

# Introducción a la Física Experimental

## Guía de la experiencia

### Manejo de instrumentos sencillos de medida.

*Departamento de Física Aplicada.*  
Universidad de Cantabria.

Febrero 28, 2005

#### Resumen

Se llevan a cabo medidas de diferentes magnitudes físicas, tanto directas –longitudes, períodos, voltajes, intensidades, temperaturas– como indirectas –volúmenes, radios de curvatura, resistencias eléctricas–, utilizando instrumentos elementales de medida y para poner de manifiesto los conceptos de precisión de un instrumento de medida, error de una medida y transmisión de errores.

## Introducción

Cada medida consta de dos partes: un número y una unidad. La unidad especifica el carácter de la magnitud física y representa la medida elegida para comparar. En un contexto científico de la física se utiliza el SI (Sistema Internacional de Unidades) de unidades.

## Experiencia 1. Medida de longitudes

La *longitud* es una magnitud fundamental en el SI. El *metro* (m) es la unidad de longitud en el SI y se define actualmente<sup>1</sup> como [8]:

El metro es la longitud del camino recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de

$$\frac{1}{299\,792\,458} \text{ s}$$

¿Conoce alguna definición anterior del metro?

---

<sup>1</sup>Busque una referencia de esta definición en algún libro de texto.

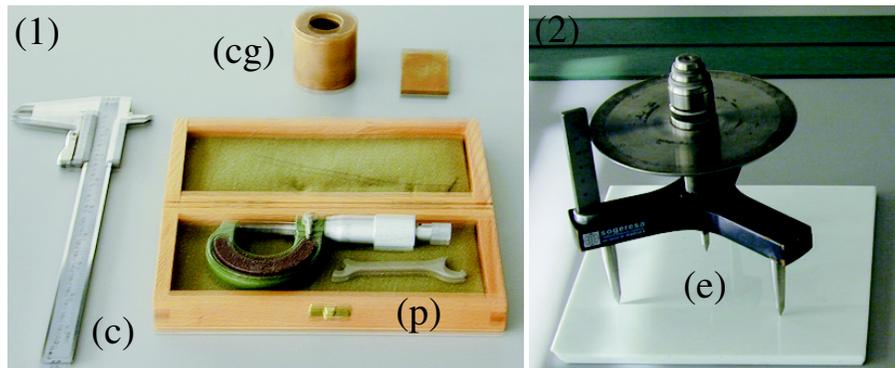


Figura 1: . (1) Calibre (c) y p almer (p), junto a diversos cuerpos geométricos (cg). (2) Esferómetro (e).

### Descripción del material

Para llevar a cabo experiencias relacionadas con la medida de longitudes se utiliza el siguiente material (ver Fig. 1):

1. Regla, habitualmente dividida en milímetros
2. Calibre (pie de rey) [(c) en Fig. 1]

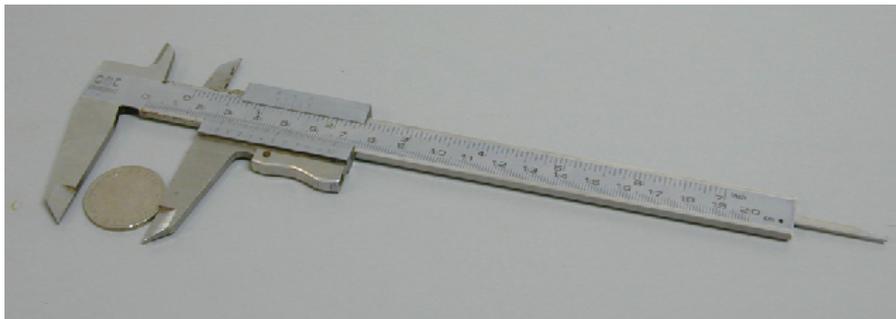


Figura 2: . Calibre

3. Tornillo micrométrico (palmer) [(p) en Fig. 1]
4. Esferómetro [(e) en Fig. 1]
5. Diversos objetos (placa, cubo, cilindro hueco, casquete esférico, taco de 10 y 20 láminas de papel)

### Modo operativo

Los objetivos de esta experiencia son:



Figura 3: . Pálmer

1. Aprender a hacer estimaciones previas de las diferentes magnitudes a medir. Así, antes de utilizar un calibre o un pálmer se debe utilizar una regla para estimar el orden de la magnitud a medir.
2. Aprender a manejar secuencialmente los aparatos de precisión que se utilizan en el laboratorio para la medida de longitudes.
3. Aprender a estimar los errores antes de calcularlos utilizando el concepto de error relativo.
4. Calcular los errores de las cantidades que se han medido directamente y cómo se transmiten a las magnitudes que se miden indirectamente.
5. Obtener el volumen de dos objetos y expresarlos correctamente, cada uno con su error y sus unidades.

### Desarrollo de la experiencia

Se dispone de dos objetos de los que se quiere determinar su volumen. Esta magnitud no se va a determinar directamente, sino que se hará indirectamente teniendo presente que se trata de un objeto con forma regular: una esfera, un cubo, etc.

Se dispone de algunos instrumentos para medir longitudes:

**Calibre.** El *calibre* se funda en el principio del *nonius* y sirve para medir espesores, dimensiones interiores de una cavidad y profundidades, para lo cual dispone de partes específicas dedicadas a cada fin.

El *nonius* se puede utilizar tanto para medir directamente longitudes, como para medir espesores. Cuando se trata de medir



Figura 4: . Esferómetro

radios internos o longitudes internas de cuerpos, se dispone de dos salientes para ser introducidos. Cuando se trata de medir profundidades se utiliza un vástago que surge de la parte trasera del mismo.

El principio del nonius se basa en lo siguiente. Una determinada longitud de una regla, por ejemplo 9 mm, se dividen en 10 partes iguales. Cada una de las divisiones así obtenidas, de 0,9 mm de anchura, se numera de 0 a 10. Éste es el nonius. Cuando se mida una determinada longitud el 0 del nonius habitualmente se encontrará entre una división de la regla, la  $n$ , y la siguiente, la  $n + 1$ . Si se denomina  $x$  a la distancia que hay entre la división  $n$  de la escala y el cero del nonius –que es, precisamente, la distancia que se quiere determinar para que sumada a  $n$  proporcione la longitud del objeto,  $l = n + x$ –, y se denomina  $y$  a la distancia que hay desde el cero del nonius hasta  $n + 1$ , se tiene que  $x + y = 1$  mm.

Por otro lado la escala del nonius y la escala de la regla deben coincidir en alguna posición –si coinciden en la 0 del nonius, entonces  $x = 0$  y si coinciden en la 10 entonces  $y = 0$ –, denominada  $a$ . Así, la distancia del cero del nonius a  $a$  serán  $0,9a$  mm, mientras que serán  $y + (a - 1)$  mm medido sobre la escala. Por tanto,  $y = 1 - 0,9a$ . Con la ecuación anterior, se

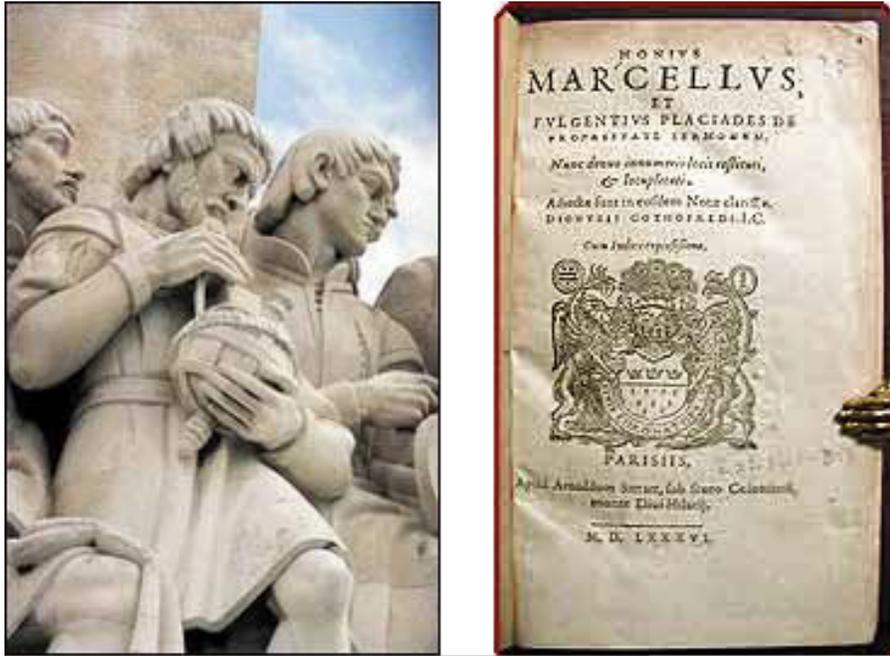


Figura 5: . Pedro Nunes en el Monumento a los Descubrimientos Lusitanos, cerca de la Torre de Belem, estuario del Tajo, Lisboa. Cubierta del libro en el que expuso los principios del nonius.

tiene que  $x = 0, 1a$ .

**Pálmer.** El *pálmer* utiliza un tornillo micrométrico que es en esencia un tornillo de paso de rosca rigurosamente constante que avanza en una tuerca apropiada.

Cada vez que el tornillo, dividido en  $n$  partes, da una vuelta completa, la regla avanza una determinada longitud, típicamente 0,5 mm. La precisión es entonces de 0,5 mm dividido por  $n$ .

**Esferómetro.** El *esferómetro* consiste en un tornillo que avanza en una tuerca con forma de trípode, de modo que las puntas de sus tres pies determinan un triángulo equilátero de lado  $a$ . Solidariamente unida a la tuerca, una escala permite contar el número de vueltas que da el tornillo. Un limbo graduado, unido a la cabeza del tornillo, permite apreciar las fracciones de vuelta. El profesor explicará su funcionamiento, cómo determinar su precisión y cómo determinar su cero. Es un aparato de medida adecuado para determinar radios de superficies esféricas, de tamaño adecuado, y espesores de láminas o placas.

Determinando, primero, ciertas dimensiones de cada objeto, se

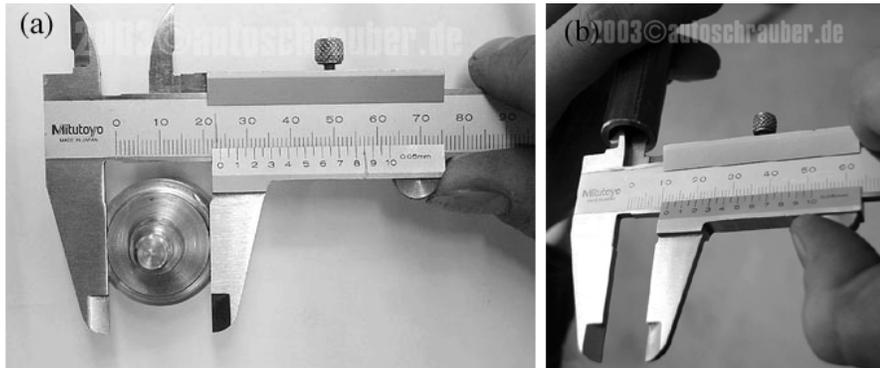


Figura 6: . Uso del nonius. (a) Medida directa de longitudes. (b) Medida de radios internos.

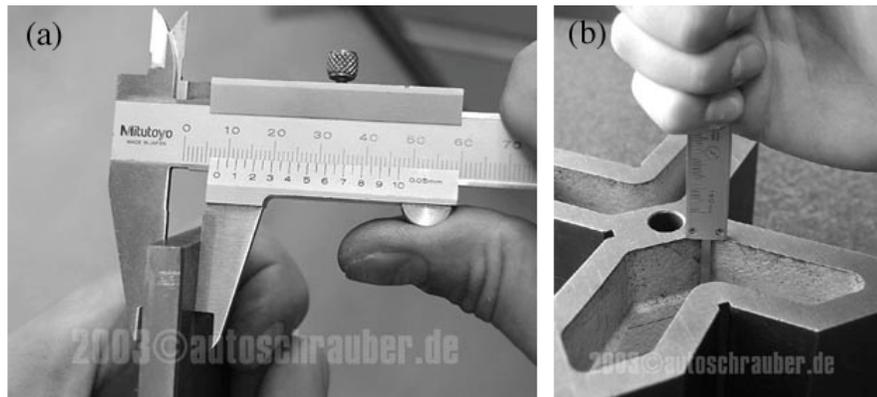


Figura 7: . Uso del nonius. (a) Medida de espesores. (b) Medida de profundidades.

tendrá, después, que calcular su volumen. Por ejemplo, conocido el radio de una esfera, se puede calcular su volumen.

### Reflexiones previas a la realización del experimento

Antes de llevar a cabo las experiencias, considere las siguientes cuestiones:

- 1.- ¿Se podrá medir el radio directamente? ¿Por qué? Sin embargo, es muy fácil determinar el diámetro directamente. Así, con la medida del diámetro (medida directa), se obtendrá el volumen (medida indirecta).
- 2.- ¿Con qué se medirá el diámetro, con el calibre o con el palmer? ¿Por qué?

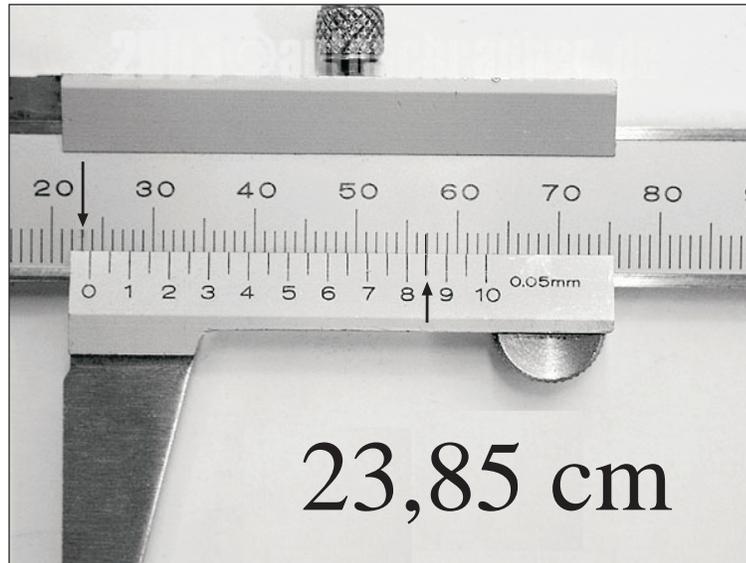


Figura 8: . Principio del nonius. En este nonius 1 mm se ha dividido en 20 partes. Puesto que la división 8,5 de la escala del nonius coincide con una división de la regla, se tiene que hay que sumar 0,85 mm a la última división de la regla, 23 mm, resultando una longitud total de 23,85 mm.

- 3.- Si se quiere obtener el volumen de un cubo o de una placa de pequeño espesor, ¿Qué dimensiones se eligen para medir directamente? En el caso del cubo, ¿es conveniente medir sólo una arista? ¿Por qué? ¿Qué aparato de medida será adecuado en cada caso? ¿Por qué?

### Medidas con el calibre, el palmer o el esferómetro

1. Obtenga la precisión del aparato y escríbala.
2. Calcule el error de cero y escríbalo.
3. Haga un croquis de las piezas cuyo volumen vaya a determinar y señale en él la(s) magnitud(es) que vaya a medir.
4. Construya una tabla con los resultados de sus medidas (de forma condensada y sin pérdida de información) de acuerdo con las normas establecidas. Expresé el valor aceptado y el error correspondiente de las magnitudes que haya medido.
5. Calcule el volumen de cada pieza y expréselo correctamente (valor, error, unidades).

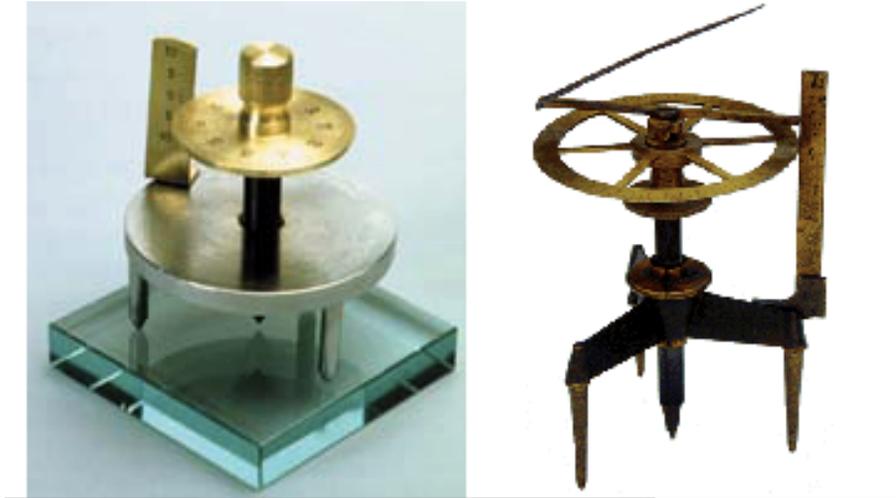


Figura 9: . Esferómetros antiguos.

### **Espesor de una lámina de papel**

Para terminar esta experiencia, se va a calcular el espesor de una hoja de papel (un folio) utilizando el palmer.

- Primero se va a hacer directamente, es decir, se coge un folio y se hace una lectura directa de su espesor  $L_1$  aplicando el palmer y leyendo en su escala la medida. Se repite tres veces y se escribe el resultado correctamente:  $L = L_1 \pm \Delta L_1$ .
- Ahora se va a hacer indirectamente, es decir, se cogen 10 folios, se superponen y se hace una medida directa de su espesor  $L_{10}$  aplicando el palmer y leyendo en su escala la medida. Se repite tres veces y se escribe el resultado correctamente  $L' = L_{10} \pm \Delta L_{10}$ . A partir de  $L_{10}$  se obtiene  $L$ :  $L = L_{10}/10$   
 →  $\Delta L = \Delta L_{10}/10$ , admitiendo que no hay error en el conteo del número de folios que se han superpuesto.
- Se repite el procedimiento con 20 folios.

¿Qué se observa en el resultado  $L \pm \Delta L$  en cada caso? Escríbalo.

### **Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia**

- 1.- ¿Cuántas veces tendría que doblar un folio del mismo tipo que del que ha medido el espesor para que se alcanzara un espesor igual al de la altura de un edificio de 100 m?

## Experiencia 2. Medida de masas

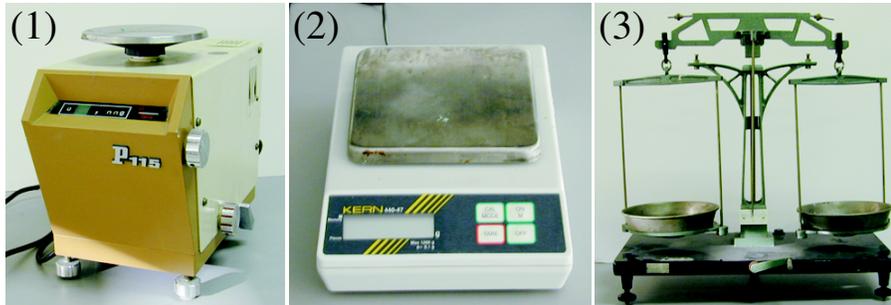


Figura 10: . (1) Balanza electrónica 1000 g. (2) Balanza electrónica de medida directa. (3) Balanza de brazos.

El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.

¿Conoce alguna definición del kilogramo relacionada con el agua? [8]

### Descripción del material

Para llevar a cabo este tipo de experiencias se utiliza el siguiente material (ver Fig. 10):

1. Balanza electrónica [(1) y (2) en Fig. 10]
2. Diversos objetos problema

### Modo operativo

Los objetivos de esta experiencia son:

1. Aprender a manejar las balanzas electrónicas que se utilizan en el laboratorio para la medida de masas.
2. Obtener la densidad de un objeto geométrico (del cual se determina el volumen en la Experiencia 1) y expresarlo correctamente.
3. Calcular los errores de las cantidades que se han medido directa o indirectamente.

## Desarrollo de la experiencia

Se dispone de dos objetos de los que se ha determinado su volumen en la experiencia anterior. Ahora se va a determinar su masa utilizando las balanzas del laboratorio.

## Reflexiones previas a la realización del experimento

Antes de llevar a cabo las experiencias, considere las siguientes cuestiones:

- 1.- ¿Se podrán utilizar las balanzas que has usado en la Luna?  
¿Por qué? ¿Se obtendrán los mismos resultados que en la Tierra?

## Medidas con la balanza

1. Obtenga la precisión del aparato y escríbala.
2. Calcule el error de cero y escríbalo
3. Construya una tabla con los resultados de sus medidas (de forma condensada y sin pérdida de información) de acuerdo con las normas establecidas. Exprese el valor aceptado y el error correspondiente de las magnitudes que haya medido.
4. Calcule, a partir del volumen y de la masa, la densidad de cada pieza y exprésela correctamente (valor, error, unidades).

## Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia

- 1.- Se dispone de una balanza antigua de dos brazos y de una caja de pesas. ¿Se podrá utilizar en la Luna para medir masas?  
¿Se obtendrán los mismos resultados que en la Tierra?

## Experiencia 3. Medida de tiempos

En la actualidad la unidad de tiempo en el SI es el segundo (s), que se define [8]:

El segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos ( $F=4, m_p = 0$  a  $F=3, m_p = 0$ ) del estado fundamental del átomo de cesio 133.

¿Qué definiciones anteriores del segundo conoce?

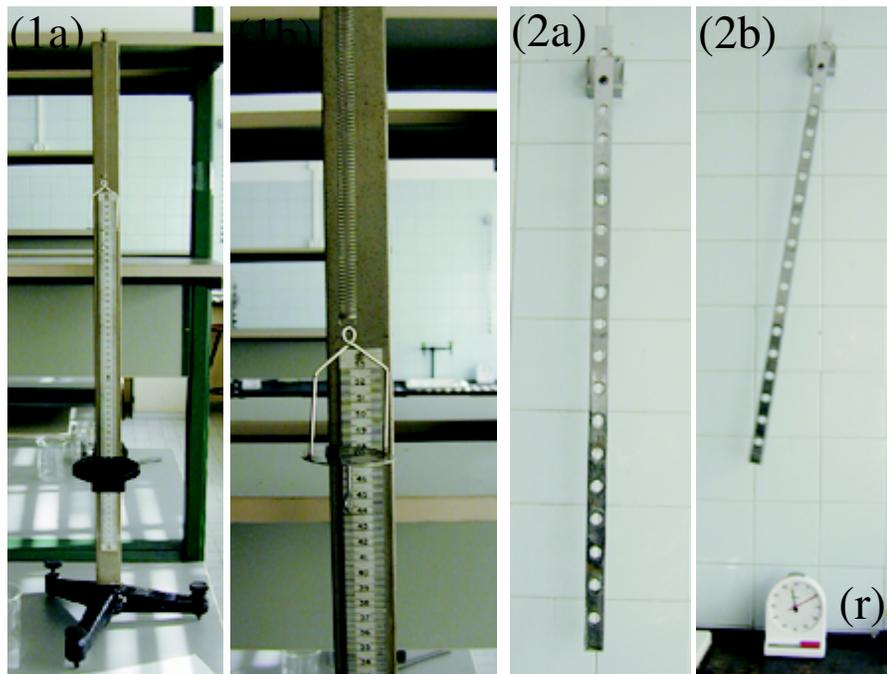


Figura 11: . (1a) Muelle con platillo; (1b) Detalle del platillo; (2a) Péndulo físico, una barra con 19 agujeros; (2b) Detalle de la oscilación.

### Descripción del material

Para llevar a cabo este tipo de experiencias se utiliza el siguiente material (ver Fig. 11):

1. Reloj
2. Cronómetro [(r) en Fig. 11]
3. Péndulo matemático, físico o de resorte.

### Modo operativo

Los objetivos de esta experiencia son:

1. Aprender a manejar los relojes que se utilizan en el laboratorio para la medida de tiempos.
2. Obtener el período de oscilación de un péndulo y expresarlo correctamente.
3. Estudiar la variación del período de oscilación con la amplitud de su movimiento.

## Desarrollo de la experiencia

Como se sabe, cuando las oscilaciones son de pequeña amplitud, el movimiento de un péndulo matemático corresponde a un movimiento armónico simple (m.a.s.). Cuando la amplitud es suficientemente grande, el movimiento es periódico pero ya no es m.a.s. En esta experiencia se va a determinar el período de oscilación para diferentes amplitudes. El reloj es un aparato de medida del que se tiene que calcular su precisión. Un intervalo de tiempo resulta de la diferencia entre dos instantes de tiempo, cada uno de los cuales es una medida a determinar (preste atención al cero).

Construya una tabla *amplitud/período* en la que queden registradas sus medidas. Después, haga una representación gráfica de las mismas. ¿Observa alguna ley que ligue estas dos variables? Recuerde las normas de construcción de tablas y gráficas. No olvide determinar, en cada caso, el error correspondiente.

## Reflexiones previas a la realización del experimento

Antes de llevar a cabo las experiencias, considere las siguientes cuestiones:

- 1.- ¿Recuerda cómo determinó el espesor de una hoja de papel? Para aplicar aquí el mismo método a determinar el período de oscilación, ¿qué se le ocurre hacer?

## Medidas con el cronómetro

1. Obtenga la precisión del aparato y escríbala.
2. Calcule el error de cero y escríbalo
3. Construya una tabla con los resultados de sus medidas (de forma condensada y sin pérdida de información) de acuerdo con las normas establecidas. Exprese el valor aceptado y el error correspondiente de las magnitudes que haya medido.
4. Calcule, a partir de la tabla, una gráfica de acuerdo con las normas establecidas, del período en función de la amplitud.

## Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia

- 1.- ¿Qué error introduce el seno del ángulo por el ángulo?
- 2.- ¿Qué error introduce el considerar toda la masa concentrada en un punto en vez de considerar las dimensiones de la bola que cuelga al extremo del hilo?

- 3.- ¿Varía el período de un péndulo físico obtenido en la Tierra si se utiliza en la Luna?
- 4.- ¿Sabría calcular  $g$  a partir de los datos experimentales?

## Experiencia 4a. Medidas de temperaturas con termómetros



Figura 12: . Termómetros. De izquierda a derecha, de alcohol coloreado, de mercurio y digital.

La *temperatura* es una magnitud fundamental en el SI (Sistema Internacional de Unidades). El *kelvin* –sin grado – (K –sin cerito arriba a la izquierda–) es la unidad de temperatura termodinámica y se define actualmente<sup>2</sup> como [8]:

El kelvin es igual a  $1/273,16$  la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

A su vez, la transformación de la temperatura termodinámica  $T$  en kelvin en grados Celsius (no centígrados) ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t$ , viene dada por la expresión

$$t = T - 273,15 .$$

(Nótese que en un caso es  $273,16$  K, para el punto triple del agua, y en el otro caso es  $273,15$  K, para el punto de fusión del hielo.)  
 ¿Conoce alguna definición anterior del grado Celsius?

<sup>2</sup>Busque una referencia de esta definición.

## **Descripción del material**

Para llevar a cabo experiencias relacionadas con la medida de longitudes se utiliza el siguiente material (ver Fig. 1):

1. Termómetro de mercurio
2. Termómetro de alcohol coloreado
3. Termómetro digital
4. Termistor calibrado

## **Modo operativo**

Los objetivos de esta experiencia son:

1. Aprender a hacer estimaciones previas de las diferentes magnitudes a medir.
2. Calibrar termómetros
3. Utilizar tablas de calibrado para medir temperaturas.

## **Desarrollo de la experiencia**

En primer lugar se va a calibrar un termómetro digital con una mezcla de agua y hielo. En esas condiciones debe marcar 0,0 grados Celsius.

En segundo lugar se va a comprobar el calibrado de un termistor, que utiliza la resistencia eléctrica como propiedad termométrica.

En tercer lugar se va a determinar la temperatura de una mezcla de agua salada y hielo utilizando tanto el termómetro digital como el termistor.

Los termómetros de alcohol coloreado se utilizarán para llevar a cabo las estimaciones previas.

## **Reflexiones previas a la realización del experimento**

Antes de llevar a cabo las experiencias, considere las siguientes cuestiones:

- 1.- ¿Es posible medir directamente la temperatura o siempre hay que medir alguna magnitud mecánica –longitud, resistencia eléctrica, diferencia de potencial, etc.–?

### **Medidas con termómetros digitales y con termistores calibrados**

1. Agite bien una mezcla de agua y hielo.
2. Compruebe lo que mide el termómetro digital. En su caso, ajústelo hasta que marque 0,0 °C.
3. Compruebe que el termistor tiene la resistencia que el fabricante indica debe tener a 0,0 °C.

### **Temperatura de una mezcla de agua salada y hielo**

- El profesor preparará agua salada mezclando agua a temperatura ambiente con abundante sal. Posteriormente mezclará este agua salada con abundante hielo. Después retirará el hielo y el alumno medirá la temperatura del agua salada fría así obtenida, utilizando tanto el termómetro digital como el termistor.

### **Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia**

- 1.- ¿Le ha sorprendido la temperatura alcanzada por la mezcla de agua salada y hielo?
2. ¿Cómo explica lo sucedido?
3. ¿Qué interés tiene retirar el hielo antes de medir la temperatura del agua salada fría?

### **Experiencia 4b. Medidas con el polímetro en un circuito eléctrico sencillo**

El amperio corresponde a la intensidad de una corriente tal que si se mantiene en dos conductores paralelos de longitud infinita y sección despreciable y colocados a 1 m uno del otro, produzca entre estos conductores una fuerza de  $2 \times 10^{-7}$  N por metro de longitud.

### **Descripción del material**

Para llevar a cabo este tipo de experiencias se utiliza el siguiente material (ver Figs. 13):

1. Fuente de alimentación variable (CC y CA) [(fa) en Fig. 13]
2. Pilas

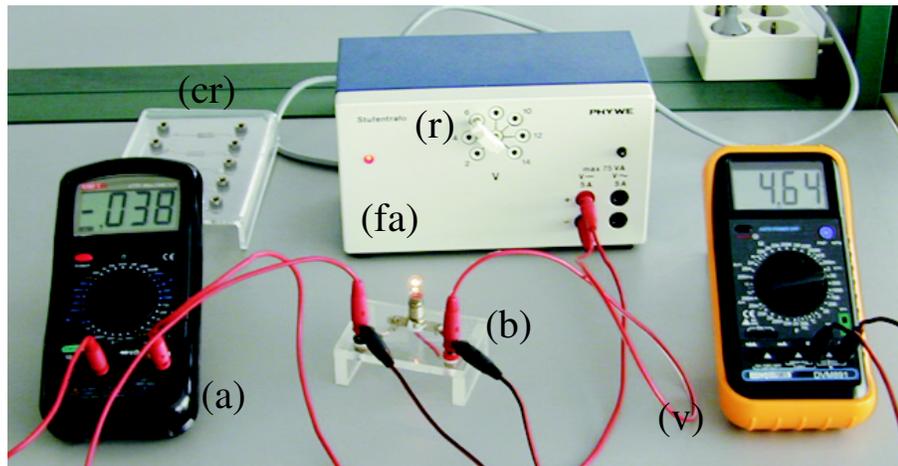


Figura 13: . (fa) Fuente de alimentación con regulador de potencia (r), amperímetro (a), voltímetro (v), bombilla (b) y caja de resistencias (r).

3. Multímetros [(a) y (v) en Fig. 13]
4. Resistencias [(cr) en Fig. 13]
5. Cables de conexión

### Modo operativo

Los objetivos de esta experiencia son:

1. Aprender a utilizar el código de colores de las resistencias.
2. Aprender a manejar los aparatos que se utilizan en el laboratorio para la medida de voltajes, intensidades y resistencias.
3. Calcular los errores de las cantidades que se han medido directa o indirectamente.
4. Determinar la d.d.p. que suministra una fuente de alimentación en CC y AC. Determinar la d.d.p. que suministra la red.
5. Determinar la intensidad eléctrica que circula por un circuito.
6. Determinar el valor de la resistencia directamente con el polímetro e indirectamente utilizando la ley de Ohm.
7. Calcular los errores y expresar correctamente los resultados obtenidos.

## Desarrollo de la experiencia

El polímetro es un aparato destinado a medir voltajes, intensidades y resistencias eléctricos. El profesor enseñará cómo funcionan los que se manejan en el laboratorio. Ponga atención a las escalas que selecciona para realizar cada medida, al tipo de corriente que maneja y a las conexiones que establezca según la magnitud que va a medir. Mantenga el aparato apagado cuando no lo esté utilizando.

*Antes de conectar los circuitos, muéstrelos al profesor, por su propia seguridad y para evitar un uso indebido del material que podría deteriorarlo o inutilizarlo.*

## Reflexiones previas a la realización del experimento

Antes de llevar a cabo las experiencias, considere las siguientes cuestiones:

- 1.- Puede medir la resistencia del filamento de una bombilla en frío y puede medirla después, cuando circula corriente y está encendida la bombilla, midiendo la intensidad que circula y la d.d.p. entre sus extremos. ¿Obtendrá el mismo resultado?

## Medidas con el polímetro

1. El generador de tensión en CC dispone de un rango de variación de la d.d.p. que suministra. Mida cuatro valores variados de la tensión. Compare las medidas con la indicación de la fuente.
2. Mida el voltaje de la pila que tenga delante.
3. Mida el voltaje de dos pilas conectadas en serie.
4. El generador de tensión también suministra CA. Mida la d.d.p. en diferentes posiciones de la escala. ¿Lo hará con el mismo aparato de medida?, ¿mide la misma magnitud en CC y en AC? Establezca las diferencias ayudándose de la bibliografía.
5. Mida la tensión de la red. ¿Es CC o CA?
6. Mida las resistencias que se le han facilitado.
  - Utilizando el código de colores.
  - Utilizando el multímetro como ohmímetro.
  - Montando un circuito sencillo y utilizando la ley de Ohm. (Consulta con el profesor).
7. Mida la resistencia del filamento de una bombilla.

- Utilizando el multímetro como ohmímetro.
- Montando un circuito sencillo y utilizando la ley de Ohm. (Consulta con el profesor).

Presente los resultados de sus medidas tabulados (de forma condensada y sin pérdida de información) de acuerdo con las normas establecidas. Exprese el valor aceptado y el error correspondiente de las magnitudes que haya medido.

### Preguntas adicionales relacionadas con la experiencia

- 1.- Para una resistencia de wolframio la temperatura  $T$ , en kelvin, se relaciona con la resistencia  $R$  mediante la expresión

$$T = T_0 \left( \frac{R}{R_0} \right)^{0,833},$$

donde  $R_0$  es la resistencia a temperatura ambiente,  $T_0 = 373,15 + t_A$ , en kelvin, siendo  $t_A$  la temperatura ambiente en grados Celsius. ¿Qué temperaturas alcanza el filamento de la bombilla?

---



---

**Elabore el informe correspondiente a la realización de cada una de estas experiencias.**

---



---

### Referencias

- [1] P A Bender, *Brief Chronologies: III. The development of the measurement of mass and weight*, The Physics Teacher **11**, 537-538 (1973)
- [2] P A Bender, *Bried chronologies: IV. Measurement of time*, The Physics Teacher **12**, 155-157 (1974)
- [3] S K Poltney, *Measurement and its reliability: An introductory laboratory experiment*, Am. J. Phys. **39**, 176-182 (1971)
- [4] A H Cook, *A new basis for measurement*, Phys. Education **4**, 353-361 (1969)
- [5] W Blasiak, *Errors and uncertainty in physical measurement*, Phys. Education **18**, 290-294 (1983)

- [6] V. Thomsen, *Precision and the terminology of measurement*, The Physics Teacher **35**, 15-17 (1997)
- [7] S Allie et al, *Teaching measurement in the introductory physics laboratory*, The Physics Teacher **41**, 394-401 (2003)
- [8] F Cardarelli, *Scientific Unit Conversion* 2nd Ed., Springer, Singapore 1999
- [9] R. A. Nelson, *Foundations of the international system of units (SI)*, The Physics Teacher **19**, 596-613 (1981)
- [10] M L McGlashan, *Units, particularly SI units*, Phys. Education **4**, 1-11 (1969)
- [11] C B Spurgin, *SI units in school physics*, Phys. Education **4**, 12-18 (1969)
- [12] W F Archenhold, *Electromagnetism using SI units*, Phys. Education **1**, 171-179 (1966)
- [13] I Robinson, *Redefining the kilogram*, Phys. Education **39**, 31b-35b (2004)
- [14] H. F. Stimson, *Heat units and temperature scales for calorimetry*, Am. J. Phys. **23**, 614-622 (1955)
- [15] *New International temperature Scale*, Am. J. Phys. **17**, 326 (1949)
- [16] W. R. Barron, *Temperature scales*, American Journal of Physics, Vol. **25**, p. 326 (1957)
- [17] R E M Shaw, *Teaching heat using the joule*, Phys. Education **5**, 292-297 (1970)