

## PRÁCTICA Nº 2

### Convección. Ley de enfriamiento de Newton

**OBJETIVOS:** Comprobar experimentalmente la ley de enfriamiento de Newton mediante la observación del enfriamiento de varios cuerpos de diferentes materiales con idéntica geometría. Obtener el “*tiempo característico*”  $\tau_0$  para el enfriamiento de cada cuerpo. Calcular el coeficiente de convección  $h$ .

**MATERIAL:** Cilindros de igual tamaño y forma de diferentes materiales metálicos. Funda protectora. Soporte. Nuez. Termopares de NiCr-Ni (sondas). Registradores de temperatura. Cronómetro. Mechero de alcohol. Pinzas de madera.

### Fundamento teórico

Newton (1641-1727) observó que al calentar al rojo un bloque de hierro y tras retirarlo del fuego, el bloque se enfriaba más rápidamente cuando estaba muy caliente y más lentamente cuando su temperatura se acercaba a la temperatura ambiente. Sus observaciones dieron lugar a lo que hoy conocemos con el nombre de *ley de enfriamiento de Newton*. Dicha ley expresa la velocidad de enfriamiento de un cuerpo y establece que la rapidez de variación de temperatura es proporcional a la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el medio que le rodea y se puede escribir como:

$$\frac{dT}{d\tau} = -k(T - T_0) \quad (1)$$

Donde  $\tau$  representa el tiempo,  $T$  la temperatura instantánea del cuerpo,  $T_0$  la temperatura ambiente y  $k$  una constante que define el ritmo de enfriamiento. Esta constante depende del medio, de la naturaleza del cuerpo, de su masa y forma y de las características de su superficie.

Si el cuerpo se enfría a partir de una temperatura inicial  $T_i$  hasta  $T_0$ , la integración de la expresión (1) representa la evolución de la temperatura:

$$\int_{(T_i - T_0)}^{(T - T_0)} \frac{dT}{(T - T_0)} = - \int_0^\tau k d\tau \quad \text{obteniéndose } (T - T_0) = (T_i - T_0)e^{-k\tau}$$

$$\text{o bien: } \frac{(T - T_0)}{(T_i - T_0)} = e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} \quad \text{tomando logaritmos } \ln(T - T_0) = \ln(T_i - T_0) - \frac{\tau}{\tau_0} \quad (2)$$

### Constante de tiempo

El parámetro  $\tau_0 = (1/k)$  se denomina *tiempo característico* o *constante de tiempo de enfriamiento* y nos da una idea de la rapidez de enfriamiento. Representa el tiempo de respuesta del sistema, es decir, el tiempo que tarda el material en alcanzar la temperatura del medio circundante.

$$\tau_0 = \frac{m \cdot c_p}{h \cdot A} = C_T \cdot R_T \quad (3)$$

$$C_T = m \cdot c_p = \rho \cdot V \cdot c_p = \text{Capacidad térmica}$$

$$R_T = \frac{1}{h \cdot A} = \text{Resistencia térmica}$$

$$L = \frac{V}{A} = \text{Longitud característica}$$

## Procedimiento experimental

Partiendo de un cilindro previamente calentado se deja enfriar hasta una temperatura determinada y se mide el tiempo que tarda en alcanzar dicha temperatura.

Se dispone de dos cilindros de materiales distintos de igual forma y tamaño (Figura 1). Las medidas se repetirán para cada cilindro. Mientras esté calentando uno de los cilindros puede aprovechar para medir la masa  $m$  del otro cilindro y sus dimensiones con el fin de calcular el volumen,  $V$ .

Cubrir con la funda protectora para evitar el ennegrecimiento y calentar el conjunto mediante la llama del mechero hasta que alcance unos  $270^{\circ}\text{C}$  (Figura 2).

Apagar el mechero y retirar la funda protectora con las pinzas de madera (Figura 3). La temperatura aún subirá ligeramente. Al empezar a bajar y cuando alcance la temperatura que tenía al apagar el mechero, poner en marcha el cronómetro y tomar medidas de la temperatura  $T$  y temperatura ambiente ( $T_0$ ) a intervalos de 5 segundos; luego cada 10, 20 y 30 segundos (dependiendo de la velocidad del enfriamiento) hasta que baje de los  $100^{\circ}\text{C}$ .



Figura 1

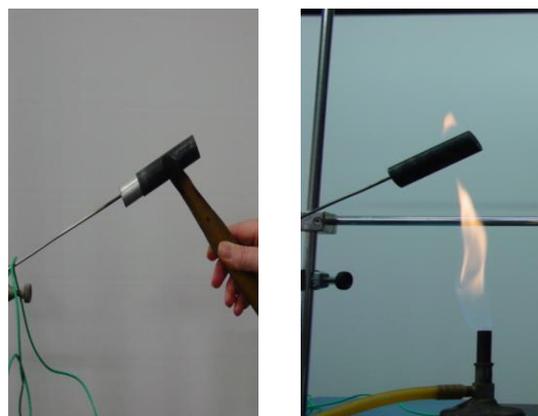


Figura 2



Figura 3

## Cálculos y resultados

Para cada cilindro, construir una tabla anotando el tiempo,  $\tau$ , las temperaturas,  $T$  y  $T_0$ , las diferencias de temperatura,  $\Delta T$  y su logaritmo neperiano,  $\ln(\Delta T)$ .

	<i>Cilindro 1/Cilindro 2</i>			
$\tau$ (s)	$T$ (°C)	$T_0$ (°C)	$T-T_0$ (°C)	$\ln(T-T_0)$

Representar en una gráfica la diferencia de temperaturas ( $\Delta T$ ) frente al tiempo ( $\tau$ ) y en otra el  $\ln(\Delta T)$  frente al tiempo ( $\tau$ ). Mediante el ajuste lineal de ésta última obtener la constante de proporcionalidad,  $k$  de la ley de enfriamiento y calcular el tiempo característico ( $\tau_0$ ) de cada cilindro. Comentar y explicar las diferencias en los enfriamientos de los distintos cilindros.

A partir de las medidas de la masa y dimensiones de cada cilindro, calcular su densidad y compararla con los valores encontrados en la bibliografía.

Buscar el valor del calor específico ( $C_p$ ) y obtener la capacidad térmica ( $C_T$ ) de cada cilindro.

Estimar un valor del coeficiente de convección ( $h$ )

## ANEXO

### USO DEL SENSOR COBRA SMART SENSE CON UN PC

#### Ajustes previos

- 1º. Encienda el ordenador y cuando termine el arranque, ponga en marcha el sensor (pulsación larga) para establecer la conexión bluetooth con el PC. Este segundo paso no es necesario si el sensor se conecta al ordenador por medio de cable USB.
- 2º. Abra la aplicación “**measureApp**” que se encuentra en el escritorio del PC. La primera pantalla muestra por defecto, la opción “**medir**” en la columna izquierda.



Figura 1. Pantalla inicial de la aplicación measureApp en PC

- 3º. En el menú **Sensores/Dispositivos** seleccione el código de su sensor. Este código se encuentra en la parte posterior y está compuesto por los **cuatro últimos caracteres** del código de nueve dígitos.

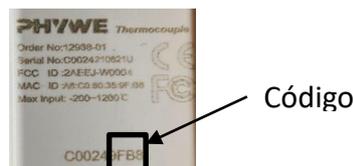


Figura 2. Localización del código en la parte posterior del sensor

- 4º. En el menú **Configuración/Tasa de muestreo** elija el valor más pequeño posible (1 Hz). Para guardar los ajustes pinchar en **Salvar**.

## Lectura y grabación de datos

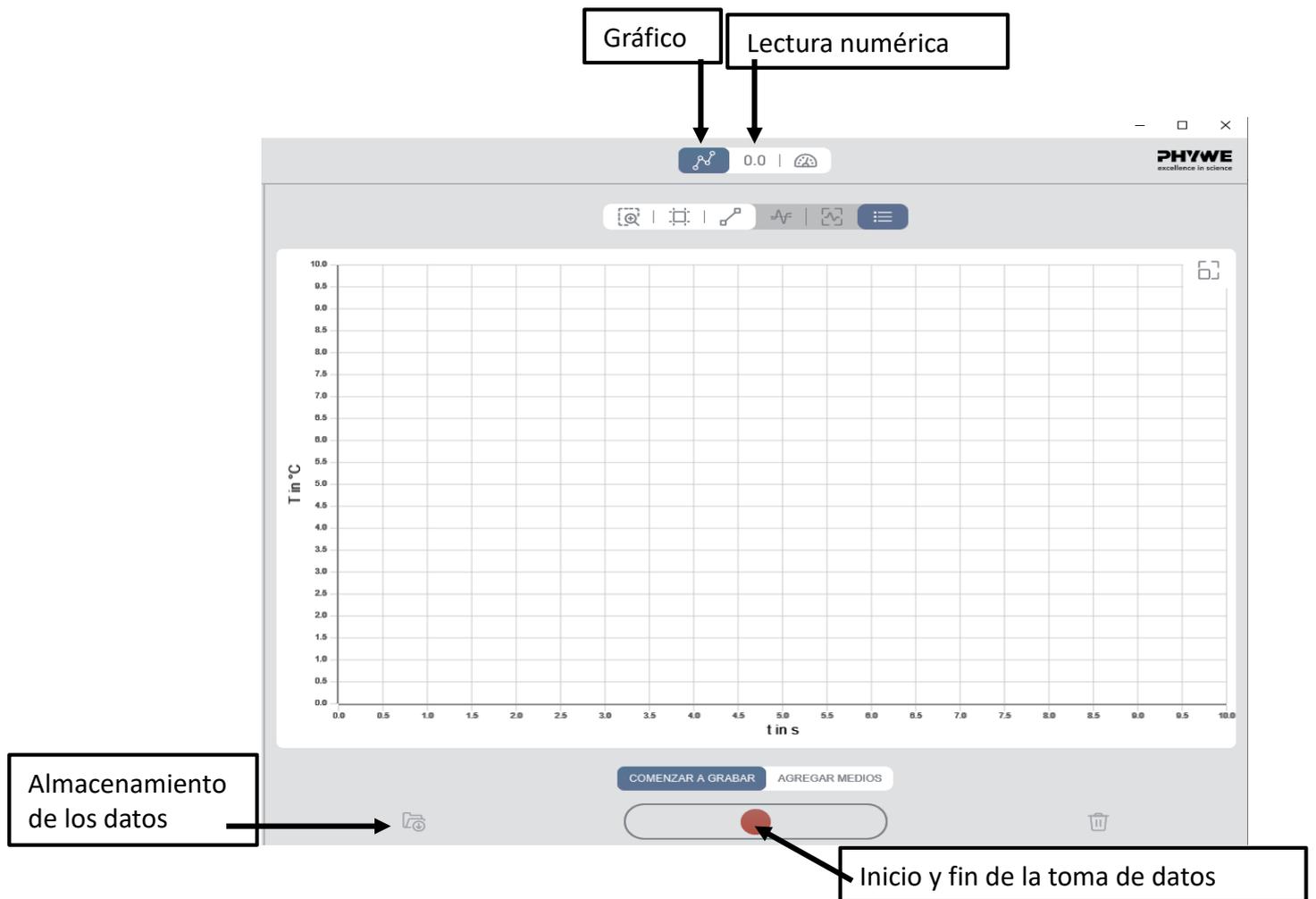
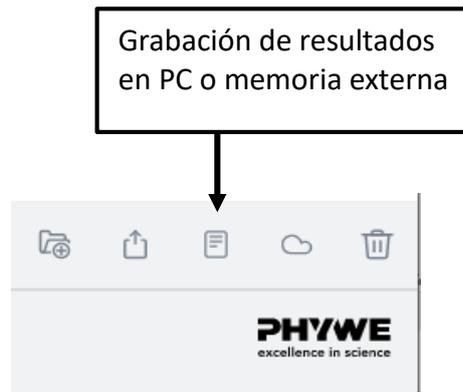


Figura 3. Zona de gráfico

- En la zona del gráfico pulse el icono “0,0” (parte superior del gráfico) para ver la temperatura que está registrando el sensor. Puede alternar en todo momento la vista de **gráfico/lectura numérica** escogiendo los iconos correspondientes en la parte superior.
- Pulse el botón rojo de la parte inferior de la pantalla para empezar a grabar los datos. Pulse de nuevo el botón rojo para interrumpir la toma de datos.

## Almacenamiento de los datos

- 1º. Pulse en el **icono de carpeta** (parte inferior de la pantalla) para que el programa almacene los datos tomados No olvide este paso pues de lo contrario, NO SE CONSERVARÁN LOS DATOS DEL EXPERIMENTO.
- 2º. Pulse **Gestionar/Mis mediciones/ThermoCouple** en el menú principal (izquierda de la pantalla) para guardar los resultados.
- 3º. Pulse en el icono de **Grabación de resultados** (parte superior de la pantalla del gráfico). Debe nombrar el fichero añadiendo al nombre elegido la extensión **.txt.** y después pulse guardar.



*Figura 4. Almacenamiento de los datos a memoria*

Cuando haya terminado de guardar sus datos, pulse en el icono de **papelera** para eliminar los resultados.

## USO DEL SENSOR COBRA SMART SENSE CON UN SMARTPHONE CON CONEXIÓN BLUETOOTH Y LA APP “measureAPP” INSTALADA

### Ajustes previos

1º. Active bluetooth en su Smartphone, encienda el sensor y abra la aplicación “measureAPP”

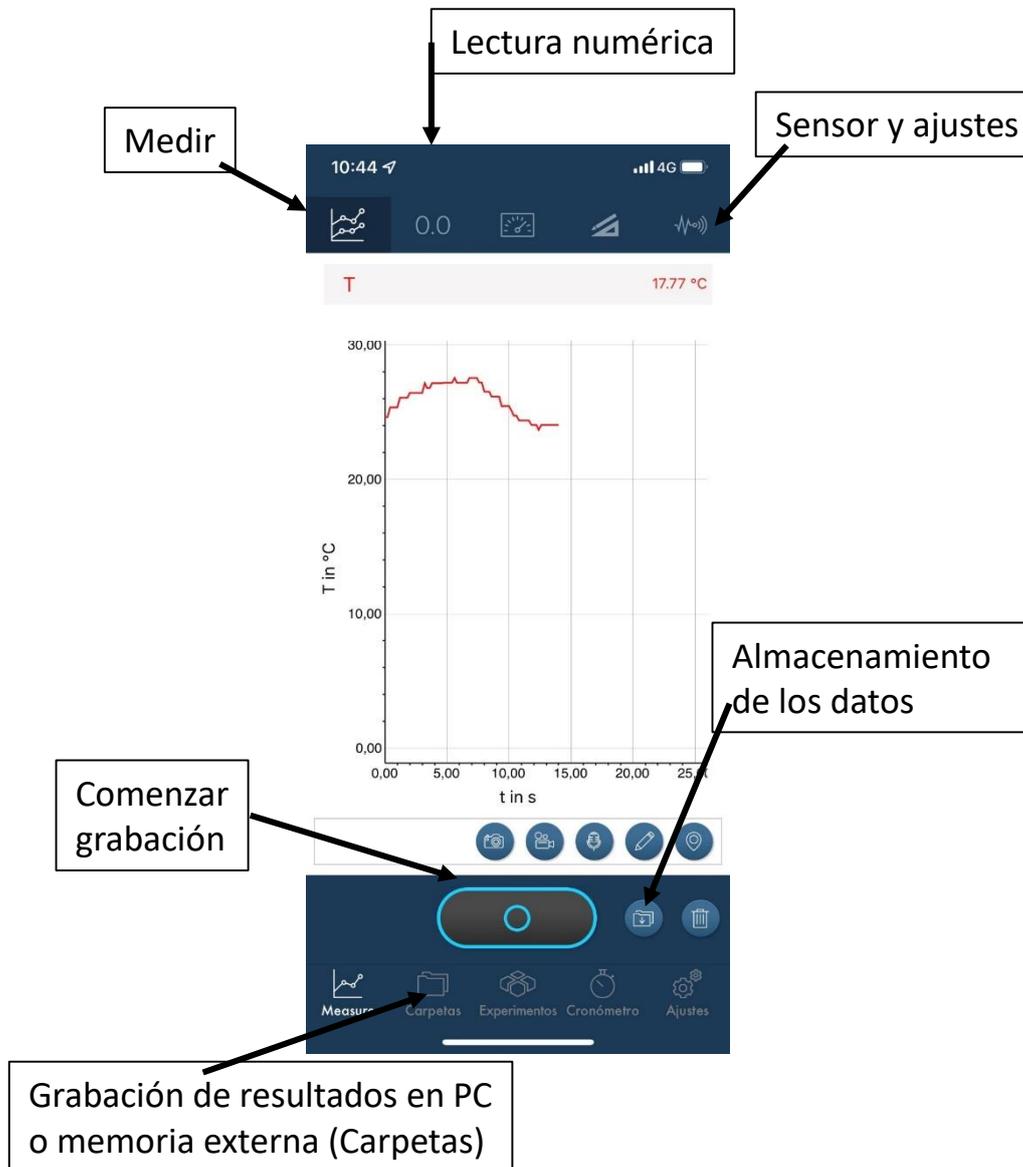


Figura 5. Pantalla inicial de la aplicación measureApp en Smartphone

Por defecto, aparece la pantalla correspondiente al icono medir, de la barra inferior.

2º. Pulse en **Sensor y ajustes**, escoja **Sensor** y marque la casilla con el código de su sensor (ver apartado 3º de ajustes previos).

### Lectura y grabación de datos

- Escoja **Ajustes/Frecuencia de muestreo** y elija el valor más pequeño posible (1 Hz).
- En la parte superior del gráfico, puede pulsar el icono **0,0** para ver la temperatura que está registrando el sensor.

### Almacenamiento de los datos

- 1º. Pulse en el **icono de carpeta** (Almacenamiento de los datos) para que el programa almacene los datos tomados. No olvide este paso pues de lo contrario, **NO SE CONSERVARÁN LOS DATOS DEL EXPERIMENTO**.
- 2º. Para guardar los resultados pulse en el icono **Carpetas/Mis mediciones/ThermoCouple** del menú principal (parte inferior de la pantalla inicial). Aparecerá el gráfico y una tabla con todos los datos tomados, más abajo.
- 3º. Pulse en el icono **Envío de datos** en la parte superior de la pantalla. Puede enviar el archivo por correo electrónico o elegir almacenarlo en otro destino. El archivo toma, por defecto, la extensión **“txt”**.



*Figura 6. Almacenamiento de datos a memoria*

Cuando haya terminado de guardar sus datos, pulse en el icono de **papelera** para eliminar los resultados.