



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

Prácticas de laboratorio
FÍSICA 2
1^{er} curso ARQUITECTURA

2º Cuatrimestre - Curso 2013-2014
Departamento de Física de la Materia Condensada

INTRODUCCIÓN

La experiencia adquirida con las prácticas de la asignatura de Física 1 os será sin duda de utilidad en este segundo cuatrimestre. No obstante, vamos a insistir en algunos aspectos (explicados con detalle en la Práctica 1 del cuatrimestre pasado), que debéis seguir teniendo presentes.

Antes de ir al laboratorio

Es necesario leer el guión de la práctica correspondiente, revisar los apuntes si hay alguna parte del fundamento teórico que no está clara y consultar con la profesora si existe cualquier duda.

Además, es importante tener claro qué material hay que llevar al laboratorio: la calculadora no debe faltar nunca, pero además puede haber elementos específicos que deben llevarse a alguna práctica concreta.

Durante la práctica

Es imprescindible anotar con cuidado lo que se realiza en el laboratorio; sin esa información la elaboración del informe es una tarea que plantea muchas dificultades.

La toma de datos tiene que hacerse de forma concienzuda, estando atentos a la coherencia de los resultados del experimento. Es importante familiarizarse con los equipos antes de comenzar a tomar medidas de forma indiscriminada.

Preparación del informe

Aunque puede haber variaciones dependiendo de la práctica realizada, en general todos los informes deben ajustarse al siguiente esquema:

1. Título.
2. Objetivo. Debe quedar claro desde el principio lo que se persigue.
3. Descripción y esquema de los aparatos. Conviene dibujar un esquema del montaje y describir brevemente la finalidad de cada aparato que se utilice.
4. Método experimental y medidas.
 - Conviene explicar (brevemente) el proceso seguido en el laboratorio. -
 - Hay que indicar claramente los resultados de las medidas directas (el uso de tablas es muy conveniente) y las unidades que se utilizan.
 - Las tablas deben llevar el encabezamiento apropiado y es **necesario indicar las precisiones de los aparatos que se utilicen y/o los errores de las magnitudes allí recogidas.**
5. Cálculos y gráficas.

En las prácticas en que sea necesario realizar cálculos, estos deben quedar reflejados en el informe.

Con frecuencia es preciso dibujar gráficas a partir de las medidas obtenidas. Hay que prestar atención a la elección de los ejes y no olvidar su etiquetado (**magnitudes representadas y unidades**)

6. Conclusión. Es necesario discutir el resultado de la práctica (si se cumplieron los objetivos, etc.)

Tratamiento de errores

Es necesario indicar el error que afecta a nuestros resultados. Recordad que los errores los damos con una cifra (salvo que fuera 1 o 2 en cuyo caso lo damos con dos), lo que determina el número de cifras significativas de nuestro resultado. Por ejemplo, si hemos determinado la velocidad del sonido, daríamos $v_{\text{son}} = (341,9 \pm 0,9) \text{ ms}^{-1}$ y no $v_{\text{son}} = (341,898 \pm 0,921) \text{ ms}^{-1}$ ni tampoco $v_{\text{son}} = (341,898 \pm 0,9) \text{ ms}^{-1}$

Ante cualquier duda, repasad la sección 5 de la primera práctica del cuatrimestre pasado o preguntad a los profesores.

PRÁCTICA 1- COEFICIENTE ADIABÁTICO DEL AIRE: OSCILADOR DE FLAMMERSFELD.

OBJETIVO: Determinar el coeficiente adiabático γ del aire a partir de la oscilación periódica de una masa m de aire en el interior de un volumen V .

Introducción:

En esta práctica observaremos la oscilación de un cilindro de material plástico en el interior de un tubo de vidrio (colocado verticalmente) en cuya parte central se ha practicado un pequeño orificio.

Para mantener una oscilación de amplitud estable, no amortiguada, se introduce de forma continuada aire en dicho tubo. Supongamos que el oscilador está situado inicialmente por debajo del orificio del tubo. El gas que fluye hacia el sistema causa una ligera sobrepresión que mueve al oscilador hacia arriba. Cuando el cilindro sube por encima de la abertura practicada en el tubo, el aire se escapa por dicha abertura (y a través de la holgura entre el tubo de vidrio y el cilindro) provocando una caída de presión que conlleva la bajada del cuerpo oscilante. Una vez que el cilindro vuelva a bloquear la salida de aire por el orificio, el flujo de aire provocará un nuevo aumento de presión que elevará el cilindro, iniciándose así un nuevo ciclo.

Si el cuerpo se separa de la posición de equilibrio una pequeña distancia $x(t)$, entonces p cambiará en Δp , y la expresión de la segunda ley de Newton para el objeto será:

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) = \pi r^2 \Delta p \quad (1)$$

Donde m es la masa del oscilador, r es el radio del oscilador, y

$$p = p_0 + \frac{mg}{\pi r^2} \quad (2)$$

Consideraremos $g=9,8 \text{ ms}^{-2}$. La presión atmosférica p_0 habrá que medirla con un barómetro en el laboratorio.

Dado que el proceso oscilatorio es relativamente rápida, se puede considerar adiabático y por tanto se cumple que:

$$pV^\gamma = \text{const.} \quad (3)$$

donde V es el volumen del gas y γ el coeficiente adiabático del gas. La diferenciación de la ecuación de estado de un proceso adiabático nos da la siguiente relación:

$$\Delta(pV^\gamma) = 0$$

$$V^\gamma \Delta p + \gamma p V^{\gamma-1} \Delta V = 0$$

$$\Delta p = -\gamma p \frac{\Delta V}{V} \quad (4)$$

Sustituyendo esta última relación en la ecuación de movimiento (1), se tiene:

$$\frac{d^2}{dt^2} x(t) + \pi r^2 \frac{\gamma p}{Vm} \Delta V = 0 \quad (5)$$

Como $\Delta V = \pi r^2 x(t)$, al sustituir en la ecuación diferencial (5) se obtiene la ecuación de un oscilador armónico:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \pi^2 r^4 \frac{\gamma p}{Vm} x(t) = 0 \quad (6)$$

Para el cual la velocidad angular es:

$$\omega_o = \pi r^2 \sqrt{\frac{\gamma p}{Vm}} \quad (7)$$

Vemos que el cuadrado del período de la oscilación es inversamente proporcional al coeficiente adiabático del gas:

$$T^2 = \frac{4Vm}{r^4 \gamma p} \quad (8)$$

Por otro lado, el valor del coeficiente adiabático de un gas ideal se puede calcular a partir de la teoría cinética de los gases considerando únicamente el número de grados de libertad (f) de las moléculas del gas.

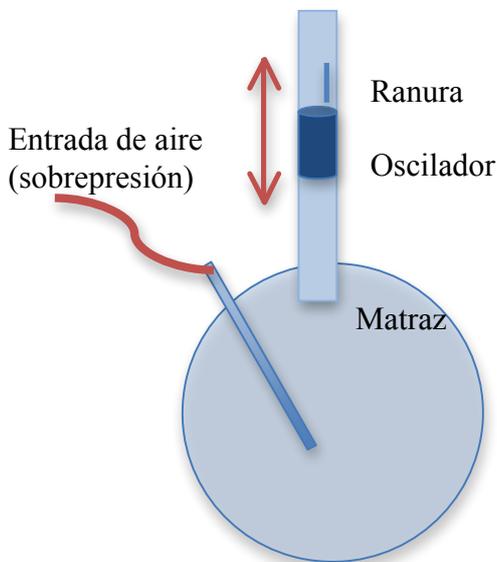
$$\gamma = \frac{f+2}{f} \quad (9)$$

Los grados de libertad de las moléculas de un gas dependen del número de átomos que las componen. Así, un gas monoatómico tiene solamente 3 grados de libertad, los de traslación a lo largo de los tres ejes del espacio, $f=3$; mientras que un gas diatómico tiene 2 grados adicionales debido a su capacidad de rotación entorno a dos ejes principales de inercia, $f=5$. Esto implica que según la teoría cinética de los gases, y con independencia del tipo de gas, el coeficiente adiabático será:

Para gases monoatómicos, $\gamma=1.67$.

Para gases diatómicos, $\gamma =1.40$.

ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIAL NECESARIO:



Material necesario:

- Cilindro (oscilador) de masa m y radio r . (utilizaréis un cilindro “modelo” idéntico al de vuestro montaje, para no manipular este)
 - Tubo de vidrio con una ranura, donde oscila el cilindro, colocado sobre un matraz.
 - Soporte y pinza que sujetan lo anterior.
 - Bomba de aire y tubos de goma para conducir el gas.
- Botella “amortiguadora” de la presión de gas.
 - Llave reguladora del flujo de aire.
 - Tubo capilar que introduce el aire en el matraz que soporta el tubo de vidrio.
 - Balanza para pesar el cilindro oscilador y calibre o micrómetro para medir su diámetro.

La presión necesaria de aire se genera con una pequeña bomba de aire. Se coloca una botella entre el oscilador y la bomba para actuar como un amortiguador de la presión del gas. El aire pasa a través de una válvula reductora para conseguir un ajuste adecuado de la presión en la zona del montaje que nos interesa. En el tubo que conduce el aire se inserta un tubito de vidrio con una bolita de algodón en su interior para atrapar la humedad. Con la válvula reductora se puede regular el flujo del gas de modo que el cilindro oscile simétricamente alrededor de la marca. Si el centro de oscilación se encuentra claramente por encima de la hendidura, o si la oscilación cesa cuando la presión del gas se reduce ligeramente, entonces lo más probable es que haya entrado polvo en el sistema y el tubo de vidrio se debe limpiar de nuevo.

Importante: Si se observa alguna partícula, hay que avisar al profesor. El oscilador es una pieza de precisión y debe ser tratada con cuidado. Ante cualquier modificación de la presión, colocad la mano sobre la abertura del tubo hasta que se obtenga una amplitud de oscilación estable. La mano evitará una posible expulsión del cilindro del tubo de vidrio por exceso de presión. Si el cilindro cae podría deformarse y dejar de ser válido para oscilar dentro del tubo. Si el oscilador queda atascado en el extremo inferior del tubo, hay que retirar el tubo de vidrio y aflojar cuidadosamente el oscilador con el extremo romo de un lápiz. Además debéis ser cuidadosos con el material de vidrio, especialmente con el tubo de oscilación.

MÉTODO OPERATIVO:

Medid la **masa m** del oscilador modelo mediante una balanza.

Medid el **diámetro $2r$** del oscilador modelo con un calibre. Tomad el valor medio de varias medidas en diferentes posiciones, ya que de este resultado depende en gran medida la exactitud del objetivo de esta práctica.

El **volumen de aire V** ha sido determinado previamente para cada montaje, y aparece anotado sobre el matraz.

La parte experimental más delicada de esta práctica es la determinación del **período T** de oscilación. Se utiliza el mismo sistema (puerta fotoeléctrica + contador) que en las prácticas 2 y 5 del cuatrimestre pasado, esta vez en modo “péndulo”. No obstante, este modo está diseñado para otro tipo de medidas, con lo que habrá que hacer una pequeña adaptación de los resultados obtenidos: el número de ciclos que leeréis en la pantalla es realmente la mitad del número real de oscilaciones. **¡No olvidéis multiplicar por dos el número de ciclos!**

Es importante saber que la posición del detector es crítica: la altura de la puerta con el detector deberá ser tal que el oscilador pase por ella y la vuelva a dejar libre en cada oscilación, porque en caso contrario nos saltaremos oscilaciones. Por otra parte, para que el detector funcione debe estar colocado de forma que la línea que une la célula fotoeléctrica y el emisor sea casi tangente al tubo. Os puede llevar algo de tiempo encontrar la posición adecuada. Sabréis que lo habéis conseguido cuando se encienda y apague el piloto rojo de la puerta detectora con cada oscilación.

Los valores medidos no dejarán de ser una aproximación al valor real de la magnitud medida. Como en prácticas anteriores, intentaremos aproximarnos al valor real realizando una serie de medidas y calculando el valor promedio de todas ellas, así como el error:

1. Cálculo de la media. Se tomará como valor de la magnitud la media aritmética de los diversos valores obtenidos. Si se realizan n medidas x_1, x_2, \dots, x_n , el mejor valor que podemos dar de la magnitud medida es la media aritmética, x_m .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2. Cálculo del error absoluto Δx

El error absoluto se define así: $\Delta x = |X - x|$, donde X es el valor real de la magnitud, imposible de conocer y x el valor medido. Sustituiremos el valor real por la media obtenida en el apartado anterior y la diferencia entre los distintos valores medidos y la media nos permitirá obtener una cota superior

para el error. Puesto que tiene las mismas dimensiones que x , la forma correcta de expresar cualquier magnitud es la siguiente:

$$(\text{número} \pm \text{error}) \text{ unidades} = (x \pm \Delta x) \text{ unidades}$$

3. Cálculo del error relativo ε_r :

Se define como la relación entre el error absoluto y el valor real de la magnitud, expresado en %. Como no conocemos el valor real, tomaremos el valor medio antes mencionado. $\varepsilon_r = 100(\Delta x/x_m)$

A veces se obtienen medidas muy distintas al resto, que influyen negativamente en los resultados desviando la media y aumentando el error. Si uno está seguro de que un determinado valor "extraño" es debido a un error de medida y no refleja un efecto físico no previsto, se puede desechar y trabajar únicamente con el resto.

CUESTIONARIO PRÁCTICA 1: COEFICIENTE ADIABÁTICO DEL AIRE: OSCILADOR DE FLAMMERSFELD
--

1. Anota las dimensiones del cilindro oscilante y su masa:

Longitud =

Radio =

Masa =

2. Medida del período de oscilación:

Completa la siguiente tabla con las medidas de tiempo obtenidas y el error relativo calculado. Calculad el periodo con su error.

Nº de osc.	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t _m	Δt	ε _r	T _m
50								
100								
200								

¿Se observa alguna mejora al aumentar el número de oscilaciones medidas? Discutid el resultado.

3. Anota el valor de la presión atmosférica que proporciona el barómetro sin olvidar sus unidades.

P₀ =

4. Utilizando los datos anteriores y los proporcionados en el guión, calcula el coeficiente adiabático del aire a partir de los tres valores de T_m determinados.

γ_{deducido} =

PRÁCTICA 2. DETERMINACIÓN DE LINEAS EQUIPOTENCIALES

Objetivo

Determinación de las líneas equipotenciales y de campo de una distribución de conductores cargados en un sistema bidimensional. Determinación del campo eléctrico en algunos puntos de la región estudiada. Cálculo de magnitudes eléctricas.

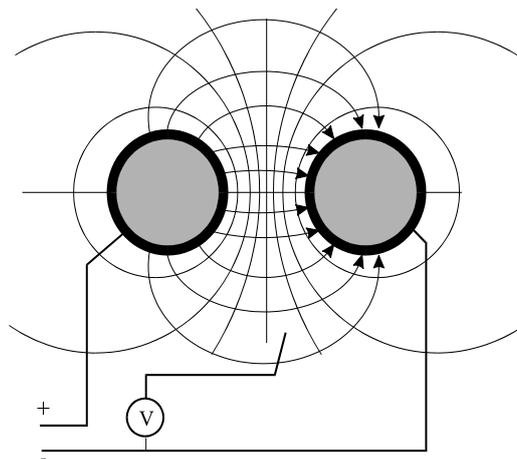
FUNDAMENTO TEÓRICO

El problema de hallar el campo eléctrico en un medio dieléctrico en presencia de conductores cargados es generalmente complicado de resolver. Por ello resultan de gran utilidad los métodos experimentales que permitan obtener una solución aproximada. Vamos a considerar los siguientes sistemas físicos:

1. Dos conductores que se mantienen a una diferencia de potencial V y entre los que circula una corriente eléctrica a través de un medio resistivo.
2. Los mismos conductores cargados entre los que existe la misma diferencia de potencial V , pero aislados (no circula corriente entre ellos).

Se puede demostrar que ambos sistemas son equivalentes, es decir, que **las superficies equipotenciales son las mismas y del mismo valor en ambos problemas y por tanto también son iguales los valores del campo eléctrico.**

En esta práctica vamos a trabajar con un sistema bidimensional, que podría corresponder a un sistema de conductores tridimensionales en los que el campo eléctrico no tenga componente a lo largo de una coordenada (digamos la z). Por



ejemplo: dos conductores cilíndricos paralelos infinitos.

MONTAJE EXPERIMENTAL

- Fuente de voltaje continuo.
- Polímetro digital, provisto de un terminal puntiagudo.
- Papel resistivo montado sobre un soporte de corcho.
- Papel milimetrado transparente.

(Para conocer los fundamentos del funcionamiento de la fuente de voltaje y del polímetro, consúltese el APÉNDICE, al final de los guiones de las prácticas)

El montaje consiste en un soporte forrado con papel resistivo de alta resistividad sobre el que se ha pintado con pintura conductora (“coloide de plata”) el sistema de conductores. Los conductores se conectan a una fuente de voltaje que establece una diferencia de potencial V constante en el tiempo, circulando una corriente eléctrica entre ellos.

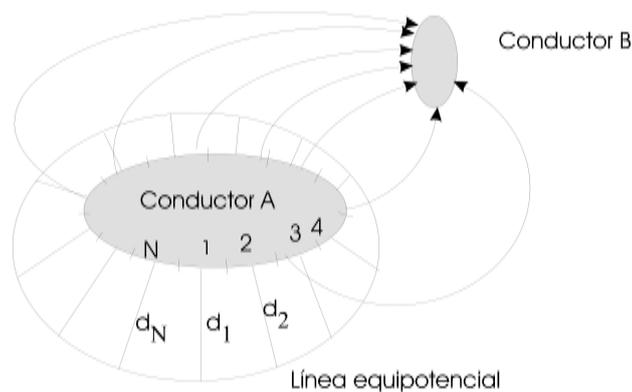
METODO OPERATIVO

1. Colocad el papel milimetrado transparente sobre el papel resistivo (papel negro) en el cual están dibujados los conductores (zonas plateadas) y dibujad sobre el papel milimetrado los contornos de los conductores. Colocad las chinchetas sólo en los bordes del papel resistivo.
2. Antes de comenzar a medir, dibujad en un papel aparte un esquema de cómo creéis que van a distribuirse las líneas equipotenciales. Es interesante tener una idea previa acerca de cómo es esa distribución. Recordad sus propiedades: no se cortan y son perpendiculares a las líneas de campo. Aprovechad la simetría de la forma de los conductores y que el campo electrostático es perpendicular a las superficies de los conductores. Al final de la práctica comparad el esquema previo con el dibujo de las líneas realizado después de tomar las medidas.
3. Conectad los cables que salen de los conductores a los terminales de la fuente (10 V). Seleccionad la escala de voltaje en el polímetro (normalmente 2 o 20 V según la línea que se vaya a medir).
4. Ved el esquema de montaje de la figura anterior. Fijad el terminal negativo del polímetro (terminal negro) sobre el conductor conectado al polo negativo de la fuente (negro). Poned el terminal positivo del polímetro (rojo) sobre el papel

resistivo y encontrad un punto que se encuentre a un potencial V_1 . Marcad la posición equivalente sobre el papel. Encontrad más puntos que tengan el mismo potencial V_1 , señalando igualmente su posición sobre el papel. La unión de todos los puntos con el mismo potencial definirá la línea equipotencial V_1 . Repetid la misma operación para otra línea equipotencial y así sucesivamente. Tomad valores a intervalos de 1 V, o incluso menores en las zonas donde las líneas equipotenciales aparezcan muy separadas. Trazad la líneas de campo a mano alzada teniendo en cuenta que cada una debe cortar perpendicularmente a todas las equipotenciales. Comparad con el esquema del apartado (2).

5. Calculad aproximadamente el campo eléctrico E (módulo, dirección y sentido) en 3 puntos señalados por el profesor. Recordad que las líneas de campo eléctrico son perpendiculares a las superficies de potencial eléctrico constante y la relación matemática entre E y V para una dirección perpendicular a las líneas equipotenciales es $E = -dV/dr$. Eso puede aproximadamente por $E = -\Delta V/\Delta r$, donde ΔV es la diferencia de potencial entre dos líneas equipotenciales consecutivas y Δr es la distancia entre dichas líneas.

6. Calculad el campo eléctrico en puntos próximos a la superficie de uno de los conductores, comprobando que es perpendicular a la misma. Dividir el perímetro del conductor en N tramos de 1 cm de longitud (aproximadamente), y obtener E en el centro de cada tramo. Para ello, (ver figura), buscad una línea equipotencial próxima a la superficie del conductor que esté a una distancia d_i entre 0.5 cm y 2 cm. Medid la distancia perpendicular desde la línea a la superficie externa del conductor. La diferencia de potencial ΔV es el potencial del conductor menos el potencial de la línea. Si en el punto central del tramo i , la distancia es d_i , el campo en ese punto será aproximadamente $E_i = \Delta V/d_i$.



7. Se puede considerar que el campo es constante en cada tramo y deducir la densidad "superficial" de carga en ese tramo a partir de la relación $E_i = \sigma_i/\epsilon_0$, $\sigma_i = \epsilon_0 \cdot E_i$

Teniendo en cuenta que el espesor del papel resistivo es $e=0.15$ mm, se puede obtener la carga en cada tramo $Q_i = \sigma_i \cdot l_i \cdot e$, siendo l_i la longitud del tramo.

8. La carga total del conductor será: $Q = \sum_{i=1}^N Q_i$ donde N es el número total de tramos en los que hemos dividido la superficie del conductor.

A partir del valor de la carga y conociendo la diferencia de potencial entre los dos conductores, deducid la capacidad del sistema.

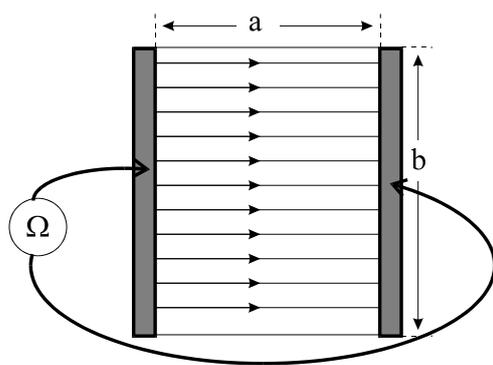
Si la geometría lo permite, haced una estimación teórica del resultado.

9. Por último, hay que obtener la capacidad por otro método. Se basa en que la resistencia y la capacidad de un sistema como el estudiado están relacionadas por la expresión $RC = \rho\epsilon_0$.

En este último apartado se medirá la resistencia del sistema y se determinará la resistividad del papel, con objeto de comprobar si la capacidad obtenida a partir de la expresión anterior coincide con la del apartado 8.

Para eso hay que desconectar de la fuente el papel resistivo, y poniendo el multímetro en posición de medida de resistencias, conectar los terminales a los dos conductores para medir la resistencia R del sistema.

Por otra parte, para determinar la resistividad del papel hay que hacer lo siguiente:



1. Medir la resistencia R_0 de un rectángulo de papel resistivo con los conductores paralelos (ver figura).
2. Si el espesor de papel es e , la distancia entre las dos barras es a y la anchura b , la resistividad es:

$$\rho = R_0 \frac{eb}{a}$$

CUESTIONARIO PRÁCTICA 2. LÍNEAS EQUIPOTENCIALES

1. Dibujad un esquema de cómo creéis que van a distribuirse las líneas equipotenciales. *Este esquema deberéis entregarlo al profesor antes de realizar el resto de la práctica*
2. Dibujad la configuración de los conductores y represente las líneas equipotenciales para varios valores de V en el papel milimetrado transparente.
3. **Calculad** aproximadamente el **campo eléctrico E** (módulo, dirección y sentido) en algunos puntos marcados en el papel milimetrado.

$$P_1 \rightarrow E_1 =$$

$$P_2 \rightarrow E_2 =$$

$$P_3 \rightarrow E_3 =$$

4. **Cálculo de la capacidad.** Determinad el campo en puntos de la superficie de un conductor. Calculad la carga superficial y la capacidad.

Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Distancia d_i																
E_i (V/m)																
σ_i (C/m ²)																
Q_i (C)																

Carga del conductor: $Q = \sum Q_i$

Capacidad C(F) = Q/V

Estimación teórica de la capacidad (cuando sea posible): C=

5. Resistencia del sistema R (Ω)=
Resistencia del "modelo": $R_0(\Omega)$ =
a = b =

$$\rho = R_0 \frac{eb}{a} = \quad \Omega \text{ m}$$

PRÁCTICA 3. LEY DE OHM. MEDIDAS DE CORRIENTE CONTINUA.

Objetivo:

Estudio experimental de la ley de Ohm. Manejo del multímetro (analógico y digital).

INTRODUCCIÓN

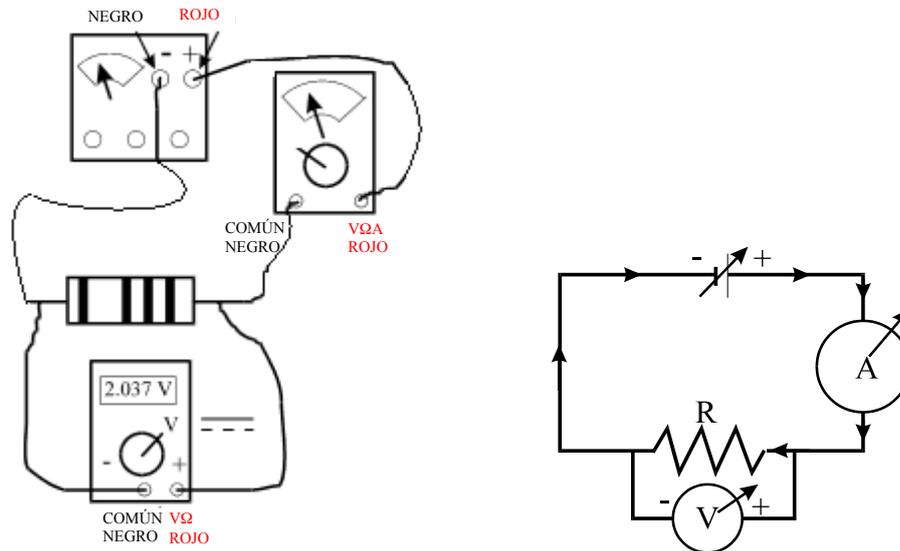
En la primera parte de esta práctica estudiaremos la relación entre la caída de potencial (V) y la intensidad (I) que circula por una resistencia, comprobando que se verifica la ley de Ohm.

$$V=IR$$

Las medidas eléctricas se realizan con gran precisión y rapidez, de modo que la gran mayoría de mediciones de magnitudes físicas que no son esencialmente eléctricas se realizan por medio de algún aparato que convierte la magnitud que queremos medir en una señal eléctrica. Eso lo veremos por ejemplo al estudiar las interferencias de ondas sonoras en un osciloscopio utilizando un micrófono como sensor, que convierte las oscilaciones de presión en un voltaje eléctrico. Por el momento, en la segunda parte de la práctica de hoy vamos a estudiar los principios de un termómetro de resistencia eléctrica. Se basa en que la resistencia eléctrica de los metales depende de la temperatura. Una vez calibrada la dependencia de la resistencia con la temperatura, la medida directa de la resistencia nos da la temperatura en un tiempo de segundos. Además, la resistencia puede ser de un tamaño pequeñísimo. De hecho los termómetros digitales funcionan así.

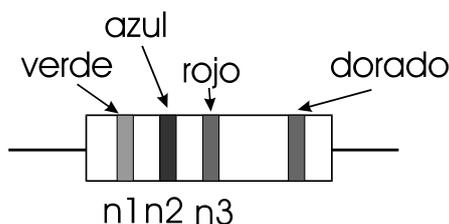
PARTE A. Medida de la intensidad de corriente en función del voltaje aplicado

Para un primer experimento sencillo tomaremos una resistencia de carbón (de las que se usan en electrónica)



1. Montad el circuito mostrado en la figura anterior (cuyo esquema eléctrico es el indicado en la figura), utilizando una resistencia de carbón como carga. Usad el multímetro analógico como amperímetro y el digital como voltímetro.
2. Llevad el mando I_{limit} aproximadamente a la mitad de su recorrido y los dos de voltaje a 0.
3. Utilizando únicamente el control de voltaje de la fuente, incrementad su voltaje de salida (SIN PASAR NUNCA DE 10 V EN LA FUENTE) y tomad alrededor de 10 parejas de datos V-I. Anotad los valores de V e I en la tabla.
4. Representad los valores en una gráfica I (ordenadas) frente a V (abscisas). Observad si se cumple o no la ley de Ohm. En caso afirmativo ah mínimos justad por mínimos cuadrados y deducid la resistencia (R_{ajuste}).
- 5- Medid la resistencia con el polímetro analógico y digital (R_{polim}). Comparad todos los valores medidos y el deducido del código de colores ($R_{nominal}$) que es el que pretendió conseguir el fabricante.

Nota código de colores: las resistencias de carbón llevan su valor indicado por 4 bandas de colores. Cada color indica un número (no es necesario, pero son fáciles de recordar porque siguen básicamente la secuencia de colores del arco iris):



Negro => 0	Verde => 5
Marrón => 1	Azul => 6
Rojo => 2	Violeta => 7
Naranja => 3	Gris => 8
Amarillo => 4	Blanco => 9

cuyo significado es (ver figura): $R = n_1 n_2 \times 10^{n_3} \Omega \pm 5\%$

Excepcionalmente, una banda dorada en lugar de la del exponente indica -1.

Por ejemplo, en el caso de la figura el verde vale 5, el azul 6 y el rojo 2, la resistencia debería ser $56 \times 10^2 \Omega = 5600 \Omega$ pero la banda dorada indica que el valor real puede ser cualquiera que se diferencie de éste como mucho en un 5% (es decir entre $5600 \Omega \times 0.95$ y $5600 \Omega \times 1.05$). Una banda plateada en lugar de dorada quiere decir que la tolerancia es el 10%. Si la banda roja fuera dorada el valor sería $56 \times 10^{-1} \Omega = 5.6 \Omega$.

PARTE B: Medida de la intensidad de corriente en función del voltaje aplicado para una bombilla

En líneas generales se trata de realizar el mismo experimento que antes pero colocaremos una bombilla en lugar de la resistencia de carbón. Cuando apliquemos un voltaje, la potencia disipada ($P = IV$) calentará la bombilla. A diferencia del caso de la resistencia de carbón ahora la potencia disipada será apreciable y la temperatura aumentará mucho. Conforme se va calentando irradia ondas electromagnéticas, con una potencia total que es proporcional a la temperatura absoluta elevada a la cuarta y a la superficie del metal (ley de la radiación de Stefan-Boltzmann $W = \sigma AT^4 \equiv cT^4$, donde σ es una constante universal). La energía eléctrica se invierte en aumentar la energía interna del filamento y en la parte que se pierde por radiación. Conforme va aumentando la temperatura la parte que se invierte en radiación es cada vez mayor por lo que la temperatura aumenta cada vez menos deprisa hasta que finalmente se alcanza un estado estacionario en que toda la potencia eléctrica consumida se invierte en radiación y la temperatura se estabiliza a un valor constante.

Para medir experimentalmente la temperatura de la bombilla podemos apoyarnos en otra importante ley de la radiación que es la ley de Wien: un cuerpo caliente emite ondas electromagnéticas de todas las longitudes de onda pero con mayor intensidad en una longitud de onda dada λ que es inversamente proporcional a la temperatura absoluta $1/\lambda = KT$, donde K es otra constante universal (cte. de Wien). Según esta ley cuando un cuerpo está frío emite (poca cantidad, según la ley de Stefan) radiaciones de longitud de onda muy larga que son casi indetectables. Cuando alcanza temperaturas del orden de la temperatura ambiente emite preferentemente en el rango del infrarrojo (no visible), pero cuando se alcanza una temperatura del orden de 800 K (~500 °C) la cantidad de radiación en el visible es apreciable y el cuerpo comienza a ponerse rojo. Conforme aumenta la temperatura

la longitud de onda dominante disminuye y el cuerpo se va poniendo naranja, amarillo y si sube todavía más, blanco. Por ejemplo el máximo de emisión del Sol está en el centro del espectro visible, pero no se ve verde porque emite también casi tanto en las otras longitudes de onda visibles y en realidad se ve como una superposición de todos colores con la misma intensidad, que da luz blanca.

Las leyes de Stefan y de Wien sólo son exactamente válidas para cuerpos que en frío son totalmente negros, pero se pueden aplicar aproximadamente a otros cuerpos calientes con pequeñas modificaciones. Precisamente en la ley de Wien se fundamenta el funcionamiento de algunos pirómetros, instrumentos que permiten averiguar la temperatura de los cuerpos muy calientes. Nosotros emplearemos un "pirómetro natural" calculando aproximadamente la temperatura por el color, usando una tabla de colores que se suministrará, aunque la precisión no será muy buena.

Por otra parte, la resistencia del filamento de la bombilla varía mucho, con la temperatura. Como medimos el voltaje aplicado y la intensidad, podemos obtener la resistencia de la bombilla y podríamos deducir la temperatura si conociésemos la relación entre ambas magnitudes. La resistencia en función de la temperatura $R(T)$ del wolframio está tabulada y se ajusta muy bien a la expresión potencial:

$$r(T) = AT^\alpha \quad (1)$$

donde $r = R(T)/R_0$, siendo $R(T)$ la resistencia medida a una cierta temperatura T (en kelvin) y R_0 la resistencia a 293 K. Por su parte, $A = 8.35 \times 10^{-4}$ y $\alpha = 1.24357$
Inversamente, $T(r) = A'r^{1/\alpha}$, siendo $A' = A^{-1/\alpha}$

Por tanto si antes de comenzar la práctica medimos R_0 con un polímetro, podemos deducir la temperatura sin más que medir la resistencia, además de estimarla por el color. Así funcionan básicamente los termómetros digitales.

La práctica consiste en aplicar voltajes cada vez mayores, medir la intensidad y el voltaje, calcular la resistencia y la potencia disipada W , obtener la temperatura T y representar W en función de T^4 para ver si sale una recta, que sería lo teóricamente esperable de acuerdo con la ley de Stefan.

MÉTODO OPERATIVO

1.- Medid la resistencia de la bombilla con el polímetro digital y anotar el resultado. Mirar en un termómetro convencional la temperatura del laboratorio, T_0 , que en principio supondremos igual a 293 K. Si se aparta apreciablemente de ese valor, deducir R_0 de la fórmula (1), donde se conoce T_0 de la sala y la resistencia medida.

2.- Poned el voltaje de la fuente a cero y montar el mismo circuito de la parte A) poniendo la bombilla en lugar de la resistencia de carbón. Con el amperímetro en la escala de 50 mA, aplicad voltajes cada vez mayores empezando por menos de 1 V. Anotad los valores de V e I en la tabla. Comprobad si el cociente V/I es constante e igual a la resistencia medida con el polímetro.

3.- Aplicad voltajes cada vez mayores a intervalos de 1 V aproximadamente hasta 25 V. Después de cada subida de voltaje esperar unos segundos a que se estabilice la temperatura de la bombilla (se verá que la intensidad a voltaje constante va disminuyendo, porque aumenta la temperatura y eso hace aumentar la resistencia). Cuando se estabilice, anotad el voltaje e intensidad. Mientras se está trabajando con $V < 15$ V, observad el color del filamento (tratar de apreciar matices) y anotad la temperatura que se deduce de la tabla de colores ($\equiv T_{\text{color}}$). Construid una tabla donde las columnas sean: Voltaje, Intensidad, Color, Temperatura según el color, Resistencia, Temperatura según la resistencia ($\equiv T_R$), Potencia disipada.

4.- Representad gráficamente la potencia suministrada (eje Y) en función de la temperatura T_R elevada a la cuarta (eje X). ¿Se cumple experimentalmente la ley de Stefan?

5.- Representad gráficamente la temperatura deducida del color del filamento frente a la temperatura deducida de la resistencia. En principio debería salir, más o menos, un recta pasando por el origen. En realidad hay al menos dos problemas: 1) La temperatura determinada por el color es un dato muy impreciso. 2) La resistencia se mide con precisión pero no es sólo la del filamento caliente, sino la de éste y los cables de alimentación. En principio la resistencia de los cables es pequeña frente a R (por eso se calienta el filamento y no los cables) pero quizá sea una aproximación demasiado burda.

PRÁCTICA 4: ONDAS ESTACIONARIAS. RESONANCIA EN UNA CUERDA TENSA.

Objetivo:

Estudio experimental de las propiedades generales de las ondas estacionarias y de las oscilaciones forzadas y el fenómeno de resonancia en medios continuos.

FUNDAMENTO TEÓRICO:

1.- Ondas estacionarias en una cuerda tensa

La velocidad de propagación de las ondas transversales en una cuerda tensa viene dada por:

$$v_p = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1)$$

siendo T la tensión de la cuerda y $\mu = m/L$ la densidad lineal de masa. En una cuerda fija por los extremos las ondas transversales se reflejan en ellos produciéndose ondas estacionarias con nodos en los dos extremos. Para que eso sea posible es necesario que la longitud de la cuerda que oscila sea un número entero de veces la distancia entre nodos, que es una **semilongitud** de onda, es decir:

$$L = n \lambda / 2 \quad (2)$$

donde λ es la longitud de onda. Como para una onda armónica $\lambda = v_p / \nu_0$, siendo ν_0 en este caso la frecuencia de oscilación de la cuerda, se deduce que ésta sólo oscilará apreciablemente si se cumple la relación:

$$L = \frac{n}{2\nu_0} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (3)$$

donde n es un entero que indica el número de antinodos (máximos o vientres) presentes para ese modo de onda estacionaria.

2.- Oscilación forzada de una cuerda tensa

Cuando se aplica sobre la cuerda una fuerza oscilante externa del tipo

$$F = F_0 \cos(2\pi\nu_e t) \quad (4)$$

debido a que el amortiguamiento es muy débil, sólo habrá amplitud apreciable si la frecuencia externa es muy próxima a una de las frecuencias propias de la cuerda. Es decir para los valores de ν que se obtienen de la fórmula (3) dando

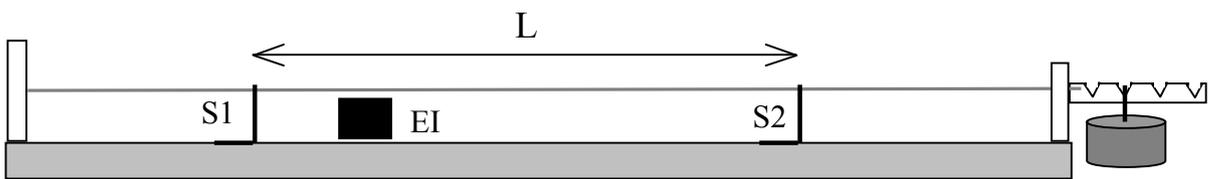
valores a n para L , T y μ dados. Si fijamos $n = 1$ (oscilación con un solo vientre central), la condición de resonancia viene dada por la igualdad entre la frecuencia de la fuerza externa y la frecuencia propia del sistema:

$$v_E = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5)$$

En nuestro caso, la fuerza externa es de tipo magnético. Se trata de la atracción que realiza un pequeño electroimán sobre la cuerda metálica, que a su vez, se magnetiza por efecto del campo magnético que crea el imán. En este caso, puede probarse que la frecuencia de la fuerza es precisamente el doble que la de la corriente aplicada al electroimán, mediante el generador ($v_E = 2v_G$). En definitiva, buscaremos la condición:

$$v_G = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \right) \quad (6)$$

ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIAL NECESARIO



Material necesario:

- El montaje (ya preparado) consiste en una cuerda de densidad lineal de masa conocida y un electroimán (EI) conectado a un generador de frecuencia variable. La longitud L de la parte de la cuerda que vibra puede variarse moviendo la posición de los soportes (S1 y S2) que fijan los extremos. Se dispone de una segunda cuerda de densidad lineal de masa desconocida y que hay que determinar.
- La frecuencia que emite el generador (v_G) se mide mediante el frecuencímetro colocado en paralelo al electroimán.
- La pesa (P) puede colocarse en distintas posiciones, pero en la práctica sólo utilizaremos la segunda ranura (contando desde el soporte). En ese caso, la tensión de la cuerda corresponde al doble del peso de P .

MÉTODO OPERATIVO

En este montaje experimental el electroimán está alimentado por un generador de funciones, que proporciona un voltaje sinusoidal de frecuencia variable (v_G). (En el APÉNDICE se incluye una descripción de este aparato). Por otra parte, se puede modificar la longitud de la cuerda vibrante moviendo los soportes S1 y S2. La tensión de la cuerda está determinada por la masa de la pesa. Hay dos cuerdas distintas, una de densidad lineal de masa aproximada $\mu \approx 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}$ y la otra desconocida.

En la práctica se trata de:

1. Para la primera cuerda, calculad mediante la fórmula (6) los valores teóricos de $v_{G,TEO}$ para los que se esperaría obtener resonancia para distintos valores de L (25, 30, 35, 40, 45, 50 cm).
2. Utilizando los soportes S1 y S2 (siempre con el electroimán entre ellos), hay que encontrar para cada longitud los valores experimentales de frecuencia ($v_{G,EXP}$) en los que se obtiene la resonancia. Estos valores no serán muy diferentes de los calculados en el apartado 1, pero hay que dedicar un tiempo a buscar con cuidado en torno al valor predicho teóricamente.

Consejos prácticos: la amplitud de la fuerza F_0 depende directamente del control de amplitud del generador. Es conveniente mantenerlo en su máximo. **Se recomienda empezar por longitudes intermedias, 30-40 cm.** La frecuencia se modifica mediante la ruleta móvil. El resto de los controles no deben modificarse, puesto que están calibrados para el correcto funcionamiento del generador.

3. Con los datos de la longitud de cuerda vibrante y la frecuencia, comprobad si se cumple la relación (6). Para ello, representad gráficamente $v_{G,EXP}$ frente a $1/L$. El resultado debería ser una línea recta. Obtened la recta de ajuste por mínimos cuadrados y, a partir de la pendiente, deducid la densidad lineal de la cuerda y comparad con el valor dado anteriormente.
4. Determinad la densidad de la cuerda problema mediante un experimento de resonancia como el de los apartados anteriores.

Pista: compárese el grosor de las dos cuerdas para tener una idea aproximada de la densidad de la segunda y así buscar las condiciones de resonancia de modo más eficaz.

CUESTIONARIO PRÁCTICA 4 ONDAS ESTACIONARIAS EN UNA CUERDA TENSA

1) Tabla de datos de longitudes de resonancia: (para realizar el cálculo previo aproximado de la frecuencia a la que se espera observar al resonancia, $v_{G,TEO}$, utilizad el valor aproximado de $\mu = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$)

L (m)	$v_{G,TEO}$ (Hz)	$v_{G,EXP}$ (Hz)	1/L (m^{-1})

3) Para la primera cuerda, realizad el ajuste de los datos $v_{G,EXP} (1/L)$ por mínimos cuadrados, $y = a + bx$

Coeficiente a =

Coeficiente b =

μ deducida =

4) Para la segunda cuerda, representad la gráfica de los datos experimentales (al menos cuatro) $v_{G,EXP} (1/L)$ y la recta de ajuste por mínimos cuadrados.

5) Densidad lineal deducida para la cuerda incógnita:

$\mu_i =$

PRÁCTICA 5. INTERFERENCIA DE ONDAS ACÚSTICAS.

Objetivo:

- 1) Profundizar en la comprensión del fenómeno de la interferencia de ondas.
- 2) Estudio experimental de un interferómetro para ondas acústicas.

PARTE I

OSCILOSCOPIO Y FUENTE DE SEÑALES

Manejo del osciloscopio y de la fuente de señales (generador)

Antes de realizar esta práctica, hay que leer detenidamente los apéndices correspondientes. Como se describe allí, el osciloscopio es un aparato que permite medir y representar gráficamente en una pantalla una diferencia de potencial (voltaje) que varía con el tiempo $V(t)$.

Una fuente de señales es un aparato que produce un voltaje que varía con el tiempo de distintas formas: sinusoidal, triangular, en almena...

MÉTODO OPERATIVO

1. Conectad directamente la fuente de señales al osciloscopio mediante un cable coaxial con terminales BNC en los dos extremos.
2. Caracterizad las señales de la pantalla del osciloscopio, diciendo cuál es su amplitud, periodo y frecuencia. Anotadlo en el cuestionario y esperar a que el profesor lo compruebe.
3. Variando los mandos de amplitud y frecuencia de la fuente consiga las señales que se piden en el cuestionario. Pedid al profesor que verifique los resultados obtenidos.

PARTE II

INTERFERÓMETRO ACÚSTICO

Hay muchos dispositivos experimentales que se basan en las interferencias de ondas para efectuar medidas precisas de diferentes propiedades físicas. Se llaman interferómetros y aquí presentamos un ejemplo simple con la finalidad de entender sus fundamentos físicos.

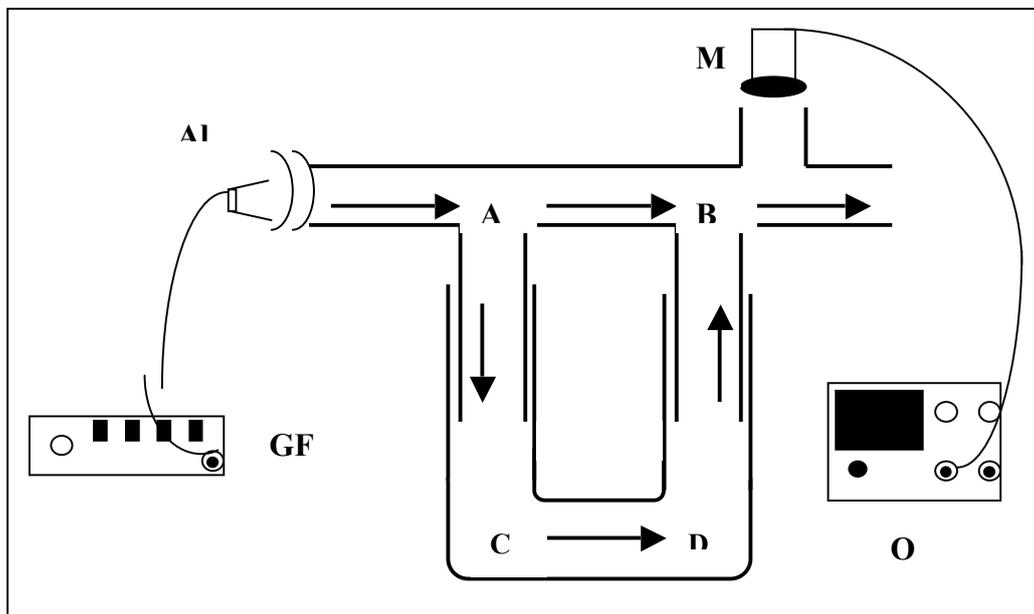
FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando en un punto se reciben las ondas armónicas que provienen de dos fuente coherentes (es decir que emiten con una frecuencia rigurosamente igual y una diferencia de fase constante) lo que se detecta es la superposición de dos MAS de la misma frecuencia, que resulta ser otro MAS de esa misma frecuencia y con una amplitud que tiene un valor constante comprendido entre la suma y la diferencia de las dos, dependiendo de la diferencia de fase en el punto. Cuando la diferencia de fase de las dos es cero o un número entero (n) de veces 2π las amplitudes se suman (interferencia constructiva) y cuando es $(2n+1)$ veces π se restan (interferencia destructiva). Como la forma general de una onda sinusoidal es $A\cos(kx-\omega t)$ siendo x la distancia a la fuente y A la amplitud, la diferencia de fase entre las dos ondas será $k(x_2-x_1) = 2\pi(x_2-x_1)/\lambda$, con lo que la interferencia es:

Constructiva (amplitud **máxima**) si $|x_2-x_1| = n\lambda$ y

Destructiva (amplitud **mínima**) si $|x_2-x_1| = (2n+1)\lambda/2$.

ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL Y MATERIAL NECESARIO:



Material necesario:

- Tubo en forma de U que desliza sobre los tubos fijos en el soporte.
- Altavoz (Al) y micrófono (M) conectados a los tubos fijos.
- Generador de funciones (GF) y osciloscopio (O).
- Cables coaxiales de conexión.

MÉTODO OPERATIVO

Producción y detección de las ondas

En la práctica no es fácil disponer de dos fuentes coherentes de ondas, por lo que en esta práctica hacemos interferir las ondas procedentes de una sola fuente que llegan al detector por caminos diferentes. (Ver figura del montaje experimental). En un tubo las ondas sonoras están obligadas a propagarse en la dirección paralela al mismo si la longitud de onda es mucho mayor que el diámetro.

Las ondas sonoras las produce el altavoz que alimentamos con el generador de señales, siendo la frecuencia del sonido la misma que la del voltaje de alimentación del **altavoz**. Dichas ondas viajan hasta A por el tubo, donde se dividen en dos partes. Las que van por el tramo recto hasta B y las que van por el camino de longitud variable ACDB. En el punto B interfieren y la onda resultante llega al **micrófono** que convierte el sonido en un voltaje que es enviado al osciloscopio.

Estudio de las interferencias

La interferencia de las ondas será constructiva o destructiva dependiendo de que la diferencia de camino recorrido a lo largo de ACDB y AB sea un número entero o semi-impar de veces λ , respectivamente. Si vamos estirando el tubo de longitud variable (tramo ACDB) y observamos en el osciloscopio la señal que llega al micrófono, encontraremos máximos y mínimos de amplitud que corresponderán a los casos de interferencia constructiva y destructiva respectivamente. La diferencia de longitud de tubo entre un máximo (o un mínimo) y el siguiente será λ . Por consiguiente, si contamos el número de máximos y mínimos que aparecen en un desplazamiento dado sabremos qué desplazamiento hemos realizado con precisión de una longitud de onda. (Si en lugar de ondas acústicas hiciéramos interferir dos haces luminosos, de $\lambda \sim 500$ nm, seríamos capaces de determinar longitudes con una gran precisión)

En la práctica se trata de:

1) Medir la temperatura del laboratorio y calcular la velocidad del sonido teórica. Recordad que la velocidad del sonido en aire es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta. A 0 °C, $v_{\text{son}}(273,15 \text{ K}) = 331,45 \text{ m/s}$.

2) Seleccionar la onda con que se va a trabajar. Para eso:

- Poned el tubo en su mínima longitud (con la parte móvil en su tope superior).
- Variad la frecuencia del generador, en el **rango de 2 a 6 kHz**, y observad las señales en la pantalla del osciloscopio. Elegid una que sea lo más sinusoidal

posible y para la que al desplazar el tubo se observe bien el contraste entre máximos y mínimos en la pantalla del osciloscopio.

- Medid la frecuencia de la señal elegida y tened en cuenta que, **a partir de este momento, no debe tocarse el mando de frecuencia.**

3) Con el valor teórico de la velocidad y el de frecuencia, determinar la longitud de onda teórica de la onda sonora que utilizáis. λ_T

4) Partiendo de la posición con el tubo en U en la parte superior, id alargando el tubo observando la sucesión de máximos y mínimos alternados en el osciloscopio. Marcad en un papel las posiciones del extremo del tubo, correspondientes a dichos máximos y mínimos. El primer máximo determina la posición de referencia de estas medidas (distancia $\Delta=0$). Ese máximo corresponde a un n tal que

$$(x_2 - x_1) = n\lambda \quad (1)$$

el segundo máximo corresponderá a

$$(x_2 + 2\Delta - x_1) = (n+1)\lambda \quad (2)$$

donde Δ_i es la distancia que hemos desplazado el tubo móvil desde la posición de referencia. Al restar las dos expresiones anteriores se obtiene $2\Delta_i = \lambda$.

Para el tercer máximo, tendríamos

$$(x_2 + 2\Delta_i - x_1) = (n+2)\lambda \quad (3)$$

de manera que restando Ec.(3)–Ec.(2) se verifica que $2\Delta_i = 2\lambda$ y así sucesivamente.

Notad que NO hace falta conocer el valor de n , ni x_1 ni x_2 para determinar la longitud de onda.

Como ejercicio, obtened las expresiones análogas para los mínimos (tomando también como referencia la posición del primer máximo).

5) A partir de las distancias medidas sobre el papel, rellenad la tabla. Obtened el valor de la longitud de onda λ_{exp} , indicando claramente como lo habéis hecho.

¿Qué significan los valores de la última columna de la tabla?

Nota: La señal producida por el altavoz no es perfectamente sinusoidal, lo que quiere decir que va acompañada de armónicos, que pueden producir interferencias constructivas para longitudes de tubo para las que no deberían aparecer con la frecuencia fundamental. **Ese efecto se acentúa si se excita el**

altavoz con una señal de mucha amplitud, por lo tanto no conviene trabajar con señales muy intensas.

CUESTIONARIO PRÁCTICA 5. INTERFERENCIAS ACÚSTICAS

1) Determinad la frecuencia y la amplitud de las señales del osciloscopio (puestas por el profesor):

Amplitud V_0	Periodo T	Frecuencia ν	Frecuencia en la fuente

2) Conseguid las siguientes señales:

Amplitud	Frecuencia	Observaciones del profesor
3V	2 kHz	
400 mV	20 kHz	
1 V	0,5 MHz	

INTERFERÓMETRO ACÚSTICO

(no olvidéis adjuntar al informe la hojita donde marcáis las posiciones del tubo)

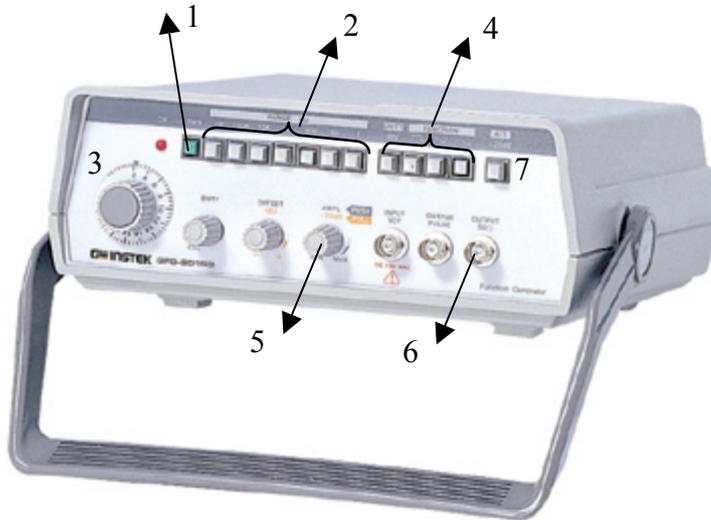
- 1) Conociendo la temperatura del laboratorio, calculad la velocidad del sonido.
- 2) Determinad la longitud de onda correspondiente a la frecuencia con la que se va a trabajar en el interferómetro.
- 3) Anotad en la tabla las posiciones para las que se obtienen los sucesivos máximos y mínimos de la señal. **Tomad como referencia la posición del primer máximo.**

	A()	Δ (cm)	$2\Delta/\lambda_T$
1 ^{er} máx		0	
mín			
máx			
mín			
máx			
mín			
máx			

- 4) Determinad la longitud de la onda sonora utilizando los datos de la tabla anterior, indicando el procedimiento seguido. Haced una estimación de la precisión de vuestro resultado.

APÉNDICE: FUNCIONAMIENTO DE ALGUNOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO.

GENERADOR DE SEÑALES (Práctica 4, Resonancia en una cuerda tensa y Práctica 5, Interferencia de ondas sonoras)



Una fuente de señales es un aparato que produce un voltaje que varía con el tiempo de forma sinusoidal, triangular o en almendra.

Los mandos que hay que manipular son:

1. Interruptor ON/OFF de encendido/apagado (con luz indicadora de encendido).
2. Botones de selección del rango de frecuencias. (1Hz, 10 Hz,...)
3. Mando (ruleta) de ajuste de la frecuencia. El **valor aproximado** de la frecuencia es el indicado en este mando multiplicado por el correspondiente al botón de selección del rango (descrito en el apartado anterior).
4. Botones de selección de la forma de la señal: sinusoidal, triangular o cuadrada.
5. Ajuste de la amplitud de la señal (Amp.) Este mando no está calibrado.
6. Salida del voltaje producido, en cable coaxial con conector BNC.
7. Botón que permite atenuar la señal de salida en un factor predeterminado.

El resto de los mandos **NO** hay que tocarlos en esta práctica.

OSCILOSCOPIO (Práctica 5, Interferencias acústicas)

¿Qué es un osciloscopio?

El osciloscopio es un aparato que permite medir y representar gráficamente en una pantalla una señal eléctrica (diferencia de potencial o voltaje) que varía con el tiempo: $V(t)$. Dicha señal llega al osciloscopio a través de un cable coaxial, que consiste en dos hilos conductores concéntricos, uno de los cuales es cilíndrico hueco y rodea al otro. La conexión del cable al aparato se hace mediante un conector de tipo BNC. La diferencia de potencial que se mide es la que hay entre los dos conductores que constituyen el cable coaxial.

Los osciloscopios tienen una pantalla con un retículo. En el funcionamiento habitual del osciloscopio, en el eje Y se representa el voltaje variable y en el X el tiempo. Conviene no olvidar que **el osciloscopio no produce nada**, solamente es **un aparato para medir una señal preexistente**.

¿Qué podemos hacer con un osciloscopio?

Entre otras cosas:

- Determinar directamente el periodo y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal.
- Determinar que parte de la señal es DC y cual AC.
- Medir la diferencia de fase entre dos señales.

El osciloscopio es un instrumento muy versátil, que se utiliza en las medidas de un gran número de fenómenos; provisto del *transductor* adecuado (un elemento que convierte una magnitud física en señal eléctrica) será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardiaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc.

¿Qué tipos de osciloscopios existen?

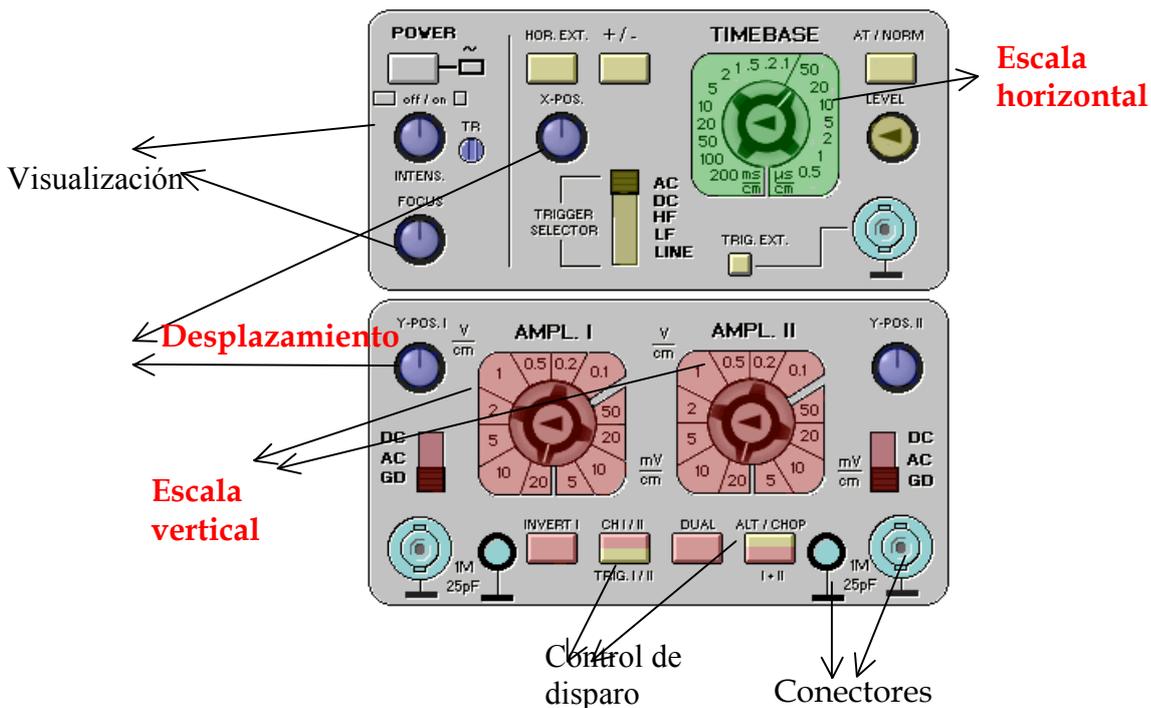
Los equipos electrónicos se dividen en dos tipos: *Analógicos* y *Digitales*. Los primeros trabajan con variables continuas mientras que los segundos lo hacen con variables discretas.

Los osciloscopios también pueden ser analógicos o digitales. Los primeros trabajan directamente con la señal aplicada, que una vez amplificada desvía un haz de electrones en sentido vertical proporcionalmente a su valor. En contraste los osciloscopios digitales utilizan previamente un conversor analógico-digital (A/D) para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos (picos de tensión que se producen de forma aleatoria)

¿Qué controles posee un osciloscopio típico?

A primera vista, en el osciloscopio destaca la pantalla (con una rejilla) y un número bastante grande de mandos de control. En la siguiente figura se representan estos mandos, aunque su disposición en el aparato varía según el modelo.



Los mandos más importantes que se van a utilizar en la práctica son:

1. Regulador de la escala vertical (Y-AMPL o VOLTS/DIV según modelos) que indica cuántos voltios (o mili o microvoltios según la posición del mando) corresponden a un cuadrado de la retícula de la pantalla, en vertical. El valor puede indicarlo el propio mando o aparecer en la pantalla.
2. Regulador de la escala de tiempos (TIME o SEC/DIV) que indica cuántos segundos (o mili o microsegundos) corresponden a un cuadrado de la retícula en horizontal.
3. El cero de escala, tanto en X como en Y se puede colocar en cualquier punto de la pantalla mediante los mandos X-POS e Y-POS

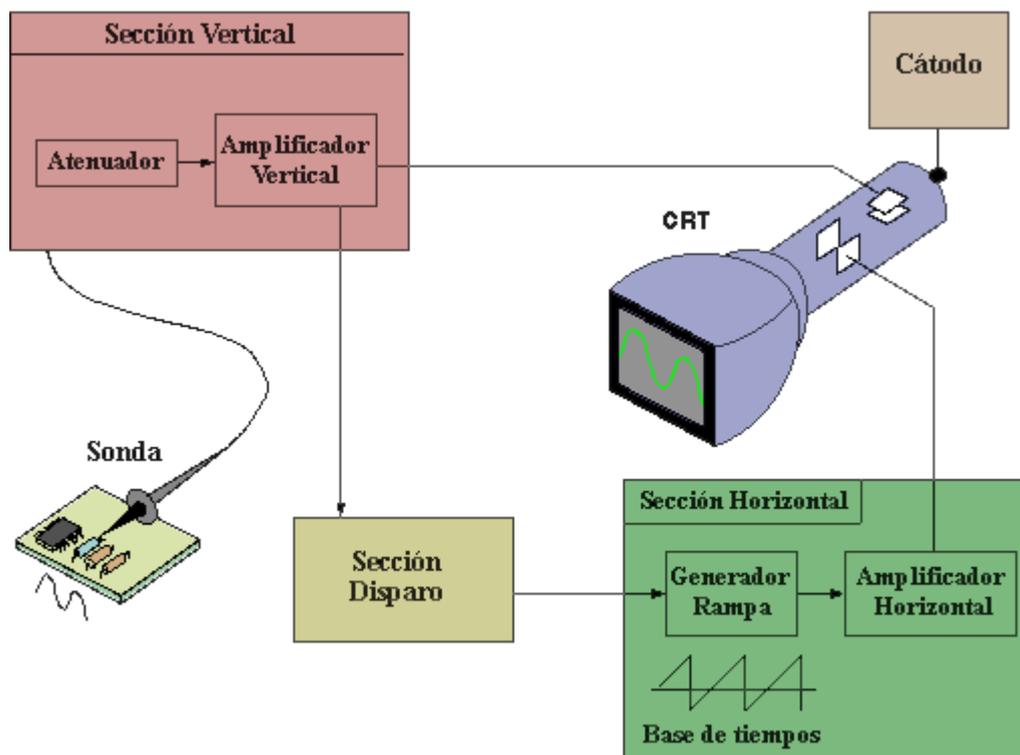
4. Hay modelos que pueden representar simultáneamente dos señales distintas, por lo que hay dos conexiones de entrada (canales 1 y 2) y todos los mandos correspondientes están duplicados. En ese caso hay un selector que permite seleccionar canal 1, 2, ambos o la suma de los dos.

¿Cómo funciona un osciloscopio?

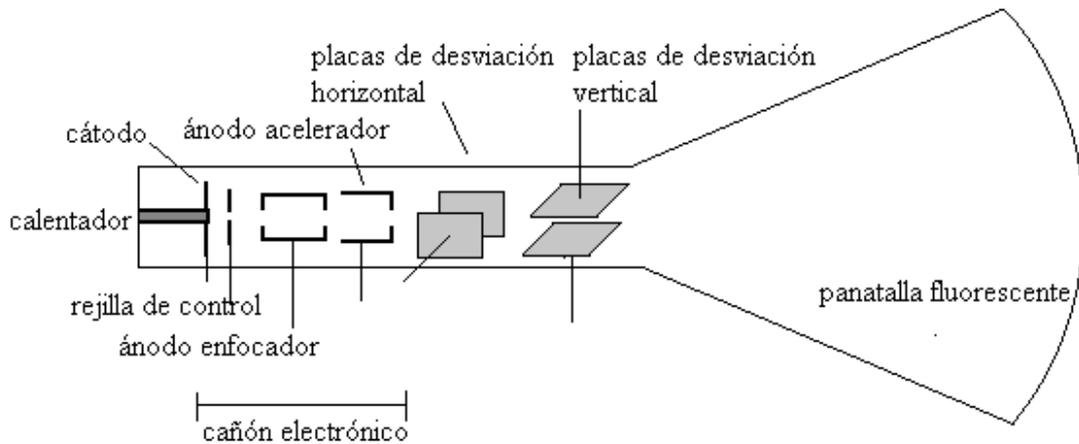
Para entender el funcionamiento de los controles que posee un osciloscopio es necesario detenerse un poco en los procesos internos llevados a cabo por este aparato. Nos fijaremos en un osciloscopio analógico.

Osciloscopios analógicos

Cuando se conecta la sonda a un circuito, la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de donde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal o la amplificaremos. En la salida de este bloque ya se dispone de la suficiente señal para atacar las placas de deflexión verticales (que naturalmente están en posición horizontal) y que son las encargadas de desviar el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical. La desviación se produce hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) ó hacia abajo si es negativa.



VISTA ESQUEMÁTICA LATERAL



La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (este es el encargado de mover el haz de electrones desde la parte izquierda de la pantalla a la parte derecha en un determinado tiempo). El trazado (recorrido de izquierda a derecha) se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal (las que están en posición vertical), y puede ser regulable en tiempo actuando sobre el mando TIME-BASE. El retrazado (recorrido de derecha a izquierda) se realiza de forma mucho más rápida con la parte descendente del mismo diente de sierra. De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y de la deflexión vertical traza la gráfica de la señal en la pantalla. La sección de disparo es necesaria para estabilizar las señales repetitivas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal repetitiva).

Como conclusión para utilizar de forma correcta un osciloscopio analógico necesitamos realizar tres ajuste básicos:

- La atenuación ó amplificación que necesita la señal. Utilizar el mando AMPL. para ajustar la amplitud de la señal antes de que sea aplicada a las placas de deflexión vertical. Conviene que la señal ocupe una parte importante de la pantalla sin llegar a sobrepasar los límites.
- La base de tiempos. Utilizar el mando TIMEBASE para ajustar lo que representa en tiempo una división en horizontal de la pantalla. Para señales repetitivas es conveniente que en la pantalla se puedan observar aproximadamente un par de ciclos.
- Disparo de la señal. Utilizar los mandos TRIGGER LEVEL (nivel de disparo) y TRIGGER SELECTOR (tipo de disparo) para estabilizar lo mejor posible señales repetitivas.

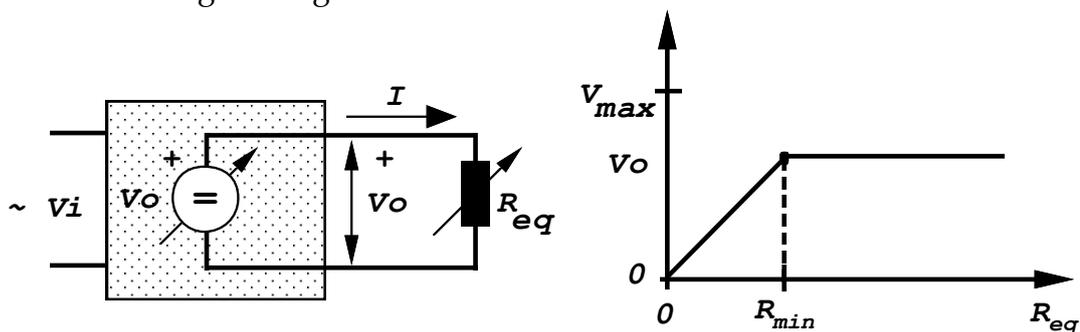
Por supuesto, también deben ajustarse los controles que afectan a la visualización: FOCUS (enfoque), INTENS. (intensidad) nunca excesiva, Y-POS (posición vertical del haz) y X-POS (posición horizontal del haz).

FUENTE DE VOLTAJE LIMITADA POR CORRIENTE. (Práctica 3: Líneas equipotenciales y Práctica 4: Circuito de corriente continua)

Este aparato se conecta a la red eléctrica (220 V a.c.) y proporciona a la salida un valor de tensión (voltaje, o diferencia de potencial) continua que podemos seleccionar entre 0 y un valor máximo, V_{max} , que puede regularse mediante un mando o dos, según los modelos. Cuando hay dos, uno de ellos sirve para realizar variaciones pequeñas (ajuste fino) y el otro para modificaciones grandes (ajuste grueso) de la tensión a la salida.

Hay un tercer mando que regula la intensidad límite, cuyo significado explicamos a continuación:

La fuente de tensión no es una fuente ideal sino que la tensión de salida decrecerá cuando la fuente tenga que proporcionar intensidades de corriente altas, o equivalentemente, cuando la resistencia externa con que se "carga" sea muy baja. Por otra parte la fuente también tiene una cierta resistencia interna pequeña (que se simboliza por r o R en algunas figuras), pero no es necesario conocerla para el desarrollo de la práctica, ya que será despreciable para todas las aplicaciones. La dependencia de la tensión de salida en función de la resistencia de carga se encuentra en la siguiente gráfica:



Es decir, la fuente mantiene un voltaje constante V_0 mientras la intensidad no alcance un cierto valor ($\equiv I_{limit} = V_0/R_{min}$). Si lo alcanza, entonces $I = I_{limit}$ cualquiera que sea la resistencia externa aplicada por debajo de R_{min} . El valor de I_{limit} es lo que podemos controlar mediante el mando de intensidad de la fuente. Entre otras aplicaciones el limitador de intensidad sirve para evitar problemas de cortocircuitos externos y también si queremos una intensidad fija independientemente del voltaje (Para ello se pone el mando de voltaje al máximo y se regula la intensidad con el mando de intensidad).

Hay modelos que tienen una aguja indicadora de voltaje y otra de intensidad y otros tienen una sola aguja y un conmutador de V/A que indica si lo que queremos que marque sea el voltaje o la intensidad que en cada momento está proporcionando la fuente, pero en ambos casos funciona igual. Solamente es diferente la magnitud que señala la aguja.

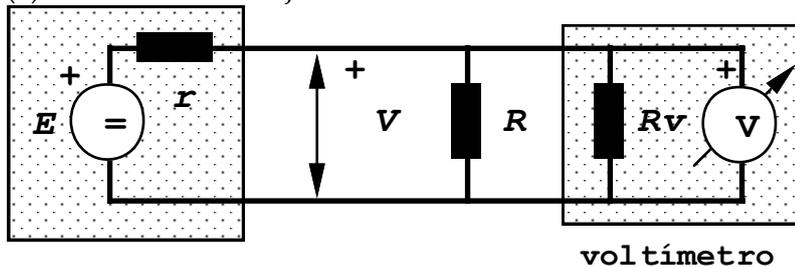
MULTÍMETRO (Práctica 1: Líneas equipotenciales y 2: Circuitos de corriente continua. En la práctica de resonancia en una cuerda tensa se utiliza sólo como frecuencímetro.)

El multímetro es un instrumento para medir las siguientes magnitudes eléctricas:

- Diferencias de potencial.
- Intensidades de corriente.
- Resistencias.

Para medir una de estas magnitudes debemos comenzar seleccionándola mediante el conmutador central (= selector) y eligiendo la escala adecuada. Si desconocemos totalmente el valor que puede tener comenzaremos por la escala mayor e iremos bajando hasta dar con la que ofrezca mayor resolución.

(1) Medida de voltajes.



El voltímetro se conecta "en paralelo" entre los puntos cuya diferencia de potencial queremos medir. Ésta puede ser continua (indicada por DCV o =) o alterna (simbolizada por ACV o \sim) por lo que hay que elegir bien la posición del selector. Su resistencia interna, R_v , es muy elevada para no perturbar la medida (es decir para que la intensidad vaya prácticamente toda por R , como si el voltímetro no estuviera conectado). En el caso de la continua, hay que colocar el terminal + del multímetro (con las letras V, Ω) al punto de mayor potencial y el - (negro, con la indicación com = "común") al de menor potencial.

El valor de voltios indicado por el selector es el máximo que se puede medir en esa posición. Hay que escoger la menor escala que supere al valor a medir. En caso de duda se comienza por la mayor y se va bajando.

La lectura se hace de forma distinta en los modelos digital y analógico:

* multímetro digital: el valor aparece directamente en la pantalla (en las unidades indicadas en la escala). Puede ser positivo o negativo, según cómo se hayan hecho las conexiones.

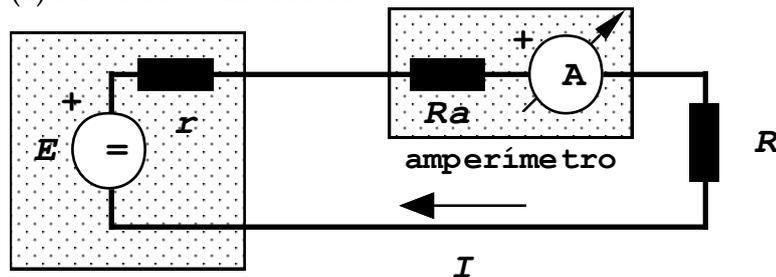
* multímetro analógico: hay que fijarse en la escala graduada, teniendo en cuenta que:

- Cuando la aguja está desviada al máximo (llega a fondo de escala) el valor es lo que indica el selector. Es decir, si el selector está en la posición de 2 voltios, la aguja al final de la escala significa que estamos midiendo 2 V.

- La escala graduada tiene distintas numeraciones y nos fijaremos en la que resulte más cómoda para escalar. Por ejemplo, si seguimos con el selector en 2V y las escalas llegan hasta 10, 20 y 50, nos fijaremos en la de 20 y dividiremos por 10.

- El multímetro analógico sólo está preparado para medir valores positivos, luego es imprescindible conectarlo con la polaridad correcta. Hay que asegurarse de eso antes de encender ningún aparato.

(2) Medida de intensidades.



El amperímetro se coloca "en serie" con la resistencia que se quiere medir intercalándolo en el circuito. Su resistencia interna, R_a , es muy pequeña para que la conexión no perturbe la medida, por lo que el instrumento nunca debe conectarse entre puntos a diferente potencial, ya que esto produciría un cortocircuito que puede dañar el instrumento o el propio circuito. Hay que tener un especial cuidado en no conectar el aparato como voltímetro cuando el selector indica amperios u ohmios.

En continua la polaridad debe ser tal que la corriente entre en el aparato por el + y salga por el - . En el analógico los conectores son los mismos que para

voltios y en el digital (modelo Blausonic) hay uno especial para mA y otro para la escala de 20 A.

La lectura se hace exactamente igual que en el caso de voltios, con la única diferencia de que el selector indicará normalmente mA. Para intensidades elevadas (hasta 10 A) hay un conector especial que evita ciertos mecanismos de protección del aparato y que no hay que usar nunca en este curso porque es muy peligroso si se hace inadecuadamente.

(3) Medida de resistencias.

Aquí la forma de proceder es diferente para el multímetro digital y analógico.

* Digital: Basta seleccionar una escala de Ω (o $k\Omega$, o $M\Omega$). Se conecta la resistencia que se quiere medir, DESCONECTADA de todo lo demás, al aparato en los mismos conectores que para voltaje (V/ Ω). En el visor aparece directamente el valor de la resistencia, debiendo prestar atención a las unidades indicadas por el selector.

* Analógico: La medida es mucho menos precisa que con el digital y a menudo sólo es una indicación.

1) Seleccionar una escala de resistencias. Los conectores son los mismos que para voltios.

2) Unir las puntas de prueba del aparato. Si en la escala de Ω no indica cero (escala superior al extremo derecho) ajustar con el mando circular hasta que lo haga.

3) Conectar la resistencia que se quiere medir (desconectada previamente de cualquier otro sitio) a los terminales del aparato. La aguja marcará un valor entre 0 e infinito en la escala superior. Este valor hay que multiplicarlo por el factor que indica en el selector. Por ejemplo, si marca 20 Ω y el selector está en la posición x 1K el valor es 20 Ω , si x 1k = 20 $k\Omega$ = 20000 Ω .

Es importante recordar que nunca hay que multiplicar las indicaciones de la aguja por lo que marca el selector excepto para este caso de ohmios y sólo con el multímetro analógico. Notar que el signo de multiplicar X aparece explícitamente sólo para las escalas de ohmios.