

# CAPACIDAD CALORÍFICA

Martín Ortiz Domínguez<sup>[a]</sup>, Arturo Cruz Avilés<sup>[a]</sup>, Yira Muñoz Sánchez<sup>[a]</sup>, Francisco López Sánchez<sup>[a]</sup>

<sup>[a]</sup> Profesor Investigador de la Escuela Superior de Ciudad Sahagún en la Lic. En Ing. Mecánica-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

## OBJETIVOS

Determinar la capacidad calorífica de un líquido, a través del empleo de las ecuaciones básicas de la termodinámica, empleando un calorímetro simple, para aplicaciones reales en la industria.

## INTRODUCCIÓN

La termodinámica trata de la *cantidad* de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a *cuánto* durará ese proceso. Pero en la ingeniería a menudo estamos interesados en la *rapidez* o *razón* de esa transferencia, la cual constituye el tema de la ciencia de la *transferencia de calor*. El calor intercambiado entre un sistema y sus alrededores puede ponerse de manifiesto mediante dos efectos. En el primero, cambia la temperatura del sistema, aunque su estado físico y químico no se ve afectado por la interacción energética; en segundo, se modifica el estado físico y/o químico del sistema, pero la temperatura permanece constante. Se comprueba experimentalmente que, a igualdad de masa, los sistemas termodinámicos difieren unos de otros en la cantidad de calor que necesitan para que en ellos se produzca una misma variación de temperatura. El calor específico es una propiedad intensiva, es un valor fijo para una sustancia y no depende de la cantidad de materia. La capacidad calorífica es una propiedad extensiva, cuánto más grande es la muestra más grande es el calor que se requiere para elevar su temperatura en una cantidad dada y así mayor es su capacidad calorífica [1,2]. Se designa con el nombre de calor ( $Q$ ) a la energía en tránsito que fluye desde una parte de un sistema a otra o de un sistema a otro, en virtud únicamente de una diferencia de temperatura. Por convención se considera que  $Q$  es positivo cuando es absorbido por el sistema y negativo en caso contrario. Se denomina capacidad calorífica específica o calor específico de un sistema a su capacidad calorífica por unidad de masa o mol. La capacidad calorífica en un proceso durante el cual el sistema se somete a una presión hidrostática externa constante, se denomina capacidad calorífica a presión constante y se representa por  $C_p$ . El valor de  $C_p$  para un sistema determinado depende de la presión y de la temperatura. Si el sistema se mantiene a volumen constante mientras se le suministra calor, la capacidad calorífica correspondiente se denomina capacidad calorífica a volumen constante y se representa por  $C_v$ . Cuando se calienta un material, este experimenta un cambio de temperatura, indicando con ello un que absorbe energía. La capacidad calorífica es una propiedad que indica la capacidad de un material de absorber calor de su entorno. En términos matemáticos, la capacidad calorífica  $C$  puede expresarse como:

$$C = \frac{dQ}{dT}. \quad (1)$$

Donde  $dQ$  es la energía necesaria para producir un cambio  $dT$  en la temperatura. Normalmente la capacidad calorífica se expresa por mol de material (por ejemplo, J/mol-K; cal/mol-K). A veces se utiliza el calor específico ( $C$ ) (J/Kg-K; cal/g-K). Dentro de un intervalo de temperaturas en el cual  $C$  puede considerarse constante:

$$Q = C(T_f - T_i) = mc(T_f - T). \quad (2)$$

La calorimetría es la ciencia y la tecnología que se ocupan de medir con precisión la energía y la entalpía [3]. La transferencia de energía como calor se mide en un calorímetro, dispositivo en el que el calor transferido se monitoriza mediante la observación del cambio de temperatura que se produce y usando la capacidad calorífica del calorímetro [2]. Éste experimento se realiza a presión constante y a volumen variable, por tanto puede haber pérdidas por trabajo. El calor específico a presión constante es la variación de entalpía específica que sufre un sistema cuando a  $P = \text{cte}$  se varía su temperatura. Es una propiedad de estado del sistema por lo que existen tantos calores específicos del sistema como trayectorias se puedan definir [4].

### CALORÍMETRO

En la Figura 1 se ha esquematizado un calorímetro del tipo común, llamado generalmente el calorímetro de las mezclas. En esta figura se puede apreciar el vaso interno (1) llamado el calorímetro propiamente dicho, que generalmente es de aluminio. Este vaso está aislado del cuerpo externo del calorímetro mediante apoyos de material aislante (corcho, tergopol, etc.) en la base y los costados (3). El cuerpo externo está formado por una doble pared (2) de aluminio dentro de la cual se coloca aislante térmico para aumentar el aislamiento total del calorímetro; este material inserto entre las paredes (4) es generalmente una plancha de tergopol. El vaso interno tiene una tapa de aluminio (5) con dos orificios, para permitir el ingreso del termómetro (6) y del agitador (7). El cuerpo externo también tiene una tapa (8) con dos orificios. Para lograr que el aire dentro del calorímetro actúe como un aislante extra, es que se lo cierra con estas tapas. En los orificios se colocan burletes de goma (9) para aumentar el aislamiento con el exterior

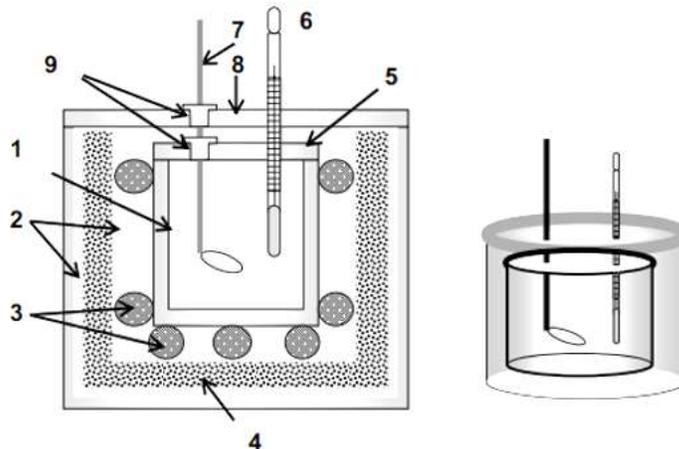
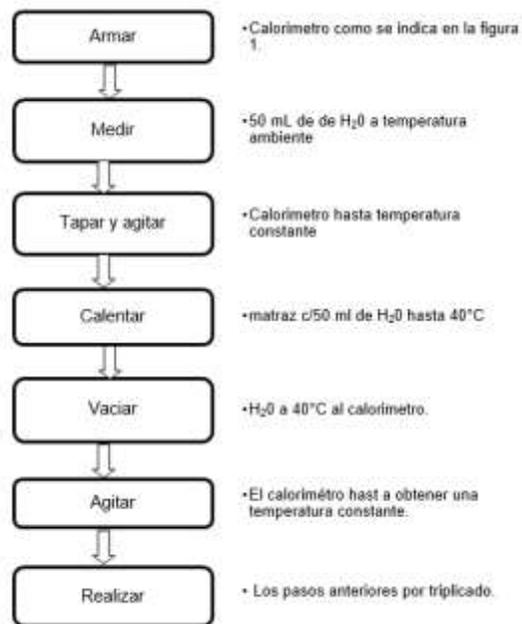


Figura 1. Esquema de un calorímetro.

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Experimento 1. Determinación de la capacidad calorífica del calorímetro.



En la Figura 2, se representa el dispositivo empleado para determinar la capacidad calorífica.

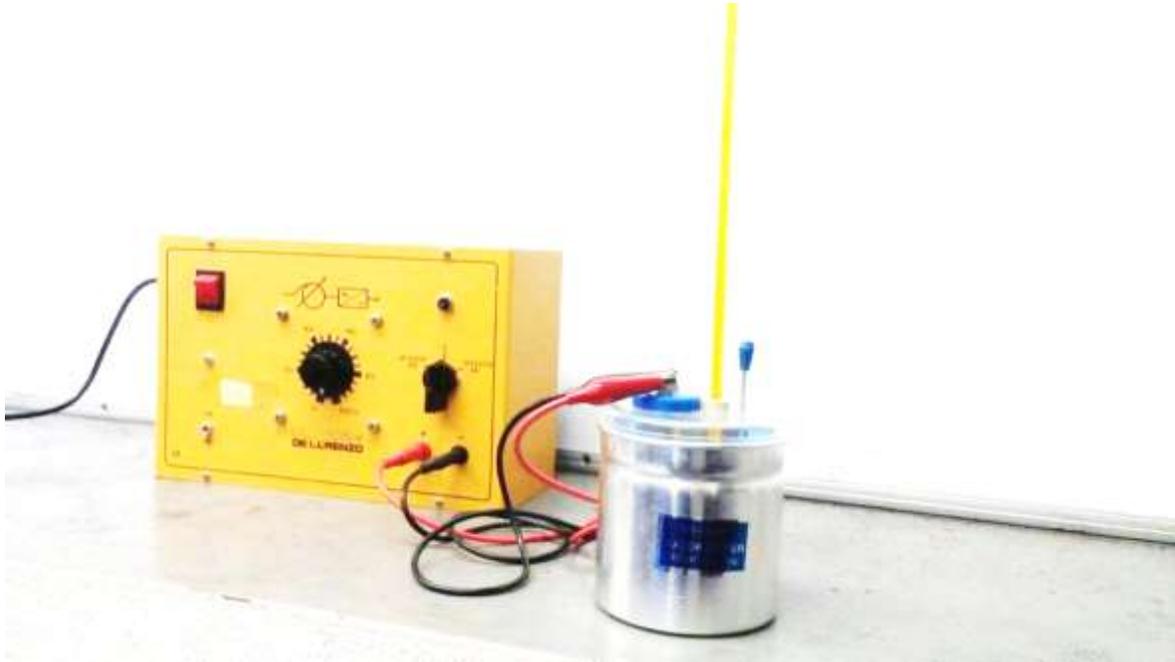
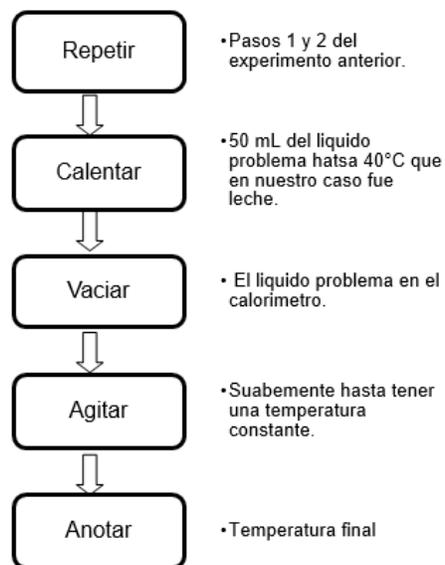
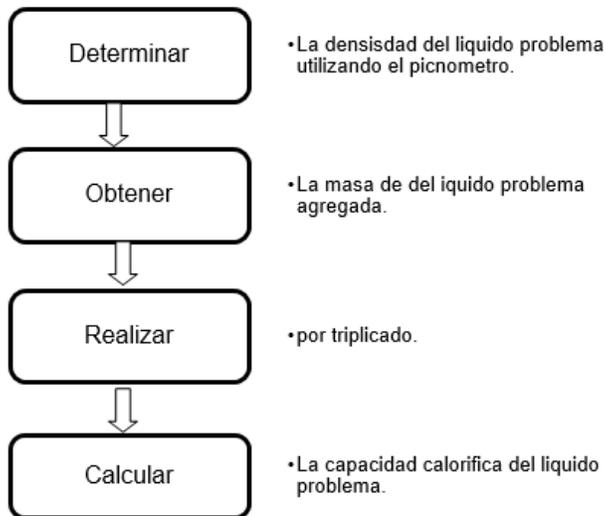


Figura 2. Arreglo experimental para la determinación de la capacidad calorífica.

Experimento 2. Determinación de la capacidad calorífica del líquido problema.



Experimento 3. Determinación de la densidad del líquido problema.



## RESULTADOS

### 1. Determinación de la capacidad calorífica del calorímetro.

Tabla 1. Datos obtenidos para la determinación de la capacidad calorífica del calorímetro.

Condiciones	Temperatura		Densidad g/mL	Volumen mL	Masa	
	°C	K			g	kg
Agua a temperatura ambiente	19.4	292.55	0.99849	50	49.8745	0.0498745
	19.7	292.85	0.99829	50	49.9145	0.0499145
	20.4	293.55	0.99829	50	49.9145	0.0499145
Agua caliente	36	309.15	0.99373	100	99.373	0.099373
	38	311.15	0.99300	100	99.300	0.099300
	41	314.15	0.99186	100	99.186	0.099186
Mezcla	29.4	302.55	0.99602	149.84	149.2475	0.1492475
	31.0	304.15	0.99541	149.90	149.2145	0.1492145
	33.0	306.15	0.99476	149.89	149.1005	0.1491005

Tabla 2. Valores obtenidos de la capacidad calorífica del calorímetro.

Experimento	C	Unidades
1	65.44	J/°C
2	48.48	J/°C
3	54.59	J/°C
Promedio	56.17	J/°C

Tabla 3. Datos obtenidos para la determinación de la capacidad calorífica del calorímetro.

Condiciones	Temperatura		Densidad g/mL	Volumen mL	Masa	
	°C	K			g	kg
Agua a temperatura ambiente	20.9	294.05	0.99808	50	49.9040	0.0499040
	20.4	293.55	0.99829	50	49.9145	0.0499145
	20.1	293.25	0.99829	50	49.9145	0.0499145
Líquido problema caliente	40	313.15	1.0225	100	102.25	0.10225
	44	317.15	1.0225	100	102.25	0.10225
	38	311.15	1.0225	100	102.25	0.10225
Mezcla	32.8	305.95	1.014 <sup>6</sup>	(150)		
	33.9	307.05	1.014	(150)		
	31.6	304.75	1.014	(150)		

\*Valor aproximado considerando que el volumen total es igual a la suma del volumen de los componentes sin considerar la variación en la densidad de la mezcla al variar la temperatura y que la suma de volúmenes de mezclas no es una propiedad aditiva.

Resultado de la suma aritmética promedio de las densidades de las soluciones iniciales. Para el caso 1,  $((0.99808 \times 50) + (1.0225 \times 100)) / 150 = 1.014 \text{ g/mL}$ .

## 2. Determinación de la capacidad calorífica (específica) del líquido problema.

Tabla 4. Valores de la capacidad calorífica específica de la leche marca Liconsa.

Experimento	C <sub>líquido problema</sub>	Unidades	
1	4.2814	J/g°C	
2	3.4437	J/g°C	
3	4.6554	J/g°C	
Promedio	4.1268	J/g°C	<b>% error</b>
[4]	3.8929	J/g°C	5.7%

[4] Alais, Ch. (1982). *Ciencia de la leche* (1ª ed.). España: Editorial Reverté. pp. 260.

Densidad

$$\rho = m / V. \quad (3)$$

Calor cedido por el agua adicionada = calor ganado por el calorímetro y el agua contenida en él.

$$C_p^{H_2O} m_2 (T_2 - T_3) = (C m_C + C_p^{H_2O} m_1) (T_3 - T_1). \quad (4)$$

Calor cedido por el líquido problema = calor ganado por el calorímetro y el agua contenida en él.

$$C_p m_3 (T_4 - T_5) = (C m_C + C_p^{H_2O} m_1) (T_5 - T_1). \quad (5)$$

#### NOMECLATURA

$T_1$  = temperatura del agua fría, °C

$T_2$  = temperatura del agua caliente, °C

$T_3$  = temperatura más alta de la mezcla de agua fría y caliente, °C

$T_4$  = temperatura del líquido problema caliente, °C

$T_5$  = temperatura más alta de la mezcla de agua fría y líquido problema caliente, °C

$m_1$  = masa del agua fría, g

$m_2$  = masa del agua caliente, g

$m_3$  = masa del líquido problema caliente, g

$C$  = calor específico del calorímetro J/g K

$C_p^{H_2O}$  = capacidad calorífica del agua, J/ g °C

$C_p$  = capacidad calorífica del líquido problema, J/g °C

#### DISCUSIONES

Para la medición de la densidad de la leche a 40°C fue necesario también determinar el peso de un volumen equivalente de agua a una temperatura conocida para luego determinar el volumen del picnómetro y la densidad de la leche, como se describe por [6]. Entonces el volumen del picnómetro resultó ser de 10.4342 mL que es mayor a los 10 mL esperados pero cercano al valor determinado por otro experimento y que se incluía etiquetado en el picnómetro, de 10.4342 mL. Así, obtuvimos una densidad para la leche de 1.0225 que comparado con los 1.030 g/mL reportados para la leche entera Liconsa tiene un % de error de sólo 0.73% [7]. La capacidad calorífica del calorímetro fue de 56.17 J/°C. Dado que el peso del calorímetro sin el termopar fue de 195 g eso nos deja un calor específico aproximado de 0.288 J/g°C que es un valor razonable y como era esperado unas 15 veces menor al del agua. Sin embargo, el calor específico al ser una propiedad intensiva solo es aplicable a sistemas homogéneos como el agua o la leche. El calorímetro no es un sistema homogéneo, por tanto no tiene caso hablar de calor específico para un calorímetro sino más bien de su capacidad calorífica. El calorímetro no se puede partir en partes que sean intrínsecamente iguales y mantengan las

propiedades originales del calorímetro, para que la medición y el concepto de calor específico tomen sentido. Una vez determinada la capacidad calorífica del calorímetro se procedió a determinar el calor específico de la leche. Como se puede observar en la sección de Memoria de Cálculos, para la  $C_p$  del agua se tomaron valores dependiendo de la temperatura a la que se encontrara ésta al inicio, porque la cantidad de calor que puede ceder un líquido depende de la temperatura a la que se encuentre y de la capacidad calorífica de ese líquido a esa temperatura. En general los valores oscilaron entre 4.178 y 4.182 J/g°C para las temperaturas trabajadas. De acuerdo a lo reportado en la Tabla 3, la densidad de la leche se consideró constante en las temperaturas de 40, 44 y 38°C e igual a la medida a 40°C para la leche. Se debió hacer una determinación de densidad para cada temperatura trabajada. Aún así no se esperaba una variación importante, pues por ejemplo para el agua la variación de densidad de 38-44°C es de 0.24%. Lo que si hubiera mejorado la precisión al respecto habría sido contar con un matraz aforado para medir el volumen exacto que se adicionaba y por ende estar más cerca de la masa real agregada o bien haber pesado 50 g en lugar de medido 50 mL. La densidad para la mezcla agua-leche se consideró el promedio aritmético aditivo de las dos densidades, es decir, considerando la contribución de cada sustancia de acuerdo a su fracción másica. Esto se tomó así porque no tiene un impacto directo el volumen o la masa de la mezcla, como se puede observar en la fórmula presentada para la determinación del calor específico en la sección Memoria de Cálculos. Como se puede observar en la Tabla 4 los calores específicos obtenidos para la leche LICONSA tuvieron un promedio de 4.1268 J/g°C y comparados con lo reportado para las leches enteras a 40°C un error de 5.7% [5]. Sin embargo, también hay que considerar que lo reportado de 3.8929 J/g°C es un promedio de mediciones en distintas marcas y clases de leche. No se pudo encontrar el valor reportado para la leche marca LICONSA, como sí se pudo encontrar su densidad. La desviación estándar para los tres experimentos fue de 0.6204 J/g°C, que comparado con el promedio, representa una desviación de 15% entre experimentos, un valor considerablemente alto. Esto se debe a que el termómetro usado para medir la temperatura del líquido calentado fue un termómetro de mercurio con una precisión de 1°C, como se puede observar en los datos recabados de las Tablas 1 y 3. Además no se quiso usar el termopar para medir la temperatura del líquido caliente para no perturbar el sistema y agregar calor proveniente del líquido en calentamiento a través del termopar. Lo que ayudaría a reducir la varianza en las mediciones presentadas sería incluir en la práctica otro termopar o un termómetro de mercurio con mayor precisión en la escala.

#### CONCLUSIONES

- Se obtuvo un valor de calor específico de la leche a 40°C de 4.1268 J/g°C que comparado con lo esperado tiene un error de 5.7%.
- El valor de la densidad obtenido de la leche a 40°C fue de 1.0225 g/mL que comparado con lo reportado en la literatura para la marca Liconsa de 1.030 g/mL se tiene un error de 0.73%.
- El valor de capacidad calorífica del calorímetro fue de 56.17 J/°C.
- Para mejorar la precisión de la práctica se requiere la adición de un segundo termopar para medir la temperatura exacta del líquido caliente, además de un matraz aforado para medir el volumen exacto de los líquidos.
- Conocer el calor específico de la leche es importante en la industria alimentaria para conocer cuánto calor es necesario agregar en los procesos de pasteurización y que éste calor sea el mínimo para reducir costo.

## REFERENCIAS

- [1] Ibáñez, M. J. A., Rodríguez, E. M., Zamorro, M. J. M. (1989) Física, Universidad de Murcia, Madrid, España: Artes Gráficas SUAREZ BARCALA, S. L.
- [2] Atkins, P.W. y Jones, L.L. (2006). *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento* (3a ed.). España: Editorial Médica Panamericana, pp. 205.
- [3] Rolle, K. (2006). *Termodinámica* (6ª ed.). México: Pearson Educación, pp. 161.
- [4] Velasco, C., Martínez, A. y Gómez, T. (2010). *Termodinámica Técnica* (1ª ed.). Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza, pp. 109.
- [5] Alais, Ch. (1982). *Ciencia de la leche* (1ª ed.). España: Editorial Reverté. pp. 260
- [6] Gattermann, L. y Wieland, H. (1937). *Laboratory Methods of Organic Chemistry* (19ª ed.). Nueva York: McMillan, pp. 14.
- [7] SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social (2007). *Manual de Normas de control de Calidad de la leche: LICONSA*, pp. 22.