

TRABAJO PRÁCTICO N° 2: Calorimetría – Equilibrio Térmico

En el presente Trabajo Práctico estudiaremos cómo es la transmisión de calor entre dos sustancias que se hallan a distinta temperatura y en contacto térmico pero no físico, y la evolución de la temperatura de cada una de ellas hasta que se alcanza el equilibrio térmico.

Pero... ¿cuándo un sistema se halla en equilibrio térmico? ¿Cuando ambas sustancias están a la misma temperatura? ¿O cuando el sistema alcanza un estado estacionario? ¿El criterio adoptado depende de si hay pérdida o absorción de calor de otras fuentes? Piensen y discutan entre ustedes qué significa que “un sistema esté en un estado de equilibrio térmico”.

El experimento que realizaremos consistirá en colocar en contacto térmico (pero sin mezclarlos) dos líquidos: agua y alcohol, inicialmente a diferentes temperaturas, y observar cómo se modifica la temperatura de cada uno de ellos a medida que transcurre el tiempo. Para llevar a cabo este experimento utilizaremos un recipiente cerrado de poliestireno expandido (EPS), cuyo interior se encuentra dividido en dos cavidades mediante una lámina de aluminio (ver Figura I).

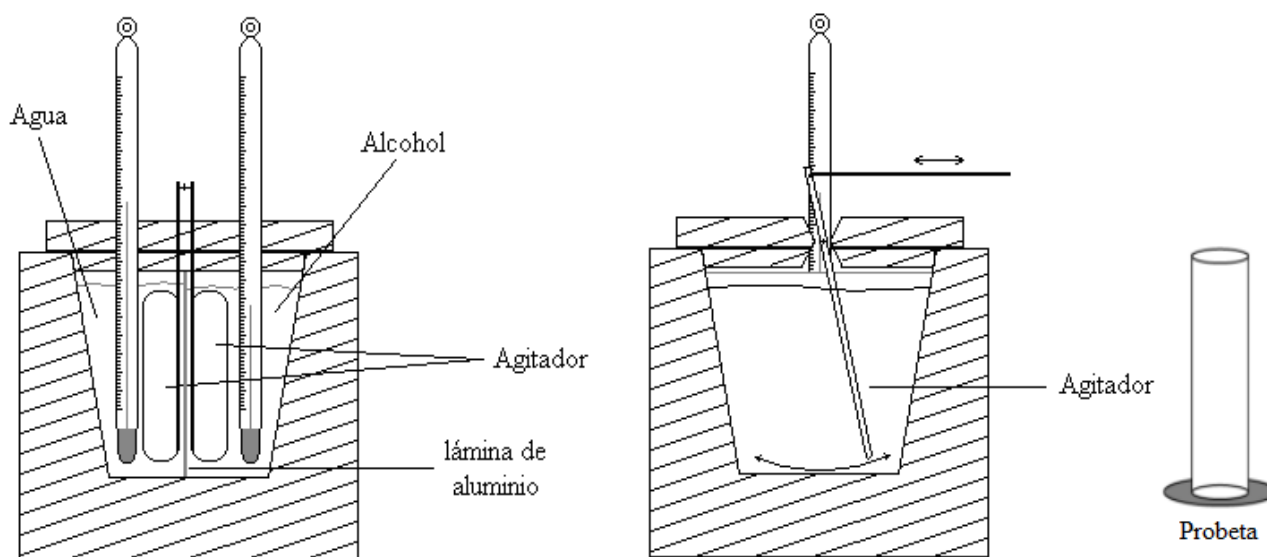


Figura I: dos vistas esquemáticas del dispositivo experimental.

Se utiliza un recipiente de este material dado que es un buen aislante, y se busca minimizar el intercambio de calor entre el interior y el exterior del recipiente. Por otra parte, consideramos que ambas cavidades se hallan en contacto térmico entre sí ya que la lámina que las separa es delgada y de aluminio, el cual es un buen conductor térmico. En una de estas cavidades colocaremos un cierto volumen de agua y en la otra cierto volumen de alcohol, inicialmente a diferente temperatura que el agua. Previamente mediremos los volúmenes de ambos con una probeta graduada. ¿Cuál es la incerteza de esta medición?

En cada cavidad introduciremos además un termómetro digital con el fin de medir la temperatura de cada uno de los líquidos y poder así registrar cómo cambia con el transcurso del tiempo. Es necesario tener en cuenta que ninguno de los líquidos presentará una temperatura uniforme en toda su extensión. Debido a características de la transmisión del calor, el líquido que inicialmente esté a mayor temperatura se enfriará más rápido en las cercanías de la lámina de aluminio, y más lentamente a medida que aumenta la distancia a ésta. Recíprocamente, el otro líquido se calentará más rápidamente en la zona de contacto con la lámina. Para homogeneizar la temperatura de cada fluido y contar así con un único valor que sea representativo de dicha magnitud utilizaremos un agitador, que consiste simplemente en dos pequeñas paletas sumergidas una en cada líquido (ver Figura 1). Como el uso del agitador y el movimiento que éste produce en el fluido podrían influir en la evolución del sistema hacia el equilibrio, mantendremos un proceso de agitación

suave y continua a lo largo de toda la experiencia. **Dada la fragilidad del dispositivo, se debe tener mucho cuidado en su manipulación.**

Efectuaremos mediciones de la temperatura a intervalos regulares de tiempo (este último lo mediremos utilizando un cronómetro) hasta que el sistema alcance el equilibrio térmico. *¿Qué fuentes de incerteza pueden considerar para ambas mediciones? Ahora bien, ¿cuándo comenzaremos las mediciones? ¿Al introducir un termómetro en un líquido, es correcto realizar la medición inmediatamente? ¿Por qué? ¿Cómo pueden asegurar que la temperatura que marca el termómetro sea la temperatura de la sustancia?*

El criterio que emplearemos para determinar que el sistema alcanzó el equilibrio térmico será que la temperatura de **ambos** líquidos permanezca constante durante tres mediciones consecutivas. *¿Qué definición de equilibrio térmico fundamenta al criterio utilizado?*

Vuelquen los resultados obtenidos en la Tabla I.

Para continuar realicen un gráfico (Gráfico I) de temperatura en función del tiempo tanto para el agua como para el alcohol, en un mismo par de ejes cartesianos, utilizando el programa Graph. Diferencien, por ejemplo utilizando colores distintos, los puntos del gráfico que corresponden a cada líquido. Analicen dicho gráfico. *A partir del mismo, ¿qué zona del gráfico representa el equilibrio térmico? ¿Cómo son las temperaturas de ambos líquidos en el equilibrio? Para intervalos de tiempo iguales, ¿la temperatura del agua varía en la misma cantidad que la del alcohol? ¿A qué se debe?* De acuerdo a los resultados obtenidos, investigaremos si los datos experimentales de cada uno de los líquidos se ajustan a una curva de tipo exponencial: $T = Ae^{-kt} + C$. Realicen este ajuste en Graph, evaluando la calidad del mismo mediante el parámetro R^2 .

El ajuste realizado nos permite obtener rectas tangentes a la curva, *¿qué representa la pendiente de la recta tangente a la curva de temperatura en función del tiempo?* Tracen tres rectas tangentes para cada curva (agua y alcohol), una al inicio del proceso, una en un punto intermedio, y otra en la zona del equilibrio térmico, y obtengan sus respectivas pendientes:

$$\begin{array}{ll} \alpha_{agua_1} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} & \alpha_{alcohol_1} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} \\ \alpha_{agua_2} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} & \alpha_{alcohol_2} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} \\ \alpha_{agua_3} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} & \alpha_{alcohol_3} = \dots\dots\dots \frac{^{\circ}C}{\text{min}} \end{array}$$

¿Cómo evoluciona la velocidad de cambio de la temperatura de cada sustancia a lo largo del experimento? ¿Cómo es la velocidad de cambio de temperatura del agua respecto a la del alcohol? ¿Resultan iguales en algún momento? ¿Con qué variable física, característica de la sustancia, podría explicar las diferencias observadas?

Finalmente, queremos estudiar cómo es el intercambio de calor entre las sustancias a lo largo del proceso. *¿Todo el calor que entrega una sustancia lo recibe la otra? ¿Qué debería pasar para que esto sea cierto?* Para investigar si durante el proceso hubo otros intercambios de calor, con el calorímetro o con el medio, plantearemos las ecuaciones de calorimetría correspondientes.

Por el principio de conservación de la energía, en todo proceso de intercambio de calor se cumple que $\sum Q_i = 0$ donde Q_i es la cantidad de calor intercambiado por cada uno de los cuerpos que intervienen en el proceso. Aplicando este principio al sistema en estudio, resulta:

$$0 = Q_{agua} + Q_{alcohol} + Q_{calorímetro} + Q_{medio}$$

donde Q_{agua} y $Q_{alcohol}$ son los calores intercambiados por cada fluido, Q_{medio} es el calor intercambiado entre el exterior y el interior del recipiente, y $Q_{calorímetro}$ es la cantidad de calor que intercambian los elementos que conforman el propio calorímetro (las superficies internas del envase, el agitador, la lámina de aluminio, etc.).

Para la duración del experimento, si consideramos que el calorímetro es adiabático y tiene capacidad calorífica despreciable, la ecuación anterior queda reducida a:

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{alcohol}} = 0$$

¿En su experimento se verifica esta última ecuación? Para responder a esta pregunta es necesario calcular los valores Q_{agua} y Q_{alcohol} , según:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T_{\text{agua}}$$
$$Q_{\text{alcohol}} = m_{\text{alcohol}} \cdot c_{\text{alcohol}} \cdot \Delta T_{\text{alcohol}}$$

donde ΔT es la variación **total** de temperatura de cada líquido y c su calor específico (ver “Datos útiles”).

Determinen la masa m de cada líquido mediante la fórmula $m = \delta \cdot V$, siendo conocidas las densidades tanto del agua como del alcohol (ver “Datos útiles”). Propaguen la incerteza de esta medición indirecta mediante la fórmula $\varepsilon m = \delta \cdot \varepsilon V$.

A continuación calculen la cantidad de calor intercambiada durante todo el proceso por cada uno de los líquidos, y propaguen incertezas mediante la fórmula $\varepsilon Q = \varepsilon m \cdot c \cdot |T_f - T_i| + m \cdot c \cdot (\varepsilon T_f + \varepsilon T_i)$.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados y considerando las incertezas correspondientes, *¿son equivalentes los valores de Q_{agua} y Q_{alcohol} ?*

Si $Q_{\text{agua}} + Q_{\text{alcohol}} = 0$, el calor que entrega el agua es absorbido completamente por el alcohol. Entonces, *¿pueden afirmar que el calorímetro es adiabático? ¿Pueden afirmar que su capacidad calorífica es despreciable?*

Si $Q_{\text{agua}} + Q_{\text{alcohol}} \neq 0$, entonces el calor que entrega el agua no es equivalente al absorbido por el alcohol. *¿Cuál de los dos calores Q_{agua} o Q_{alcohol} es mayor? ¿Los dos líquidos estudiados en conjunto entregaron calor o lo absorbieron? ¿El calor lo intercambiaron con el recipiente o con el ambiente?*

El ayudante a cargo del TP pasará a recolectar el alcohol. Por favor, dejen todo en orden en las mesadas del Laboratorio, velando por la integridad de los materiales.

Datos útiles:

Densidades de los líquidos:

$$\delta_{\text{agua}} = 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \qquad \delta_{\text{al}} = 0,79 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Calores específicos de los líquidos:

$$c_{\text{agua}} = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \qquad c_{\text{al}} = 0,58 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$



$$V_{alcohol} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots) \text{ cm}^3$$

$$m_{alcohol} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots) g$$

[illegible]

Tabla I: temperaturas del agua y del alcohol en diferentes instantes de tiempo cada medio minuto.

$$Q_{agua} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) cal$$

$$Q_{\text{alcohol}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{ cal}$$

Fecha:/...../2026

Año y división:.....

Grupo N°:.....

Firma del ayudante: