



**CENTRO ASOCIADO UNED DE CIUDAD REAL  
SEDE DE VALDEPEÑAS**

**CIENCIAS AMBIENTALES  
PRACTICAS DE BASES FÍSICAS DEL MEDIO AMBIENTE**

## 1. INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACION DEL CUADERNO DE LABORATORIO.

El cuaderno de laboratorio es el lugar donde se debe plasmar todo el proceso intelectual que se ha realizado para la consecución de un experimento de cualquier especialidad. Este informe debe tener una cualidad principal: la claridad, evitando en la medida de lo posible las grandes parrafadas, en favor de esquemas y diagramas que cuenten lo mismo más resumida y ordenadamente.

Dicho proceso intelectual consta de tres partes fundamentales:

1º El estudio bibliográfico de las operaciones y procesos que se van a utilizar, las reacciones que se van a producir y los medios (material, reactivos, aparatos) que se van a emplear.

2º Desarrollo del experimento en sí. Se habrá de tener sumo cuidado de ir anotando en el laboratorio, todo cuanto se vaya observando durante los procesos que se realicen, para que a la hora de pasar el cuaderno en casa no se olviden datos importantes.

3º Cálculos y resultados. Es la aportación más original del alumno, pues aquí debe plasmar los resultados obtenidos en el experimento y hacer un comentario autocrítico de los mismos, exponiendo si ha tenido algún error, porqué y como lo ha subsanado.

Los cuadernos de prácticas deben seguir la siguiente pauta:

### 1. Encabezamiento

- Práctica propuesta.
- Nombre y categoría del profesor que la propone.
- Fecha                      Lugar

### 2. Objetivo de la Práctica

Exponer en pocas líneas y lo más claramente posible qué se pretende conseguir con el experimento (sintetizar, purificar, destilar o caracterizar una sustancia, comprobar una ley química o física, etc).

### 3. Introducción teórica

Se expondrán esquemáticamente las bases y conocimientos que hacen falta para la realización del experimento:

- Reacciones que tendrán lugar.
- Propiedades de los reaccionantes y productos.
- Condiciones de la reacción.
- Utilidades.
- Deducción de las fórmulas a utilizar o a comprobar.
- Procesos de relevancia que se van a utilizar.
- Etc.

### 4. Material

Listado de material, productos e instrumentos que se van a utilizar con sus especificaciones correspondientes: volúmenes y división del material volumétrico (p.ej. probeta de 50 mL graduada en divisiones de 5 mL, cronómetro con divisiones de 0,1 s); pureza, densidad, punto de fusión o ebullición de los productos; marca, modelo y unidades de lectura de los instrumentos (p.ej. Balanza Precisa mod. 201 con precisión de 0,1 mg).

### 5. Trabajo Experimental

Se indica de forma escueta, clara y ordenada todos los pasos que se van siguiendo en el laboratorio, concretando bien las medidas que se deben realizar (tiempos, pesos, temperaturas, longitudes, respuestas de aparatos... todos con sus correspondientes unidades y su error) y los métodos experimentales seguidos. Se deben anotar todos los cambios que se vayan observando y explicar el porqué de los mismos. Siempre se deben adjuntar esquemas o dibujos de los montajes realizados.

### 6. Cálculos y resultados

En este apartado se indican todos los resultados obtenidos lo más claramente posible, a través de tablas, gráficas o esquemas.

Siempre que haya que realizar operaciones con dichos resultados se deben poner claramente las fórmulas utilizadas y las unidades de cada magnitud. No obstante, cuando se deban reiterar los cálculos aplicando una misma fórmula, se expone como ejemplo uno de ellos y el resto se presenta en forma de tabla.

En este apartado es imprescindible, además, realizar el cálculo aproximado de errores tal y como se expone más adelante.

### 7. Respuesta a los ejercicios propuestos

Cuando se proponen preguntas o ejercicios a lo largo del libro de prácticas, se deben responder, anotando antes el enunciado de cada cuestión.

### 8. Conclusiones

Es aquí donde se deben autocriticar los resultados obtenidos, valorando los errores cometidos en cada paso e indicando las circunstancias que han podido influir en los mismos.

Cuando el objeto de la práctica es hallar una constante conocida siempre se deberá comparar nuestro resultado con su valor conocido, valorando la magnitud del error cometido en su determinación de la forma:

$$Error(\%) = \frac{|Valor\ calculado - Valor\ teórico|}{Valor\ teórico} \times 100$$

## 2. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

### 1. Medida de magnitudes y su error

El valor medido en el laboratorio de cualquier magnitud (temperatura, tiempo, longitud, peso,...) viene siempre acompañado de un error total, suma de tres tipos de errores: accidentales, sistemáticos y de escala.

Los únicos que se pueden controlar directamente son los errores de escala ya que dependen únicamente de la resolución del instrumento de medida. Así, salvo indicaciones del constructor, este error se estima como la mitad de la unidad que corresponde a las divisiones más próximas de la escala.

*EJEMPLO: Medimos una longitud con un regla dividida en milímetros.*

*Medida:  $L = 12,5 \text{ cm} = 125 \text{ mm}$ .*

*Error absoluto (EA):  $\Delta L = 0,5 \text{ mm}$  (mitad de la división más pequeña de la escala de la regla)*

*Así pues la medida la debemos expresar como:  $125,0 \pm 0,5 \text{ mm}$ .*

### 2. Cálculo de errores.

La expresión de los resultados de las medidas de las distintas variables de una experiencia de laboratorio es la parte fundamental del informe de prácticas. Para ello no sólo es necesario obtener los resultados correctos sino que, para que el informe sea completo, hay que expresarlos con sus cifras significativas acompañados del cálculo del error correspondiente. El cálculo de los errores se puede realizar por diversos métodos, aunque siempre que nos sea posible lo haremos mediante la aproximación estadística.

#### 2.1. Aproximación diferencial.

En ciertas experiencias de laboratorio sólo nos es posible realizar una medida de las variables que intervienen en el proceso por lo que no se puede aplicar el cálculo estadístico de errores y se debe recurrir al cálculo aproximado.

El método diferencial consiste en aplicar una serie de criterios aproximados para calcular el error total una vez conocidos los errores de escala de los aparatos de medida utilizados y las funciones de cálculo que se van a aplicar con dichas variables. Estos criterios se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1

FUNCIÓN	ERROR
$y = u \pm v$	$\Delta y = \Delta u + \Delta v$
$y = u \cdot v$ $y = u / v$	$\epsilon y \epsilon = \epsilon u + \epsilon v$
$y = a x^n$ (a = constante)	$\epsilon y = n \epsilon x$
$y = \ln x$	$\Delta y = \epsilon x$
$y = \log x$	$\Delta y = 0,5 \epsilon x$

En cualquier caso se debe tener en cuenta que el cálculo de errores por el método diferencial es un cálculo aproximado y por ello no hay que complicarlos innecesariamente:

- Cuando existen grandes diferencias en las magnitudes de los errores de las variables que se manejan, se pueden despreciar aquellas contribuciones menos significativas.

- El error de cada variable se redondea a la primera cifra significativa.

#### EJEMPLO:

Se quiere calcular el coeficiente de absorción molar ( $E$ ) del  $\text{CuSO}_4$ . Para ello realizamos una disolución 0,1M del sulfato ( $c$ ) pesando 19,1670 g en balanza analítica y disolviendo hasta 1 litro en un matraz aforado. Medimos la absorbancia ( $A$ ) de dicha disolución en cubeta de 1 cm de paso óptico ( $l$ ) y aplicamos la ley de Beer:  $A = E l c$ .

#### Resultados:

Cálculo del coeficiente de absorción molar  $E$

$$A = 0,501 = E l c = E (\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}) 1 (\text{cm}) 0,1 (\text{mol L}^{-1})$$

$$E = \frac{A}{l \cdot c} = \frac{0,501}{1 \text{ cm} \cdot 0,1 \text{ mol L}^{-1}} = 5,01 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Cálculo de errores

$$C = \frac{g/Pm}{V}$$

Error de la concentración:

$g = 19,1670 \pm 0,00005$ (1/2 última cifra de la escala)	$\varepsilon (g) = 0,00026 \% \approx 0,0003 \%$
$Pm = 191,67 \pm 0,005$ (1/2 última cifra)	$\varepsilon (Pm) = 0,0026 \% \approx 0,003 \%$
$V = 1 \text{ L} \pm 0,0005$ (definido por el fabricante)	$\varepsilon (V) = 0,05 \%$

El cálculo del error de la concentración sería:  $\varepsilon (C) = \varepsilon (g) + \varepsilon (Pm) + \varepsilon (V)$ , no obstante los errores del peso molecular y de la pesada de la balanza se pueden despreciar frente al error de medida del volumen, por tanto:  $\varepsilon (C) = \varepsilon (V) = 0,05 \%$  y el error absoluto de la concentración sería:

$$\Delta C = \frac{\varepsilon (C) \times C}{100} = \frac{0,05\% \times 0,1 \text{ M}}{100} = 0,00005$$

De esta forma los valores de las variables necesarias para el cálculo del coeficiente de absorción molar y sus errores son los siguientes:

VARIABLE	MEDIDA $\pm$ ERROR ABSOL.	ERROR RELAT. (%)
Absorbancia ( $A$ )	$0,501 \pm 0,0005$ ½ última cifra de escala	$0,0998 \approx 0,1$
Long. Cubeta ( $l$ )	$1 \pm 0,01 \text{ cm}$ error definido por fabricante	1
Concentración ( $c$ )	$0,1 \pm 0,00005$	0,05

El error cometido en el cálculo del coeficiente de absorción molar podría aproximarse al resultado de la siguiente función:  $\varepsilon (E) = \varepsilon (A) + \varepsilon (l) + \varepsilon (C)$ . Podemos despreciar el error relativo de la concentración al ser más pequeño que los otros dos, por lo que:

$$\varepsilon (E) = \varepsilon (A) + \varepsilon (l) = 1,1 \%$$

$$\Delta C = \frac{\varepsilon (C) \times \varepsilon}{100} = \frac{1,1\% \times 5,01}{100} = 0,055 \approx 0,06$$

El resultado de la experiencia se expondrá como:  $E = 5,01 \pm 0,06 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

## 2.2. Cálculo estadístico de errores.

En las experiencias de laboratorio en las que se busca un resultado numérico de una variable, dependiente de la medida de otras relacionadas, se deben reiterar (siempre que sea posible) dichas medidas un número determinado de veces ya que, según la teoría estadística, la media aritmética de todas las medidas efectuadas es el valor representativo y más fiable de la variable medida (reemplaza al valor verdadero). No obstante, la media es sólo una aproximación al valor verdadero, tanto mejor cuanto mayor sea el número de medidas realizado.

La precisión de las medidas, es decir lo mucho o poco que se aproximan a la media, puede expresarse de varias formas:

Desviación media:

$$\delta = \frac{\sum(x_i - \bar{x})}{n} = \frac{\sum d_i}{n}$$

Varianza:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\sum d_i^2}{n-1} = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}$$

Desviación típica o desviación estándar (S): raíz cuadrada de la varianza. En las calculadoras científicas suele aparecer como  $\sigma_{n-1}$ .

Desviación típica de la media

$$S_m = \frac{S}{n^{1/2}}$$

De forma general, se pueden expresar los resultados de las medidas efectuadas mediante la media de las mismas y su error mediante la desviación típica de la media:  $X \pm S_m$ : En este caso los resultados se expresan con un nivel de confianza del 68 %, es decir, que existe un 68 % de probabilidad de que entre los límites de confianza [ $X - S_m$ ,  $X + S_m$ ] se encuentre el valor verdadero. No obstante, es más aconsejable utilizar el criterio:  $X \pm 2S_m$ , en el que el nivel de confianza es del 95 %.

Estas consideraciones son válidas cuando el número de medidas es grande, cuando este número es pequeño ( $n < 30$ , que es lo más habitual en prácticas) los valores de  $S_m$  fluctúan mucho y, en vez de utilizar la distribución normal resulta más adecuado el uso de la distribución de la **t de Student**. En este caso los límites (o intervalo) de confianza se expresa como:  $X \pm t \cdot S_m$ ; donde t es un factor de corrección (llamado t de Student) que se halla en la Tabla 2, dependiendo del nivel de confianza elegido y de los grados de libertad de la variable (número de medidas menos 1).

*EJEMPLO:* Para aplicar el cálculo estadístico de errores en el ejemplo anterior podríamos haber realizado cualquiera de las dos experiencias siguientes:

a) Medir varias veces la absorbancia de distintas disoluciones de  $\text{CuSO}_2$  0,1 M preparadas independientemente.

b) Preparar disoluciones 0,01; 0,05; 0,1 y 0,15 M, por ejemplo, medir su absorbancia y calcular E.

Realizando la segunda experiencia obtenemos la siguiente Tabla de resultados:

C ( $\pm 0,00005$ )	A ( $\pm 0,0005$ )	E ( $\pm 0,06$ )
0,01	0,046	4,60
0,05	0,258	5,16
0,1	0,502	5,02
0,15	0,750	5,00

Aplicando la estadística:

<i>i</i>	<i>x<sub>i</sub></i>	<i>x<sub>i</sub><sup>2</sup></i>
1	4,60	21,16
2	5,16	26,63
3	5,02	25,20
4	5,00	25,00
$\sum x_i = 19,78$		$\sum x_i^2 = 97,99$

$$X = 19,78/4 = 4,95 \quad \sum (x_i)^2 = (19,78)^2 = 391,25$$

$$S = ( (97,99 - 391,25/4) / (4 - 1) )^{1/2} = 0,245 \quad S_m = (0,245/\sqrt{4}) = 0,12$$

$$t \text{ (Tabla 2: 95\% de probabilidad y 3 grados de libertad)} = 3,182$$

$$X \pm t \cdot S_m = 4,97 \pm ( 3,182 \cdot 0,12 ) = 5,0 \pm 0,3$$

Podemos observar que el error calculado es mayor que el obtenido en el ejemplo anterior ya que en este caso hemos obtenido el error de medida debido a los aparatos (error de escala, que es el calculado anteriormente por aproximación diferencial) más el error del operario al preparar las distintas disoluciones (error accidental). Además hemos de fijarnos que el resultado final se expresa únicamente con las cifras significativas.

TABLA 2. Límites de confianza de la distribución de Student: valores de *t* (n=número de medidas efectuadas)

Grados de libertad	NIVEL DE CONFIANZA		
	n-1	90%	95%
1	6,314	12,706	63,657
2	2,920	4,303	9,925
3	2,353	3,182	5,841
4	2,132	2,776	4,604
5	2,015	2,571	4,032
6	1,943	2,447	3,707
7	1,895	2,365	3,499
8	1,860	2,306	3,355
9	1,833	2,262	3,250
10	1,812	2,228	3,169
11	1,796	2,201	3,106
12	1,782	2,179	3,055
13	1,771	2,160	3,012
14	1,761	2,145	2,977
15	1,753	2,131	2,947
20	1,725	2,086	2,845
25	1,708	2,060	2,787
30	1,697	2,042	2,750
50	1,678	2,009	2,678
100	1,660	1,984	2,626
∞*	1,645	1,960	2,576

\* Valores iguales a los de la distribución normal

### 3. Redondeo de cifras

Una vez que hemos obtenido una medida y su error debemos expresarla correctamente, únicamente con sus cifras significativas, es decir con todos los dígitos ciertos y el primero afectado por el error

De esta forma, las medidas 3,07 m y 3,070 m no son iguales ya que cada una tiene un error diferente.

$$3,07 \text{ m} = 3,07 \pm 0,05 \text{ m}$$

$$3,070 \text{ m} = 3,070 \pm 0,005 \text{ m}$$

Por tanto una vez que se ha obtenido la medida de una magnitud y su error, debe redondearse hasta la primera cifra afectada por dicho error.

EJEMPLOS:

$$7,56128 \pm 0,02 \text{ -----} \rightarrow 7,56 \pm 0,02$$

$$7,56128 \pm 0,1 \text{ -----} \rightarrow 7,6 \pm 0,1$$

$$4,137 \pm 0,05 \text{ -----} \rightarrow 4,14 \pm 0,05$$

$$25.051,2 \pm 50 \text{ -----} \rightarrow (250,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$$

### 4. Desestimación de observaciones

A veces, en un conjunto de medidas aparece alguna que difiere mucho de las demás, y debería rechazarse. No hay un método aceptado generalmente para tomar esta decisión pero podemos tomar en la práctica el método  $2 S_m$ ; es decir, que todas las medidas que estén fuera del intervalo  $x \pm 2 S_m$  son rechazadas.

Si utilizamos la distribución de Student, se pueden despreciar aquellas medidas que estén fuera del intervalo  $\bar{X} \pm t \cdot S_m$ .

Una vez rechazada las medidas debe volver a hallarse  $\bar{X}$ ,  $S$ ,  $S_m$  y  $t$

EJEMPLO:

En el caso anterior el intervalo de confianza obtenido es  $\bar{X} \pm t \cdot S_m = (4,7; 5,3)$  por lo que se podría desestimar la primera medida (4,60). Si volvemos a realizar los cálculos con las tres medidas válidas obtendremos:

$$\bar{X} \pm t \cdot S_m = 5,06 \pm 0,09$$

### 4. Gráficas

En muchos casos, el objetivo de las medidas es descubrir o comprobar una posible relación entre dos magnitudes  $X$  e  $Y$ . En esta situación es conveniente emplear una grafica en la que se representen las parejas de valores  $(x_j, y_j)$  cuyo análisis facilitaría el estudio de la mencionada relación. A la hora de representar una gráfica, seguiremos las siguientes normas generales:

- Se usará papel milimetrado o, si se tiene acceso, uno de los múltiples programas de ordenador diseñados a tal efecto.

-Cada gráfica tendrá un título, en el que se indique de forma clara y breve lo que se pretende representar con dicha gráfica. Si los datos numéricos se encuentran en una tabla aparte, conviene hacer referencia a la misma.



- Los ejes de la gráfica deben rotularse claramente con el nombre de la magnitud física y las unidades en las que se expresa. A su vez, deben incluirse divisiones que faciliten la interpretación de los datos.
- Los límites de cada eje, al igual que el origen de coordenadas, deben elegirse cuidadosamente de tal manera que los datos se distribuyan sobre toda la gráfica (impidiendo que aparezcan apelmazados en una parte de la misma). Así, el origen no tiene porque ser, necesariamente, el cero de ambas magnitudes.
- Los puntos correspondientes a una pareja de datos deben marcarse explícitamente, destacándolos con un símbolo (por ejemplo  $\bullet$ ,  $\odot$ ,...). Debe indicarse el error experimental en la toma de los datos mediante una o dos barras de error. Así, si el error del valor  $y_j$  resulta ser  $\varepsilon_y$ , se situará un segmento vertical de longitud  $2 \varepsilon_y$  (en las unidades determinadas en el eje de ordenadas, naturalmente) centrado en el punto que representa la pareja de datos. Análogamente se procede con el error del valor  $x_j$  usando un segmento horizontal de longitud  $2 \varepsilon_x$ .
- Por último, si procede, hay que trazar la curva que representaría la relación existente entre  $X$  e  $Y$  calculando los parámetros relacionados por el método de los mínimos cuadrados: coeficiente de correlación, pendiente, ordenada en el origen y sus errores.

El método de mínimos cuadrados calcula la recta ( $y = A + B x$ ) de regresión que hace que la suma de distancias de los puntos experimentales a dicha recta sea mínima, es decir que se aproxima más a dichos datos experimentales. De esta forma se obtienen los valores de la ordenada en el origen ( $A$ ) y de la pendiente ( $B$ ) de dicha recta y sus correspondientes desviaciones estándar. Además se obtiene el coeficiente de regresión  $- r^2$  - que varía de 0 a 1. Este valor nos da una idea de lo que se aproximan nuestros puntos a una recta. Generalmente se acepta que valores mayores de 0,90 para  $- r^2$  - quieren decir buena aproximación. No obstante el cálculo de regresión por mínimos cuadrados se hace demasiado complicado y sólo se aplica cuando se dispone de calculadora o programa informático con esta aplicación. Con el software Excel existe una aplicación que calcula la recta de regresión por mínimos cuadrados a partir de la gráfica de dispersión de los datos ( $x,y$ ) y la Herramienta de Análisis de Datos de Regresión calcula todos los parámetros de la regresión.

#### EJEMPLO:

Realizamos medidas de la elongación de un muelle en función del peso colocado en su extremo para hallar la constante de la Ley de Hooke:  $F = K \cdot L$

$F$ (N)	$L$ (cm)	$K = F/L$ (N/cm)
10	20,2	0,495
20	39,8	0,503
30	60,1	0,499
40	78,0	0,513

- Si aplicamos la distribución de Student obtenemos:

$$\begin{aligned}
 &\text{Media: } 0.5023 \\
 &\text{Desviación estándar: } 0.0076 \\
 &\text{Desviación estándar de la media: } 0.003798 \\
 &t \text{ Student para } n-1=3: 4,303 \\
 &t \cdot S_m = 0.016 \\
 &K = 0,50 \pm 0,02
 \end{aligned}$$

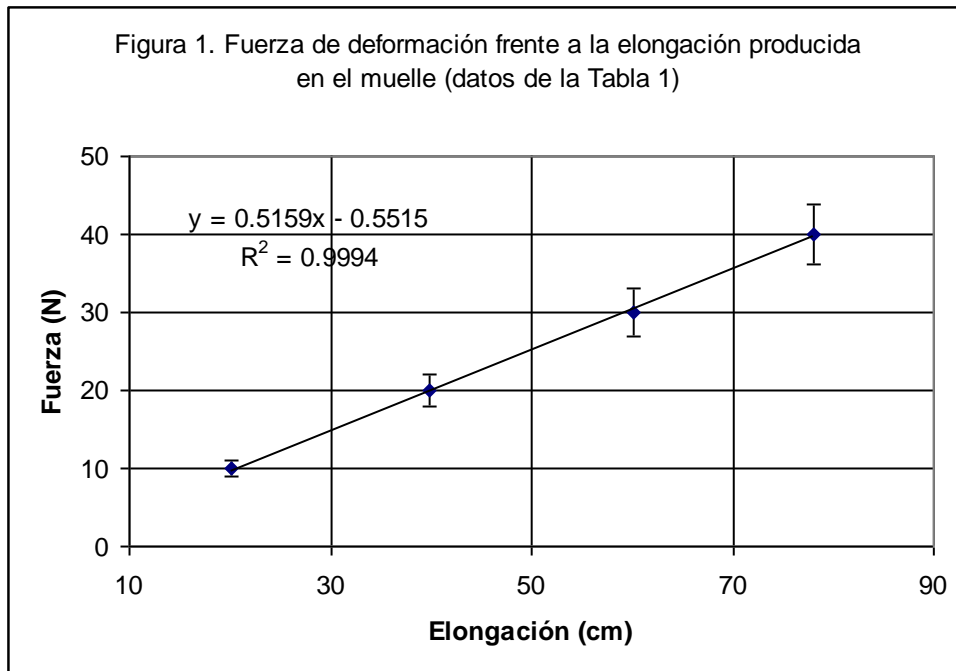
El valor se puede calcular también gráficamente, hallando la pendiente de la recta conseguida:  $\text{pendiente} = \Delta y / \Delta x$  o por el método de mínimos cuadrados, que nos da los valores A y B de la recta  $F = A + K \cdot L$  siendo B la pendiente y A la ordenada en el origen, además del coeficiente de regresión

- Aplicando mínimos cuadrados a los datos anteriores obtenemos:

$$A = -0,552 \text{ Desviación estándar: } 0.50$$

$$K = 0,516 \text{ Desviación estándar: } 0.009$$

$$r = 0,9994$$



## Práctica 1

### PÉNDULO SIMPLE.

#### Objeto.

Estudiar las ecuaciones que rigen el movimiento armónico descrito por un péndulo simple.

Comprobar que el movimiento de un cuerpo bajo la acción de la gravedad es independiente de la masa del cuerpo.

Comprobar la dependencia del periodo de un péndulo de su longitud.

Determinar la aceleración de la gravedad utilizando un péndulo simple.

#### Fundamentos.

Se denomina péndulo simple al conjunto formado por una masa puntual y un hilo inextensible y de masa despreciable (del cual ésta cuelga), suspendido de un punto superior. Los péndulos reales o físicos utilizan masas que, por muy pequeñas que sean, no son puntuales.

El péndulo simple, pese a su sencillez, es un sistema físico que permite comprobar algunos principios físicos muy generales así como la validez y los límites de algunas aproximaciones matemáticas muy utilizadas.

En este sistema la energía potencial se transforma en energía cinética y viceversa, debido a la acción de la fuerza gravitatoria  $F = mg$  que ejerce la Tierra sobre la masa  $m$ . Como resultado se obtiene un movimiento oscilatorio que se puede describir a partir de los siguientes conceptos: los siguientes parámetros:

Una oscilación completa o ciclo es el desplazamiento de la masa desde uno de sus extremos más alejados hasta el otro y vuelta. Es decir, dos oscilaciones sencillas.

Periodo,  $T$ , es el tiempo que tarda la masa en realizar la oscilación completa.

Frecuencia,  $f$  es el número de oscilaciones realizadas por unidad de tiempo ( $f = 1/T$ ).

Amplitud,  $A$ , es el máximo valor de la distancia al punto de equilibrio. Depende del ángulo  $\alpha$  entre la vertical y el hilo.

Cuando el péndulo, después de recibir un ligero impulso inicial, oscila libremente, pero apartándose muy poco de la posición de equilibrio, su masa describe trayectorias prácticamente lineales, y su movimiento equivale con gran aproximación a un movimiento armónico simple. Este puede definirse por varias de sus propiedades. Una de ellas es que la elongación o distancia a la posición de equilibrio  $x$ , satisface la condición

$$m \frac{dx^2}{dt^2} + k x = 0$$

donde  $m$  es la masa del móvil y  $k$  una constante llamada recuperadora, que multiplicada por la elongación es igual en cada instante a la fuerza recuperadora.

Se demuestra también, en la correspondiente teoría analítica, que la función de la elongación que satisface a la anterior condición y que, por tanto, define un movimiento vibratorio armónico es de la forma

$$x = A \cos(\omega t + \delta)$$

donde  $A$ ,  $\omega$  y  $\delta$  son constantes. El tiempo invertido por el móvil en realizar una oscilación completa en un movimiento armónico simple se llama periodo y satisface la relación

$$T = 2\pi / \omega$$

cumpléndose además

$$\omega^2 = k / m$$

En el caso del péndulo la teoría pone de manifiesto que el periodo está definido por la condición

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \left[ 1 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 \text{sen}^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1\cdot3}{2\cdot4}\right)^2 \text{sen}^4 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1\cdot3\cdot5}{2\cdot4\cdot6}\right)^2 \text{sen}^6 \frac{\alpha}{2} + \dots \right]$$

Cuando las oscilaciones no son demasiado grandes, puede realizarse la aproximación  $\sin \alpha \approx \alpha$ . de forma que la expresión anterior se reduce considerablemente si las oscilaciones tienen una amplitud pequeña. En tal caso es una buena aproximación considerar

$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \quad (1)$$

que implica que el periodo no depende de la masa, ni de la amplitud de las oscilaciones, sino de la longitud y del valor de  $g$ .

El valor de la aceleración de la gravedad es pues

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (2)$$

y su determinación experimental puede realizarse midiendo el valor del periodo correspondiente a una longitud conocida.

Para deducir las expresiones anteriores, las únicas fuerzas presentes que se emplean son las gravitatorias. Sin embargo, en el sistema físico actúan otras fuerzas sobre el cuerpo además de la gravedad. Por ejemplo, actúa el empuje hidrostático del aire, y sobre todo el rozamiento, que tiende a frenar el cuerpo y disminuir la amplitud de las oscilaciones. Esto no cambia el periodo, pero puede dificultar en la práctica su medida si las oscilaciones se hacen rápidamente muy pequeñas. Por eso, en la práctica es conveniente tomar masas que no sean pequeñas.

Además, el hilo del que está suspendido el cuerpo tiene inevitablemente una masa. Si esta masa del hilo fuera apreciable frente a la del cuerpo, el centro de masas total del sistema estaría ligeramente por encima del cuerpo y la longitud efectiva del péndulo sería algo menor que la longitud del hilo.

No cabe esperar resultados muy precisos en la medida de  $g$ , con los medios experimentales que en este equipo se utilizan. Con el presente equipo se deberá intentar que el porcentaje de error sea inferior al 0,1%. Se intentará, como contrapartida, conocer el error relativo de la medida.

De conformidad con los conceptos sobre la teoría de errores, el error relativo cometido en la determinación de  $g$  queda expresado por

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T} \quad (3)$$

en donde  $\Delta g$ ,  $\Delta l$  y  $\Delta T$  son los valores absolutos de las imprecisiones o errores en las medidas de  $g$ ,  $l$  y  $T$  respectivamente. Los cocientes que figuran en la anterior relación están expresados

en tantos por uno, pero es más corriente hacerlo en tantos por ciento, multiplicando al efecto la razón por 100.

El error relativo es un número adimensional.

### Procedimiento experimental.

Sobre un pie con varilla larga se sitúa horizontalmente la varilla roscada, de cuyo extremo se suspende el péndulo mediante hilo. La longitud del hilo se elige arbitrariamente pero, para no cometer un error relativo muy grande en la medida de la longitud y para que el péndulo se atenga más fielmente a la ecuación (2), es recomendable que su longitud sea grande: por ejemplo del orden de 1,5 metros.

#### 1. Dependencia con la longitud del péndulo.

Se mide la distancia desde el punto de suspensión hasta el centro de la esfera (que coincide sensiblemente con el llamado centro de oscilación). Al medir la longitud el error cometido (en el caso más desfavorable) podría ser del orden de 5 mm, lo que significa que si la longitud total es de un metro el error relativo es del orden de 0,005, o sea del orden del 0,5%.

El contador se situará en la posición de medida de periodos –tres pasos por la barrera fotoeléctrica- si el tiempo medido no sobrepasa los 9,99s o en la posición de semiperiodos –dos pasos- si lo sobrepasa. Separado el péndulo ligeramente (unos 20 grados) de su posición de equilibrio se le deja oscilar libremente. Se deja que pase varias veces por el contador mientras se comprueba que el movimiento es totalmente rectilíneo, y se pone a cero el contador. Se anota el periodo de oscilación en estas condiciones. Se repite la medida 5 veces para obtener media y desviación estándar.

Podemos estimar que al medir el tiempo con el contador digital cometemos una imprecisión ( $\Delta T$ ) del orden de 0,001 segundo.

Se repite lo mismo para otras 5 longitudes de hilo (no obstante antes de cambiar la longitud se puede realizar el apartado 2 con la longitud actual).

Determinados  $l$  y  $T$  por el método indicado, se calcula  $g$  por la expresión (2).

Se calcula la imprecisión  $\Delta g$  que viene dada por (3) y se tabulan los resultados como indica la Tabla. Si se ha operado correctamente se ha de cumplir

$$(g - \Delta g) < 9,8 \text{ ms}^{-2} < (g + \Delta g) \quad (3)$$

$l$ (m)	$\Delta l/l$	$T$ (s)	$\Delta T/T$	$g$ ( $\text{ms}^{-2}$ )	$\Delta g$ ( $\text{ms}^{-2}$ )

Constrúyase una gráfica de periodos ( $T$ ) frente a longitudes ( $l$ ) y otra tomando las longitudes como abscisas y los cuadrados del periodo como ordenadas. Ajustese la recta mediante el método de mínimos cuadrados.

Los puntos de esta segunda representación pertenecen a una línea recta.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l \quad (4)$$

Cuya pendiente será

$$\text{Pendiente} = \frac{4\pi^2}{g} \quad (5)$$

Calcúlese  $g$  a partir de esta pendiente.

### **2. Dependencia con la amplitud de oscilación.**

Hacer los mismos pasos anteriores pero con amplitudes de oscilación de  $45^\circ$  o mayores. Comparar los periodos así obtenidos con los obtenidos para amplitudes pequeñas.

Constrúyase una gráfica de  $(T^2)$  en el eje  $y$  frente a longitudes ( $l$ ) en el eje  $x$ . ¿La pendiente de la recta es mayor o menor?

### **3. Dependencia con la masa.**

Repetir los pasos con una masa  $m$  distinta. ¿Se obtienen los mismos resultados?

### **Cuestiones**

Compare de forma crítica los valores de  $g$  obtenidos tanto a partir de las medidas individuales de cada experimento como el calculado a partir de la pendiente con el valor teórico de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

¿Observa alguna dependencia de la incertidumbre de la medida indirecta de  $g$  respecto a la longitud del péndulo,  $l$ ?

**Practica 2.****CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA BOBINA PLANA CIRCULAR.****Objetivo.**

Estudiar las variables que intervienen en el campo magnético creado por una bobina plana circular y determinar la componente horizontal del campo magnético terrestre.

**Fundamentos teóricos.**

El campo magnético creado por una espira circular en su centro viene dada por la ecuación:

$$B_o = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (\text{weber} / \text{m}^2)$$

Siendo  $\mu_0$  la permeabilidad magnética del medio ( $4\pi \times 10^{-7}$  weber/amperio·m)  
 $I$  la intensidad de la corriente que circula por ella  
 $R$  el radio de la espira.

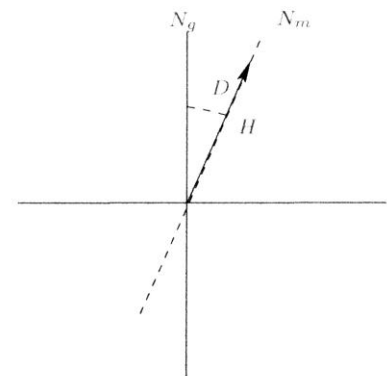
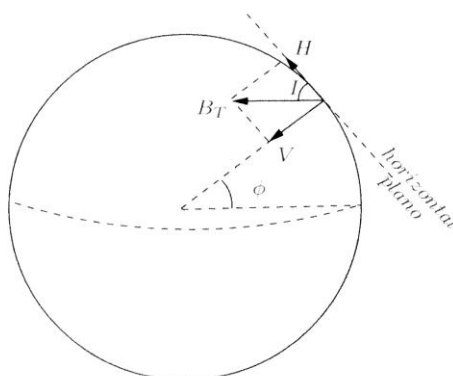
$$1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$$

Si se trata de una bobina plana formada por  $n$  espiras, la fórmula anterior se convierte en:

$$B_o = \frac{\mu_0 n I}{2R}$$

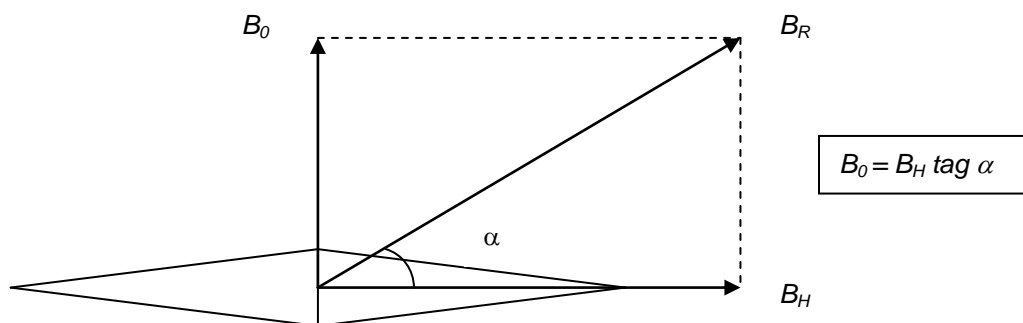
Cuando por la bobina no circula ninguna corriente, la aguja imantada del aparato estará sometida únicamente a la componente horizontal de la inducción terrestre, además de las eventuales inducciones parásitas.

El campo magnético terrestre es aproximadamente igual al campo generado por un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra. En un punto  $P$  de la superficie terrestre de latitud geográfica  $\varphi$ , el campo magnético  $B_T$  se puede descomponer en una componente horizontal  $B_H$  dirigida al Norte, y una componente vertical  $V$  que en el hemisferio norte está dirigida hacia el centro de la Tierra en sentido contrario en el hemisferio sur. El ángulo  $I$  que forma la dirección del vector campo magnético con la horizontal del lugar se denomina ángulo de inclinación, ver figura, de signo positivo cuando  $V$  está dirigido hacia el centro de la Tierra, y negativo cuando está dirigido en sentido opuesto. La dirección del campo magnético terrestre varía con el



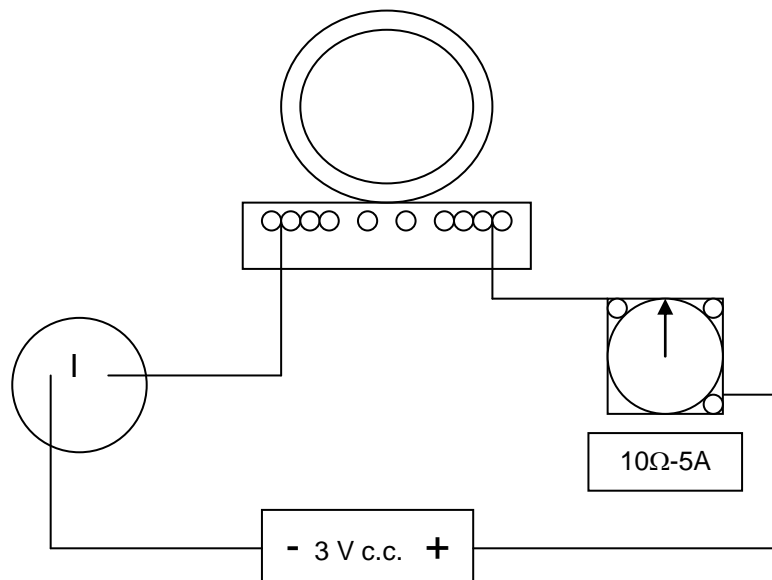
tiempo y en general es tal que el polo norte magnético no coincide con el polo norte geográfico. Se llama desviación magnética al ángulo que forma la dirección de la componente horizontal del campo terrestre, esto es, la dirección de la brújula y la dirección al Polo Norte geográfico. Este ángulo es positivo si la desviación es hacia el Este y negativo hacia el Oeste.

Cuando por la bobina circula una corriente, se crea un campo magnético  $B_0$  perpendicular al plano de la bobina y cuyo sentido sigue la regla del sacacorchos. Su valor se puede determinar experimentalmente por comparación con el campo magnético terrestre. Si se orienta la bobina de forma que ambos campos sean perpendiculares, el campo magnético resultante  $B_R$  formará un ángulo  $\alpha$  con respecto al meridiano magnético de la tierra  $B_H$ , tal que:



### Procedimiento experimental.

Realizar el montaje esquematizado a continuación:



Antes de hacer circular la corriente, el aparato debe ser orientado de tal forma que la aguja imantada quede en el mismo plano que el de las espiras. Golpear ligeramente la base con los dedos para asegurar la situación.

**Atención:** La corriente nominal admisible para las diferentes espiras es de 2A, sin embargo el equipo tolera intensidades de 5A durante 1 minuto.



### 1. Influencia del número de espiras.

Para un radio constante (12 cm) y una intensidad aproximada de 2 A tomar sucesivamente 2, 3, 4 y 5 espiras anotando  $\alpha$  y la intensidad medida por el amperímetro (Dado que varía en cada experimento)

$$B_o = \frac{\mu_0 n I}{2R} = B_H \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{\mu_0}{B_H \cdot 2 \cdot R} \cdot n \cdot I$$

Representar gráficamente  $\operatorname{tg} \alpha$  en función de  $n \cdot I$  y hallar la pendiente y la ordenada en el origen. ¿A qué corresponden estos dos valores?

Calcular  $\operatorname{tg} \alpha / n \cdot I$  para cada experimento y hallar la media, la desviación estándar y la desviación estándar relativa del conjunto de medidas. ¿Se puede decir que es una constante?

### 2. Influencia del radio de las espiras.

Tomar una espira y medir el ángulo de desviación para radios diferentes y la Intensidad.

$$\frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha}{I} = \frac{\mu_0 \cdot n}{2 \cdot B_H} = \text{constante}$$

Calcular  $R \cdot \operatorname{tg} \alpha / I$  para cada experimento y hallar la media y desviación estándar del conjunto de medidas. ¿Se puede decir que es una constante?

Representar  $\operatorname{tg} \alpha$  (eje y) frente a  $I/R$  y hallar la ordenada en el origen y la pendiente. ¿A qué corresponden estos dos valores?

### 3. Determinación de $B_H$ .

Con todos de los datos obtenidos anteriormente calcular el valor de los campos magnéticos  $B_o$  creados por las espiras. Determinar el valor de la componente horizontal de la inducción terrestre para cada caso,  $B_H$ , calcular la media y su error. Comparar el resultado con el valor local del campo en la localidad donde se realiza la práctica, valor que se puede encontrar en ([www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov)). Para Valdepeñas está en torno a 26,35  $\mu\text{T}$  o 0,2635 Gauss.

### Práctica 3.

## CALORES LATENTES DE FUSIÓN Y VAPORIZACIÓN DEL AGUA.

### Objetivo.

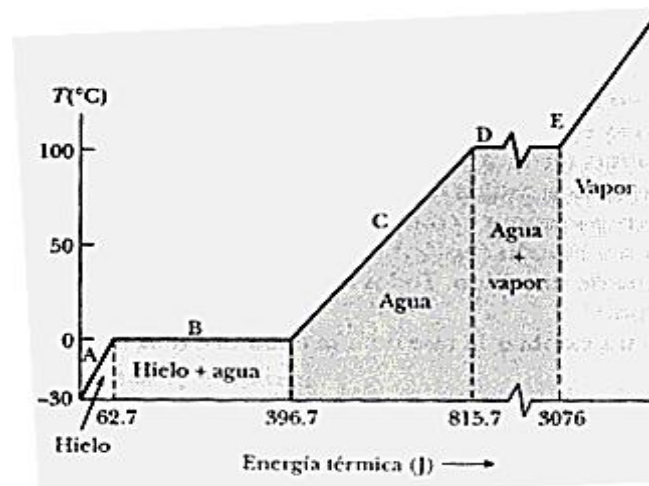
Calcular los calores latentes de fusión y vaporización del agua.

### Fundamento.

Una sustancia suele experimentar un cambio en su temperatura cuando se transfiere energía térmica entre la misma y sus alrededores. Sin embargo, hay situaciones en las cuales la transferencia de energía térmica no produce un cambio de temperatura. Este es el caso siempre que las características físicas de la sustancia cambian de una forma a otra, lo que comúnmente se conoce como un cambio de fase.

Los cambios de estado se pueden explicar de forma cualitativa del siguiente modo: En un sólido los átomos y moléculas ocupan las posiciones fijas de los nudos de una red cristalina. Un sólido tiene, en ausencia de fuerzas externas, un volumen fijo y una forma determinada. Los átomos y moléculas vibran, alrededor de sus posiciones de equilibrio estable, cada vez con mayor amplitud a medida que se incrementa la temperatura. Llega un momento en el que vencen a las fuerzas de atracción que mantienen a los átomos en sus posiciones fijas y el sólido se convierte en líquido. Los átomos y moléculas siguen unidos por las fuerzas de atracción, pero pueden moverse unos respecto de los otros, lo que hace que los líquidos se adapten al recipiente que los contiene pero mantengan un volumen constante.

Cuando se incrementa aún más la temperatura, se vencen las fuerzas de atracción que mantienen unidos a los átomos y moléculas en el líquido. Las moléculas están alejadas unas de las otras, se pueden mover por todo el recipiente que las contiene y solamente interaccionan cuando están muy próximas entre sí, en el momento en el que chocan. Un gas adopta la forma del recipiente que lo contiene y tiende a ocupar todo el volumen disponible.



El cambio de fase de una sustancia tiene lugar a temperaturas y presiones definidas. El paso de sólido a gas se denomina sublimación, de sólido a líquido fusión, y de líquido a vapor vaporización. Si la presión es constante, estos procesos tienen lugar a una temperatura constante. La cantidad de calor necesaria para producir un cambio de fase se llama *calor latente*  $Q = m \times L$ . Existen calores latentes de sublimación, fusión y vaporización.

### El calorímetro

Un calorímetro es un aparato usado para medir la cantidad de calor que ha sido transferida en un proceso determinado. En esta práctica usaremos equipamiento sencillo que conlleva a un

margen de error en los experimentos, pero que servirá para ilustrar los principios de calorimetría involucrados.

Para iniciar una medida calorimétrica, es necesario calibrar el calorímetro, es decir, determinar exactamente la cantidad de calor adicionado que provoca un determinado aumento de su temperatura.

Datos:  $C_{\text{agua}} = 4.186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} = 1.000 \text{ cal/Kg}^\circ\text{C}$   
 Calor latente de fusión del hielo  $L_F$  es  $334.700 \text{ J/kg}$ .  
 Calor latente de vaporización del agua a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$   $L_V$  es  $2.260 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ .

## Procedimiento

### 1. Determinación de la masa equivalente en agua del calorímetro $k$ .

1. Se introduce en el congelador unos 200 mL de agua destilada y se espera hasta que ésta esté cerca de los  $0^\circ\text{C}$ .
2. En un vaso de precipitados se introducen otros 200 mL de agua y se calientan hasta los  $80\text{-}90^\circ\text{C}$ .
3. Se pesa el calorímetro vacío con el agitador magnético:  $m_{\text{cal}}$ .
4. El agua caliente se añade al calorímetro, se tapa y se pesa:  $m_{\text{cal}} + m_1$ . Se deja que llegue al equilibrio térmico y se mide con precisión la temperatura del agua:  $T_1$ .
5. Se mide la temperatura del agua fría:  $T_2$  y se vierte en el calorímetro. Se cierra, se homogeneiza con el agitador. Se espera hasta que la temperatura llegue a un valor estacionario y se registra esta temperatura como  $T_e$ .
6. Se pesa de nuevo el calorímetro:  $m_{\text{cal}} + m_1 + m_2$ .
7. Se repite este procedimiento unas tres veces.

Cálculos:

$$Q_{\text{cal}} = k \cdot C \cdot (T_e - T_1)$$

$$Q_1 = m_1 \cdot C \cdot (T_e - T_1)$$

$$Q_2 = m_2 \cdot C \cdot (T_e - T_2)$$

Según el principio de la conservación de la energía y suponiendo que el calorímetro está perfectamente aislado:

$$Q_{\text{cal}} + Q_1 + Q_2 = 0$$

De estas ecuaciones se despeja la masa equivalente en agua del calorímetro.

Si los valores de  $k$  obtenidos no tienen dispersión excesiva, se promedian los valores y se anota como error la desviación estándar. En caso contrario repita sus medidas con cuidado, o estudie donde puede estar el problema.

### 2. Determinación del calor latente de fusión del agua

1. Se pesa el calorímetro con unos 200 gramos de agua previamente calentada a  $80\text{-}90^\circ\text{C}$ :  $m_{\text{cal}} + m_{\text{agua}}$
2. Se mide la temperatura inicial del calorímetro y agua:  $T_i$ .
3. Se secan con una toalla de papel para eliminar cualquier gota de agua líquida presente unos 200 gramos de hielo y se añaden dentro del calorímetro.

4. Se coloca el termómetro dentro del sistema (agua-hielo-calorímetro) y se anota la temperatura final de equilibrio cuando el hielo se ha derretido:  $T_f$ .
5. Se vuelve a pesar el sistema procedente de la fusión del hielo:  $m_{cal} + m_{agua} + m_{hielo}$
6. Se repite este procedimiento unas tres veces. Si los valores de  $L_F$  obtenidos no tienen dispersión excesiva, se promedian los valores y se anota como error la desviación estándar. En caso contrario repita sus medidas con cuidado, o estudie donde puede estar el problema.
7. Calcular el Error absoluto cometido:  $\Delta L_F = 334.700 \text{ J/Kg} - L_{F \text{ media calculado}}$
9. Calcular el Error relativo:  $\varepsilon (L_F) = \Delta / 334.700 \text{ J/Kg} \times 100$

Cálculos:

$$Q_{cal} = k \cdot C \cdot (T_f - T_i)$$

$$Q_{agua} = m_{agua} \cdot C \cdot (T_f - T_i)$$

$$Q_{hielo} = m_{hielo} \cdot L_F + m_{hielo} \cdot C \cdot (T_f - 0)$$

Según el principio de la conservación de la energía y suponiendo que el calorímetro está perfectamente aislado:

$$Q_{cal} + Q_{agua} + Q_{hielo} = 0$$

De estas ecuaciones se despeja el calor latente de fusión del agua.

### 3. Calor latente de vaporización.

1. En un matraz erlenmeyer de 100 mL se pesa una masa de agua destilada de unos 50 gramos con la máxima precisión posible:  $m_1$ .
2. Colocar el matraz sobre una rejilla de asbesto situando ésta a una altura adecuada para un calentamiento suave con el mechero de gas.
3. Colocar dentro del matraz el termómetro digital tratando que el sensor sólo toque agua y no las paredes del recipiente.
4. Encender el mechero, la llama no debe ser demasiado fuerte y una vez que se coloque debajo del matraz no deberá de ajustarse nuevamente.
5. Empezar a recoger datos de temperatura-tiempo.
6. Cuando se observe el cambio en la pendiente de la gráfica (temperatura de ebullición constante), se deberá de seguir midiendo la temperatura por lo menos unos 7-10 minutos más. Dependerá de la intensidad de calentamiento y pérdida de masa por evaporación.
7. Una vez que se haya apagado el mechero, levantar con cuidado el sensor y con guantes volver a pesar la masa del agua:  $m_2$ .
8. Dibujar una gráfica de temperatura vs. Tiempo de calentamiento y situar en la misma:
  - $T_1$ : temperatura del agua al inicio del experimento.
  - $T_2$ : temperatura de ebullición del agua
  - $t_1$ : tiempo requerido para alcanzar la temperatura de ebullición.
  - $t_2$ : tiempo que permaneció la ebullición
9. Se repite este procedimiento unas tres veces. Si los valores de  $L_V$  obtenidos no tienen dispersión excesiva, se promedian los valores y se anota como error la desviación estándar. En caso contrario repita sus medidas con cuidado, o estudie donde puede estar el problema.
7. Calcular el Error absoluto cometido:  $\Delta L_V = 2.260.000 \text{ J/Kg} - L_{V \text{ media calculado}}$

9. Calcular el Error relativo:  $\varepsilon (L_F) = \Delta L_V / 2.260.000 \text{ J/Kg} \times 100$

*Cálculos:*

Con estos datos y el calor específico del agua se calculará el calor sensible requerido para que el agua llegue al punto de ebullición:

$$Q = m_1 \cdot C \cdot \Delta T$$

Una vez que el agua cambió de fase la temperatura permaneció constante, característica de un cambio de fase; por lo que se asumirá lo siguiente para calcular el calor latente de evaporación del agua:

La fuente de calentamiento es constante; por lo que se calculará la potencia del mechero

$$\square P = Q/t_1$$

donde  $Q$  será el calor sensible calculado anteriormente y  $t_1$  el tiempo requerido para que el agua llegue al punto de ebullición.

Una vez calculada la potencia, se calculará el calor suministrado por el mechero al agua durante el tiempo que permaneció en ebullición:

$$Q' = P \cdot t_2$$

donde la potencia será la ya calculada y el tiempo será el tiempo que permaneció el agua en ebullición.

Finalmente calculamos  $L_v$  = calor de evaporación del agua:

$$L_v = Q'/\Delta m$$

Donde  $\Delta m = (m_1 - m_2)$

## Práctica 4.

### DENSIDAD DE FLUIDOS

#### Objetivo:

- Determinar la densidad de un líquido con densímetro y con picnómetro.
- Determinar la variación de la densidad del agua con la temperatura

#### Introducción teórica

##### *Densidad de un líquido*

Para determinar la densidad de un líquido se puede utilizar:

a) Un densímetro: este es un instrumento que registra directamente la densidad de un líquido. Se basa en el hecho de que un cuerpo que flota tiene parte sumergida cuyo volumen está en relación inversa con la densidad del líquido. Esta es una consecuencia directa del llamado Principio de Arquímedes:

“Todo cuerpo sumergido en un fluido está sometido a una fuerza hacia arriba que equivale al peso del fluido desplazado por la parte sumergida.”

El valor de esa fuerza llamada empuje es:  $E = \rho_F g V_s$ , donde:

$\rho_F$ : Densidad del fluido

$V_s$ : Volumen de la parte sumergida del cuerpo

De lo anterior se desprende que un mismo densímetro se sumergirá más líquidos de baja densidad que en líquidos de alta densidad, por eso se construyen juegos de densímetros que cubren diversos rangos de densidades.

Como esos rangos son mas bien pequeños, los valores obtenidos resultan muy precisos y se lee directamente sobre el densímetro cuando éste flota en el liquido, es decir, cuando se cumple que:

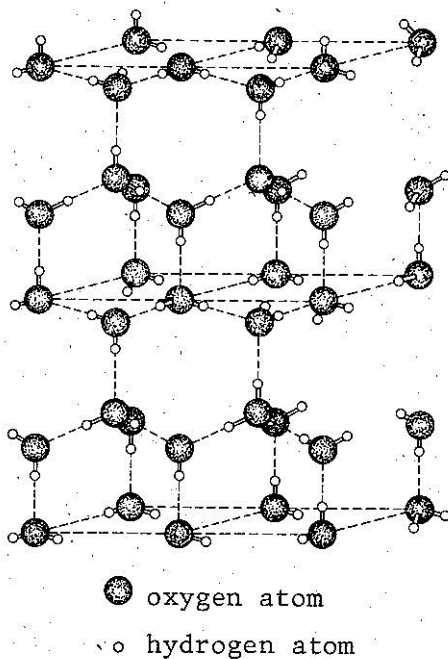
$$\text{Peso del densímetro} = \text{empuje debido a la parte sumergida}$$

b) Picnómetro: el picnómetro es un frasco de dimensiones reducidas y con tapa. Esa tapa tiene un pequeño orificio que permite que salga todo exceso de fluido de modo que el volumen contenido en el picnómetro es siempre el mismo. En general se calibran con agua.

##### *Variación de densidad de los líquidos con la temperatura.*

La densidad de los líquidos generalmente desciende conforme aumenta la temperatura mientras que no existan otros efectos como el que presenta el caso del agua.

Las fuerzas de atracción entre moléculas de un líquido decrecen rápidamente con la distancia entre ellas. En el agua, por su parte, la fuerza que determina la estructura es el enlace de puentes de hidrógeno. En el hielo, cada átomo de oxígeno está rodeado por 4 átomos de hidrógeno en disposición tetraédrica. Dos de los hidrógenos están unidos por enlace covalente por lo que están más cerca del oxígeno (10 nm) que los hidrógenos unidos por enlace de puente de hidrógeno (17 nm).



La colocación de las moléculas de agua en el hielo no es el empaquetado más denso de las mismas. En la transición hacia el estado líquido una parte de los enlaces de hidrógeno se rompen y las moléculas pueden acercarse un poco más entre ellas, lo que explica el hecho de que la densidad del agua aumente inicialmente conforme la temperatura aumenta desde los 0°C.

#### Densidad relativa

Se llama densidad relativa de un medio respecto a otro medio a la razón entre densidades.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0}$$

Nótese que por ser un cociente entre densidades, la densidad relativa no tiene dimensiones. Es un número que indica simplemente cuantas veces más denso es el fluido o el sólido en cuestión, que el fluido o cuerpo

patrón.

Generalmente se toma como cuerpo patrón para líquidos y sólidos el agua destilada a 4°C. En tal caso la densidad absoluta se identifica con el valor de su densidad relativa al agua.

#### Materiales:

- Balanza digital
- Juego de aerómetros/densímetros
- Líquidos con densidad desconocida
- Picnómetro (matraz aforado de 100 mL)
- Agua destilada
- Termómetro

#### Procedimiento experimental

##### 1. Densidad de un líquido mediante un densímetro

1. Se llena una probeta de 250 mL con agua destilada.
2. Se mide y anota la temperatura del líquido.
3. Se sumerge el densímetro adecuado en el líquido, se imprime un ligero movimiento de rotación y se espera a que se estabilice su altura, leyendo entonces su densidad. Se repetirá la lectura tres veces para calcular la media y la desviación estándar.
4. Repetir el proceso con una mezcla hidroalcohólica.

## 2. Densidad de un líquido relativa el agua mediante balanza y picnómetro

Primero se procede a calibrar el volumen del picnómetro:

1. Medir la masa del picnómetro bien seco con la balanza digital con 4 decimales.
2. Medir de forma precisa la temperatura del agua destilada. Llenar el picnómetro con el agua justo hasta el enrase. Si es necesario utilizar una jeringa para ajustar. Pesar el picnómetro lleno de agua.
3. Con la temperatura medida se obtiene la densidad del agua en la Tabla 1 y se calcula el volumen real del picnómetro.
4. Se repetirá la lectura tres veces para calcular la media y la desviación estándar.

Ahora se determinará la densidad de la mezcla hidroalcohólica anterior

1. Se enjuaga con acetona el picnómetro, se seca y se pesa con una exactitud de 4 decimales.
2. Se llena hasta el enrase con la disolución a ensayar y se pesa de nuevo el conjunto
3. Calcular la densidad del líquido repitiendo la medida tres veces para calcular la media y la desviación estándar.
4. Comparar los resultados obtenidos con los del primer experimento.

## 3. Variación de la densidad del agua con la temperatura.

1. Se llena una probeta de 250-500 mL con agua destilada previamente calentada en placa calefactora hasta unos 70°C.
2. Se introduce un densímetro adecuado y enfriando poco a poco el agua, se van tomando valores (unos 20) de la pareja de valores tiempo-temperatura.
3. Dibujar la gráfica densidad vs. Temperatura con los datos obtenidos y encontrar la ecuación de la curva que mejor se ajuste a los datos.

*Tabla 1. Densidad del agua entre 0 y 35 °C en g/cm<sup>3</sup>.  
Las cifras expuestas, multiplicadas por 1000 dan los valores en el SI (kg/m<sup>3</sup>).*

Temp.	Densidad	Temp.	Densidad	Temp.	Densidad	Temp.	Densidad
°C	g/cm <sup>3</sup>	°C	g/cm <sup>3</sup>	°C	g/cm <sup>3</sup>	°C	g/cm <sup>3</sup>
0,0	0,99984	9,0	0,99980	18,0	0,99862	27,0	0,99651
1,0	0,99991	10,0	0,99973	19,0	0,99841	28,0	0,99623
2,0	0,99996	11,0	0,99961	20,0	0,99823	29,0	0,99594
3,0	0,99999	12,0	0,99950	21,0	0,99798	30,0	0,99568
3,8	1,00000	13,0	0,99940	22,0	0,99777	31,0	0,99537
5,0	0,99999	14,0	0,99927	23,0	0,99754	32,0	0,99506
6,0	0,99996	15,0	0,99913	24,0	0,99730	33,0	0,99473
7,0	0,99991	16,0	0,99894	25,0	0,99707	34,0	0,99440
8,0	0,99986	17,0	0,99877	26,0	0,99678	35,0	0,99406