CENTRO ASOCIADO UNED DE CIUDAD REAL

SEDE DE VALDEPEÑAS

GRADO EN FÍSICA

PRACTICAS DE TÉCNICAS EXPERIMENTALES I

Práctica 1

MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO.

Objeto:

Adquirir los conceptos de velocidad media y velocidad instantánea, estudiar la ecuación general del movimiento uniformemente acelerado en un plano inclinado y obtener la aceleración de la gravedad.

Fundamentos teóricos:

La velocidad media se define como el cociente entre el espacio recorrido por un móvil *e* y el tiempo *t* empleado.

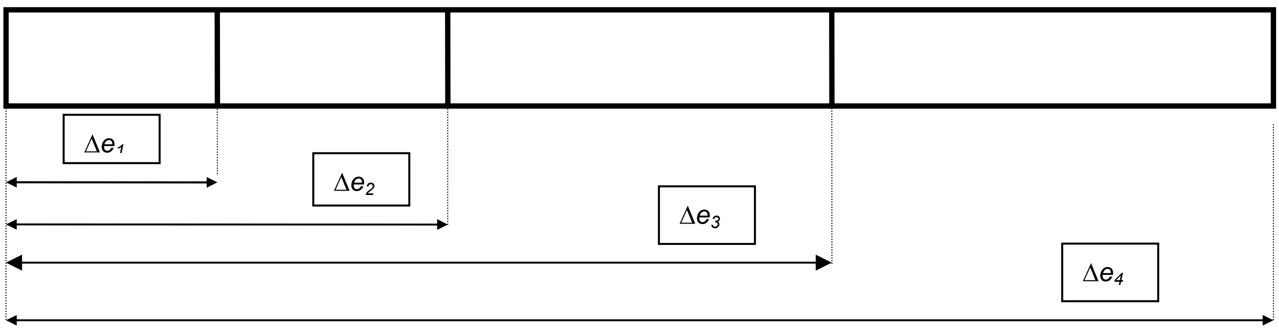
Tomemos los intervalos de los espacios $\Delta e_1,\ \Delta e_2, \ldots,$ (Fig. 1) y los tiempos que un móvil ha empleado en recorrerlos: $\Delta t_1,\ \Delta t_2, \ldots$Las velocidades medias en cada uno de estos espacios serán:

$$\boldsymbol{V}_{m1} = \frac{\Delta e_1}{\Delta t_1}; \qquad \boldsymbol{V}_{m2} = \frac{\Delta e_2}{\Delta t_2}; \ldots \qquad [1]$$

Sin embargo la velocidad media no nos da información real sobre la velocidad que tiene el móvil en un punto determinado de su trayectoria por lo que hay que introducir el concepto de velocidad instantánea:

$$Lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta e_n}{\Delta t_n} = \frac{de}{dt}$$

Figura 1

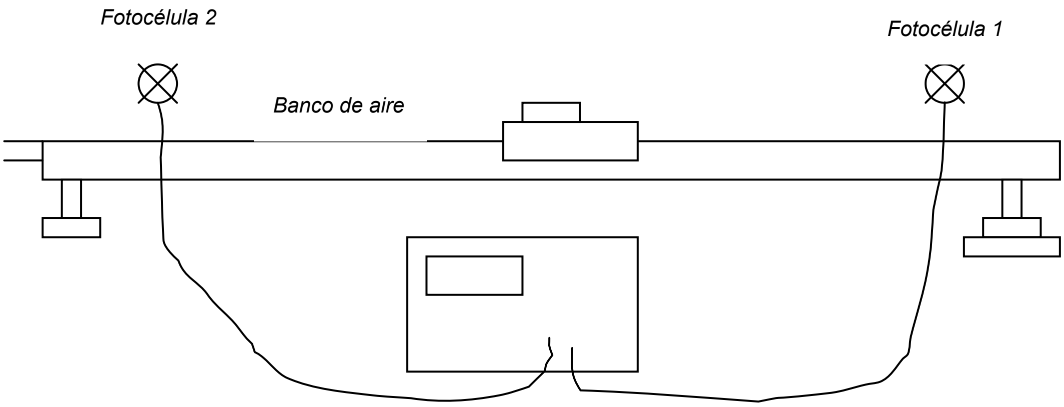


La ecuación general del movimiento uniformemente acelerado de un móvil *es:*

$$e(t) = e_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (2)$$

Procedimiento experimental:

Se monta el banco neumático con una ligera inclinación tal y como se índica en la figura de abajo. Para medir velocidades medias se fija la fotocélula 1 en un punto del comienzo del recorrido del móvil y la fotocélula 2 se va emplazando a distintas distancias (por ej. 30, 60, 90, 120 y 150 cm). Se sitúa el móvil en el punto más alto del plano inclinado, se suelta y se mide el tiempo que tarda en recorrer cada una de las distancias.



Para calcular las velocidades instantáneas hemos de medir el tiempo que tarda el móvil en recorrer un intervalo corto de espacio. Para ello repetiremos la experiencia sólo con una fotocélula que conectaremos a la entrada izquierda del reloj, puentearemos las conexiones amarillas del mismo y situaremos en las posiciones ⊗ y • respectivamente los interruptores izquierdo y derecho. Con ello conseguimos medir el tiempo que tarda en pasar la pantalla obturadora del móvil por la célula y por tanto mediremos, para cada distancia, el tiempo que tarda en recorrer la longitud de esa pantalla.

Cálculos y resultados.

1. Hallar las velocidades medias para cada distancia dividiendo cada una de ellas por el tiempo.

Hallar las velocidades instantáneas obtenidas para cada distancia y comprobar las diferencias con las velocidades medias antes calculadas. Completar la siguiente tabla y comparar ambas velocidades.

Distancia ***unidades (±error)***	***Δt*** ***unid.(±error)***	***V_{media}*** ***unid.(±error)***	***$V_{instantánea}$*** ***unid.(±error)***

2. Representar ahora las distancias recorridas (eje Y) frente al tiempo (eje X). Ajústese a una recta y a una parábola y hállense las ecuaciones y los coeficientes de regresión r^2. Comparar los dos coeficientes de regresión; se observará que la línea obtenida se ajusta mejor a una parábola lo que corrobora que la ecuación del movimiento es de segundo grado respecto del tiempo. La ecuación del movimiento es:

$$e(t) - e(0) = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (3)$$

si $e(0) = 0$ y $v(0) = 0$, la ecuación se queda como

$$e(t) = \frac{1}{2} a t^2$$

Para comprobarlo, representar *espacio* (eje *y)* frente a *tiempo*^{2} (eje *x*). Se deberá obtener una recta del tipo *Y = pendiente • X + ordenada en el origen.* Hallar la ecuación de la recta y el coeficiente de regresión: la ordenada en el origen debe ser próxima a cero y la pendiente igual a un 1/2 de la aceleración.

3. Si representamos las velocidades instantáneas frente al tiempo que tarda en llegar el móvil a cada punto (el medido en primer lugar) obtendremos de nuevo una recta pendiente a y una ordenada en el origen v_0. Hallar la ecuación de la recta y el coeficiente de regresión Comparar las dos aceleraciones obtenidas en cada una de las gráficas.

4. El movimiento uniformemente acelerado se ha conseguido mediante un plano inclinado sin rozamiento por lo que la fuerza implicada será $F = m\ g\ sen\alpha$. Medir el ángulo del plano inclinado y obtener el valor de la aceleración de la gravedad despejando de la igualdad:

$$F = m \cdot a = m \cdot g \cdot sen\ \alpha.$$

Práctica 2

RESORTE HELICOIDAL. LEY DE HOOKE

Objetivo.

Comprobar la ley de Hooke en un muelle y medir su constante elástica.

Analizar el movimiento armónico del oscilador y medir la constante elástica dinámicamente.

Determinar la masa efectiva del muelle.

Fundamentos teóricos.

Se denomina a un determinado cuerpo como "elástico" si al actuar una fuerza sobre ´el, este sufre una deformación tal que, al cesar la fuerza aplicada, el cuerpo recupera su forma original.

En 1676 Robert Hooke, un científico inglés, contemporáneo de Newton, descubrió y estableció la ley que lleva su nombre y que se utiliza para definir las propiedades elásticas de un cuerpo. En el estudio de los efectos de las fuerzas de tensión, y compresión, observó que había un aumento en la longitud del resorte, o cuerpo elástico, que era proporcional a la fuerza aplicada, dentro de ciertos límites. Esta observación puede generalizarse diciendo que la deformación es directamente proporcional a la fuerza deformadora:

$$F = - k \cdot \Delta y \quad (1)$$

Donde F es la fuerza, medida en newtons, k, la constante elástica del resorte y Δy, el alargamiento, o compresión (y-y_0). El signo negativo indica que la fuerza del resorte es restitutiva, u opuesta a la fuerza externa que lo deforma. Esta expresión se conoce con el nombre de ley de Hooke. Si la fuerza deformadora sobrepasa un cierto valor máximo, el cuerpo no volverá a su tamaño (o forma) original después de suprimir esa fuerza. Entonces se dice que el cuerpo ha adquirido una deformación permanente. La tensión, o compresión, más pequeña que produce una deformación permanente se llama límite de elasticidad. La ley de Hooke no es aplicable para fuerzas deformadoras que rebasan el límite de elasticidad. Tanto la constante elástica como el límite de estabilidad están determinados por la estructura molecular del material. Por otro lado, la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación, se conoce como módulo de elasticidad o módulo de Young, E.

Por otro lado, cuando el movimiento de un objeto se repite en intervalos regulares, o períodos, se le llama movimiento periódico. En la situación experimental que emplearemos en esta práctica, (ver figura) el muelle está situado verticalmente y de su extremo pende un platillo portamasas de masa m_0. Este portamasas está sometido a su peso y a la fuerza elástica del muelle. Por la segunda ley de Newton y dado que ambas fuerzas son verticales se tiene que la resultante satisface:

$$\sum F_y = -k\Delta y + m_0 g = m_0 \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (2)$$

Cuando ponemos una pesa de masa m sobre el platillo el muelle se estira hasta que la posición del platillo es y

$$k(y - y_0) = mg \quad (3)$$

Este es el llamado método estático de medir la constante del muelle. Hay un modo dinámico de medir la constante elástica que describimos a continuación. Si desplazamos el portamasas a una distancia y que no es la de equilibrio, la segunda ley de Newton nos dice que la resultante de las fuerzas es igual a la masa por la aceleración.

Pero, ¿cuál es la masa que se acelera? En este caso hay que considerar que además de la masa m, está la del platillo m_0 y una masa efectiva del muelle $m_{ef} = \alpha\, m_s$. Esta masa efectiva es una fracción $0 < \alpha < 1$ de la masa total m_s del muelle que tiene en cuenta que sólo se mueve una parte del muelle. Así pues, la ecuación 2 nos queda

$$-k(y-y_0)=(m+m_0+\alpha m_s)\frac{d^2y}{dt^2} \quad (4)$$

Esta es la conocida ecuación de un oscilador armónico de masa $M = m + m_0 + m_s$ y constante k cuyo periodo T sabemos que es

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}} \quad (5)$$

El modo dinámico de obtener la constante elástica consiste en medir el periodo de las oscilaciones para varios valores de la masa m. Según la ecuación 4, la función $T^2\,(m)$ es una ecuación lineal

$$T^2 = 4\pi^2\frac{m}{k} + 4\pi^2\frac{\alpha m_s + m_0}{k} \quad (6)$$

Cuya pendiente y ordenada en el origen son respectivamente

$$Pendiente = 4\pi^2\frac{1}{k} \quad (7) \qquad Ord.Orig. = 4\pi^2\frac{\alpha m_s + m_0}{k} \quad (8)$$

Procedimiento experimental.

Con el montaje que aparece en la figura se van a realizar medidas del la constante elástica y del periodo de oscilación del resorte helicoidal. Previamente se tomarán los datos del muelle: peso, longitud, número de espiras por unidad de longitud y número de espiras totales del mismo.

Coloque el portamasas en la parte inferior del muelle y añada una masa suficiente para que el muelle quede tenso (en general *10 g* serán suficientes). Pese el platillo junto con esta masa y considere esta masa como m_0. Anote la posición de equilibrio sobre la regla y considere esta posición como y_0. Tome como referencia el punto inferior del portamasas.

Coloque una masa m y mida la posición y respecto del punto de referencia y_0.

Estire o comprima levemente el platillo hacia abajo (es conveniente trabajar con pequeñas oscilaciones porque sólo en ese caso el periodo es independiente de la amplitud de la oscilación) de modo que, al dejarlo en libertad, empiece a oscilar verticalmente. Se dejan pasar las primeras oscilaciones hasta que se estabilice el movimiento, se cronometra el tiempo empleado en 20 oscilaciones. Empiece a contar en una de las posiciones extremas, la más alta o la más baja, y cuente una oscilación cada vez que la masa pasa por esa posición.

Se agregan sucesivamente pesas cada vez mayores (al menos 10 distintas, por ej. 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, g), midiéndose y anotándose los alargamientos o aumentos de longitud correspondientes a cada sobrecarga y los periodos de oscilación.

Tabla de datos del experimento (t es el tiempo de n oscilaciones)

m (kg)	$m+m_0$ (kg)	y (m)	$y-y_0$ (m)	Tiempo t (s)	Periodo, $T=t/n$	T^2 (s^2)

Cálculos y resultados.

1. Represente la deformación $y-y_0$ frente a la masa m y ajuste los puntos a una recta de ecuación $y = mx + b$. Obtenga la ecuación de la recta, el coeficiente de regresión y los errores de la pendiente y la ordenada en el origen. Esta gráfica equivale a representar la ecuación (*3)* y, por tanto, permite calcular la constante g/k a partir de la pendiente de la recta. Determinar el valor de k.

¿Qué representa el valor obtenido de b?

2. Represente T^2 frente a m, que como nos dice la ecuación (*6)*, es una recta. De esta grafica estime el valor de la constante k a partir de la pendiente de la recta, ecuación (*7)*.

3. Compare los resultados de k obtenidos por el método estático y dinámico y determine el error relativo cometido suponiendo que el resultado correcto sea el estático.

4. Con los resultados del apartado anterior comente las diferencias entre ambos métodos desde un punto de vista experimental.

5. De la gráfica del punto 2 estime la ordenada en el origen de la recta y de ahí con la ecuación *8*, el valor de α. ¿Qué significa este coeficiente? ¿En qué rango de valores espera que se encuentre?

Práctica 3.
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 α 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 !a forma

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

donde A, ω y δ 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

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

cumpliéndose además

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}\left[1+\left(\frac{1}{2}\right)^2 sen^2\frac{\alpha}{2}+\left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2 sen^4\frac{\alpha}{2}+\left(\frac{1\cdot 3\cdot 5}{2\cdot 4\cdot 6}\right)^2 sen^6\frac{\alpha}{2}+\cdots\right]$$

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

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

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

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

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

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

en donde Δg, Δl y ΔT 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 (la masa más ligera de las suministradas) 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, entre 1 y 2 m por ejemplo.

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 9,99 s 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 (ΔT) del orden de 0,001 segundo.

Se repite lo mismo para otras 5 longitudes de hilo.

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

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

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

l (m)	$\Delta l/l$	T (s)	$\Delta T/T$	g (ms^{-2})	Δg (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. Ajústese la recta mediante el método de mínimos cuadrados. Obtener la ecuación de la recta, el coeficiente de regresión y los errores de la ordenada en el origen y la pendiente.

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

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

Cuya pendiente será

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

Calcúlese g a partir de esta pendiente.

2. Dependencia con la amplitud de oscilación.

Repetir los pasos anteriores con cinco longitudes de alrededor de 1 m y con amplitudes de oscilación de 45º 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. Obtener la ecuación de la recta, el coeficiente de regresión y los errores de la ordenada en el origen y la pendiente. ¿La pendiente de la recta es mayor o menor?

3. Dependencia con la masa.

Repetir las distancias del apartado 1 con una masa m más pesada. ¿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 m/s²*.

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

Práctica 4.

RESISTENCIA ELÉCTRICA.

Objetivo:

Comprobar la ley de Ohm para un hilo conductor. Esto es, medir la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un hilo conductor y determinar la relación entre intensidad, voltaje y resistencia.

Medir y determinar tres de los factores de los que depende la resistencia de un hilo conductor, la longitud, la sección y la resistividad del material del que está hecho el conductor.

Fundamentos Teóricos.

La Ley de Ohm es una ley empírica que establece que si entre los extremos de un hilo conductor se mantiene una diferencia de potencial ΔV, por el conductor circula una corriente de intensidad *I* tal que

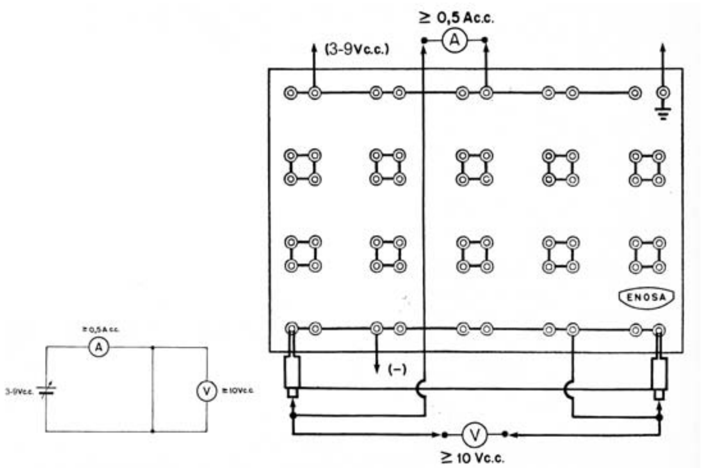
$$\frac{\Delta V}{I} = R \quad (1)$$

donde la resistencia R es una constante para cada conductor que depende tanto del material del que está hecho como de su forma. La ley de Ohm establece, por tanto, que R no depende de la intensidad, que es el comportamiento que presentan la mayoría de los conductores. Sin embargo hay materiales llamados no óhmicos que presentan una resistencia que sí depende de la intensidad.

La resistencia de un material óhmico al paso de la corriente depende en primer lugar de la resistividad ρ del material. Cuanto menor es la resistividad mejor conductor es el material. Así, la plata, que es uno de los mejores conductores tiene una resistividad de $\rho = 0,016\ \Omega\text{m}$ mientras que la baquelita, que es un aislante, tiene una resistividad de $\rho = 10^{20}\Omega\text{m}$. Para una determinada sustancia, la resistencia también depende de la forma. Para el caso de un cable, que es un cilindro de longitud L y sección S la resistencia es proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección, según la ecuación:

$$R = \rho\frac{L}{S} \quad (2)$$

Procedimiento.



El dispositivo experimental consta de un hilo conductor montado entre unos bornes aislados que se conecta en serie con un amperímetro A y la fuente de alimentación (en serie con esta se conecta una década de resistencias para poder variar el voltaje del sistema). Con un voltímetro *V* se mide la diferencia de potencial entre los extremos del hilo conductor.

Se monta el circuito para un hilo de determinada sección, colocando las pinzas de la fuente de manera que la distancia sea L (L no es la longitud del hilo sino la distancia entre los puntos donde se establece la diferencia potencial). Con la fuente apagada se instala el circuito según se ha descrito para un cable de longitud y sección dadas. Nos aseguramos de que las escalas del amperímetro y del voltímetro son las adecuadas. Se tratará de trabajar con el voltaje más pequeño de la fuente de alimentación siempre que ello permita medidas fiables de Intensidad de corriente. Asegúrese de que los botones selectores de la fuente están al mínimo. Las medidas se efectúan siempre de la misma manera: manipulando los botones de la fuente y de la década de resistencias establecemos una corriente I y con la ayuda del voltímetro anotamos el valor de ΔV. Tomar así 8 valores de I a intervalos regulares teniendo en cuenta que la intensidad no debe sobrepasar los 2,5−3,0 A. Se repite el procedimiento para 4 longitudes diferentes del hilo.

Repetir la experiencia para las otras secciones del hilo (0,1; 0,2; 0,3 y 0,4 mm).

Análisis

1. Ley de Ohm. Representar en una gráfica ΔV en función de I para cada una de las series de datos. Cada serie se debe ajustar a una recta cuya pendiente es la resistencia del conductor según vemos en la ecuación (*1*). ¿Qué significa la ordenada en el origen que se obtiene en el ajuste de los datos? ¿Por qué no salen todas las rectas con la misma pendiente?

2. A partir de los ajustes anteriores completar la siguiente tabla en la que se presentan los valores de la resistencia de cada serie en función de la longitud y la sección de cada cable.

S=		S=		S=		S=	
L (m)	R (Ω)	L(m)	R(Ω)	L(m)	R(Ω)	L(m)	R(Ω)

3. Dependencia de R con L. Representar gráficamente los valores de R frente a L, y comprobar que para cada sección de hilo se obtiene una recta, cuya pendiente es ρ/S. Calcular las correspondientes regresiones lineales y obtener el coeficiente de regresión, la pendiente y la ordenada en el origen de cada una de las rectas y su correspondiente error. ¿Qué significa ahora la pendiente de cada recta? ¿Cuántas rectas hay?¿Por qué?

4. Dependencia de R con S. Representar gráficamente los valores de R frente a $1/S$, y comprobar que para cada valor de la longitud L del hilo se obtiene una recta, cuya pendiente es ρL. Calcular las correspondientes regresiones lineales y obtener la pendiente y la ordenada en el origen de cada una de las rectas y su correspondiente error. ¿Qué significa ahora la pendiente de cada recta? ¿Cuántas rectas hay?¿Por qué?

5. Medida de la resistividad. Después de demostrar la dependencia funcional de la resistencia con la longitud y la sección vamos a calcular el valor de la resistividad del material de que están compuestos los hilos conductores. Para ello representamos R frente a L/S. Ajustar los valores a una recta, cuya pendiente es, según la ecuación (*2*), la resistividad del material. Comparar el error cometido con lo valores de la resistividad que se pueden obtener de las dos gráficas anteriores. ¿Por qué es este el método con el que se obtiene el menor error?

6. Con el valor de la resistividad calculado y con la ayuda del libro de texto o por buscando en internet, identificar el material del que está fabricado el hilo.

Práctica 5.
POLÍMETRO Y OSCILOSCOPIO

Objetivo

Aprender el manejo de dos instrumentos muy comunes en el laboratorio, como son el polímetro y osciloscopio. Para ello nos proponemos realizar las medidas más usuales con estos instrumentos

Introducción teórica

1. Polímetro.

El polímetro es un instrumento de medida de carácter general, que como su nombre indica, sirve para medir voltajes, corrientes y resistencias en una gama más o menos amplia de valores, que depende del numero de escalas que tenga el aparato.

Los polímetros usuales sirven para medir voltajes, corrientes y resistencias en corriente continua (c.c.), así como voltajes y corrientes en alterna (c.a.). El aparato tiene una entrada común para unir al potencial más bajo (tierra) y una o dos entradas adicionales. Una de estas entradas es de carácter general (para todo tipo de medida) y la otra, en el caso de existir, suele utilizarse para medida de corrientes. Con una serie de conmutadores, o un conmutador rotatorio, seleccionamos el tipo de medida a realizar (voltajes, corrientes o resistencias), a continuación si se mide en c.c. o en c.a. y terminamos con la selección de la escala adecuada, comenzando por la más alta.

Si el aparato es analógico, las medidas se hacen con un galvanómetro d´Ansorval o de aguja, en cuya carátula están gravadas las distintas escalas. En el caso de polímetros digitales, en la pantalla numérica aparecen los valores y una serie de símbolos que indican si se miden voltajes, corrientes o resistencias, además del signo en el caso de voltajes.

PRECAUCION: Nunca conectar el polímetro con la escala de corrientes directamente a la red o una pila, pues dañaría irreversiblemente el aparato. Poner las escalas empezando por la más alta. No aplicar voltajes cuando el aparato está preparado para medida de corrientes o resistencias.

2. Osciloscopio

El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. El eje vertical Y representa el voltaje, mientras que el eje horizontal X representa el tiempo. Con un osciloscopio podemos determinar directamente el periodo y el voltaje de una señal y de forma indirecta la frecuencia de una señal, así como la fase entre dos señales. Además, el osciloscopio nos permite determinar qué parte de la señal es corriente continua y cuál alterna así como determinar qué parte de la señal es ruido y cómo varía este con el tiempo.

Dada la facilidad del osciloscopio para observar señales variables, se utiliza para mostrar transitorios y señales que varían muy rápidamente, así como para la medida de intervalos de tiempo entre dos valores de un voltaje o el desfase entre dos señales sinusoidales.

El osciloscopio refleja en la pantalla lo que ocurre en el tiempo con la señal eléctrica observada.

Manejo del osciloscopio

Controles externos básicos que posee un osciloscopio:

1. El primero de ellos que se ocupa únicamente del eje X, esto es del eje de tiempos. En ese bloque hay una escala de tiempos que nos permite determinar con mayor o menor fineza el periodo de nuestra señal en la pantalla; además dispone de un mando para desplazar horizontalmente la señal en la pantalla para facilitar dicha medida.

2. En el segundo bloque dedicado al eje vertical (voltajes), admite dos señales de entrada (canales *A* y *B*) y dispone de sendas escalas de voltajes y de mandos de control del desplazamiento vertical, todo ello, nuevamente, con el fin de obtener un grado de finura mayor en nuestras medidas. Por ejemplo si el mando esta en la posición 2 voltios/div significa que cada una de las divisiones verticales de la pantalla (cuadrados de aproximadamente un 1 cm con 5 subdivisiones) representan 2 voltios y cada subdivisión representa 2 voltios/5 = 0,4 voltios (la misma consideración se hace para la medida de tiempos).

Controles adicionales:

1. Sistema de visualización: Intensidad. Se trata de un potenciómetro que ajusta el brillo de la señal en la pantalla. Este mando actúa sobre la rejilla más cercana al cátodo del CRT, controlando el número de electrones emitidos por este.

2. Sistema de visualización: Enfoque. Se trata de un potenciómetro que ajusta la nitidez del haz sobre la pantalla. Este mando actúa sobre las rejillas intermedias del CRT controlando la finura del haz de electrones.

3. Sistema de visualización: Rotación del haz. Resistencia ajustable actuando sobre una bobina y que nos permite alinear el haz con el eje horizontal de la pantalla. Campos magnéticos intensos cercanos al osciloscopio pueden afectar a la orientación del haz. La posición del osciloscopio con respecto al campo magnético terrestre también puede afectar. Se ajustará dicha resistencia, con el mando de acoplamiento de la señal de entrada en posición GND, hasta conseguir que el haz esté perfectamente horizontal.

4. Trigger (disparador) sincroniza el comienzo del movimiento horizontal del haz con el valor nulo de $V(t)$ dando lugar a una trayectoria del haz que no cambia de un periodo T, de movimiento horizontal, a otro. Observará que desaparece la superposición de figuras sinusoidales de la pantalla quedando una imagen estable de coordenada "y" nula en el borde izquierdo, correspondiente al comienzo del barrido horizontal. Con el pulsador +/- se selecciona la inclinación del flanco (pendiente) de disparo con valores de $V(t)$ nulos y crecientes o decrecientes

A la hora de medir voltajes debemos recordar que cuando hablamos de voltaje queremos realmente expresar la diferencia de potencial eléctrico, expresado en voltios, entre dos puntos de un circuito. Sin embargo, normalmente uno de los puntos esta conectado a masa (0 voltios) simplificando el lenguaje y hablando así del voltaje en el punto A (subyaciendo la idea de que lo que se mide es la diferencia de potencial entre el punto A y GND). Los voltajes pueden también medirse de pico a pico (entre el valor máximo y mínimo de la señal), conociéndose el resultado como tensión pico a pico, que no es más que la diferencia de potencial entre el máximo y el mínimo de la señal en la pantalla, como se observa en la Figura 1.

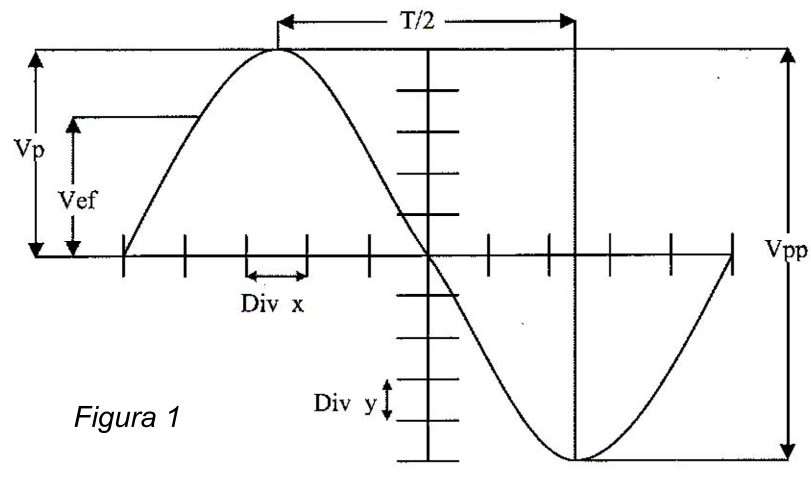


Figura 1

Es importante que la señal ocupe el máximo espacio posible de la pantalla para realizar medidas fiables lo cual se logrará variando adecuadamente la escala en el eje.

Para realizar medidas de tiempo se utiliza la escala horizontal del osciloscopio. Esto incluye la medida de periodos, anchura de impulsos y tiempo de subida y bajada de impulsos.

Funcionamiento en modo xt

Cuando a las placas horizontales se les aplica una tensión generada internamente en forma de diente de sierra y a las verticales se les aplica la señal que queremos estudiar (por ejemplo sinusoidal), la combinación de ambas tensiones hace que la sinusoide quede dibujada en la pantalla.

La señal de barrido generada por el osciloscopio puede iniciarse de forma automática o, para un mejor sincronismo, se dispara el barrido con el comienzo de la señal a analizar, lo que se logra colocando el botón en posición “normal” y actuando sobre el mando giratorio de disparo (trigger). También se puede disparar el barrido por medio de una señal de tensión externa. Para ello existe una entrada de señal y un pulsador marcado con “Ext”. Como normalmente la función correspondiente se activa al pulsar el mando, este pulsador no debe estar presionado durante las medidas puesto que operaremos siempre con barrido interno.

El osciloscopio tiene dos entradas de señal, canales A y B que, en este modo de operar, permiten ver alternativamente las dos señales en función del tiempo ó la suma de ambas.

Funcionamiento en modo xy

En este modo de funcionamiento el osciloscopio muestra en la pantalla la composición resultante de dos señales: una se introduce en el canal I y otra en el canal II, aplicada ahora una de ellas a las placas horizontales y la otra a las verticales. Por lo tanto, en la posición XY no actúa la base de tiempos. Para operar en este modo hay que pulsar el botón marcado con “XY”

Procedimiento

1. Medidas con el polímetro

1.1. Medida de resistencias

Para seis de las resistencias que se suministran en la práctica se determinará en primer lugar el valor nominal, *Rnom*, aplicando el código de colores. A continuación, seleccionando el modo para medir resistencias en el polímetro y poniendo la escala adecuada, se obtienen los valores experimentales de las resistencias, *Rexp*. No olvidar indicar las unidades en que se mide cada resistencia y el error de escala.

Resultados:

R nominal	*R experimental*	*Error de escala*

1.2. Medidas de voltaje en c.c. y en c.a.

Se tomarán ocho medidas de voltajes, cuatro en c.c. y cuatro en c.a. suministrados por la fuente de alimentación de voltaje variable. Para ello, se selecciona el modo para medir voltajes en c.c. en el polímetro y la escala adecuada, y se conecta el polímetro a la salida de la fuente. Si el polímetro lo permite, realizar medidas para cada tensión en tres escalas diferentes para ver el grado de precisión de cada una.

Resultados

V nominal (tipo cc/ca)	*V experimental*		
	Escala 1	*Escala 2*	*Escala 3*

1.3. Medida de corrientes en c.c.

Montar el circuito indicado en la Figura 2 y medir la corriente para seis valores distintos de la resistencia total del circuito. Para ello la fuente de alimentación se sitúa a 9-12 V *c.c.* y se varía el valor de la resistencia *Rc* (escala x10Ω) que suministra la caja de resistencias. En primer lugar se selecciona el modo para medir corrientes en c.c. en el polímetro y la escala adecuada. Para esto ultimo, debemos calcular previamente, aplicando la ley de Ohm, cual sería la corriente que circulará por el circuito en el caso más desfavorable, esto es *Rc* = 0. El valor de la resistencia de protección *Rp* es de 47 Ω

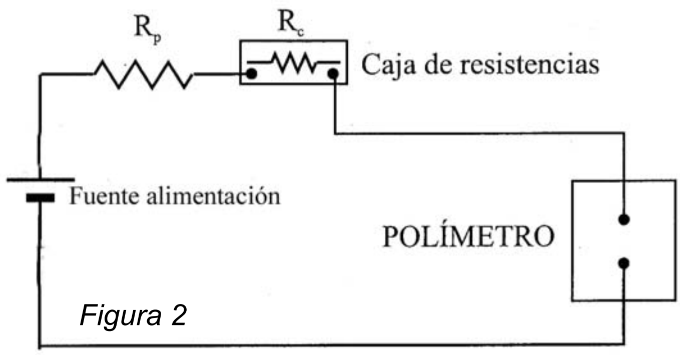


Figura 2

De nuevo, compararemos los resultados experimentales con los teóricos, obtenidos de aplicar la ley de Ohm al circuito.

Resultados:

V (fuente alimentación) = V		
R nominal total	*I teórica = V/R*	*I experimental*

2. Medidas con el osciloscopio

PRECAUCION: No se debe mantener el centelleo (spot) debido a la incidencia del haz de electrones en la pantalla en un punto fijo y con intensidad ligeramente superior a la normal, ya que se daña la pantalla por destrucción del material fosforescente.

2.1. Medidas de voltajes

Realizaremos una serie de medidas que nos permiten aprender el manejo del osciloscopio y la medida de voltajes correspondientes a señales periódicas suministradas por el generador de funciones. También compararemos las medidas realizadas con el osciloscopio y el polímetro para estas señales de c.a. Para ello es necesario introducir el concepto de valor eficaz (el medido por el polímetro) y valor medio de una función periódica.

$$V_m = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} V(t)\, dt$$

$$V_{ef} = \left(\frac{2}{T}\int_0^{T/2} V(t)\, dt \right)^{1/2}$$

Las funciones de las señales sinusoidales y rectangulares vienen dadas por:

$$V(t) = V_o \; sen\, \omega\, t$$

$$V(t) = \begin{cases} V_0 \;\; para\; 0 \le t \le T/2 \\ -V_0 \;\; para\; T/2 \le t \le T \end{cases}$$

Realizando las integraciones correspondientes:

Señal	V_p	V_{med}	V_{ef}
Cuadrada	V_0	$2V_0$	V_0
Sinusoidal	V_0	$2V_0/\pi$	$V_0/\sqrt{2}$

Utilizando frecuencias inferiores a 5 kHz, aplicamos varias señales de tipo sinusoidal y rectangular procedentes del generador de funciones a uno de los canales de entrada del osciloscopio para medir la amplitud de la misma. A continuación medimos esta misma señal con el polímetro (seleccionando el modo voltaje c.a.) y, por último, determinamos los valores eficaz y medio de la señal aplicando los resultados obtenidos en el apartado anterior. De esta forma podemos comparar las medidas realizadas con el osciloscopio y el polímetro.

Resultados:

Tipo de señal	*V_p oscilosc*	*V polímetro*	V_{eficaz}	V_{medio}

2.2. Impedancia de entrada del osciloscopio

Para medir la impedancia de entrada de un osciloscopio, que es muy elevada, lo que se hace esencialmente es construir un divisor de tensión con una resistencia muy elevada para que sea comparable con la impedancia de entrada del osciloscopio. Montamos el circuito indicado en la Figura 3. Aplicando la ley de Ohm, es fácil ver que:

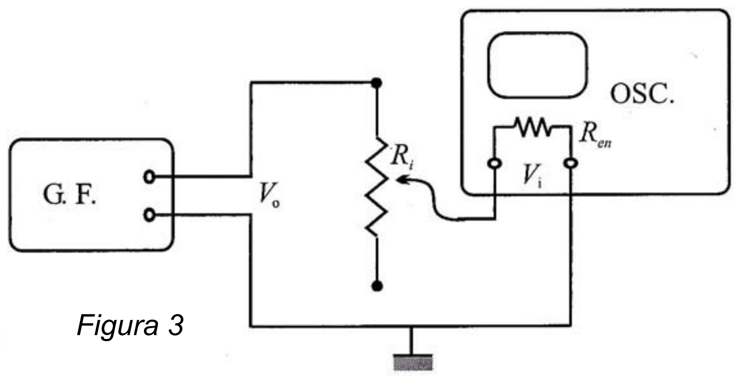


Figura 3

$$V_i = \frac{R_{ent}}{R_{ent}+R_i} V_0 \Rightarrow R_{ent} = \frac{V_i}{V_0 - V_i} R_i$$

Medimos el voltaje, V_i, en el osciloscopio para dos valores de R_i, R_1 = 0,5 MΩ (dos resistencias de 1 MΩ puestas en paralelo) y R_2 = 1MΩ y aplicando la expresión anterior, determinamos los valores para R_{en}. Para cada resistencia se utilizarán 5 voltajes de salida del generador (V_0) entre 2 y 10 V. El valor pedido será la media aritmética de los diez datos obtenidos.

Resultados:

	Ri = 0,5 MΩ		*Ri = 1,0 MΩ*	
V_0	V_i	R_{ent}	V_i	R_{ent}

2.2.3. Medida de intervalos de tiempo y frecuencias

Se aplica a los canales verticales una señal periódica (sinusoidal, rectangular o triangular), procedente del generador de funciones. Utilizando el mando de la base de tiempos (BT), modificamos su posición hasta que en la pantalla aparezcan de dos a tres ciclos completos. Medimos las divisiones que hay entre dos puntos de corte de la señal con el eje X, cuando la señal pasa por el cero de su valor alterno. Esta medida, multiplicada por el factor (s/div) que marca la escala de la BT, nos da el intervalo temporal que deseamos medir. En el ejemplo propuesto dicho intervalo es un semiperiodo, multiplicando por dos tendremos el periodo de la señal aplicada. La frecuencia se calcula teniendo en cuenta la relación $f = 1/T$.

Resultados:

f nominal (kHz)	*T (s)*	*f experimental (kHz)*

2.2.4. <u>Medidas de fase</u>.

El desfase entre señales del mismo periodo puede medirse con el osciloscopio. Aplicando cada señal a uno de los canales verticales, aparecerían las dos señales en la pantalla. Si existe un desfase entre ellas, sus máximos, ceros y mínimos estarán desplazados. Midiendo el intervalo de tiempo entre dos ceros consecutivos nos dará un valor *t*, que está relacionado con el desfase por la ecuación

$$\Delta\theta = 2\pi \frac{t}{T}$$

Aunque esta forma de medir desfases es rápida, suele utilizarse el método basado en la figura de Lissajous que se obtiene aplicando señales sinusoidales a las placas *X* e *Y*, cuyas ecuaciones sean respectivamente

$$x = x_0 \ sen\omega t$$
$$y = y_0 \ sen(\omega t + \theta)$$

La Figura 4 muestra la composición sobre el osciloscopio de las señales sinusoidales aplicadas respectivamente en las placas X e Y.

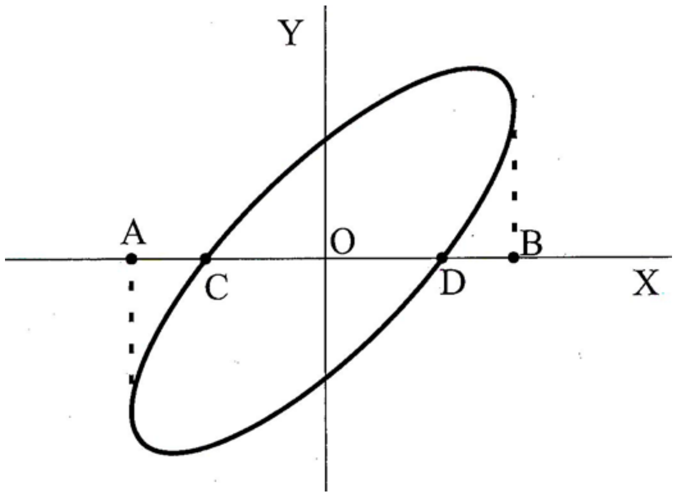


Figura 4

En los puntos *C* y *D*, y = 0, por tanto,

$$sen(\omega t + \theta) = 0$$

Esta igualdad se cumple para:

$$(\omega t + \theta) = n\pi \qquad n = 0, 1, 2, ...$$

En el Manual de Técnicas Experimentales I *se demuestra que se puede calcular el ángulo de desfase mediante la relación:*

$$\theta = arc\ sen\left(\frac{CD}{AB}\right) \qquad [1]$$

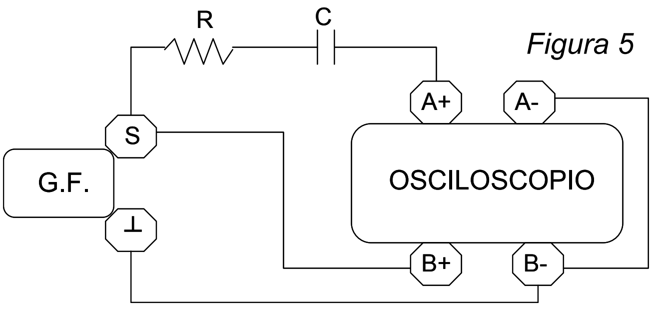


Figura 5

REALIZACIÓN: Montamos el circuito indicado en la Figura 5. El conjunto formado por la resistencia R y el condensador C, constituyen un desfasador que proporciona en los puntos A y B voltajes sinusoidales cuyo desfase podemos variar con la resistencia R o con el condensador C. Para empezar se puede fijar R a 1kΩ y variar C con 0.1, 0.47, 1.0 y 10 µF

El desfase viene dado por la expresión:

$$\theta = -arc\ tg(\omega\ C\ R) \qquad [2]$$

$$\omega = 2\ \pi\ \upsilon = 2\pi\frac{1}{T}$$

Manteniendo fija la amplitud y frecuencia del oscilador, mediante la resistencia R variamos el desfase. Medir el desfase para cinco valores distintos de la resistencia R, utilizando la figura de Lissajous y la ecuación (1) y compararlo con el valor teórico obtenido mediante la ecuación (2).

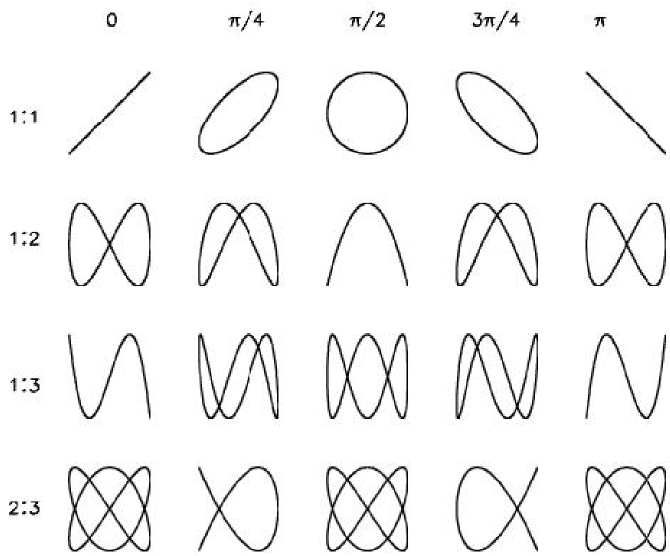
C = ( )				
R ( )	CD	AB	θ_{exp} (º) [1]	$\theta_{teórico}$ (º) [2]

3.2.5. Figuras de Lissajus

En la práctica tomaremos una señal que será la suministrada por una fuente de alimentación que tendrá la frecuencia (υ) de la red eléctrica (50 Hz) y amplitud de 3 V c.a. La otra señal la tomaremos del generador cuya frecuencia podemos variar y de una amplitud parecida (46% con amplitud 1:1 debe dar unos 3,2 V; medir con un polímetro para asegurarse).

Variando el selector de frecuencias del generador de señales podremos ver las distintas figuras de Lissajous para una relación entera entre las frecuencias de las señales, que son las figuras más características: $\upsilon_1/\upsilon_2 = \omega_1/\omega_2$ = 1, 2, 3, … (frecuencias nominales del generador = 50, 100, 150, ... Hz). Estas figuras (Fig. 5) también dependen del desfase. Este parámetro no lo podemos controlar por lo que, una vez sincronizada la relación de frecuencias, la figura de la pantalla no es del todo estable y varía recorriendo las formas correspondientes a los desfases posibles.

Resultados: Observe las figuras de Lissajous para las relaciones de frecuencias 1:1, 1:2, 1:3 y 2:3, haga una captura de cada una en un archivo de imagen y refléjelo en el informe de prácticas.



Practica 6.

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:

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

Siendo μ_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.

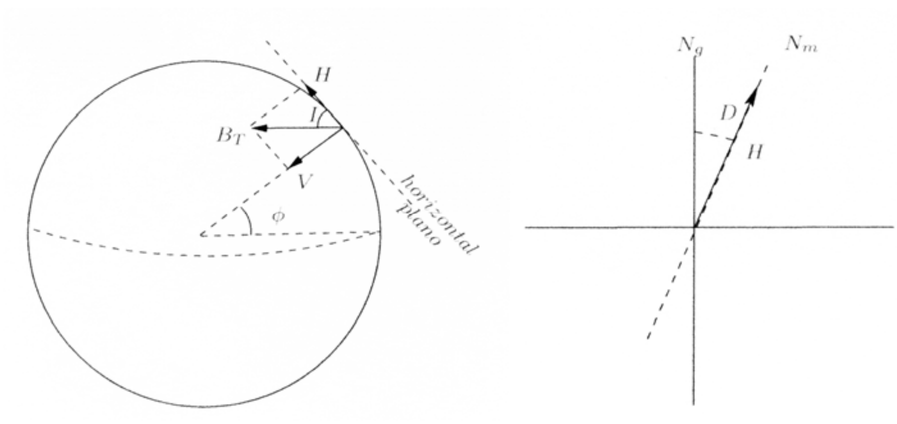
1 weber/m^2 = 1 Tesla = 10^4 Gauss

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

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

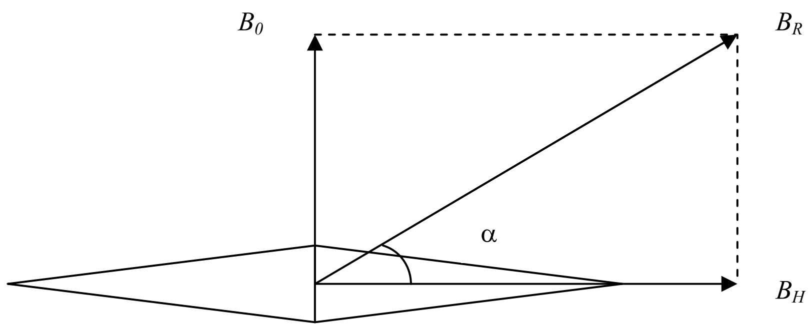
Cuando por la bobina no circula ninguna corriente, la aguja imantada del aparato estará sometida únicamente a la componente horizontal de la inducción terrestre, además de las eventuales inducciones parásitas.

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 φ, 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.

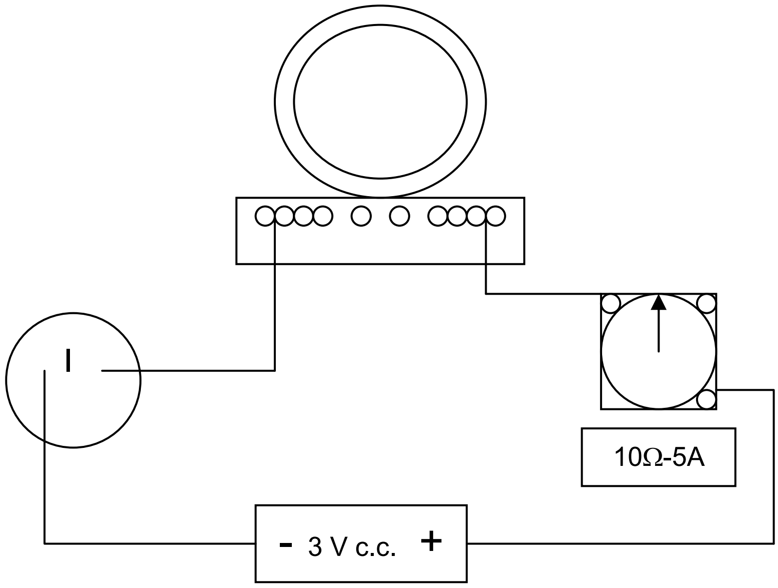
Cuando por la bobina circula una corriente, se crea un campo magnético B_0 perpendicular al plano de la bobina y cuyo sentido sigue la regla del sacacorchos. Su valor se puede determinar experimentalmente por comparación con el campo magnético terrestre. Si se orienta la bobina de forma que ambos campos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



$$\boxed{B_0 = B_H \, tag \, \alpha}$$

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 α y la intensidad medida por el amperímetro (Dado que varía en cada experimento)

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

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

Calcular $tg\ \alpha\ /\ n \cdot I$ 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.

$$\frac{R \cdot tag\ \alpha}{I} = \frac{\mu_0 \cdot n}{2 \cdot B_H} = cons\,tan\,te$$

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

Representar $tag\ \alpha$ (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_0 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). Para Valdepeñas está en torno a 26,35 μT o 0,2635 Gauss.

Práctica 7.
REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ

Objetivo:

Estudiar cuantitativamente las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz en la superficie de separación del aire y del agua y el fenómeno de la reflexión total y llegar al redescubrimiento de la ley de Snell.

Material

Láser	*Soporte p/disco*	*Cubeta semicilíndrica*
Soporte p/láser	*Banco óptico*	Tornillo de mesa *2*
Mesa óptica	*Soporte p/diafragmas*	*Lente cilíndrica* ***(L.C.)***
Disco de Hartl		

Fundamentos Teóricos:

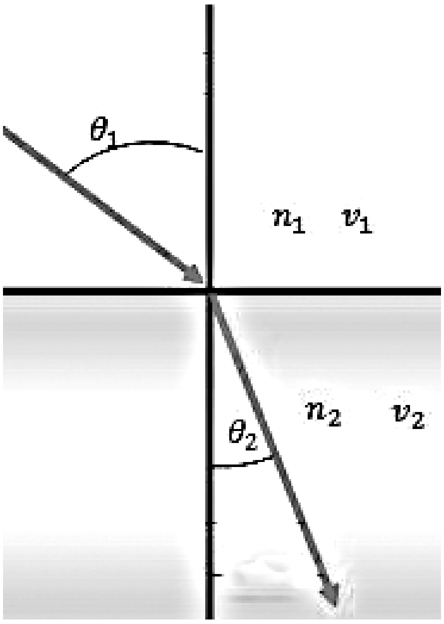
Uno de los primeros fenómenos luminosos que abordó la Ciencia es el de la reflexión y refracción de la luz en la superficie de separación de dos medios dieléctricos transparentes.

Estas observaciones fueron hechas ya en la antigüedad por los griegos y los romanos, pero no se establecieron matemáticamente hasta el siglo XVII en que Descartes y Newton las publicaron en sus tratados sobre Óptica. En concreto, Snell halló en 1.621 la ley de la refracción que lleva su nombre. El fenómeno era conocido desde la antigüedad en la Escuela de Alejandría, pero interpretado erróneamente. Este descubrimiento clave para la óptica, no fue hecho público hasta 1.638 por Descartes, sin dar razón de donde lo había sacado.

Para enunciarlas aquí vamos a precisar algunos términos:

- Se llama punto de incidencia al punto en que incide el rayo sobre la superficie de separación de los dos medios, que es el mismo del que salen los rayos reflejado y refractado.

- Los ángulos de incidencia θ_i, de reflexión θ_r y de refracción (o transmisión) θ_t son los que forman, respectivamente, el rayo incidente, el rayo reflejado y el rayo refractado con la normal en el punto de incidencia, tomándolos siempre comprendidos entre 0 y 90º.



En estas condiciones, las leyes de la reflexión y de la refracción se enuncian de la siguiente manera:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado, el rayo refractado y la normal están en un mismo plano que se denomina *plano de incidencia*.

2. Los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales (ley de la reflexión):

$$\theta_i = \theta_r$$

3. El seno del ángulo de refracción es proporcional al seno del ángulo de incidencia (ley de la refracción):

$$sen\ \theta_2 = \frac{1}{n} sen\ \theta_1$$

donde n es el índice de refracción del medio hacia el que se transmite la luz respecto al medio de donde proviene. El índice n es el cociente entre la velocidad de la luz en el medio de donde proviene y la velocidad de la luz en el medio a donde se transmite. Cuando el medio de donde proviene la luz es el vacío se dice que n es el índice de refracción absoluto del medio a donde se transmite la luz. El índice de refracción absoluto es siempre mayor que la unidad.

$$n = \frac{sen\, \theta_1}{sen\, \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

4. Las leyes de la reflexión y de la refracción son reversibles. Esto quiere decir que las direcciones de incidencia/reflexión y de incidencia/transmisión son intercambiables.

Una consecuencia de esta ley es que cuando la luz pasa de un medio de índice de refracción absoluto mayor a otro de índice menor se produce el fenómeno de la reflexión total, que conlleva la existencia de un ángulo límite para el fenómeno de la refracción.

Lo que nos proponemos en esta práctica es comprobar estas leyes.

Procedimiento experimental

Disponga los elementos como aparecen en la Fig. 1. Acople el láser de modo que consiga una excelente iluminación en el disco óptico.

Sitúe en el disco óptico la lente semicilíndrica, con su cara plana sobre el diámetro 90° - 90° y de modo que el rayo incida normal a la cara en la dirección del diámetro 0° - 180°.

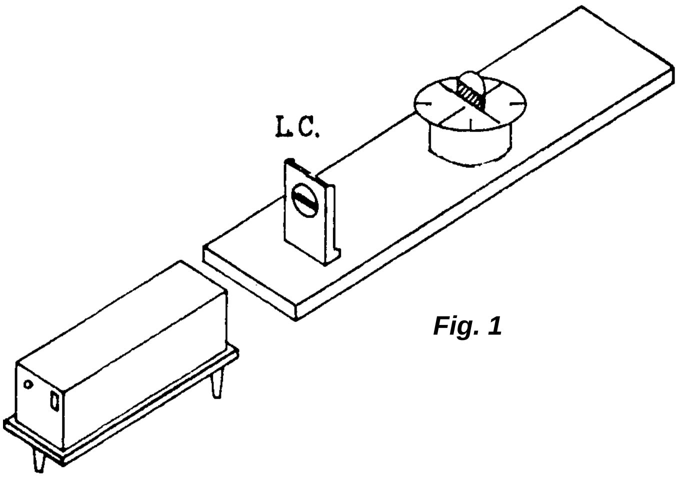


Fig. 1

Para centrar bien la lente gire el disco 180°, de modo que sea la cara curva la que apunte hacia el rayo, desplácela levemente, hasta ver que un rayito reflejado muy fino, sale en la misma dirección que el rayo incidente. Llévela otra vez a la posición inicial.

1. Gire cuidadosamente el disco y observe la marcha del rayo de luz. Haga en su cuaderno un dibujo y sitúe las letras, *i* sobre el rayo incidente, *r* sobre el reflejado y *t* sobre el refractado, θ_i sobre el ángulo de incidencia, θ_r sobre el ángulo de reflexión y θ_t sobre el ángulo de refracción y N para la normal.

En el giro comprendido entre 0° y algo menos de 90° el rayo refractado en la cara plana, ¿vuelve a cambiar de dirección al abandonar la lente en la cara curva? ¿Por qué?

2. Va a completar usted la tabla de valores 1. Tenga en cuenta que la apreciación del círculo graduado es de + 1°.

Tabla 1.

θ_i */grado*	*0*	*10°*	*20°*	*30°*	*40°*	*50°*	*60°*	*70°*	*80°*
θ_r */grado*	*0*								
θ_t */grado*	*0*								

No mueva la lente semicilíndrica del disco de Hartl, ni lo desplace.

Comprobación de la ley de la reflexión

Utilizando la Tabla 1 se puede comprobar la ley de la reflexión. Se hace la representación gráfica de los valores del ángulo de reflexión θ_r frente a los del ángulo de incidencia θ_i. Se ajustan los datos por el método de mínimos cuadrados y se calcula la pendiente y la ordenada en el origen, así como sus desviaciones estándar. A partir de esta recta ¿puede deducirse que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales?

Comprobación de la ley de Snell o de la refracción

Utilizando la Tabla 1 se puede comprobar la ley de la refracción. Se hace la representación gráfica de los valores del seno del ángulo de refracción frente a los del seno del ángulo de incidencia. Podrá observarse que la representación gráfica es una línea recta. Con el método de mínimos cuadrados se obtiene la pendiente y la ordenada en el origen de la recta así como sus respectivos errores.

$$sen\ \theta_t = \frac{1}{n} sen\ \theta_i + b$$

El valor inverso de la pendiente n es el índice de refracción relativo del primer medio con respecto al segundo.

$$n = \frac{sen\ \theta_i}{sen\ \theta_t} = \frac{n_{cuarzo}}{n_{aire}}$$

Ahora se determina el índice de refracción del cuarzo, recordando que el índice de refracción del aire $n_l = 1$.

Introduzca en la cubeta semicilíndrica agua u otros líquidos problema, como alcohol, glicerina, etc. y por el mismo procedimiento se mide su índice de refracción. Busque en la bibliografía los valores teóricos de ambos y compárelos, en %, con sus resultados. (Agua = 1,333; glicerina = 1,47; benceno = 1,50;...)

Ángulo limite

Al intercambiar los rayos de incidencia y transmisión, es decir, al incidir sobre la superficie agua-aire desde el interior del agua, la transmisión hacia el aire se hace cumpliendo la ley estudiada más arriba, pero en este caso el ángulo de incidencia en el interior del agua no alcanza los noventa grados. Su máximo valor es lo que se denomina ángulo límite para esta superficie y por encima de este valor se produce reflexión total en la superficie agua-aire, que actúa como un espejo.

El ángulo límite se puede determinar de la siguiente manera: se incide con el láser por la parte curva de la cubeta semicilíndrica llena de agua. Se va haciendo aumentar los valores del ángulo de incidencia hasta que deja de aparecer el rayo en la parte superior de la cubeta. En la zona próxima a este ángulo se toman datos de diferentes ángulos.

Se representa el ángulo de refracción frente al ángulo de incidencia se observará que sigue una línea hasta cierto momento en que se curva y se hace asíntota del eje X. Hállese ese valor al que tiende θ_t en la línea que es el ángulo límite: θ_l .

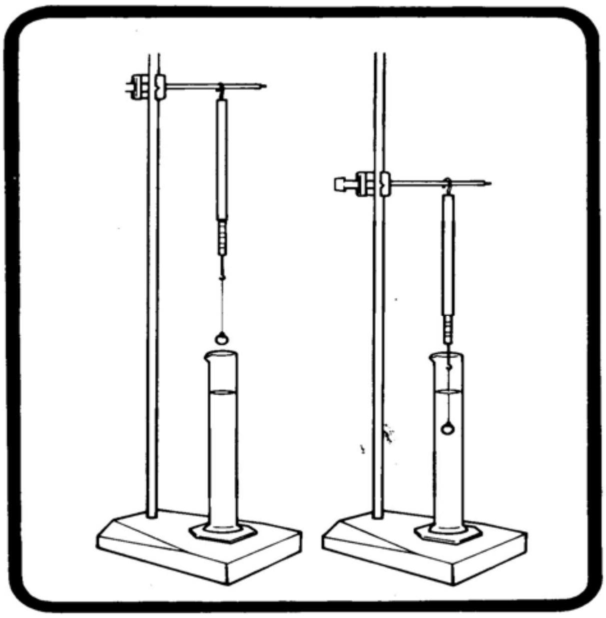
El fenómeno de la reflexión total se traduce por la existencia de un ángulo límite θ_l que está relacionado con el índice de refracción relativo entre los medios. Se produce cuando el ángulo de refracción tiende a 90º y la ley de Snell nos proporciona dicha relación.

$$sen\ \theta_l = \frac{1}{n} sen\ 90$$

Obtenga el valor de n a partir del dato del ángulo límite determinado. Comparar el resultado obtenido para n por este método con el obtenido anteriormente.

Práctica 8.

DENSIDAD DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS



Objeto.

Aplicar el Principio de Arquímedes para calcular la densidad de un cuerpo sólido (conocida la densidad del agua) y de un líquido (conociendo la densidad del cuerpo que se sumerge en él).

Fundamentos teóricos.

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un líquido experimenta una fuerza de empuje vertical igual al peso del volumen de líquido que desaloja.

Un sencillo montaje experimental ayuda a verificar el principio. De un dinamómetro cuelgan un cilindro hueco (h) y un cilindro macizo (m), de un material cualquiera, tales que el cilindro macizo encaja exactamente en el cilindro hueco. Cuando se pesa en aire el conjunto cilindro hueco+cilindro macizo, la fuerza que mide el dinamómetro es P_h+_m. Si ahora se repite la pesada de modo que el cilindro macizo esté totalmente sumergido en agua mientras que el cilindro hueco está por encima del nivel del agua, el dinamómetro medirá una fuerza $P_{h+m}-E_m$, siendo E_m el empuje que ejerce el agua sobre el cilindro macizo sumergido, que es igual al peso de un volumen equivalente de agua. Por lo tanto, si ahora llenamos de agua el cilindro hueco, el peso de este agua compensará el empuje E_m y el peso total del conjunto cilindro lleno de agua+cilindro macizo sumergido será igual al peso inicial P_{h+m}.

Una vez demostrado de esta forma el principio de Arquímedes, podemos utilizarlo para medir densidades de sólidos y líquidos con respecto a la densidad de un líquido de referencia (por ejemplo, el agua).

Sea entonces un cuerpo sólido de volumen V. Si el cuerpo se sumerge completamente en un líquido, desalojará un volumen V. El peso real del sólido es $P = \rho_s V g$ y el peso del líquido desalojado es $E = \rho_l V g$, donde ρ_s y ρ_l son respectivamente las densidades del sólido y del líquido. El peso aparente del sólido dentro del líquido es

$$P_{ap} = P - E = (\rho_s - \rho_l)V g \quad (1)$$

Por otra parte también podemos escribir

$$\frac{\rho_s}{\rho_l} = \frac{P}{E} = \frac{P}{P - P_{ap}} \quad (2)$$

Por lo tanto, la densidad relativa del sólido frente al líquido se puede determinar simplemente pesando el sólido en el aire y pesándolo cuando está sumergido en el líquido.

Supongamos ahora que volvemos a pesar el mismo cuerpo sólido sumergido en otro líquido de diferente de densidad ρ'_l y obtenemos un peso aparente P'_{ap}. Entonces tendremos

$$\frac{\rho'_l}{\rho_l} = \frac{P - P'_{ap}}{P - P_{ap}} \quad (3)$$

con lo que podemos determinar la densidad relativa entre los dos líquidos sin necesidad de conocer la densidad del sólido (que en este caso actúa sólo como un intermediario).

Procedimiento experimental

Principio de Arquímedes.

1. Con un dinamómetro, pesar en aire el conjunto cilindro hueco + cilindro macizo de aluminio y anotar la lectura del dinamómetro (P_1). A continuación se cuelga el cilindro macizo en la parte de abajo del cilindro hueco y se pesa el conjunto con el cilindro macizo sumergido completamente en agua, anotando la lectura del dinamómetro (P_2). En esta situación, verter suavemente agua en el cilindro hueco hasta que alcance la altura ocupada por el cilindro y volver a anotar la lectura del dinamómetro (P_3).

Comparar P_1 con P_3 y comprobar que cuando el cilindro está lleno se recupera la lectura inicial del dinamómetro. Repetir el experimento con el cilindro de acero.

Cálculo de la densidad de cuerpo sólido

Pesar el cuerpo que queremos calcular su densidad, con el dinamómetro apropiado, en el aire (P) y hacer lo mismo introduciendo en el agua (P_{ap}). Medir la temperatura del agua.

Tomando la densidad del agua de la tabla 1 y aplicando la fórmula (2) se calculará la densidad de bolas y cilindros de distintos materiales y tamaños. Los resultados se darán en g/cm^3.

Cálculo de la densidad de un líquido.

Llenar la probeta con disolución hidroalcohólica y pesar cada una de las bolas y cilindros, a las que se les ha calculado la densidad en el apartado anterior, en el aire y sumergido en el mismo.

Con ayuda de la ecuación (3) calcular la densidad del líquido y comparar los resultados obtenidos con los diferentes sólidos. Comparar el resultado obtenido con la densidad real que viene dada en el frasco, en tanto por ciento.

Tabla 1. Densidad del agua entre 0 y 35 ºC en g/cm^3.
Las cifras expuestas, multiplicadas por 1000 dan los valores en el SI (kg/m^3).

Temp.	Densidad	Temp.	Densidad	Temp.	Densidad	Temp.	Densidad
°C	g/cm^3	°C	g/cm^3	°C	g/cm^3	°C	g/cm^3
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