conseguir el calor específico del aluminio.

### Resultado 2

De los datos obtenidos y usando las ecuaciones (7) y (8), en adición a la constante encontrada anteriormente, se despeja la constante buscada llegando al siguiente resultado:

$$c_{al} = 1.21 \pm 0.02 \left[ \frac{J}{gK} \right]$$

Los valores teóricos del calor específico del aluminio en los límites inferior y superior de temperatura son, respectivamente:  $c_{al}^i = 0.897 \left[ \frac{J}{gK} \right]$  y  $c_{al}^s = 0.931 \left[ \frac{J}{gK} \right]$

Tomando la media de estos valores y comparando eso con el resultado obtenido, se encuentra que el valor experimental del calor específico del metal tiene un error relativo porcentual del 33%.

### Discusión y conclusiones

El presente experimento entregó un resultado de  $c_{al} = 1.21 \pm 0.02 \left[ \frac{J}{gK} \right]$  para el calor específico del aluminio, el cual cuenta con un error relativo porcentual de 33% con respecto al conocido por la teoría (el promedio de los valores  $c_{al}^i$  y  $c_{al}^s$ ). Dicho error es lo suficientemente bajo como para ser un indicativo de que los datos están bien tomados y son, por tanto, bastante representativos para las circunstancias estudiadas. También se obtuvo la constante de equivalencia en agua para el calorímetro utilizado, cuyo valor encontrado es  $k = 57.902 \pm 0.5 \left[ \frac{J}{K} \right]$ . Si bien no se puede comparar dicha constante con la teoría (ya que es particular en cada caso), sí se puede decir que, debido a los precisos resultados, es un buen acercamiento a su valor real.

Los errores propagados son muy bajos debido a dos factores: a) los propios errores de los instrumentos ya eran bajos de por sí, y b) no se realiza mucha álgebra para obtener los resultados.

Con lo anterior se puede ver que los instrumentos no son los principales causantes del error relativo porcentual existente con respecto a la teoría, así que la mayor fuente de error podría encontrarse en errores aleatorios ocurridos en el sistema. Para confirmar esto y posiblemente conseguir resultados más precisos, se podría reproducir el experimento una cantidad de veces significativa como para hacer buena estadística.

Ya que el resultado de la constante buscada es lo suficientemente cercana a sus valores teóricos para las expectativas del presente laboratorio, y considerando el apropiado desarrollo de

los datos y los bajos errores hallados, se considera que el objetivo del experimento ha sido cumplido satisfactoriamente.

### Referencias

- [1] Buyco, E. H., & Davis, F. E. (1970). *Specific heat of aluminum from zero to its melting temperature and beyond. Equation for representation of the specific heat of solids. Journal of Chemical & Engineering Data*,
- [2] [Heat Capacity: Aluminum](https://www.efunda.com/materials/elements/HC_Table.cfm?Element_ID=Al) -  
[https://www.efunda.com/materials/elements/HC\\_Table.cfm?Element\\_ID=Al](https://www.efunda.com/materials/elements/HC_Table.cfm?Element_ID=Al)
- [3] **Serway**, R. A., & Jewett, J. W. (2009). **Física**: Para ciencias e ingeniería con **Física Moderna** / Raymond A. **Serway** y John W. Jewett, Jr (7a. ed.--.).