

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

GUÍA 4: TERMOMETRÍA – PROCESOS TERMODINÁMICOS**OBJETIVOS**

- Estudiar las características básicas de diferentes termómetros y sensores de temperatura. Calibrar un sensor de temperatura (termocupla). Usar el termómetro calibrado en experimentos de transferencia de calor [1].
- Familiarizarse con los distintos conceptos involucrados durante los procesos termodinámicos. Estudiar en particular el caso de un gas ideal.

PARTE 1: TERMOMETRÍA**INTRODUCCIÓN**

Cualitativamente, la temperatura está asociada a la sensación de frío y calor. Sin embargo, para poder definir operacionalmente este concepto es necesario disponer de alguna propiedad termométrica, es decir, una propiedad que varíe con la temperatura, para poder usar dicha propiedad para definir una escala de temperatura [2]. Luego, podemos definir la temperatura como aquella propiedad que miden los termómetros. El volumen de un líquido, la resistencia eléctrica de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), el voltaje de un diodo, etc., son ejemplos de propiedades termométricas.

En la actualidad existen numerosos tipos de termómetros o sensores de temperatura que pueden ser usados para diferentes aplicaciones. En la **Tabla 1** se indican algunos tipos de termómetros usuales junto a algunas de sus características más notables. Una lista más completa puede encontrarse en la Ref. [3].

En los experimentos propuestos se busca estudiar y calibrar un termómetro o sensor de temperatura respecto de un *termómetro de referencia* o *patrón*. Es una buena práctica disponer en el laboratorio de un termómetro industrial para que pueda adoptarse como “patrón local de temperatura”. Supondremos que para estos experimentos se dispone de un termómetro patrón en el laboratorio. Un simple termómetro de mercurio bien calibrado puede servir de patrón para estos experimentos.

Un termorresistor está construido con un material que presenta una variación de su resistencia eléctrica (variación de voltaje) con la temperatura. Entre los dispositivos de este tipo más usados industrialmente se encuentran las termocuplas. La termocupla se conforma con dos alambres finos de distinto material unidos. Existe una infinidad de tipos de termocuplas, siendo casi el 90% de ellas del tipo J o del tipo K.

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

Tabla 1. Tipos de termómetros y sus características básicas.

Tipo de termómetro	Rango Nominal [°C]	Costo	Linealidad	Características notables
Termómetro de mercurio en vidrio	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual
Termorresistencia (Pt, Ni) RTD (<i>Resistance Temperature Device</i>)	-100 a 600	Medio	Alta	Exactitud
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible
Integrado lineal		Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistemas de toma de datos
Termómetro de gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

ACTIVIDADES

A) Calibración del termómetro

En el laboratorio se cuenta con termocuplas de tipo K asociados a electrónica adecuada, de manera de poder leerse con un sistema de adquisición de datos por computadora. El sensor está alimentado con una corriente estable I y la variación de la resistencia se mide a través de la variación de la tensión, $V = I.R$ (ley de Ohm). De esta manera, con el sistema de toma de datos podemos registrar en tiempo real las variaciones de temperatura del entorno que estudiamos mediante mediciones de tensión eléctrica.

Obtener la curva de calibración de una termocupla

Para esto, se debe colocar en un mismo baño térmico la termocupla y un termómetro calibrado que se usará como patrón (termómetro de mercurio). Los registros de la tensión de salida de la termocupla serán registrados con el *MotionD.A.Q.*

- Representar gráficamente la tensión de salida de la termocupla (V) como función de la temperatura medida. Mediante un ajuste de los datos experimentales, obtener la función de calibración de la termocupla $T(V)$.

B) Constante de tiempo del termómetro

Se desea estudiar la "constante de tiempo" de la termocupla ya calibrada. Para llevar a cabo este estudio se usará dos recipientes, uno con agua fría y otro con agua caliente. Sumergir la termocupla en el agua fría y esperar que se establezca su temperatura (temperatura T_1). Luego, retirar del agua y rápidamente pasar la termocupla al recipiente con agua caliente (temperatura T_2). Debe medir la temperatura en función del tiempo del evento hasta que el

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

termómetro haya alcanzado una temperatura final de equilibrio. La constante de tiempo τ_1 puede definirse, por ejemplo, como el tiempo que tarda el termómetro en cambiar su temperatura desde su temperatura inicial $T(t=0) = T_1$ hasta una temperatura $T(t = \tau_1)$ tal que cumpla con $T(t = \tau_1) - T_1 \sim 0,7 \times (T_2 - T_1)$, es decir cuando el cambio de temperatura corresponde aproximadamente al 70% del cambio total de $(T_2 - T_1)$. Finalmente, analizar cualitativamente de qué factores puede depender el tiempo característico de un dado termómetro.

C) Ley de enfriamiento de Newton

El enfriamiento del cuerpo corresponde a su tránsito hacia el *equilibrio térmico* con la masa de aire circundante. Si el enfriamiento se produce debido a la convección natural del aire en la superficie del cuerpo, el ritmo de transferencia de calor entre el termómetro y el aire se describe de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = hA(T - T_0) \quad (1)$$

donde h se conoce como el coeficiente de convección de la transferencia de calor, A es el área de contacto entre el cuerpo (a la temperatura T) y el medio circundante (a T_0). Igualando la ecuación (1) al ritmo de pérdida del calor del cuerpo, dado por:

$$\dot{Q} = -mc \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

donde m es la masa del cuerpo y c su calor específico, se obtiene una ecuación para describir el enfriamiento, queda:

$$mc \frac{dT}{dt} = -hA(T - T_0) \quad (3)$$

La solución de esta ecuación diferencial, sujeta a las condiciones $T(t=0) = T_i$ (temperatura inicial del cuerpo) y $T(t \rightarrow \infty) = T_0$, es:

$$T(t) = T_0 + (T_i - T_0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \quad (4)$$

que se conoce como *ley de enfriamiento de Newton*. El parámetro τ_2 es la *constante de tiempo del enfriamiento*, y es fácil demostrar que:

$$\tau_2 = \frac{mc}{hA} \quad (5)$$

y depende de propiedades del cuerpo (m , c , A) y del medio que lo contiene (h).

- 1) Recubrir el termómetro calibrado (termocupla) con una pelotita compacta de unos 2 ó 3 cm de diámetro de papel de aluminio, de formar de que quede bien anclada térmicamente al sensor. Calentar el cuerpo hasta unos 70 °C y dejar que se enfríe naturalmente en contacto con el aire circundante. Durante el enfriamiento medir la temperatura en función del tiempo.
- 2) Representar gráficamente los datos experimentales en distintos gráficos:

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

- T en función de t (considere escalas lineales y semilogarítmicas)
- $T - T_0$ en función de t
- 3) Analizar si el enfriamiento del cuerpo estudiado puede ser descrito mediante la *Ley de enfriamiento de Newton*.
- 4) Determinar el parámetro τ_2 usando las representaciones gráficas.
- 5) Si hay discrepancias entre el modelo propuesto y sus datos experimentales, analizar a qué factores pueden deberse [3].

Parte 2: Procesos termodinámicos**Introducción**

Al someter a un sistema a un cambio de su estado termodinámico A mediante la variación de alguna de sus variables termodinámicas, el estado final B dependerá del proceso con el que se alcanzó este nuevo estado. Durante estos procesos será necesario realizar trabajo sobre el sistema y/o intercambiar calor con el mismo para llevarlo de A a B, que involucrará una variación de la energía interna del sistema.

Casi todos los gases, incluyendo el aire, pueden considerarse ideales para presiones (P) menores a 3 atm. En estas condiciones, la relación entre la presión (P), el volumen (V), la temperatura (T) y el número de moles (N) del gas para un estado podrá describirse por la ecuación 6:

$$PV = NRT \quad (6)$$

donde R es la constante universal de los gases.

En particular, puede resultar interesante estudiar aquellos cambios de estados que se llevan a cabo mediante procesos en los cuales es posible mantener constante alguna de las variables termodinámicas en cuestión. Algunos de estos procesos más conocidos son:

- **Isotérmico:** la temperatura del sistema se mantiene constante durante el proceso, es decir $T_A = T_B$. Esto es posible si se le permite al sistema intercambiar calor con un medio circundante a temperatura T_A , permaneciendo en equilibrio térmico con el mismo durante todo el proceso.
- **Isocórico:** el volumen del sistema se mantiene constante durante el proceso, es decir $V_A = V_B$.
- **Isobárico:** la presión del sistema se mantiene constante durante el proceso, es decir $P_A = P_B$.
- **Adiabático:** El sistema está aislado térmicamente durante el proceso y no le es posible intercambiar calor con el medio circundante.

Preguntas para pensar antes de pasar al experimento:

- Teniendo un gas ideal en un estado A dado, ¿cómo procederían para llevar a cabo cada uno de estos procesos? ¿Cuál es el rol del medio circundante en cada caso?
- ¿Cómo sería cualitativamente el gráfico de P en función de V en cada proceso? ¿y T en función de V?

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

- Una vez alcanzado el estado B, ¿es posible volver al A? ¿qué proceso realizarían? ¿en que casos y bajo qué condiciones podrían decir que el proceso $A \rightarrow B$ realizado es reversible? ¿Cómo quedaría el gráfico P-V del proceso $A \rightarrow B \rightarrow A$ en cada caso?

ACTIVIDADES

En el dispositivo de la **figura 1** se tiene un erlenmeyer tapado y conectado, por un lado a una jeringa, y por otro a un sensor de presión. Este sensor entrega una diferencia de potencial que es proporcional a la variación de presión que está sensando. La jeringa permitirá modificar el volumen del aire encerrado dentro del dispositivo. A su vez el pistón de la jeringa está unido a una resistencia eléctrica R. El valor de R varía linealmente entre cero y R máximo entre los extremos de la resistencia (puntos A y B en la **figura 1**), al mover su cursor solidario al pistón. Si se aplica una diferencia de potencial eléctrico constante entre A y B, y se mide la diferencia de potencial entre uno de estos puntos (A ó B) y el cursor, se obtendrá una tensión que será proporcional al volumen de la jeringa. Las diferencias de potencial del sensor de presión y de la resistencia variable se pueden adquirir simultáneamente mediante el Sensor DAQ, obteniendo así la variación de volumen y presión del aire dentro del dispositivo.

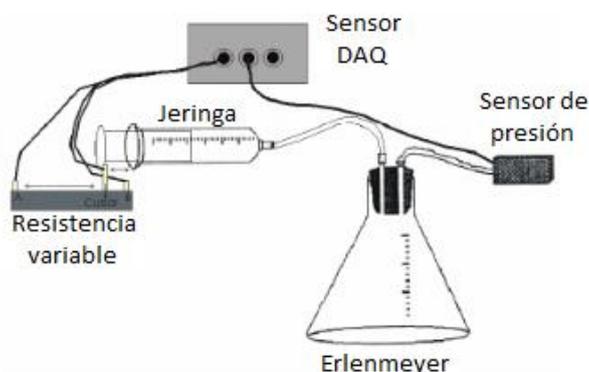


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental.

Atención: Es posible utilizar este dispositivo sin el erlenmeyer, en ese caso la misma variación de volumen en la jeringa producirá una variación más violenta de la presión (¿Por qué? ¿Qué mejoras introduciría este cambio en el experimento?). Consulten cuál es el rango de trabajo del sensor de presión. Ya que en caso de excederse de la presión máxima pueden deteriorar e incluso destruir el sensor.

Previamente a empezar a trabajar, es necesario conocer la calibración de ambos sensores para poder realizar mediciones de presión en función del volumen. ¿Cómo calibrarían el “sensor de volumen”, teniendo en cuenta que la diferencia de potencial medida en la resistencia variable es proporcional a la posición del pistón de la jeringa? En caso de ser necesario, ¿Cómo calibrarían el sensor de presión? ¿Qué dos valores usarían como “presiones patrón”?

a) Procesos isotérmicos: ¿Cómo estudiarían con este dispositivo una compresión isotérmica? ¿Y una expansión isotérmica? ¿Es posible comprimir/expandir reversiblemente?

b) Procesos adiabáticos: ¿Es posible realizar con el mismo dispositivo compresiones y expansiones adiabáticas? ¿Bajo que condiciones experimentales debe realizarse este proceso?

LABORATORIO DE FÍSICA II

(Biólogos y Geólogos)

Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

¿En que se tiene que diferenciar del experimento del ítem (b)? ¿Es posible comprimir/expandir reversiblemente en este caso?

En cada caso: ¿Bajo que condiciones experimentales debe realizarse el proceso? ¿Cuáles son las hipótesis que están proponiendo durante la realización de cada experimento? ¿Qué cuidados deben tener? ¿Cuáles son las principales fuentes de incertezas?

Además: Grafiquen la presión en función del volumen para los distintos procesos estudiados. Propongan que esperarían según el modelo propuesto para un gas ideal. Analicen y discutan cualitativamente lo obtenido.

c) Explore la posibilidad de combinar ambos procesos (isotérmico y adiabático) llevando al sistema a distintos estados de P y V. ¿Es posible mediante combinaciones de los dos procesos volver al estado inicial?

Referencias

[1] S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*, Prentice Hall, Buenos Aires (2001) (www.fisicarecreativa.com) y referencias citadas.

[2] Para ver aspectos históricos del concepto de temperatura se puede consultar el sitio <http://www.unidata.ucar.edu/staff/blynds/acerca.html>.

[3] P. Childs, J. Greenwoods and C. Long, "Review of temperature measurements", *Rev. Sc. Instrum.* **71**, 2959 (2000).