

## TRABAJO PRÁCTICO Nº 1 MEDICIONES ELÉCTRICAS E INSTRUMENTOS

### Objetivo

Presentar a los alumnos el **Laboratorio de Física II** mostrándoles fuentes de energía eléctrica, accesorios de comando y protección de circuitos eléctricos y algunos instrumentos de medición a utilizar durante el cursado.

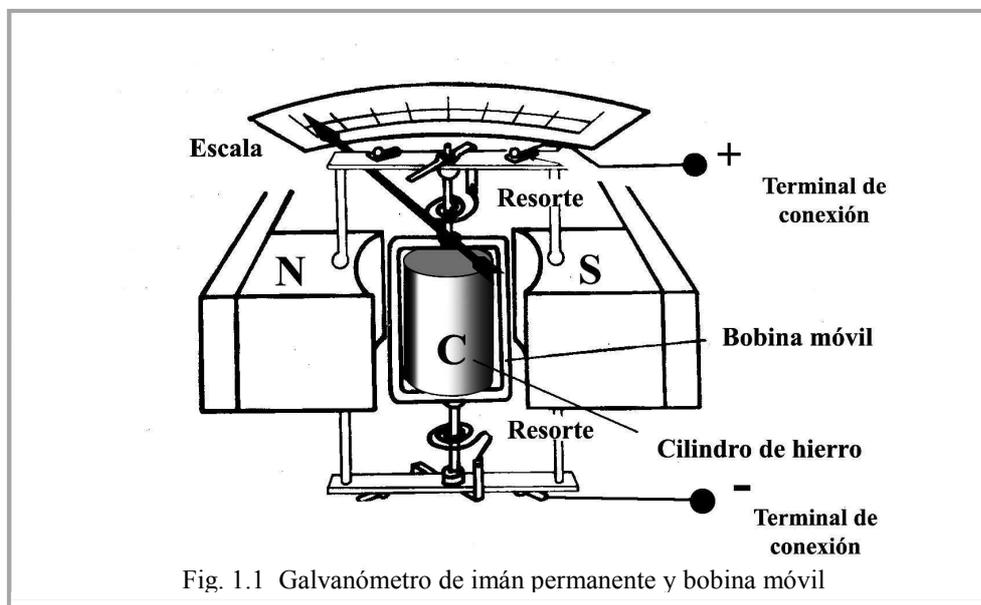
Conocer el principio de funcionamiento y características generales de los instrumentos más comunes y ejercitar el uso de voltímetros y óhmetros (u ohmímetros).

### Introducción

Los instrumentos eléctricos más comunes son: **amperímetros** y **voltímetros** que permiten medir corriente eléctrica y diferencia de potencial o tensión eléctrica, respectivamente.

El componente principal de estos instrumentos es un **galvanómetro**, aparato éste que detecta una pequeña corriente que pasa a su través. El tipo más utilizado de galvanómetro es el magneto-eléctrico (imán permanente y bobina móvil; tipo **D'Arsonval**) cuya estructura básica muestra la Fig. 1.1.

Una bobina de alambre conductor por la que circula corriente eléctrica, al estar ubicada en un campo magnético, experimenta la acción de un par de fuerzas o momento de torsión proporcional al valor de la corriente. Este momento hace girar la bobina hasta que es equilibrado por un par antagónico proporcionado por la suspensión mecánica de la bobina (resortes en espiral).



Mediante un diseño adecuado del imán y del núcleo de la bobina (cilindro de hierro C), se consigue que el ángulo  $\alpha$  que gira la bobina sea proporcional a la corriente.

Una aguja, solidaria a la bobina, se desplaza sobre una escala señalando, directamente, el valor de la corriente.

La resistencia eléctrica del galvanómetro  $R_g$  (resistencia eléctrica del circuito interno; incluye la resistencia de la bobina) y la corriente  $I_g$  necesaria para desviar la aguja hasta el final de la

escala, son los parámetros fundamentales para construir un amperímetro o un voltímetro a partir de un galvanómetro.

Un galvanómetro puede utilizarse como amperímetro, siendo su alcance (máxima corriente que puede medir; aguja a fondo de escala) la corriente de valor  $I_g$ .

Asimismo puede utilizarse como voltímetro de alcance máximo  $V_g = R_g I_g$ .

- **Amperímetro:** Para ampliar  $n = \frac{I}{I_g}$  veces el alcance del galvanómetro para que funcione como amperímetro de alcance  $I$ , se le conecta una resistencia  $R_s$  en paralelo (resistencia de deriva o resistencia shunt).
- **Voltímetro:** Para ampliar  $n = \frac{V}{V_g}$  veces el alcance del galvanómetro como voltímetro, de manera que funcione como voltímetro de alcance  $V$ , se le conecta una resistencia  $R_a$  en serie (resistencia adicional).

Por el momento interesa destacar que, con la incorporación al galvanómetro de resistencias en la forma mencionada; se obtiene, en general, que las resistencias resultantes de los amperímetros son mucho menores que las resistencias resultantes de los voltímetros ( $R_A \ll R_V$ ).

- **Multímetro:** a un mismo galvanómetro se lo puede equipar con resistencias (de derivación y adicionales), de valores adecuados y disponer así de un voltamperímetro de alcances múltiples.

Un **amperímetro** señala el valor de la corriente que circula por su interior por lo que se debe abrir el conductor por el cual está establecida la corriente a medir e intercalar el instrumento dando con este continuidad al circuito (**conexión serie**).

Para que un amperímetro, al incorporarlo al circuito, produzca un efecto despreciable sobre la corriente que se desea medir, su resistencia  $R_A$  debe ser muy pequeña en comparación con el resto de las resistencias del circuito serie del cual pasa a formar parte. En un amperímetro ideal debería cumplirse  $R_A = 0 \Omega$ .

Un **voltímetro** señala el valor de la tensión eléctrica o diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un circuito eléctrico, por lo que debe conectarse a los puntos en los que existe la tensión a medir (**conexión paralelo**).

Para que un voltímetro, al incorporarlo al circuito, produzca un efecto despreciable sobre la tensión que se desea medir, su resistencia  $R_V$  debe ser mucho mayor que el resto de las resistencias del circuito paralelo del cual pasa a formar parte. En un voltímetro ideal debería cumplirse  $R_V = \infty \Omega$ .

Hemos mencionado que, en general, se cumple que  $R_A \ll R_V$ . Obsérvese que si, erróneamente, conectamos un amperímetro en paralelo; es decir, como se conecta un voltímetro, produciríamos un **cortocircuito** (cierre del circuito a través de resistencia muy pequeña; condiciones de sobreintensidad en el circuito con graves riesgos de averías).

Las escalas de un galvanómetro, de un amperímetro o de un voltímetro, cuando estos instrumentos son de alcance único, poseen divisiones y números que permiten lectura directa del valor medido por la señalización de la aguja sobre la escala.

En un multímetro, generalmente, hay varias escalas e interpretar lo indicado por la aguja requiere cierta práctica. En los primeros trabajos, en lugar de un cálculo mental, aplicaremos el “**método de la constante de escala**”:

Adoptamos una escala y contamos la **cantidad de divisiones** que posee.  
Calculamos la **constante de escala  $k$**  para el alcance en que se utilizará el instrumento:

$$- \quad k = \frac{\text{alcance}}{\text{cantidad de divisiones de la escala}} \quad (1.1)$$

Conectamos el instrumento y contamos la cantidad  **$n$**  de divisiones que señala la aguja sobre la escala. A esta operación se la denomina **lectura** de la medición.  
Finalmente determinamos el valor de la magnitud medida multiplicando la constante de escala por la lectura:

$$- \quad \text{Valor de la magnitud medida} = \text{Cte de escala } k \times \text{Lectura } n \quad (1.2)$$

Para seleccionar el tipo de medición (intensidad o tensión) y alcance, los multímetros poseen accesorios (por ejemplo selector rotativo) e indicaciones grabadas que resultan muy fáciles de interpretar por lo que, con un mínimo de atención, el operador utiliza correctamente el instrumento

En los circuitos de corriente continua los instrumentos de medida y en general todos los elementos en los que importa el sentido de circulación de la corriente, deben conectarse correctamente a la polaridad respectiva:

**Positivo (+; borne rojo)** de la fuente con el positivo del instrumento o; si se prefiere, **Negativo (-; borne negro)** de la fuente con el negativo del instrumento. Este control es ineludible; se realiza una vez finalizado el montaje recorriendo el circuito a partir de los bornes de conexión de la fuente. Si por descuido se permuta la polaridad de conexión, la aguja del instrumento tenderá a desviarse hacia la izquierda y esto puede dañarlo.

Cierre del circuito y puesta en funcionamiento:

La puesta en funcionamiento del circuito debe realizarse accionando el interruptor de comando respectivo. No se debe abrir o cerrar un circuito operando sobre los bornes de conexión de sus elementos. Constituye un grosero error de operación accionar el conmutador (cambio de alcance) de los amperímetros estando en funcionamiento.

Conexión y alcance:

La conexión como voltímetro de un multímetro puede realizarse directamente “a contacto” con las puntas de prueba; en cambio, como amperímetro, debe realizarse de manera firme, asegurando buenos contactos, para no afectar el funcionamiento del circuito.

La primera tentativa de medición con el instrumento, se realiza con el selector ubicado en el máximo alcance; si la aguja se mueve poco, se pasa el selector al alcance inmediato inferior y así, sucesivamente, hasta que la aguja se ubique superando el primer tercio del campo de la escala. En esta forma se evitará sobrecargar el instrumento por una eventual adopción de alcance insuficiente.

### **Instrumentos analógicos e instrumentos digitales**

El galvanómetro magneto-eléctrico mencionado (bobina móvil e imán permanente), es el componente de los instrumentos **analógicos** por excelencia: señalización de la magnitud medida **mediante una aguja que se desplaza sobre una escala** graduada.

En cambio, la señalización de la medición en una **pantalla con caracteres digitales**, da lugar a los instrumentos **digitales**. El funcionamiento de estos instrumentos es de tecnología electrónica. Se completa su equipamiento con una fuente de energía eléctrica interna (generalmente una batería de 9 V).

Una muy interesante solución constructiva es la detección de la señal eléctrica que da lugar la magnitud medida (transductor electrónico) y su amplificación, todo esto con tecnología electrónica, y la señalización magneto-eléctrica (**analógica**) respectiva.

Todas las normas y recomendaciones de operación mencionadas para el uso de voltamperímetros analógicos son de aplicación en los instrumentos digitales; inclusive los analógicos con equipamiento parcial electrónico.

Con respecto a su conexión con la polaridad correcta en corriente continua, en los instrumentos digitales aparecerá en la pantalla un signo menos (-) si el sentido de la corriente no es el indicado en los bornes; es decir, acá no tenemos el riesgo de desviación de una aguja hacia la izquierda ya comentado.

En algunos usos de los instrumentos analógicos interesa conocer el sentido de la corriente en un tramo de circuito o red eléctrica; en estos casos se recurre a instrumentos con **cero al centro de la escala**.

En el uso de los instrumentos analógicos se cometen errores de lectura, como lo es el error de apreciación (depende de la forma como el operador aprecia la lectura de la aguja sobre la escala). En los instrumentos digitales, el error de apreciación es nulo.

Cabe destacar que todos los instrumentos señalan la magnitud medida con error; aún cuando sean contrastados y calibrados con instrumentos patrones. Para obtener información sobre el particular, se debe consultar el manual de prestaciones con datos garantizados por el fabricante (generalmente conforme a normas).

Finalmente, con la incorporación de baterías u otros accesorios, se aumentan las prestaciones de los instrumentos: voltamperímetros, óhmetros, termómetros digitales, ensayos de continuidad eléctrica, etc. Estos instrumentos reciben la denominación genérica de **“tester”** (equipo de prueba).

### Fuentes de energía eléctrica

En la mayoría de los ensayos utilizaremos fuentes alimentadas por la red del edificio (**220 V, 50 Hz**) que, por transformación, rectificación y filtrado, nos proporcionarán corriente continua o corriente alterna, de baja tensión (no peligrosa) y de salida variable.

Contamos con varias fuentes: mostramos algunas.

### Aparatos de comando y protección de circuitos

Llaves o interruptores: se utilizarán para cerrar o abrir circuitos eléctricos, conectándolos o bien desconectándolos de la fuente de energía.

Interceptor fusible: elemento que se intercala en un conductor; interrumpe su continuidad eléctrica por cuanto se funde cuando la corriente supera cierto valor.

Interruptor termomagnético: abre automáticamente el circuito cuando la corriente supera el valor normal (nominal del interruptor). Si la corriente supera varias veces la nominal (caso de cortocircuito) actúa el elemento magnético y la apertura es instantánea; si la corriente es mayor a la nominal, actúa el elemento térmico y la apertura tarda cierto tiempo.

### Experiencia 1.1

#### Fuentes de energía eléctrica y aparatos de comando y protección.

##### Objetivo

Conocimiento de fuentes. Conexión. Señalización de encendido. Tipo de corriente que suministra: corriente continua o corriente alterna (**DC** o **AC**). Regulación de la tensión de salida.

Conocer aparatos de comando y protección de circuitos.

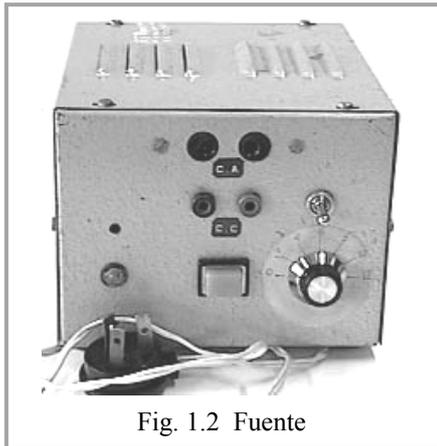


Fig. 1.2 Fuente

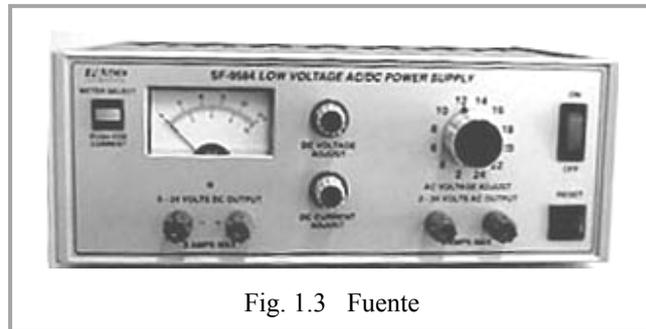


Fig. 1.3 Fuente

Examinar los módulos de comando y protección de circuitos eléctricos disponibles en la mesa de trabajo; observar que están constituidos por un interruptor automático (termomagnético) y por un interruptor bipolar.

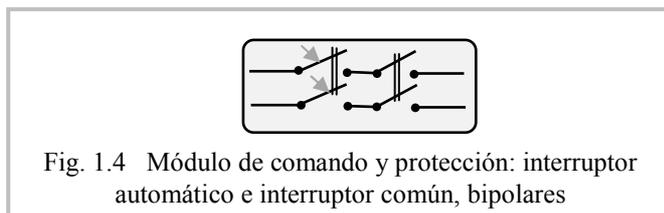


Fig. 1.4 Módulo de comando y protección: interruptor automático e interruptor común, bipolares

En los diagramas circuitales los encontraremos representados por la Fig. 1.4.

### Experiencia 1.2

#### Instrumentos de medición

##### Objetivo

Conocimiento de instrumentos de medida. Contamos con varios instrumentos; presentamos los siguientes:

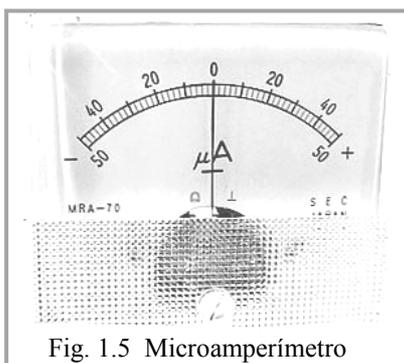


Fig. 1.5 Microamperímetro

#### Microamperímetro con cero al centro de la escala

Se trata de un instrumento para corriente continua; su sistema móvil es similar al mostrado en la Fig. 1.1.

El alcance del instrumento es  $\pm 50 \mu\text{A}$ .

El número de divisiones de la escala es 50 hacia cada lado por lo que se realiza lectura directa de su medición.

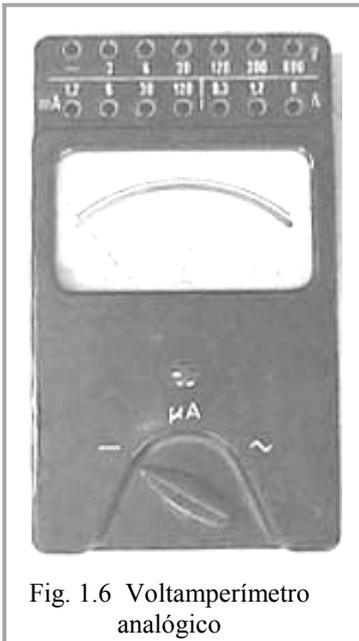


Fig. 1.6 Voltamperímetro analógico

### Voltamperímetro analógico

Es un multímetro para ambas corrientes; obsérvese el conmutador del tipo de corriente. En los bornes de conexión están grabados los alcances. Tiene escalas señalizadas con el tipo de corriente. Las constantes de escala se determinan adoptando 60 divisiones.

¿Cuáles son los alcances como voltímetro de este instrumento y las respectivas constantes de escala?

¿Cuáles cuando trabaja como amperímetro?

En la parte posterior trae una tabla que indica la resistencia interna para cada alcance. ¿Podemos confirmar lo aseverado anteriormente sobre la característica  $R_A \ll R_V$  de estos instrumentos?



Fig. 1.7 Tester digital

### Tester digital

Observar que posee un interruptor para su encendido (puesta en funcionamiento) y apagado. (Tener en cuenta que este tipo de instrumento posee internamente una batería para su funcionamiento).

Examinar el conmutador rotativo con el que se selecciona el tipo de medición o uso que permite. Tomar nota del tipo de corriente y alcances que posee como voltímetro y como amperímetro.

Tomar nota de los alcances que posee en su funcionamiento como óhmetro.

**Nota:** para la medición de resistencias se ubica el selector en la posición óhmetro y con las puntas de prueba se hace contacto en los extremos de la resistencia a medir.

Examinar otros instrumentos que se encuentran en la mesa de trabajo.

### Experiencia 1.3 Voltímetros

#### Objetivo

Usar voltímetros midiendo tensiones (o diferencia de potencial) en bornes de las fuentes.

#### Procedimiento:

Utilizar la fuente Fig. 1.2. Conectar el instrumento como indica la Fig. 1.8.

Realizar mediciones de tensión usando el instrumento analógico Fig.1.6 y, posteriormente, el digital Fig. 1.7.

Ambos en bornes de **corriente continua**. Operar el selector rotativo de tensiones de la fuente; para cada posición usar el analógico y luego el digital.

Registrar todos los valores. Confeccionar tabla de constantes de escala, lecturas y valores del analógico y valores obtenidos con el digital, que permita comparar el resultado de las mediciones instrumento analógico – instrumento digital.

Repetir mediciones, registro de valores y comparaciones del punto anterior, operando en bornes de **corriente alterna**.

#### Precauciones

Clase de corriente (corriente alterna  $\sim$  o corriente continua  $\pm$  rojo – negro). En corriente continua controlar polaridad (positivo del instrumento con el positivo de la fuente y negativo con negativo)

Selección del alcance (se comienza por el mayor alcance y se disminuye por puntos hasta obtener adecuada señalización).

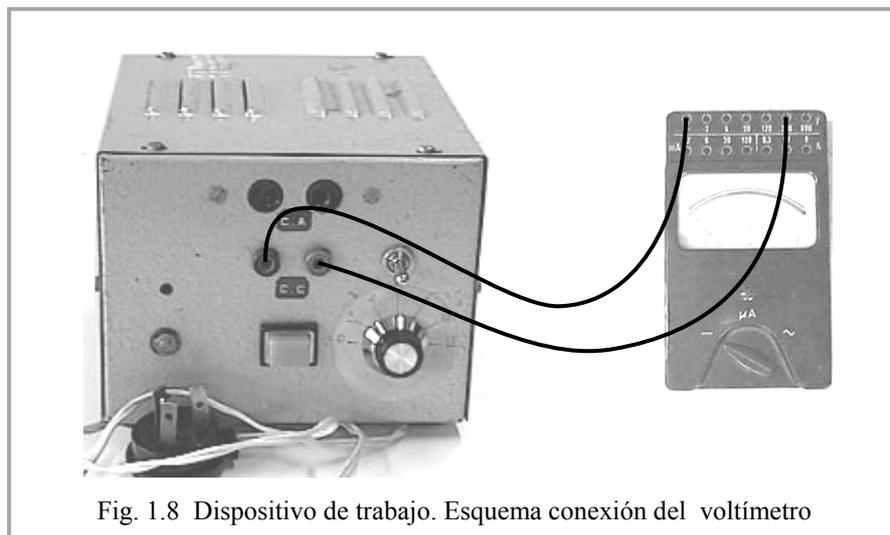


Fig. 1.8 Dispositivo de trabajo. Esquema conexión del voltímetro

**Nota:** Por el momento no practicará el uso de multímetros o tester como amperímetro por lo que **no conectará instrumentos** con esta prestación

### Experiencia 1.4 Óhmetro digital

#### Objetivo

Usar un tester digital en la función ohmímetro. Medir resistencias.

#### Procedimiento:

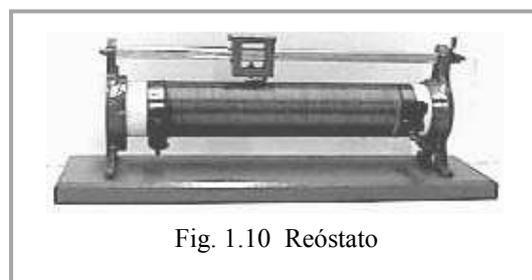
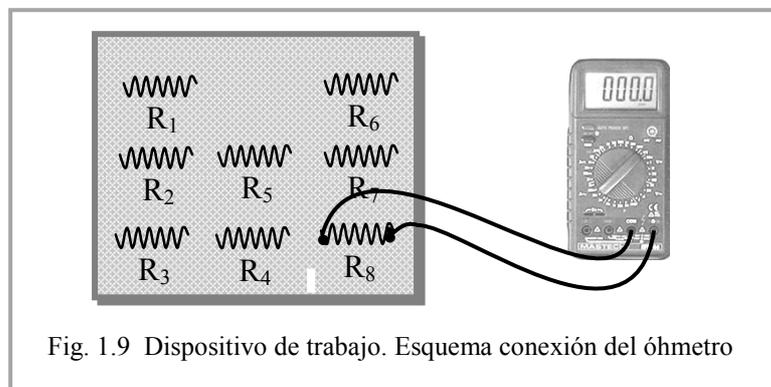
Ubicar el selector rotativo del instrumento en óhmetro ( $\Omega$ ) y, con las puntas de prueba, hacer contacto en los extremos de cada una de las resistencias que dispone en el dispositivo de trabajo. Observar que el selector le permite diferentes alcances de medición.

Conectar el instrumento como indica la Fig. 1.9.

Dispone también de un reóstato (resistencia variable) Fig. 1.10; ensayarlo con el óhmetro.

Observar que posee tres bornes de conexión; estudiar posibles conexiones.

Registrar valores medidos.



## TRABAJO PRÁCTICO Nº 5 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA - PARTE I

### Introducción

En un circuito se establece una corriente eléctrica cuando es cerrado e incluye, por lo menos, una fuente de energía eléctrica o fuente de **fuerza electromotriz, fem** ( $\epsilon$ ) La unidad de **fem** es el volt (**V**). Estas fuentes son, por ejemplo: las pilas o baterías electroquímicas, los generadores dinamoeléctricos, las células fotovoltaicas, etc.; en general son dispositivos que convierten energía no eléctrica (química, mecánica, térmica, etc.) en energía eléctrica. Se las denomina fuentes de corriente continua por cuanto el sentido de la corriente que establecen en los circuitos no cambia en el tiempo. Eléctricamente se las caracteriza con el valor de su fem (**V**) y con el valor de su resistencia eléctrica interna  $r$  ( $\Omega$ ).

Estudiaremos el funcionamiento de elementos eléctricos en circuitos de corriente continua utilizando, en lugar de fuentes como las mencionadas, fuentes que son conectadas a la red de energía eléctrica del edificio y que, mediante transformaciones múltiples, rectificación y filtrado, suministran energía en forma de corriente continua, de tensiones variables en el rango de **0 a 15 V**. También ensayaremos una pila común para estudiar sus características eléctricas funcionando como fuente.

Las magnitudes que mediremos son **resistencia eléctrica**  $R(\Omega)$ , **diferencia de potencial** (ddp) o **tensión eléctrica**  $V$  (V) y **corriente eléctrica**  $I$ (A). Los instrumentos que usaremos son, respectivamente: óhmetro, voltímetro y amperímetro. Normalmente estas tres mediciones las realizaremos con un multímetro o tester que será del tipo analógico (con escala y aguja) o digital (con indicación de los valores en pantalla con tres o cuatro dígitos).

Medición de resistencias: Para medir una resistencia con un tester digital se coloca el instrumento en operación “óhmetro” y con las puntas de prueba se tocan los terminales de la resistencia, **que debe estar desconectada del circuito**; es decir, de la fuente. La indicación en la pantalla digital da directamente el valor de la resistencia. El uso como óhmetro de un instrumento analógico requiere operaciones especiales que explicaremos en la Exp. 5.3 Mediciones más precisas las realizaremos con “circuitos puente” (Exp.6.2).

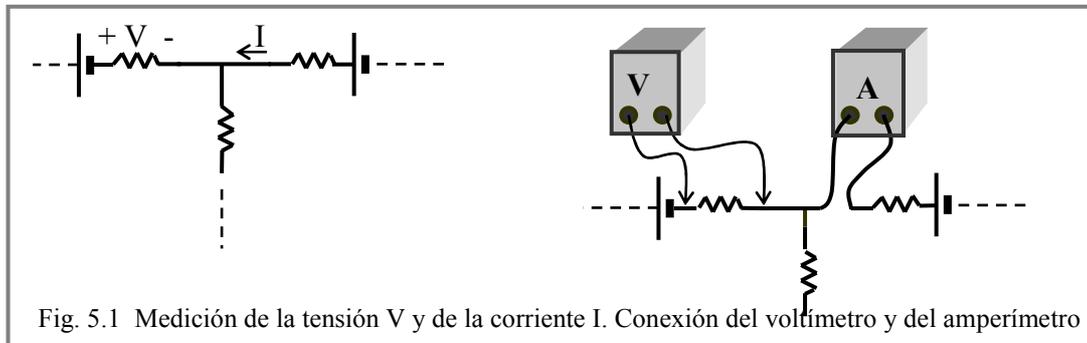
Medición de corriente: Para medir la corriente que circula por un conductor, al tester se lo selecciona en la función amperímetro; se abre el circuito en el punto de medición y se conecta el instrumento restableciendo con este la continuidad del circuito. Esta forma de conexión se denomina en **serie** debido a que, por el amperímetro y por los elementos que conecta el conductor, circula la misma corriente. La apertura del circuito para conectar el amperímetro debe realizarse sin corriente en el conductor o sea, abriendo previamente la llave o interruptor de comando general.

Medición de tensión: Para medir la ddp o tensión entre dos puntos de un circuito, al tester se lo coloca en la función voltímetro y se lo conecta directamente a dichos puntos. Esta forma de conexión se denomina en **paralelo** por cuanto el voltímetro y los elementos del circuito existentes entre dichos punto quedan conectados a la misma tensión.

Para analizar un circuito eléctrico se debe dibujar un diagrama circuital (esquema sinóptico) en los que solo se tienen en cuenta las partes esenciales; para esto se utilizan símbolos norma-

lizados de muy fácil interpretación (ejemplo: una resistencia  $R$  ).

La Fig. 5.1 indica la medición de la tensión  $V$  y de la corriente  $I$  en una parte de un circuito y la forma en que deben conectarse los instrumentos voltímetro y amperímetro.



La conexión de los instrumentos da lugar a la aparición de **errores sistemáticos de medición**. Este es un inconveniente común a cualquier proceso de medición. La medición requiere la interacción de lo que se mide con el instrumento, y esto conlleva una alteración en mayor o menor grado de la magnitud que se está midiendo.

En el caso del voltímetro, estamos incorporando una rama de circuito en paralelo, inexistente en el circuito original. Por esta rama circula cierta corriente que, si queremos minimizar su influencia en el circuito, debe ser la menor posible. En otras palabras, la resistencia interna del voltímetro ( $R_V$ ) debe ser lo mayor posible. En un voltímetro ideal  $R_V = \infty \Omega$  y la corriente nula. Un multímetro digital tiene una  $R_V$  de, por ejemplo en algunos instrumentos que disponemos en el Laboratorio,  $10 M\Omega$ ; con esta característica, la corriente en la rama es muy pequeña.

En el caso del amperímetro, estamos incorporando un elemento en serie, inexistente en el circuito original. La inclusión del amperímetro produce entre sus bornes una **ddp** que, si queremos minimizar su influencia en el circuito, debe ser la menor posible. En otras palabras, la resistencia interna del amperímetro ( $R_A$ ) debe ser la menor posible. En un amperímetro ideal  $R_A = 0 \Omega$  y la ddp mencionada nula. Un multímetro analógico en la función amperímetro tiene una  $R_A$  variable con la escala que se esté utilizando (cuanto mayor es el alcance menor es  $R_A$ ). Cuando utilizemos amperímetros para medir pequeñas intensidades debemos controlar lo expuesto.

Un multímetro o tester de uso común viene acompañado usualmente con un catálogo en el cual figuran, como datos garantizados por el fabricante, las prestaciones del instrumento y la precisión de las mediciones que permite efectuar.

Los instrumentos digitales son, en general, superiores a los analógicos tanto en lo que hace a sus valores de resistencia interna (se acercan más a los valores de los instrumentos ideales), como en lo referido a la facilidad de operación y lectura.

### Experiencia 5.1

### Ensayos simples con mediciones de intensidad y tensión.

#### I – Circuito eléctrico simple de corriente continua.

##### Objetivo

Analizar el funcionamiento de una lámpara de filamento; circuito simple de corriente continua.

##### Equipamiento

Fuente de corriente continua.

Lámpara de filamento incandescente 12 V, 5 W.

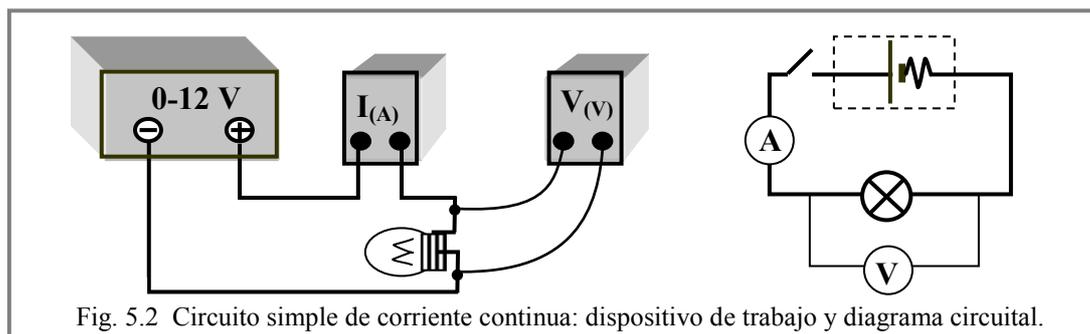
Dos multímetros analógicos.

Accesorios: portalámpara y conductores con terminales para el cableado.

##### Procedimiento

Reconocer los elementos que conforman el equipamiento y dibujar el diagrama circuital de conformidad a lo indicado en la Fig. 5.2.

Armar el circuito guiándose por el diagrama circuital. Efectuado el cableado, recorrer el circuito controlando la polaridad de conexión de los multímetros, la correcta selección de la función (amperímetro o voltímetro) y el alcance adecuado.



Activar el circuito cerrando el interruptor de la fuente; regular la tensión hasta lograr 12 V.

Tomar lectura de los instrumentos y, aplicando la correspondiente “constante de escala”, concretar la medición de la tensión y de la corriente en la lámpara. Registrar valores.

Calcular la potencia eléctrica y la resistencia de la lámpara en funcionamiento.

Consultar el valor de resistencia interna de los instrumentos utilizados.

Observar que el amperímetro puede conectarse abriendo el circuito entre los puntos de conexión del voltímetro; comentar error sistemático imputable a la resistencia interna de los instrumentos.

#### II – Fem de una pila. Resistencia interna

##### Objetivo

Determinar la fem  $\varepsilon$  y la resistencia interna  $r$  de una pila efectuando mediciones con voltímetro y amperímetro.

##### Equipamiento

Pila seca común; tamaño AA; 1,5 V.

Voltímetro (tester digital en la función voltímetro de corriente continua)

Amperímetro (tester digital en la función amperímetro de corriente continua).

Dos lámparas de filamento de 2.2 V y 0.5 A.

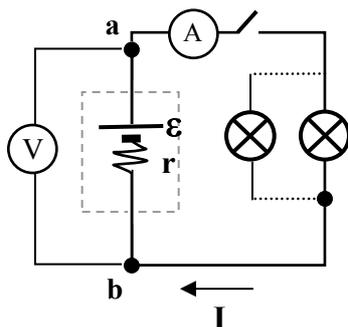
Interruptor, porta pilas, conductores y accesorios.

Los elementos se encuentran montados y parcialmente interconectados en un dispositivo de trabajo.

Introducción

### Ensayos en vacío y en carga

Considerar el siguiente diagrama circuital.



$V_{ab}$  es la **ddp** en bornes de conexión de la pila; se mide con el voltímetro.

$I$  es la corriente del circuito de carga; se mide con el amperímetro. Del esquema se deduce:

$$V_{ab} = \varepsilon - Ir$$

A circuito abierto (interruptor abierto) la corriente  $I$  es nula y el voltímetro nos señala  $V_0$  que es el valor de la fem

$$V_0 = \varepsilon \quad (5.1)$$

Cerrando el interruptor y con una lámpara en el circuito de carga las condiciones son:

$$V_1 = \varepsilon - I_1 r \quad (5.2)$$

Conectando ahora las dos lámparas en paralelo, las condiciones son:

$$V_2 = \varepsilon - I_2 r \quad (5.3)$$

Operando algebraicamente:

$$r = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} \quad (5.4)$$

Procedimiento:

Efectuar reconocimiento del dispositivo de trabajo identificando los elementos y conexiones conforme al diagrama circuital analizado.

### Ensayo en vacío:

Completar el cableado conectando los instrumentos de medida. Estando el interruptor abierto medir la tensión en bornes de la batería; registrar el valor medido. Observar que, por tratarse de un voltímetro de gran resistencia interna ( $R_v = 10 \text{ M}\Omega$ ) la medición da directamente el valor de  $\varepsilon$ . (Justificar esta aseveración).

### Ensayos en carga:

Con una lámpara en el circuito, cerrar el interruptor, medir y registrar los valores  $V_1$  e  $I_1$ . Abrir el interruptor y conectar las dos lámparas en paralelo; cerrar el interruptor, medir y registrar los valores  $V_2$  e  $I_2$ .

Abrir el interruptor finalizando los ensayos de carga.

Calcular  $r$  aplicando (5.4). Comparar el valor de **fem** determinado según (5.1) con el que resulta de aplicar (5.2) ó (5.3). En el informe dibujar el diagrama circuital operado y comentar resultados.

Ejercitación complementaria  
Potencia máxima a obtener de una pila.

La corriente  $I$  del ensayo de carga, denominando  $R$  a la resistencia de las lámparas, la podemos expresar:  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ .

La potencia disipada en las lámparas resulta:  $P = I^2 R = \varepsilon^2 \frac{R}{(R+r)^2}$

Como  $\varepsilon$  y  $r$  son constantes, la potencia obtenida de la pila es función de la resistencia de carga  $R$ .

Determinar analíticamente la condición de carga para lograr la potencia máxima de la pila y calcular esta potencia para la pila ensayada.

**Experiencia 5.2**  
**Ohmímetro analógico**

Objetivo

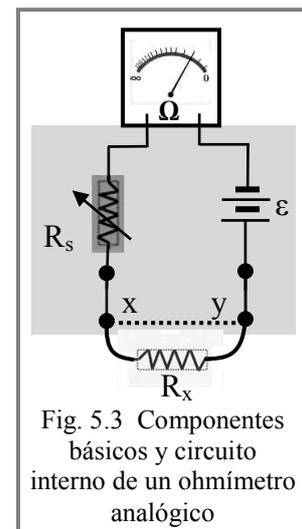
Reconocer y adiestrarse en el manejo de ohmímetros analógicos.

Introducción

La Fig. 5.3 muestra **los componentes y el circuito interno** básico de un ohmímetro analógico que esencialmente consta de un galvanómetro tipo d'Arsonval, una fuente de fem  $\varepsilon$  (generalmente una batería) y una resistencia  $R_s$ , conectados en serie.

La resistencia  $R_x$  a medir, se conecta a los terminales  $x$ ; y.

La resistencia  $R_s$  es variable y se ajusta de modo que cuando los terminales  $x$ ; y se ponen en cortocircuito (línea punteada)  $R_x=0$ , la aguja del galvanómetro se desvía a fondo de escala indicando en esta posición  $0 \Omega$ . Cuando el tramo  $xy$  está abierto  $R_x = \infty$  y la aguja del galvanómetro permanece en el extremo izquierdo de la escala. Al conectar  $R_x$  la desviación de la aguja adquiere un valor intermedio por lo que la escala se calibra adecuadamente para obtener directamente el valor de la resistencia medida.



En los multímetros analógicos el uso como ohmímetro se consigue usando el mismo galvanómetro de aguja complementando el instrumento con circuitos y elementos auxiliares como los descriptos, inclusive incorporando otras resistencias en serie posibilitando así mejores condiciones de medición con aplicación de factores de lectura. Observar que la escala comprende “ $\infty - 0$ ” y que el ajuste con  $R_s$  mencionado, es una operación ineludible.

Procedimiento

Examinar un multímetro analógico en la función ohmímetro, estudiando su escala y factores de lectura; ubicar el comando de la resistencia  $R_s$ . Medir resistencias disponibles al efecto. ¿Con qué criterio adopta el factor de lectura más conveniente? ¿Cómo justifica el ajuste inicial con  $R_s$  mencionado?

### Experiencia 5.3 I. Ley de Ohm

#### Objetivo

Corroborar la relación entre la tensión y la corriente dada por la ley de Ohm.

#### Introducción

La gran mayoría de los conductores metálicos cumplen con la ley de Ohm, que establece una proporcionalidad entre el valor del campo eléctrico en un punto del material con el vector densidad de corriente que aparece en el mismo punto:  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

Esta es la expresión conocida como ley de Ohm puntual, porque relaciona magnitudes vectoriales de punto. Cuando esta relación se aplica a un alambre conductor entre cuyos extremos existe una **ddp**  $V$  llegamos a la llamada forma macroscópica de la ley:  $I = \frac{V}{R}$

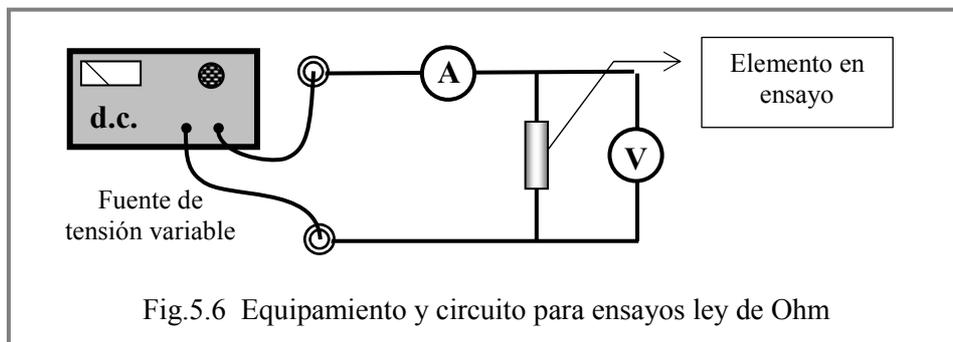
donde  $I$  es la corriente que se establece en el alambre y  $R$  la constante de proporcionalidad a la que llamamos resistencia del alambre. La resistencia tiene por expresión:  $R = \frac{V}{I}$  Esta expresión tiene validez general, cualquiera sea la geometría del conductor.

Si en particular el conductor es un alambre homogéneo, la resistencia se puede expresar:

$R = \rho \frac{l}{S}$ , expresión conocida como resistencia en función de las dimensiones, pues  $l$  y  $S$  son la longitud y sección del alambre y  $\rho$  la resistividad del material.

Hay materiales que no cumplen la ley de Ohm, pero el concepto de resistencia definido como el cociente entre la diferencia de potencial en bornes de un componente y la corriente que circula por él, se aplica a cualquier componente de material que cumpla o no con la ley de Ohm. Cuando el componente es de material que no cumple con la ley deberá aclararse para qué valor de  $V$  o  $I$  se expresa su resistencia  $R$  por cuanto ésta no es constante.

Obtendrá experimentalmente la característica tensión – corriente, para dos elementos de circuito, para determinar si cumplen o no la ley de Ohm. El equipamiento y circuito lo muestra la Fig. 5.6.



#### Procedimiento:

Reconocer los elementos dispuestos en el dispositivo de trabajo y completar las conexiones conforme al diagrama circuital mostrados en la Fig. 5.6. La fuente es de baja potencia y permite trabajar con tensiones variables de 0 a 30 V.

Ensayar los dos elementos disponibles en el dispositivo; para cada uno:

Conectar el elemento y variar la tensión de la fuente con la llave de regulación, medir los pares de valores tensión-corriente para cada posición de la llave; registrar valores medidos y representar gráficamente **I** en función de **V**.

**Precaución:** usar la fuente de tensión variable únicamente en la escala de 30 V; trabajar con tensiones variables de **0** a **30 V** y corrientes de **0** a **12 mA**. **No superar ninguno de los dos valores máximos estipulados.**

Informe: dibujar el diagrama circuital operado, confeccionar cuadro de valores medidos y graficar lo solicitado. Conclusiones a partir de las representaciones gráficas:

¿Cumplen los elementos ensayados la ley de Ohm?

¿Qué puede decirse, de ambos elementos, del valor de su resistencia?

Ejercicio complementario

Objetivo

Comprobar la relación  $R = \rho \frac{l}{S}$  que expresa la resistencia de un conductor homogéneo en función de sus dimensiones y de la resistividad del material que lo constituye.

Equipamiento

Un rollo de cable de cobre, aislamiento plástico, de uso normal en instalaciones eléctricas, longitud 100 m; sección  $2 \times 0,35 \text{ mm}^2$ . Dispone así de dos conductores de cobre, de iguales longitud y sección.

Tester digital que usará en la función ohmímetro..

Procedimiento

Medir la resistencia de cada conductor.

Medir la resistencia de los dos conductores en serie (duplica la longitud).

Medir la resistencia de los dos conductores en paralelo (duplica la sección).

Con el resultado de la medición de los dos conductores en serie, adoptando resistividad del cobre  $1.72 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$  verificar la sección del cable ( $0,35 \text{ mm}^2$ ) dada por el fabricante.

Conclusiones

Informe: confeccionar cuadro de valores medidos y relacionarlos.

Nota: la fabricación normal de este tipo de conductores especifica la utilización de cobre puro (cobre electrolítico) por lo que hemos adoptado el valor de la resistividad mencionado válido a temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}$ ).

## Experiencia 5.4

### Coefficiente de temperatura de la resistividad.

Introducción

La resistividad de la mayoría de los metales aumenta con la temperatura por el incremento de la agitación térmica de los átomos del metal en el reticulado cristalino. El incremento de la amplitud de la agitación equivale a un aumento de la sección eficaz de choque que presenta el

átomo al movimiento de los electrones libres. Como consecuencia, los choques son más frecuentes, disminuyendo la velocidad de arrastre.

La curva de la variación de  $\rho$  con T es experimental y admite una aproximación polinomial de grado superior. Si las variaciones de temperatura son pequeñas, del orden de las que experimentan los conductores de bobinas de máquinas eléctricas, puede aceptarse una aproximación lineal:  $\rho \propto T$ . Introduciendo una constante de proporcionalidad:

$$\rho_{(T)} = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (5.5)$$

Donde:

$\rho_{(T)}$  es la resistividad a la temperatura T.

$\rho_0$  es la resistividad a la temperatura de referencia  $T_0$  (generalmente la temperatura ambiente)

$\alpha$  es el coeficiente de proporcionalidad denominado coeficiente térmico de la resistividad.

Dada la relación directa de R con  $\rho$ , el mismo tipo de variación ocurre con la resistencia:

$$R_{(T)} = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (5.6)$$

Esta expresión permite el cálculo de  $\alpha$  midiendo resistencias y temperaturas.

Objetivo.

Determinar el coeficiente de temperatura de la resistividad del cobre.

Equipamiento

Hilo de cobre, barnizado, diámetro 0,2 mm, enrollado.

Tester digital en la función ohmímetro.

Termómetro de mercurio en capilar de vidrio.  $-10^\circ\text{C}$  ;  $110^\circ\text{C}$ .

Accesorio: calefactor eléctrico.

Procedimiento

Examinar el dispositivo; controlar el montaje del termómetro y conectar el ohmímetro.

Controlar que el dispositivo se encuentre a temperatura ambiente.

Medir la temperatura inicial ( $T_0$ ) y la resistencia inicial ( $R_0$ ) del enrollamiento.

Activar el calefactor y, a medida que aumenta la temperatura, realizar mediciones simultáneas de temperatura y resistencia. A partir de  $30^\circ\text{C}$  adoptar intervalos de temperatura de  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ . Confeccionar cuadro de valores medidos.

Finalizar el proceso de calentamiento cuando la temperatura supere  $70^\circ\text{C}$  (por ejemplo, sea de  $72^\circ\text{C}$ ).

Adoptar como temperatura final  $T = 70^\circ\text{C}$  y la correspondiente resistencia final  $R_{(T)}$ .

Calcular ( $\alpha$ ) el coeficiente de temperatura del cobre, con los valores iniciales y finales de resistencia y temperatura medidos.

Graficar  $R = f(T)$

Conclusiones

Comparar el valor obtenido de  $\alpha$  con el valor que figura en Tabla: “Coeficiente de temperatura de la resistividad” – cobre. (Texto básico).

¿Muestra la gráfica un comportamiento lineal?

**Precaución:** En caso de rotura del termómetro de mercurio (nocivo); avisar al Docente a cargo.

Medir las resistencias  $R_x$  disponibles y expresar sus valores poniendo de manifiesto el margen de error.

Por ejemplo, si una medición arroja el valor  $R_x = 3326 \Omega$   
será:  $\Delta R_x = R_x \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 3326 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \Omega \cong 10 \Omega$

resultando:  $R_x = (3326 \pm 10) \Omega$

**Valor y tolerancia de los resistores según código de colores: y valores determinados con el Puente de Wheatstone:**

$R_{x1} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$                        $R_{x1} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$   
 $R_{x2} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$                        $R_{x2} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$

Efectuar comparaciones y exponer conclusiones.

**Experiencia 6.2**

**Conexión de resistores en serie y en paralelo. Resistencia equivalente**

Objetivo

Corroborar lo expresado por las reglas de conexión serie y paralelo de resistores.

Equipamiento

Tres resistores potencia de disipación 10 W con terminales de conexión tipo “banana”, montados en un panel rectangular.

Fuente de corriente continua.

Tester digital

Un módulo con interruptores y accesorios para conexión, comando y protección de circuitos.

Conductores y accesorios para el cableado.

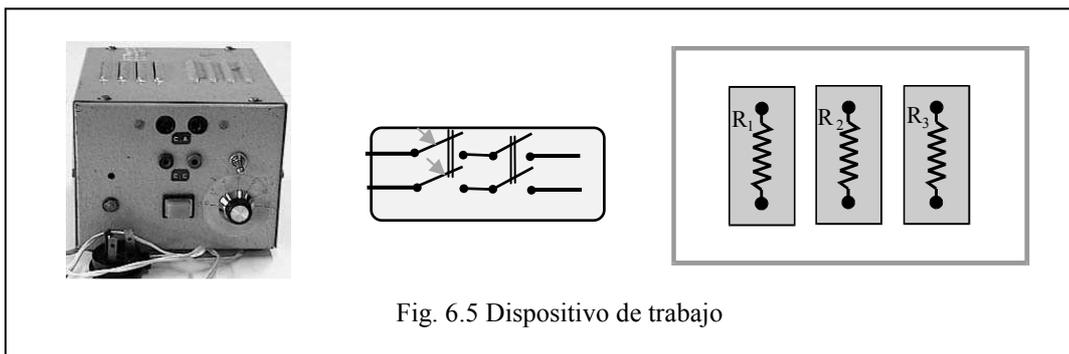


Fig. 6.5 Dispositivo de trabajo

Procedimiento

**Operación preliminar**

Representar esquemáticamente al grupo de resistores y numerarlos conforme se indica en el dispositivo de trabajo. Medirlos utilizando el tester y registrar sus valores en el esquema.

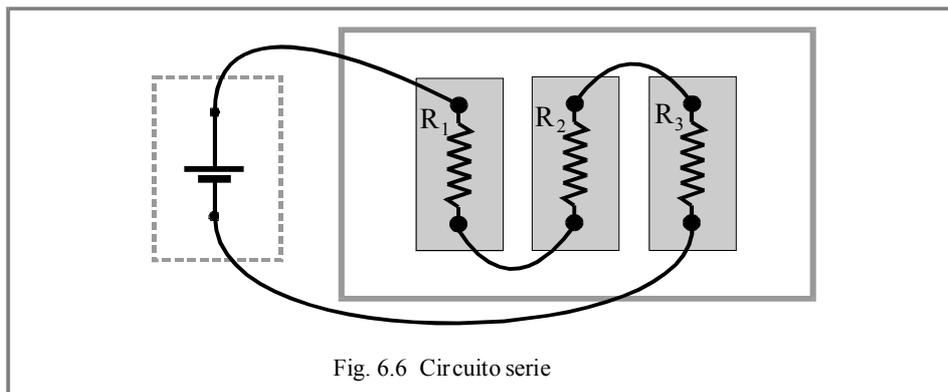
**Nota:** es conveniente adoptar figuras de buen tamaño, que permitan rotular claramente los datos.

### I. Verificación de la “regla de resistencias en serie”.

*La resistencia equivalente de cualquier número de resistores en serie es igual a la suma de sus resistencias individuales.*

$$R_{eq} = \Sigma R_i$$

Dibujar diagrama circuital de tres resistencias en serie como indica el esquema.



Interconectar los tres resistores del panel conforme a lo representado en el diagrama circuital. Medir  $R_{eq}$  con el tester. Verificar la regla. Registrar cálculos.

#### Ejercicio complementario

Comprobar las características de funcionamiento de tensión y corriente de un circuito con resistores combinados en serie.

- *La diferencia de potencial total de la combinación serie de resistores es igual a la suma de las tensiones individuales.*
- *La corriente es igual en cada uno de los resistores de la combinación serie*

Conectar la combinación serie, como indica la línea punteada del diagrama, a la fuente previamente regulada a una tensión del orden de 12 V. Utilizar el módulo de comando y protección del circuito. Con el tester en la función voltímetro, verificar la característica de tensión. A continuación, con el tester en la función amperímetro, verificar la característica de corriente.

**Precaución:** la apertura del circuito para conectar el amperímetro, debe realizarla abriendo previamente el interruptor de comando.

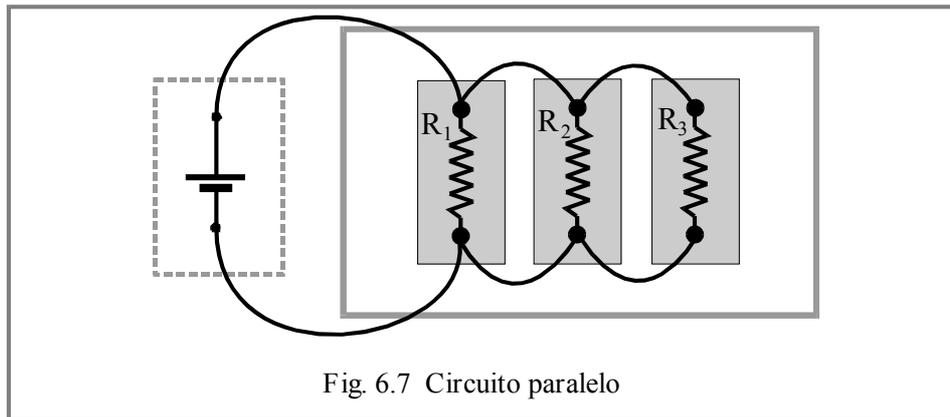
Registrar valores medidos en el diagrama esquemático circuital. Registrar cálculos complementarios. Exponer conclusiones.

## II. Verificación de la regla de resistencias en paralelo.

Para cualquier número de resistores en paralelo, el recíproco de la resistencia equivalente es igual a la suma de los recíprocos de las resistencias individuales.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

Dibujar diagrama circuital de tres resistores en paralelo como indica el esquema.



Interconectar los tres resistores del panel conforme a lo representado en el diagrama.

Medir  $R_{eq}$  con el tester.

Verificar la regla. Registrar cálculos.

### Ejercicio complementario

Comprobar las características de funcionamiento de tensión y corriente de un circuito con resistores combinados en paralelo.

- *La diferencia de potencial es igual en cada uno de los resistores conectados en paralelo.*
- *La corriente total que pasa por la combinación paralelo de resistores es igual a la suma de las corrientes que pasan por los resistores individuales.*

Conectar la combinación paralelo, como indica la línea punteada del diagrama, a la fuente previamente regulada a una tensión del orden de 12 V. Utilizar el módulo de comando y protección del circuito. Con el tester en la función voltímetro, verificar la característica de tensión. A continuación, con el tester en la función amperímetro, verificar la característica de corriente. **Precaución:** la apertura del circuito para conectar el amperímetro, debe realizarla abriendo previamente el interruptor de comando.

Registrar valores medidos en el diagrama esquemático circuital. Registrar cálculos complementarios. Exponer conclusiones.

## TRABAJO PRÁCTICO Nº 8 MAGNETISMO – PARTE I

### Introducción

El campo magnético  $d\vec{B}$  originado por un elemento de corriente eléctrica  $I d\vec{l}$  a una distancia  $r$  del elemento, se expresa conforme a la ley de Biot-Savart;

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (8.1)$$

En la práctica, no es posible aislar un elemento de corriente  $I d\vec{l}$ ; por consiguiente, en la expresión, se deben integrar todos los elementos  $d\vec{l}$  del circuito eléctrico; así el campo magnético  $\vec{B}$  en cualquier punto del espacio, originado por una corriente  $I$  en un circuito completo, resulta:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (8.2)$$

Para lograr valores apreciables de  $\vec{B}$ , con corrientes relativamente pequeñas, los conductores se disponen enrollados formando bobinas circulares o bien solenoidales.

Hans Christian Oersted descubrió la relación entre electricidad y magnetismo al observar que la aguja magnética de una brújula se desviaba al acercarla a un alambre con corriente eléctrica. Esto dio lugar al actualmente denominado “Experimento de Oersted” que, básicamente, consiste en desplazar lentamente una brújula de mano alrededor de un conductor con corriente, la aguja magnética se ubica en la posición de la tangente a la línea del campo  $\vec{B}$  en cada punto, indicando la dirección y sentido del campo.

André Marie Ampere descubrió las fuerzas que aparecen entre dos conductores con corriente al ubicarlos próximos entre sí. Estas fuerzas, entre conductores con corriente, se denominan de interacción electrodinámica y pueden ser de atracción o repulsión, iguales a las magnéticas. El “Experimento de Ampere” describe el razonamiento que explica lo expuesto.

Michael Faraday y Joseph Henry, sobre la base de varios experimentos, descubrieron que, por inducción, se genera una corriente eléctrica en un circuito de material conductor cuando varía, en el tiempo ( $t$ ), el flujo del campo magnético ( $\Phi_B$ ) vinculado a la superficie que define el circuito eléctrico. Heinrich F. Lenz complementó los experimentos al precisar el sentido de dicha corriente inducida. Con diferentes equipamientos se realizan experimentos demostrativos de las leyes de inducción electromagnética.

### Experiencia 8.1

#### Campo magnético de una bobina circular. Experimento de Oersted.

##### Objetivo

Detectar, con una brújula, el campo magnético  $\vec{B}$  originado por una corriente  $I$  en una bobina circular, determinando así la forma y sentido de las correspondientes líneas de campo.

Comparar las líneas de campo magnético  $\vec{B}$  con las ya conocidas líneas de campo eléctrico  $\vec{E}$  y describir conclusiones.

### Equipamiento

Bobina circular de alambre de cobre esmaltado. Número de vueltas indicada en el dispositivo.

Fuente de corriente continua.

Amperímetro.

Brújula común de mano.

Módulo para comando y protección del circuito eléctrico, resistencia  $R_L$  para limitar la corriente e interruptor para conexión de la bobina.

### Procedimiento

Disponer el dispositivo que sostiene la bobina y posee el interruptor de conexión; conectar la fuente de corriente continua, regulada a 12 V, utilizando el módulo de comando y protección del circuito e incorporar el amperímetro (selector en alcance superior a 3 A) y la resistencia limitadora de corriente  $R_L$ ; todo como lo muestra la Fig.8.2.

Cerrar el circuito operando el interruptor.

Desplazar la brújula por los alrededores de la bobina detectando el campo  $\vec{B}$  y la trayectoria de las imaginarias líneas de campo.

Permutar la conexión positivo por negativo. Verificar que al cambiar el sentido de la corriente también cambia el sentido de de las líneas de campo; es decir del campo  $\vec{B}$ .

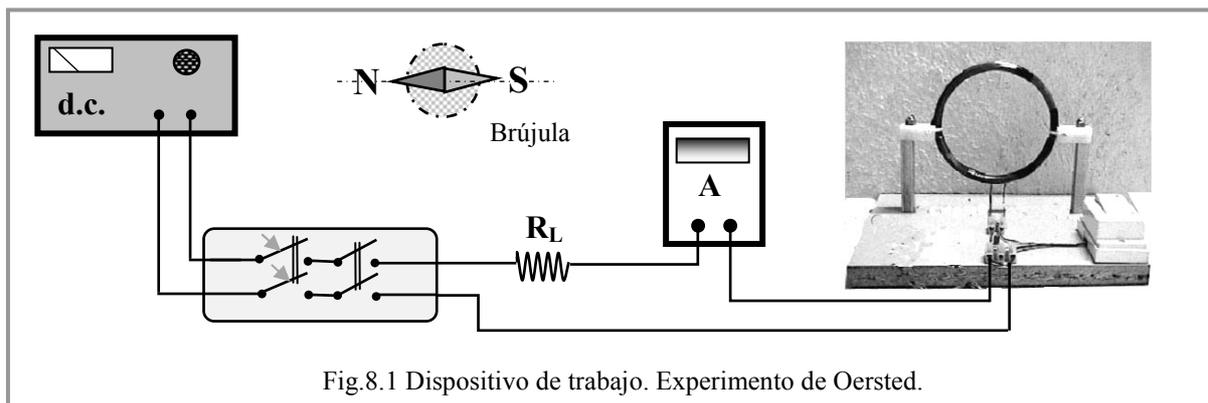


Fig.8.1 Dispositivo de trabajo. Experimento de Oersted.

Teniendo en cuenta que la aguja magnética de la brújula de mano que disponemos, por su construcción, se desvía rotando en un plano horizontal:

¿Con cuáles desplazamientos de la brújula logró mejores resultados para detectar trayectorias de líneas de campo?

En comparación con la forma de las líneas de campos eléctricos:

¿Cuál es la diferencia fundamental que observa?

¿A qué conclusión puede llegar teniendo en cuenta que las líneas de campo eléctrico comienzan y finalizan en cargas eléctricas?

El sentido de  $\vec{B}$  se puede determinar a partir del sentido de la corriente aplicando reglas prácticas que tienen su fundamento en el producto vectorial de la ecuación (8.1). Una de estas es la “regla de la mano derecha”: Cuando el dedo pulgar indica el sentido de la corriente los demás dedos, curvados, señalan el sentido del campo magnético que rodea al conductor.

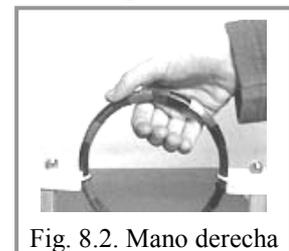


Fig. 8.2. Mano derecha

Practicar la regla de la mano derecha; determinar el sentido del campo en puntos del círculo que define la bobina en ensayo. Comparar resultados con la señalización de la brújula.

Confeccionar figura que represente la bobina, con indicación del sentido de la corriente y varias líneas de campo.

### Experiencia 8.2

#### Fuerzas de interacción electrodinámicas. Experimento de Ampere.

##### Objetivo

Demostrar que, entre conductores con corriente, aparecen fuerzas de interacción iguales a las magnéticas.

##### Equipamiento

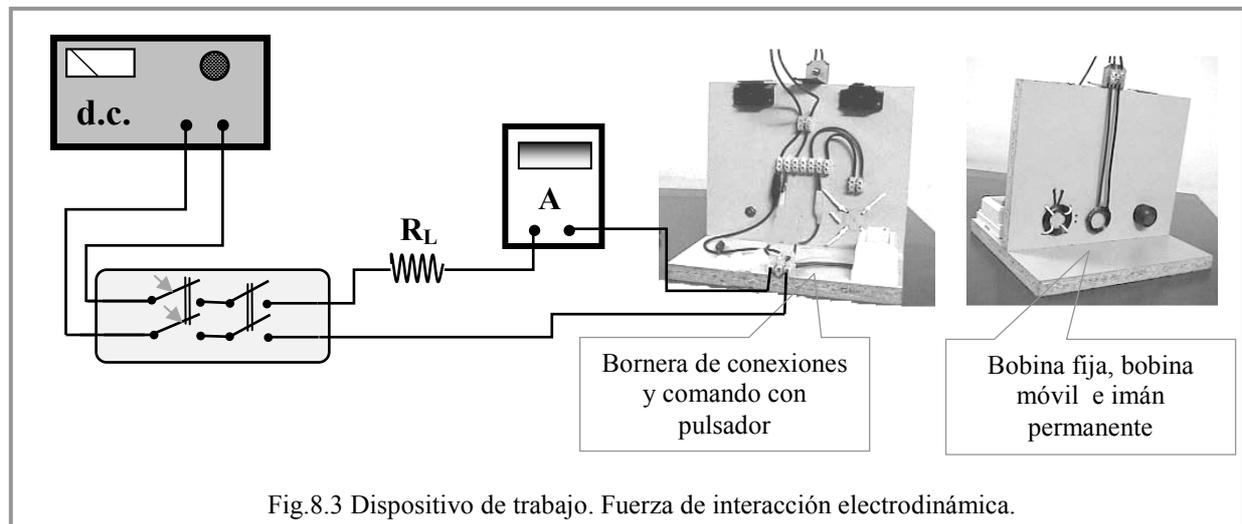
Mostrado en la figura 8.3; consta de:

Aparato que tiene un imán permanente y una bobina circular fijos, y una bobina circular móvil sostenida por sus conductores de conexión y se puede desplazar; los conductores de las bobinas poseen terminales para facilitar conexiones. Un pulsador de comando.

Fuente de corriente continua.

Amperímetro.

Módulo para comando y protección del circuito eléctrico, conductores y resistencia  $R_L$  para limitar la corriente y pulsador para conexión de la bobina.



##### Procedimiento

###### Preliminar

Estudiar las posibilidades de conexión; observar que el comando eléctrico de las bobinas se realiza operando el pulsador. Conectar a la fuente de corriente continua regulada a 12 V y controlar conexión del amperímetro y de la resistencia limitadora de corriente, igual que en la experiencia anterior.

Realizar dos ensayos básicos:

Ensayo 1. Ubicar la bobina móvil frente al imán permanente. Conectar convenientemente la bobina y operar el pulsador. Debe lograr y observar la acción de fuerzas de atracción y luego de repulsión. *La bobina con corriente se comporta como un imán.*

Ensayo 2. Desplazar la bobina móvil ubicándola frente a la bobina fija. Conectar convenientemente las bobinas. Debe lograr y observar también la acción de fuerzas de atracción y de repulsión. *Dos bobinas con corriente se comportan como sendos imanes.* En estas condiciones a estas fuerzas se las denomina de interacción electrodinámica.

Considerar en los ensayos los sentidos de las fuerzas que actúan sobre la bobina móvil, interpretar la siguiente expresión que corresponde a la fuerza magnética sobre un conductor  $d\vec{l}$  con corriente:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (8.3)$$

Cuando se trata de conductores rectilíneos, largos y paralelos, con corrientes  $I_1$  e  $I_2$ , separados la distancia  $R$ , la ecuación anterior conduce a la expresión que nos da el módulo de la fuerza por unidad de longitud que actúa sobre los conductores:

$$\frac{dF}{dl} = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2 \pi R} \quad (8.4)$$

En esta expresión, al no figurar el campo  $\vec{B}$ , queda clarificada la denominación de fuerzas de interacción electrodinámica o entre conductores con corriente. Por otra parte, conforme a lo que expresa la ecuación (8.3), se determina que los conductores se atraen, si las corrientes circulan en la misma dirección y se repelen si las corrientes circulan en direcciones opuestas.

La definición funcional de la unidad de intensidad de corriente eléctrica, **ampere (A)**, en el Sistema Internacional de Unidades (**SI**), se basa en lo expresado por (8.4). En el informe escribir esta definición y confeccionar figura aclaratoria.

¿Qué se entiende por definición funcional de una unidad? ¿Cómo se denomina el instrumento capaz de medir corrientes con alto grado de precisión conforme a esta definición funcional del ampere y cómo se disponen los conductores?

### Experiencia 8.3

#### Campo magnético terrestre. Brújula de tangentes.

##### Objetivo

Determinar el valor de la componente horizontal  $\vec{B}_h$  del campo magnético terrestre utilizando una brújula de tangentes.

##### Introducción. Brújula de tangentes.

La brújula de tangentes es un instrumento que posibilita medir, con cierta aproximación, la componente horizontal  $\vec{B}_h$  del campo magnético terrestre existente en el lugar en que se la ubica y opera.

Básicamente es un dispositivo montado con una bobina de  $N$  espiras circulares apretadas formando un anillo de radio  $a$ , fija a un soporte que la mantiene en posición vertical. En el centro de la bobina se coloca una brújula de mano. El conjunto se dispone de manera que el plano vertical que define la bobina contenga la dirección N-S (señalada por la brújula).

En ausencia de corriente, el único campo presente actuando sobre la brújula es  $\vec{B}_h$ .

Al circular una corriente  $I$  por la bobina, aparece en su centro un campo  $\vec{B}_0$  cuyo módulo es de valor:

$$B_0 = \mu_0 \frac{N i}{2 a} \quad (8.5)$$

Estos campos se superponen y la aguja de la brújula se orienta en la dirección del campo resultante  $\vec{B}$ :

$$\vec{B} = \vec{B}_h + \vec{B}_0$$

Esto significa que la aguja magnética de la brújula se desvía un ángulo  $\alpha$  con respecto a su orientación inicial.

La Fig. 8.4. muestra el equipamiento, esquema eléctrico de conexiones y detalles de funcionamiento.

### Procedimiento

Medir y tomar nota del radio  $a$  de la bobina. Registrar el valor de  $N$  (cantidad de vueltas a usar; la bobina, en su bornera de conexiones, tiene el dato). Ubicar la bobina de manera que, en su plano vertical, contenga la dirección N-S conforme lo señala la brújula.

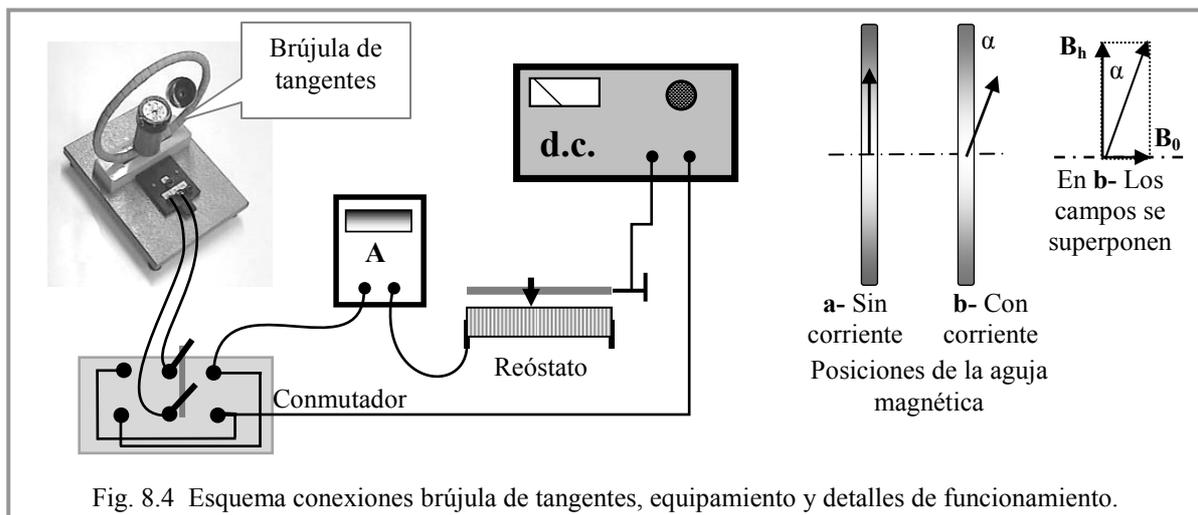


Fig. 8.4 Esquema conexiones brújula de tangentes, equipamiento y detalles de funcionamiento.

Cerrar el circuito y, con el reóstato, regular la corriente hasta lograr que la aguja de la brújula se desvíe el ángulo  $\alpha$  que conviene sea entre  $30$  y  $50^\circ$ .

Medir (tester digital en la función amperímetro) y registrar el valor de la intensidad de corriente  $I$  y el valor de  $\alpha$  (indicado en el círculo graduado de la brújula).

Tenemos:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_0}{B_h}$                       Resulta:  $B_h = \mu_0 \frac{Ni}{2a \operatorname{tg} \alpha}$       (8.6)

Con los datos obtenidos, aplicando (8.6), calcular  $\bar{B}_h$

Hacer dos lecturas de  $\alpha$ , invirtiendo el sentido de la corriente (operando el conmutador). Tomar para  $\alpha$  el promedio de las dos lecturas.

La bobina tiene 15 espiras con dos derivaciones lo que permite conectar 5, 10 ó 15 espiras; efectuar el ensayo conectando 15 espiras. Eventualmente puede repetir el ensayo conectando otra cantidad de espiras.

### Observaciones

Tener en cuenta que el valor de  $\bar{B}_h$  obtenido está muy influenciado por los componentes electromagnéticos de la estructura e instalaciones del edificio y elementos ferromagnéticos ubicados en las proximidades del dispositivo con el que realiza la determinación.

Además de las importantes alteraciones del campo terrestre debidas a la presencia de elementos ferromagnéticos, la determinación realizada con la brújula de tangentes está afectada por el error sistemático de suponer que, sobre la aguja de la brújula actúa un campo uniforme, siendo que la expresión (8.5) es valedera únicamente para el centro de la bobina.

Por consiguiente, el objetivo de la experiencia no es el de realizar mediciones precisas de  $\bar{B}_h$ ,

sino que es operar un dispositivo con campos magnéticos relativamente débiles, aplicar el principio de superposición y, en definitiva, obtener únicamente el orden de la magnitud que corresponde al campo magnético terrestre.

### Experiencia 8.4

#### Leyes de Faraday – Lenz. Inducción electromagnética

##### Introducción

Michael Faraday y Joseph Henry, sobre la base de varios experimentos, descubrieron que se genera una corriente eléctrica en un circuito de material conductor, cuando varía, en el tiempo ( $t$ ) el flujo del campo magnético ( $\phi_B$ ) vinculado a la superficie que define el circuito eléctrico.

Si en un circuito circula una corriente eléctrica inducida, es porque el circuito es cerrado y en él se está generando una fuerza electromotriz (**fem;  $\epsilon$** ) inducida. La ley de Faraday de la inducción electromagnética se refiere a esta fem expresando:

$$\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (8.7)$$

La corriente inducida dependerá de esta fem y de las características óhmicas del circuito. El signo negativo de la ecuación proviene de la ley de Lenz; se refiere a la corriente inducida que produce efectos que tienden a oponerse a la variación del flujo que origina la fem. La aplicaremos para determinar el sentido de dicha corriente inducida.

Para analizar dispositivos o aparatos que funcionan por inducción electromagnética conviene examinarlos visualmente con el propósito de ubicar en ellos:

El sistema inductor: Es la parte que proporciona el flujo  $\phi_B$  de inducción. Puede ser: un imán permanente, un electroimán, conductores con corriente (generalmente bobinas), etc.

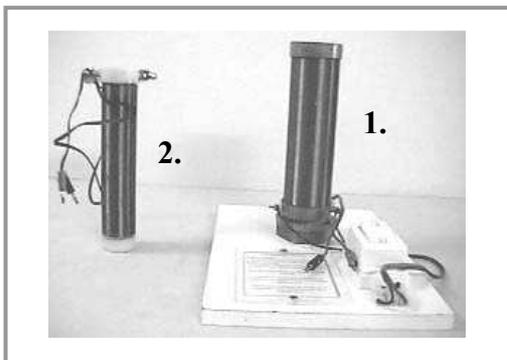
El circuito inducido: Es el circuito eléctrico donde se genera la fem inducida. El flujo de inducción es el referido a la superficie que define el circuito inducido. Debemos prestar especial atención a la vinculación magnética inductor-inducido.

La causa de la variación del flujo de inducción en el tiempo: ¿Por movimiento relativo inductor-inducido? ¿Por cambios en la corriente que origina el flujo de inducción?, etc. Debemos investigar sobre la **rapidez de la variación** pues esto es fundamental.

##### Objetivo

Realizar ensayos básicos demostrativos del fenómeno de inducción electromagnética.

##### Equipamiento



1. Bobina solenoidal 388 espiras en dos capas; largo 160 mm; diámetro 50 mm. Base con conexiones eléctricas y comando con pulsador.
2. Bobina solenoidal 1210 espiras en cuatro capas; largo 160 mm; diámetro 39 mm.  
Imán permanente recto.  
Fuente de corriente continua.  
Micro amperímetro:  $\pm 50 \mu\text{A}$ .

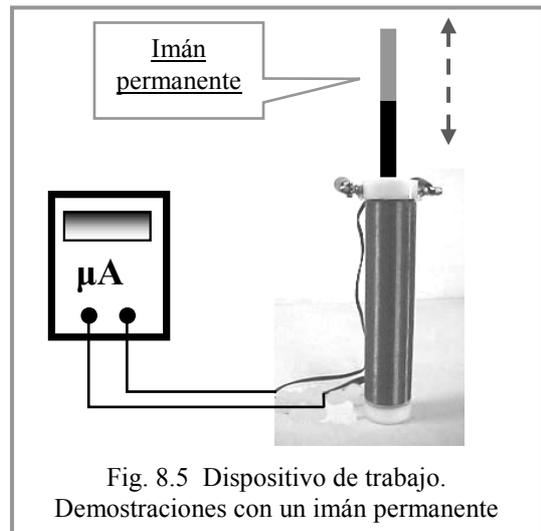
### I- Demostraciones con un imán permanente

Procedimiento:

Ensayar el circuito inducido utilizando la bobina 2. La Fig. 8.5 muestra el montaje experimental y conexiones. El micro amperímetro señalará las fluctuaciones de intensidad de corriente que se produzcan en la bobina al mover el imán.

Colocar el imán y desplazarlo (introduciéndolo y extrayéndolo) por el interior de la bobina suavemente pero con diferente rapidez.

Observar las señalizaciones del micro amperímetro y explicarlas en términos de las leyes de Faraday – Lenz.



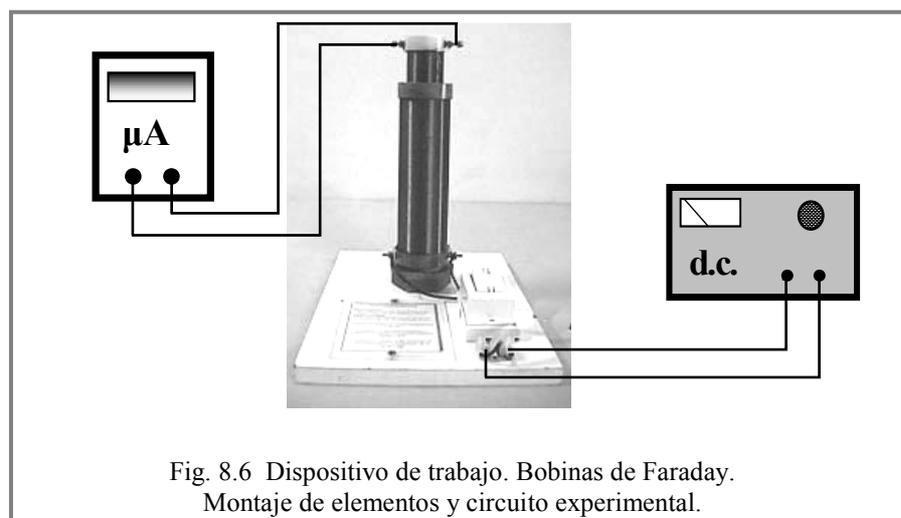
### II- Bobinas de Faraday. Inducción mutua.

Introducción

Cuando el flujo de inducción ( $\Phi_B$ ) es originado por una corriente ( $i_1$ ) en un circuito que denominamos primario, para expresar la ley de Faraday se recurre al concepto de inducción mutua ( $M$ ) que relaciona la fuerza electromotriz inducida ( $\mathcal{E}_2$ ) en otro circuito, que denominamos secundario, en función de la variación, en el tiempo, de la corriente ( $i_1$ ) en el circuito primario. Así:

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (8.8)$$

Si el circuito secundario es cerrado la fem ( $\mathcal{E}_2$ ) producirá una corriente ( $i_2$ ) inducida.



Procedimiento:

Ensayar el circuito primario utilizando la bobina **1.** y, como secundario, la bobina **2.** La Fig. 8.6 muestra el montaje de elementos y circuito experimental. Se ha introducido la bobina secundaria en la primaria y conectado el micro amperímetro y la fuente.

Accionar el pulsador, cerrando y abriendo el circuito primario.

¿Cuál es la señalización del micro amperímetro  $\mu\text{A}$  en el instante de cierre, durante el tiempo en que se mantiene cerrado y en el instante de apertura del circuito primario?

Permutar la polaridad de conexiones de la bobina primaria; accionar el pulsador.

¿Cuáles son las modificaciones observadas en el  $\mu\text{A}$  con respecto al ensayo anterior?

Responder las preguntas en términos de la ley de Faraday-Lenz, considerando el concepto de inducción mutua y explicando el sentido de la corriente que señala el micro amperímetro.

Considerar y practicar otras formas de operar el equipo para conseguir efectos de inducción electromagnética.

### **Experiencia 8.5**

#### **Leyes de Faraday - Lenz. Tubo de Lenz.**

Introducción. Tubo de Lenz.

Es un tubo de aluminio de alrededor de 2 cm de diámetro y unos 2 m de largo; se lo coloca en posición vertical suspendiéndolo del techo por medio de un dinamómetro.

El aparato cuenta con un juego de dos pequeños cilindros de acero de unos 5 cm de largo y diámetro algo inferior al del tubo de manera que pueden deslizarse libremente por su interior.

Uno de los cilindros está fuertemente magnetizado y el otro no. Por lo demás son idénticos en peso y tamaño.

Objetivo

Demostrar cualitativamente el fenómeno de inducción electromagnética, particularmente en lo concerniente a la ley de Lenz, utilizando el tubo de Lenz.

Procedimiento:

Dejar caer los cilindros por el interior del tubo observando en cada caso los tiempos de caída y las lecturas del dinamómetro. Explicar las diferencias en base a las leyes de Faraday-Lenz.

Para el caso del cilindro magnetizado confeccionar figura aclaratoria que muestre lo relacionado con la ley de Faraday (las corrientes inducidas) y su efecto en el movimiento del cilindro magnetizado (ley de Lenz)

### **Experiencia 8.6**

#### **Leyes de Faraday - Lenz. Acoplamiento electromagnético.**

Objetivo

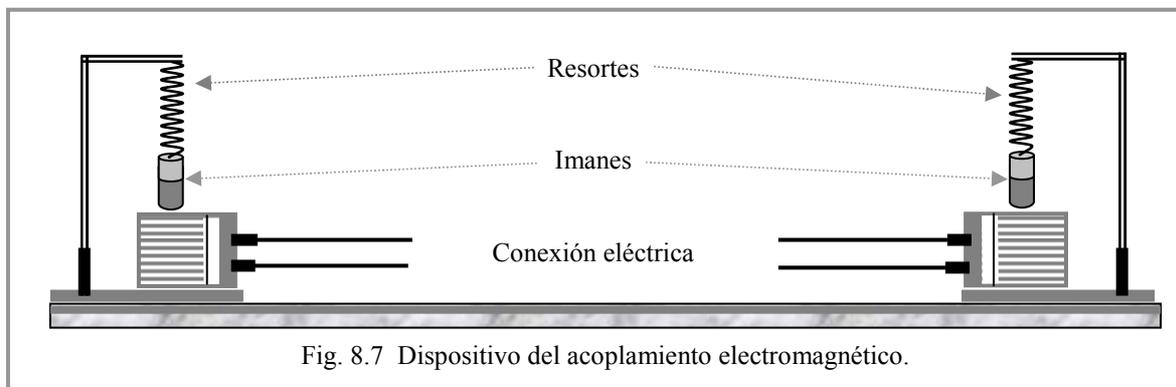
Operar un dispositivo de acoplamiento electromagnético de aparatos oscilantes y explicar su funcionamiento en términos de las leyes de inducción electromagnética.

Introducción

La Fig. 8.7 muestra esquemáticamente el dispositivo.

Mediante soportes adecuados se suspenden dos imanes permanentes con forma de barras. La suspensión se realiza por medio de sendos resortes de manera que pueden oscilar verticalmente.

Se colocan bobinas de 400 vueltas, interconectadas eléctricamente y en posición que permita la libre oscilación de los imanes en su interior.



Procedimiento:

Impulsar uno de los imanes para que comience a oscilar y observar el comportamiento del otro.

Permutar la conexión de una de las bobinas y repetir el ensayo.

Explicar lo observado en base a las leyes de Faraday – Lenz.

Comentario

En algunos aparatos construidos para la ejecución de este Trabajo Práctico se han utilizado imanes de Neodimio (NdFeB)

Estos imanes están constituidos por una aleación mediante sinterizado de Hierro, Neodimio y Boro y están, por lo general, protegidos con una capa de Níquel, Oro o Plata. Esta protección puede ser desgastada debido a un uso normal lo que conlleva inevitablemente a un deterioro o pérdida de la protección con riesgo de que el material sinterizado se desprenda y oxide. El polvo o astillas que se desprenden son fácilmente inflamables.

La temperatura máxima de utilización es de unos 80° C (a temperaturas superiores a 80 grados, la magnetización de estos imanes disminuye rápidamente).

Se fabrican de diferentes formas (discos, anillos, bloques, etc.) y dimensiones. Algunos fabricantes, además de especificar formas y dimensiones, indican la magnetización del elemento.

Los imanes de Neodimio son más potentes que los imanes comunes por lo que deben manipularse cuidadosamente, distanciándolos convenientemente de aparatos que pueden ser dañados: televisores, monitores, tarjetas con cinta magnética, ordenadores, disquetes y otros dispositivos de almacenamiento, cintas de vídeo, relojes mecánicos, audífonos, altavoces, marcapasos, etc.