

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.

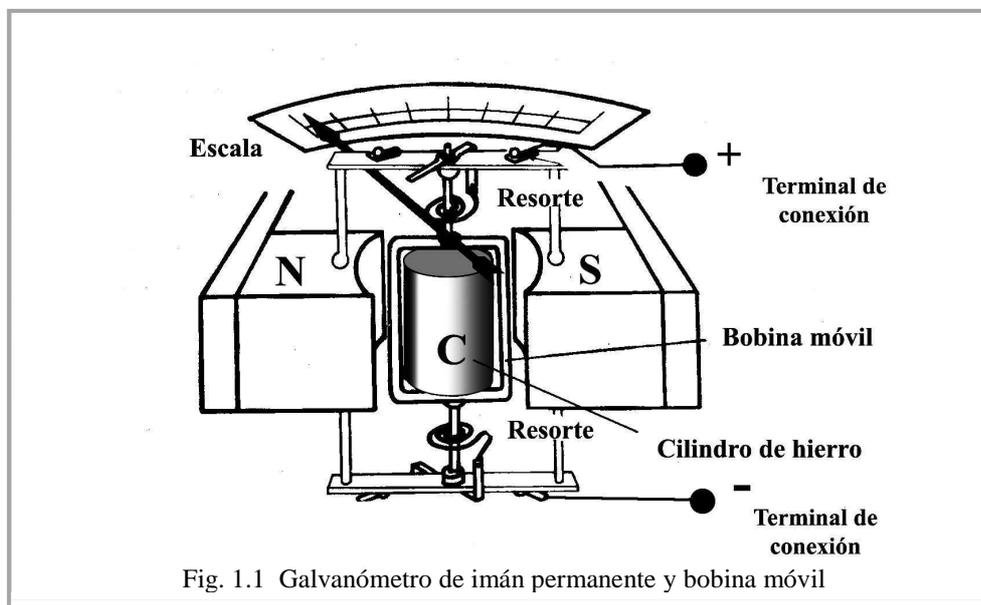
Conocer el principio de funcionamiento y características generales de los instrumentos más comunes y ejercitar el uso de voltímetros y óhmetros (u ohmímetros).

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 α 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, produciremos 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.

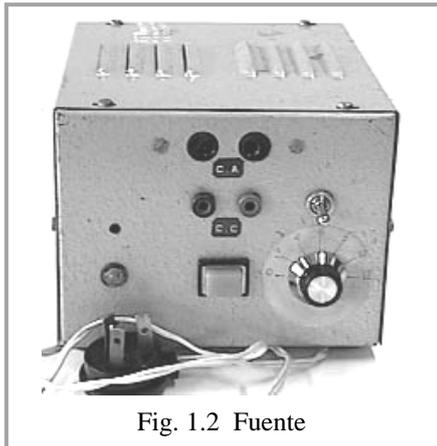


Fig. 1.2 Fuente

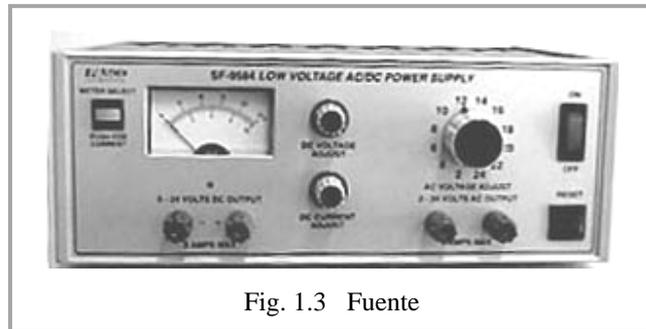


Fig. 1.3 Fuente

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.

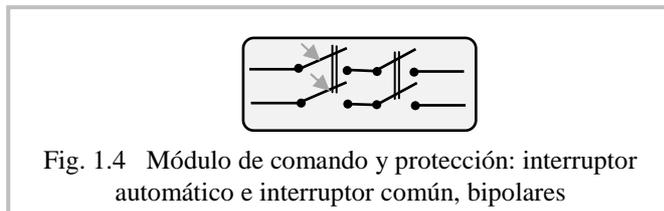


Fig. 1.4 Módulo de comando y protección: interruptor automático e interruptor común, bipolares

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:

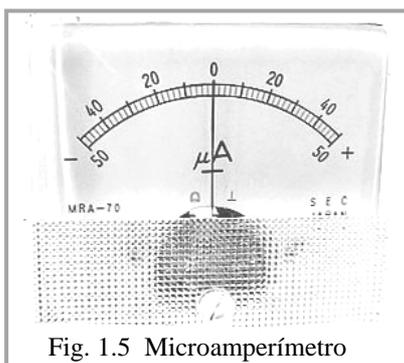


Fig. 1.5 Microamperímetro

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 ~ 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).

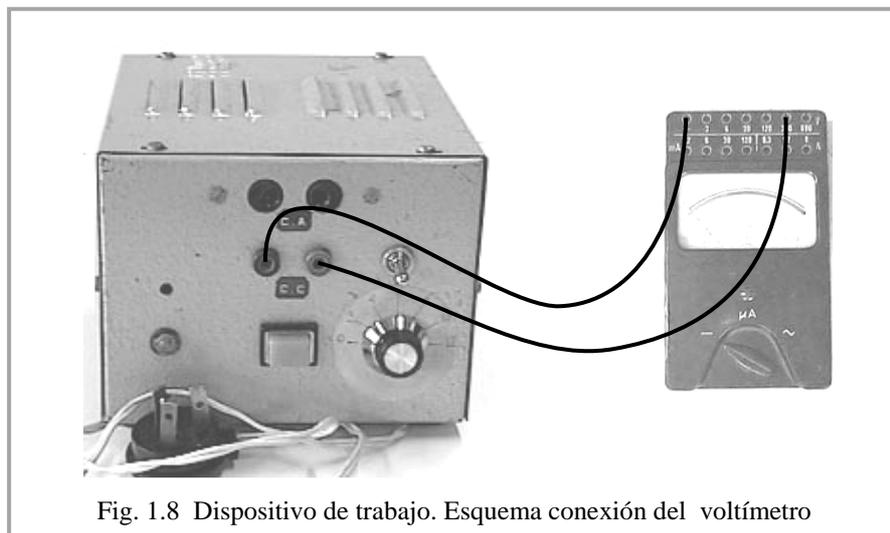


Fig. 1.8 Dispositivo de trabajo. Esquema conexión del voltímetro

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:

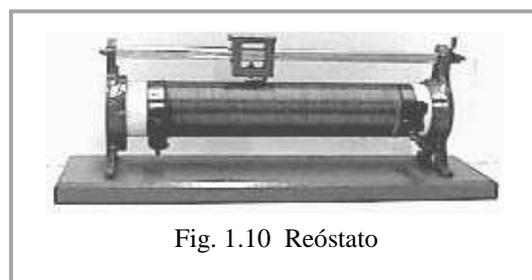
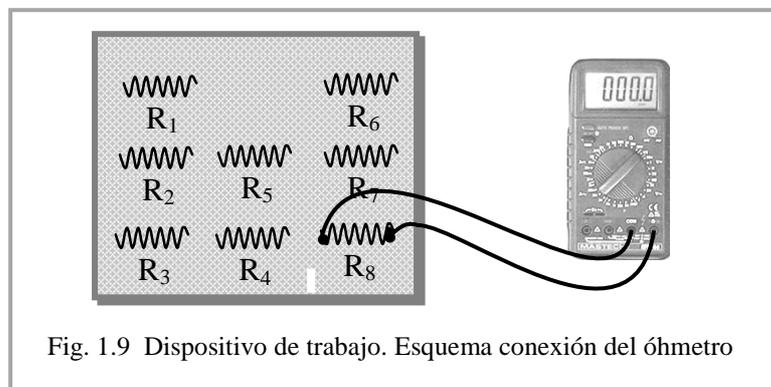
Ubicar el selector rotativo del instrumento en óhmetro (Ω) y, con las puntas de prueba, hacer contacto en los extremos de cada una de las resistencias que dispone en el dispositivo de trabajo. Observar que el selector le permite diferentes alcances de medición.

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 2 ELECTROSTÁTICA

Experiencia 2.1

Carga de un cuerpo. Interacción electrostática.

Objetivo

Cargar eléctricamente cuerpos por frotamiento. Comprobar experimentalmente la existencia de fuerzas de interacción electrostática.

Procedimiento:

Cargar dos barras de vidrio por frotamiento con seda. Colocar una barra en el soporte pivotante y poner en interacción con la otra barra y con el trapo de seda.

Ídem con dos barras de plástico y un trapo de lana.

Poner en interacción una barra de plástico con una de vidrio.

Explicar el comportamiento que se observe en términos de fuerzas de interacción electrostática.

Objetivo

Cargar eléctricamente cuerpos por inducción. Conocer y manejar el Electrógrafo y el Electroscopio.

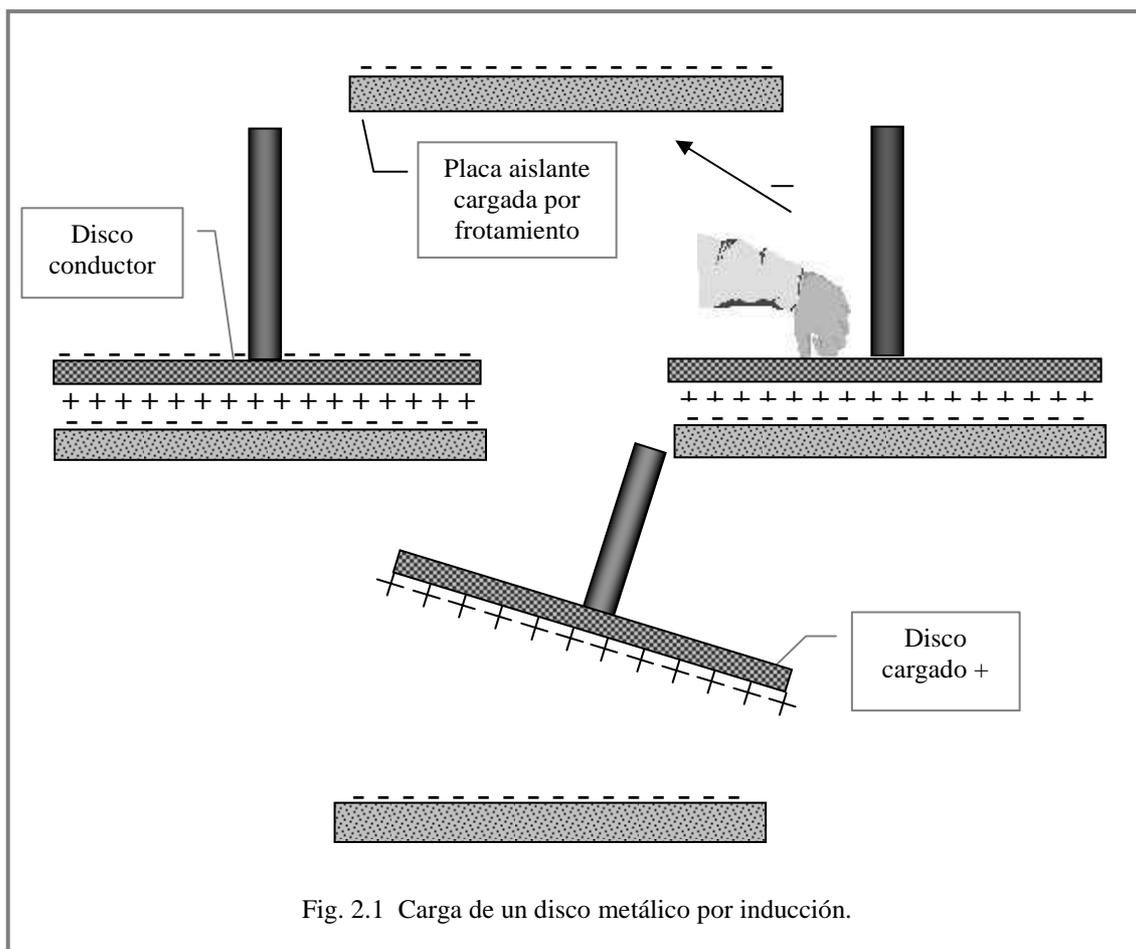


Fig. 2.1 Carga de un disco metálico por inducción.

Un método eficaz para cargar un cuerpo de material conductor por inducción es recurrir al denominado “Electróforo de Volta”. Éste es un dispositivo que consiste en una placa de material aislante que se carga frotándola con un paño. Sobre la placa se apoya el cuerpo, que para nuestra experiencia es un disco metálico provisto de un mango de material aislante. Se toca el disco con el dedo con lo que se remueve la carga repelida por el aislante, quedando el disco con una carga neta. La Fig. 2.1 muestra la secuencia de operaciones descripta.

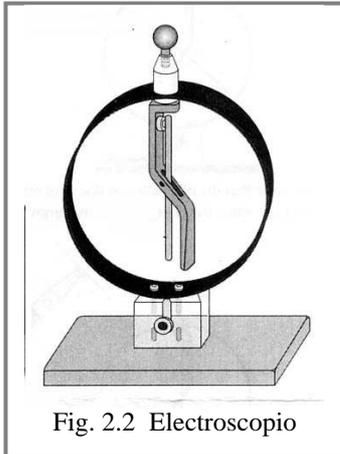


Fig. 2.2 Electroscopio

El electroscopio es un instrumento que indica el exceso de carga en un cuerpo. Hay diferentes tipos; el instrumento que disponemos (Fig. 2.2) consiste en una placa conductora fija a un soporte aislante; sobre esta placa pivota otra placa conductora, móvil, que en equilibrio adopta la posición vertical.

Cuando suministramos al electroscopio un exceso de carga tocándolo, por ejemplo con el disco cargado del ensayo anterior, el exceso de carga aparece tanto en la placa fija como en la móvil. La fuerza de repulsión electrostática hace que la placa móvil se aparte de la vertical poniendo en evidencia de esa manera el exceso de carga. A mayor exceso, mayor apartamiento. El efecto puede observarse también por acción a distancia (inducción).

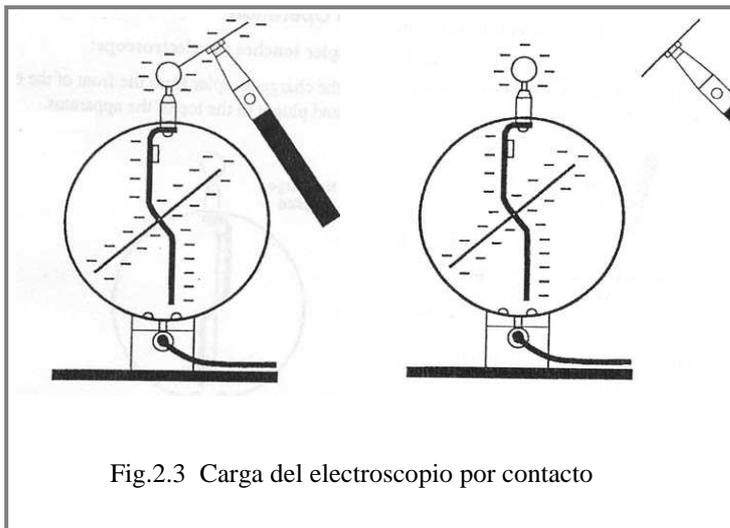


Fig.2.3 Carga del electroscopio por contacto

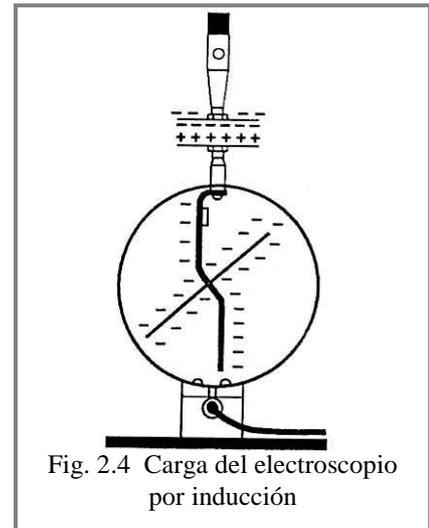


Fig. 2.4 Carga del electroscopio por inducción

Experiencia 2.2

Doble jaula de Faraday. Electrómetro.

Objetivo

Generar y ponderar cantidades de carga eléctrica utilizando un Electrómetro y una “Doble jaula de Faraday”.

Equipamiento

Doble jaula de Faraday (Fig. 2.5)

Electrómetro PASCO ES-9054B: Voltímetro de gran resistencia interna ($\approx 10^{14} \Omega$); apto para mediciones electrostáticas de tensión (Fig. 2.6). Máxima tensión admisible: 100 V.

Accesorios: discos con mango de material aislante (“placas de carga”, “planos de prueba”) conductores, etc.

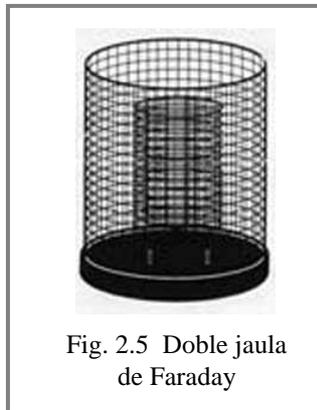


Fig. 2.5 Doble jaula de Faraday

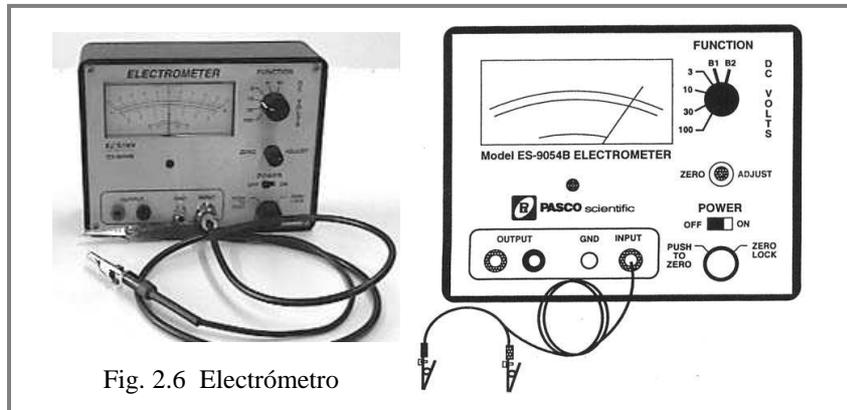


Fig. 2.6 Electrómetro

La Doble jaula de Faraday está constituida por dos cilindros coaxiales, de tejido metálico, montados sobre una base de material aislante. Su construcción y funcionamiento en electrostática se basa en la cubeta utilizada en el clásico “experimento de la cubeta para hielo” de Faraday (consultar texto básico).

Con un electrómetro y accesorios menores, la doble jaula de Faraday conforma un excelente equipo para ensayos cuantitativos y demostraciones de electrostática.

La utilización del electrómetro especificado anteriormente requiere operaciones preliminares especiales.

USO DEL ELECTRÓMETRO

- 1) Ajuste de cero
 - A. Poner FUNCTION en posición 3 y girar perilla inferior a ZERO LOCK
 - B. Encender (POWER ON)
 - C. Ajustar de cero con la perilla ZERO ADJUST
- 2) Inicio de medición
 - A. Colocar la perilla FUNCTION en máximo alcance (100)
 - B. Conectar la punta de prueba en INPUT
 - C. Conectar GND del electrómetro al GND de la fuente de alimentación
 - D. Colocar FUNCTION en el alcance cuyo valor sea el correspondiente a la experiencia. Tener en cuenta que es el máximo valor que se puede medir.
 - E. Colocar la perilla en PUSH TO ZERO y realizar la medición.

NOTA: la utilización de un electrómetro diferente al especificado requerirá operaciones similares.

Procedimiento:

- a) Conectar el electrómetro a la cubeta usando el cable blindado. **Antes de cualquier medición el electrómetro debe estar en posición LOCK**, para evitar cualquier sobrecarga del mismo. Poner el electrómetro en escala de 30 V y desbloquearlo. Debemos tener lectura cero.
- b) Descargar las placas de carga humedeciéndolas con aliento y apoyándolas en la palma de la mano, uno de cuyos dedos toca el terminal de tierra del electrómetro (GND)

- c) Introducir las placas de carga en la cubeta, una por vez, a unos 2 cm del fondo sin tocarla y verificar lectura del instrumento.
- d) Frotar breve y suavemente las placas de carga entre sí e introducirlas sucesivamente en la cubeta sin tocarla. Tomar lecturas.
- e) Introducir las dos placas de carga simultáneamente. Tomar lectura.
- f) Introducir una placa de carga y tocar el interior de la cubeta cerca del fondo, con la parte negra de la placa, que es conductora. Retirar la placa y tomar lectura. Descargar la cubeta tocando con un dedo los enrejados exterior e interior simultáneamente. Reingresar la misma placa sin tocar y tomar lectura.
- g) Repetir el paso e) con la otra placa.
- h) Introducir a la cubeta las dos placas descargadas y manteniéndolas adentro, producir entre ambas un frotamiento breve y suave. Retirar una placa por vez tomando las lecturas del electrómetro.

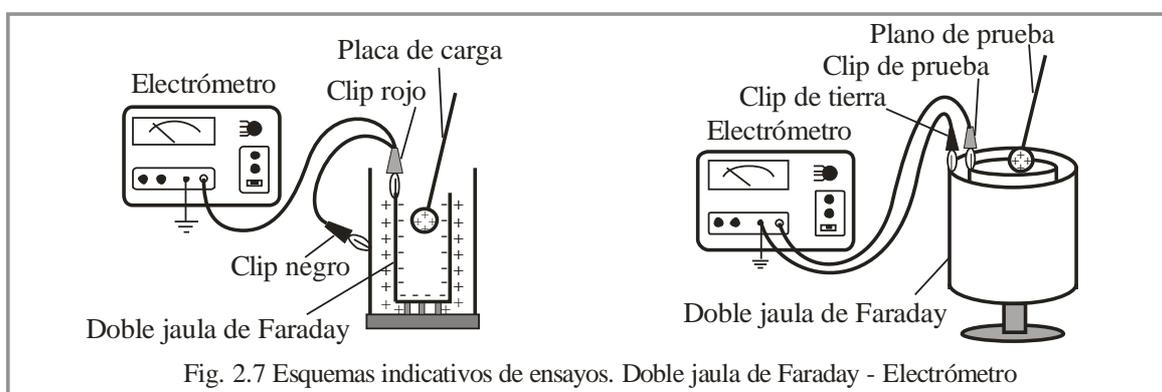


Fig. 2.7 Esquemas indicativos de ensayos. Doble jaula de Faraday - Electrómetro

MUY IMPORTANTE: No se debe operar el equipo con placas cargadas con el electróforo o con el generador de Van de Graaff, por cuanto se producirían graves averías en el Electrómetro. Por consiguiente debe usar exclusivamente las placas de carga del equipo y operarlas como se ha indicado precedentemente.

Informar explicando los resultados obtenidos a la luz del modelo atómico adoptado para la constitución de la materia, el Principio de conservación de la carga, la ley de Coulomb y la ley de Gauss.

Experiencia 2.3 Potencial y Campo Electrostático

Objetivo

Generar campos electrostáticos con distintas configuraciones y medir el potencial asociado.

Introducción

Puede estudiarse el campo electrostático generado por cuerpos cargados de distintas formas recurriendo a un modelo plano que consiste en una hoja de papel al carbón que es conductor, aunque con una resistividad elevada. Sobre el papel se dibujan con tinta conductora la forma de los cuerpos.

Se aplica a cada cuerpo un potencial definido y quedan establecidos los campos \mathbf{E} y \mathbf{V} en todos los puntos del plano.

El campo potencial V se puede explorar directamente con la punta de un voltímetro que puede tocar cualquier punto del plano. El campo vectorial \vec{E} se obtiene a partir de V , usando el concepto de gradiente de potencial.

En nuestro trabajo usaremos sistemas de dos cuerpos conductores entre los que aplicaremos una diferencia de potencial de 30 V.

Disponemos de cuatro tableros con diferentes configuraciones de conductores. El papel trae una cuadrícula de 1 cm x 1 cm que permite la ubicación de los puntos cuyo potencial medirá. Las páginas 19, 20, 21 y 22 son de papel con la misma cuadrícula e indicación de la forma y posición de los conductores; las usará para registrar los resultados de las mediciones y dibujar las líneas equipotenciales y algunas del campo eléctrico.

Precaución: Al realizar las mediciones, debe cuidar no presionar excesivamente la punta de medición del voltímetro para **no perforar el papel conductor**.

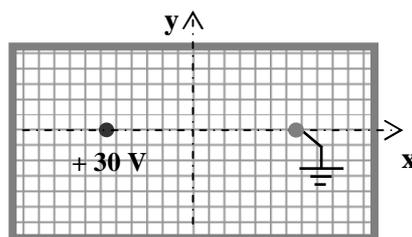
Equipamiento

Fuente de corriente continua; tensión variable. Se usará regulada a 30 V.

Tester digital (se usará como voltímetro, corriente continua)

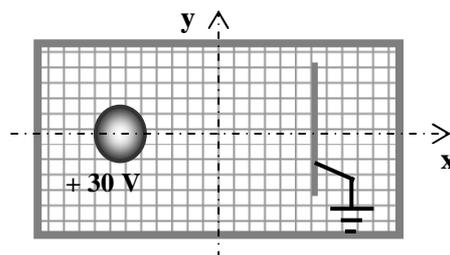
Papel conductor, con los cuerpos conductores y disposición eléctrica que se indica en los cuadros siguientes, en los que también se describe el procedimiento:

a) **Dipolo**



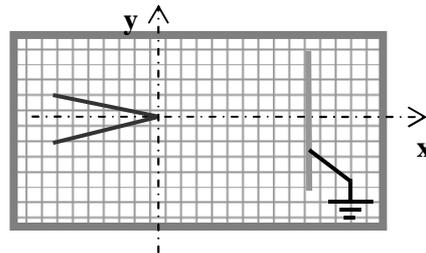
Obtención de las equipotenciales de 7; 10; 15; 20 y 23 V. Determinación aproximada del campo en el punto $x = +4$ cm; $y = +3$ cm. Dibujar el vector \vec{E} y trazar la equipotencial que pasa por el punto.

b) **Esfera – plano**



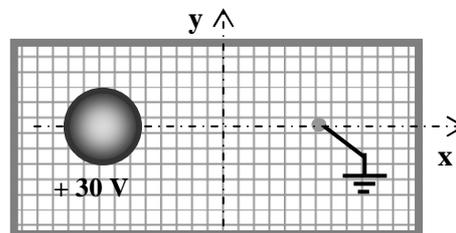
Obtención de las equipotenciales de 2; 5; 10; 20 y 25 V. Determinación aproximada del campo en el punto $x = -2$ cm; $y = +4$ cm. Dibujar el vector \vec{E} y trazar la equipotencial que pasa por el punto.

c) Punta – plano



Obtención de las equipotenciales de 5; 10; 20 y 25 V. Determinación aproximada del campo en el punto $x = 0$ cm; $y = +6$ cm. Dibujar el vector \vec{E} y trazar la equipotencial que pasa por el punto.

d) Punto – esfera



Obtención de las equipotenciales de 10; 15; 20 y 25 V. Determinación aproximada del campo en el punto $x = 2$ cm; $y = +3$ cm. Dibujar el vector \vec{E} y trazar la equipotencial que pasa por el punto.

Para obtener el campo \vec{E} a partir del potencial, debemos tener en cuenta:

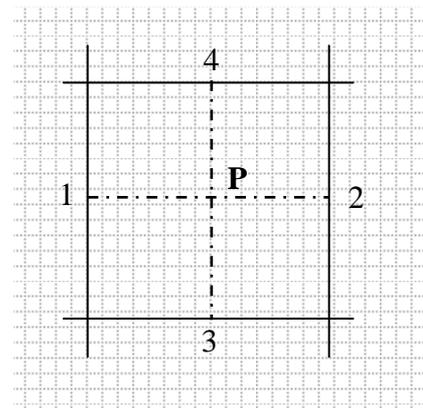
$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad ; \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}$$

O en forma aproximada, y si queremos evaluar \vec{E} en el punto **P**:

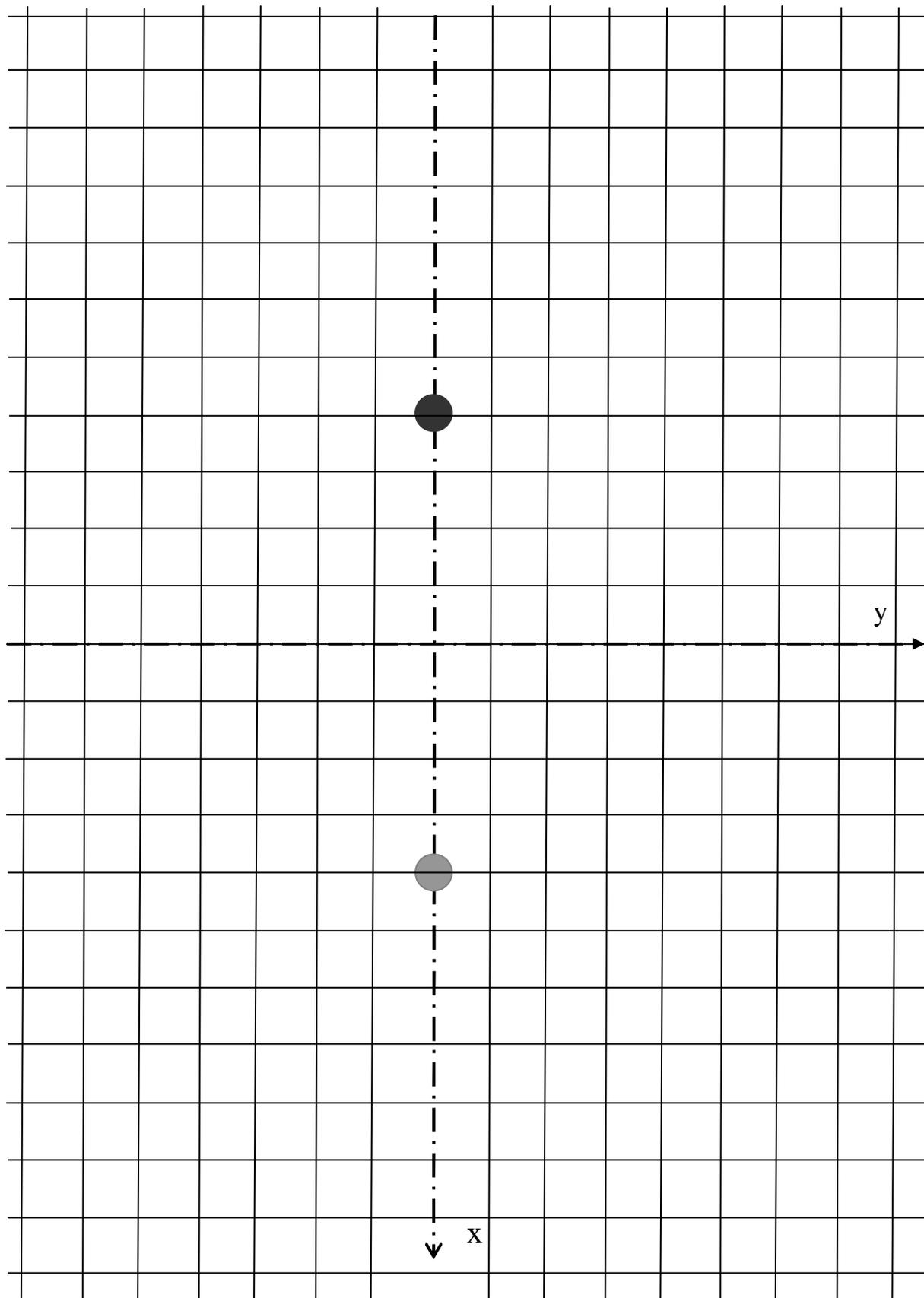
$$E_x \cong -\frac{\Delta V_x}{\Delta x} = -\frac{V_2 - V_1}{0.02 \text{ m}} \quad E_y \cong -\frac{\Delta V_y}{\Delta y} = -\frac{V_4 - V_3}{0.02 \text{ m}}$$

Representar gráficamente, a escala, los vectores \vec{E}_x y \vec{E}_y .

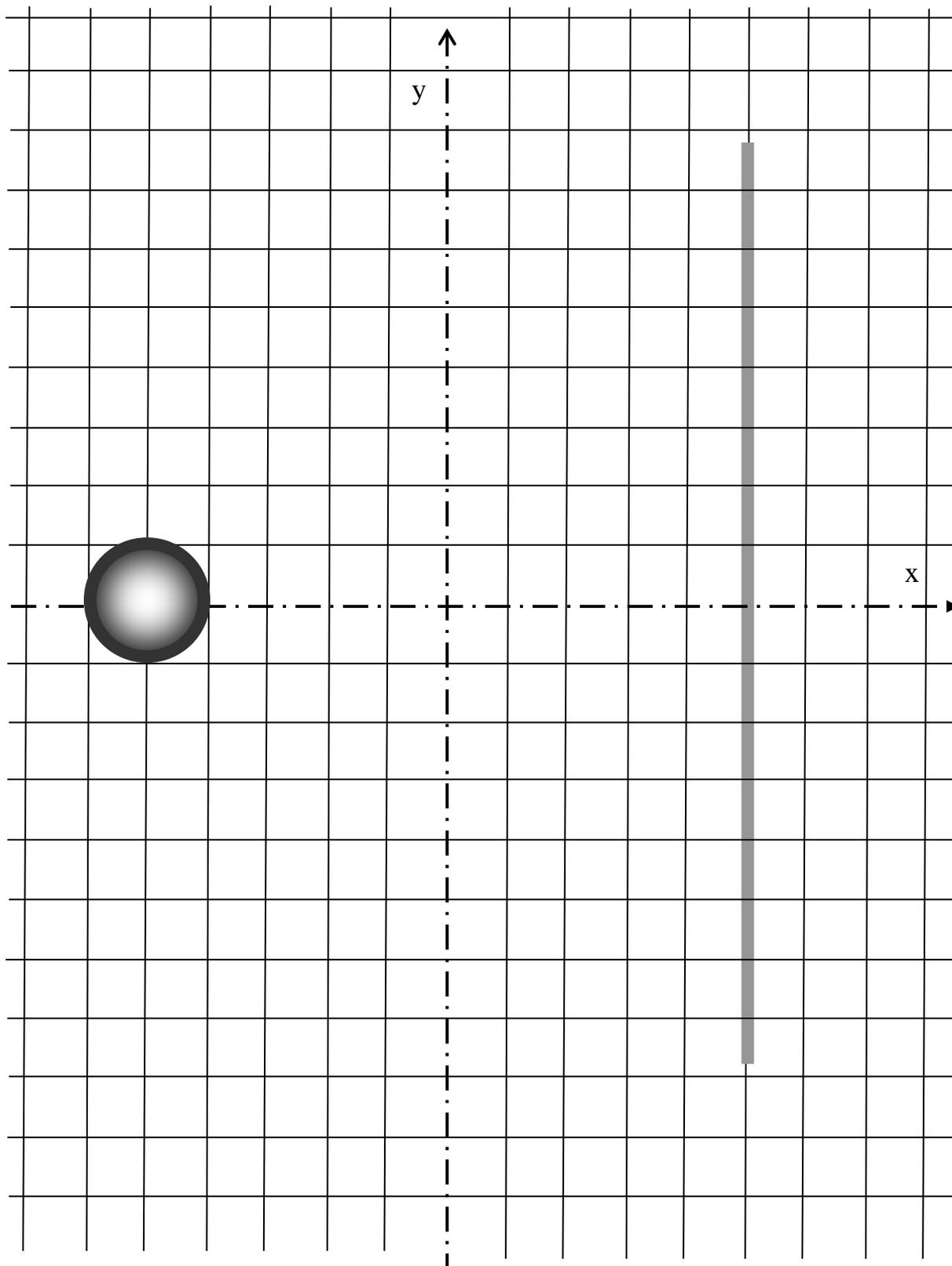
Por composición vectorial hallar el campo eléctrico \vec{E} .



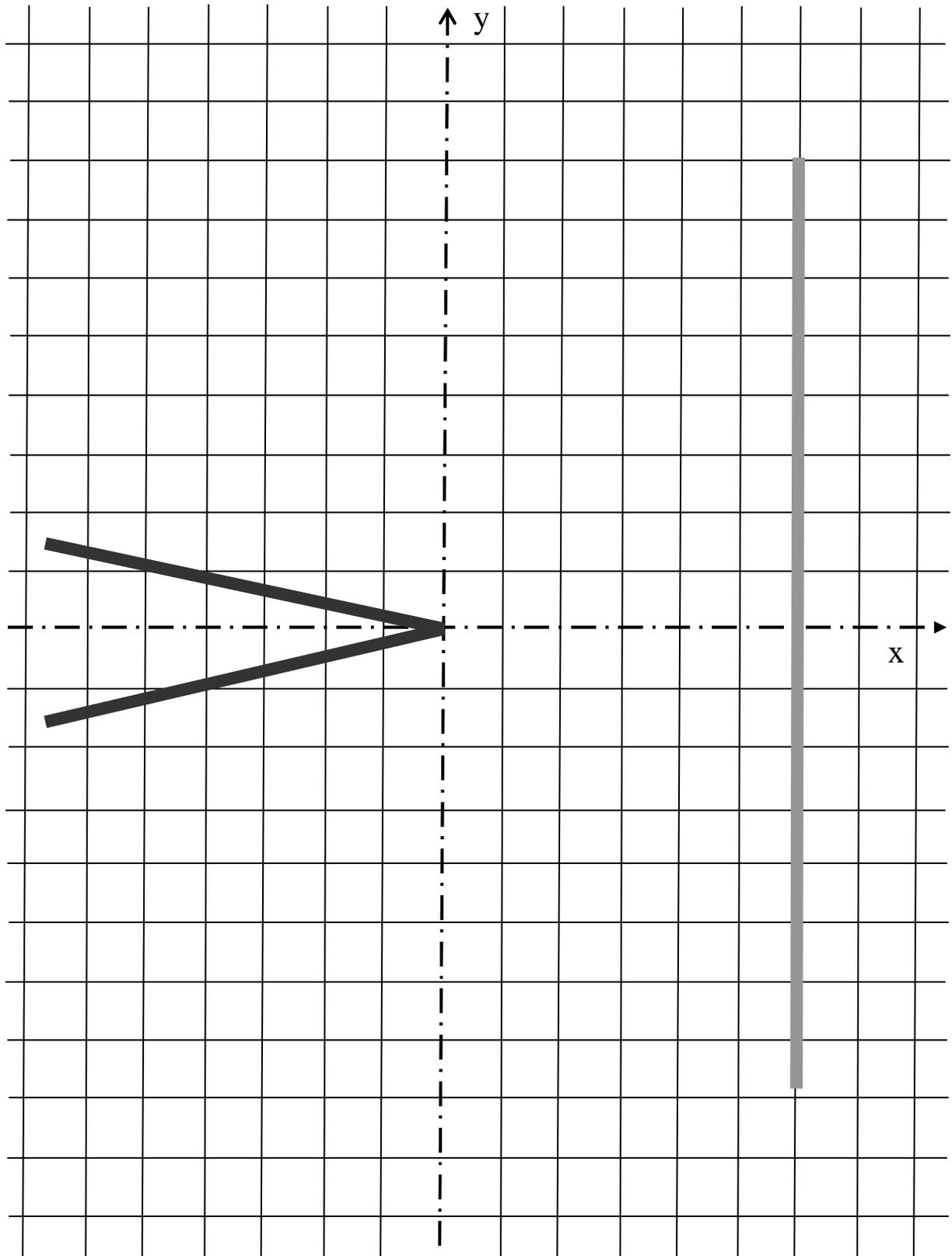
Exp.2.3: Potencial y campo electrostático. a) Dipolo



Exp. 2.3: Potencial y campo electrostático. **b) Esfera - Plano**

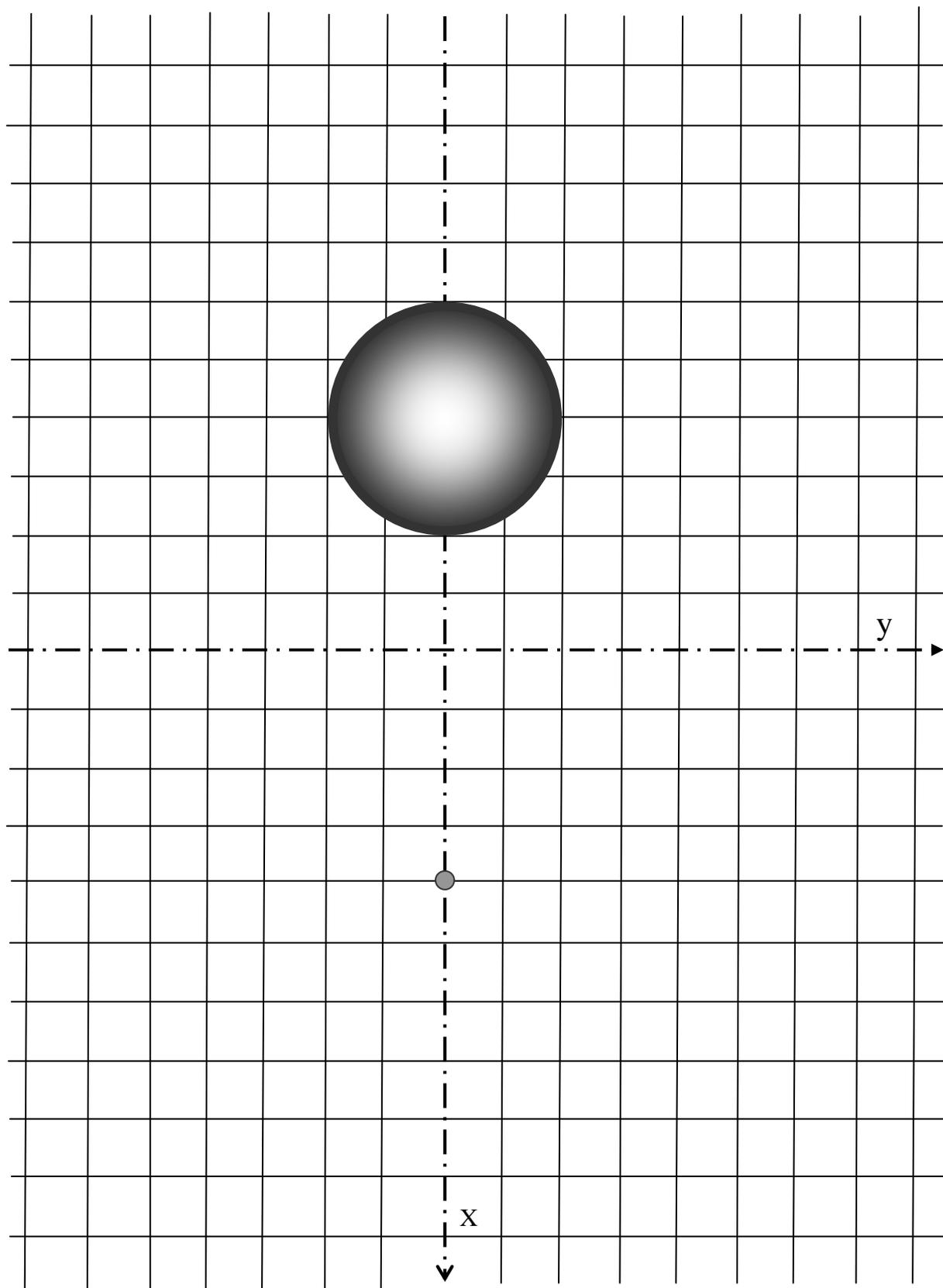


Exp. 2.3: Potencial y campo electrostático. c) Punta - Plano



Exp. 2.3: Potencial y campo eléctrico.

d) Punto – Esfera



Experiencia 2.4. Generador electrostático de Van de Graaff

Introducción

El mismo principio en que se basa el experimento de la cubeta de Faraday, se aplica en el generador electrostático de Van de Graaff: en 2.e) ha introducido una placa cargada en la cubeta; al tocar con ella el interior de la misma ha transferido carga lo que se ha manifestado por un aumento del potencial eléctrico de la cubeta.

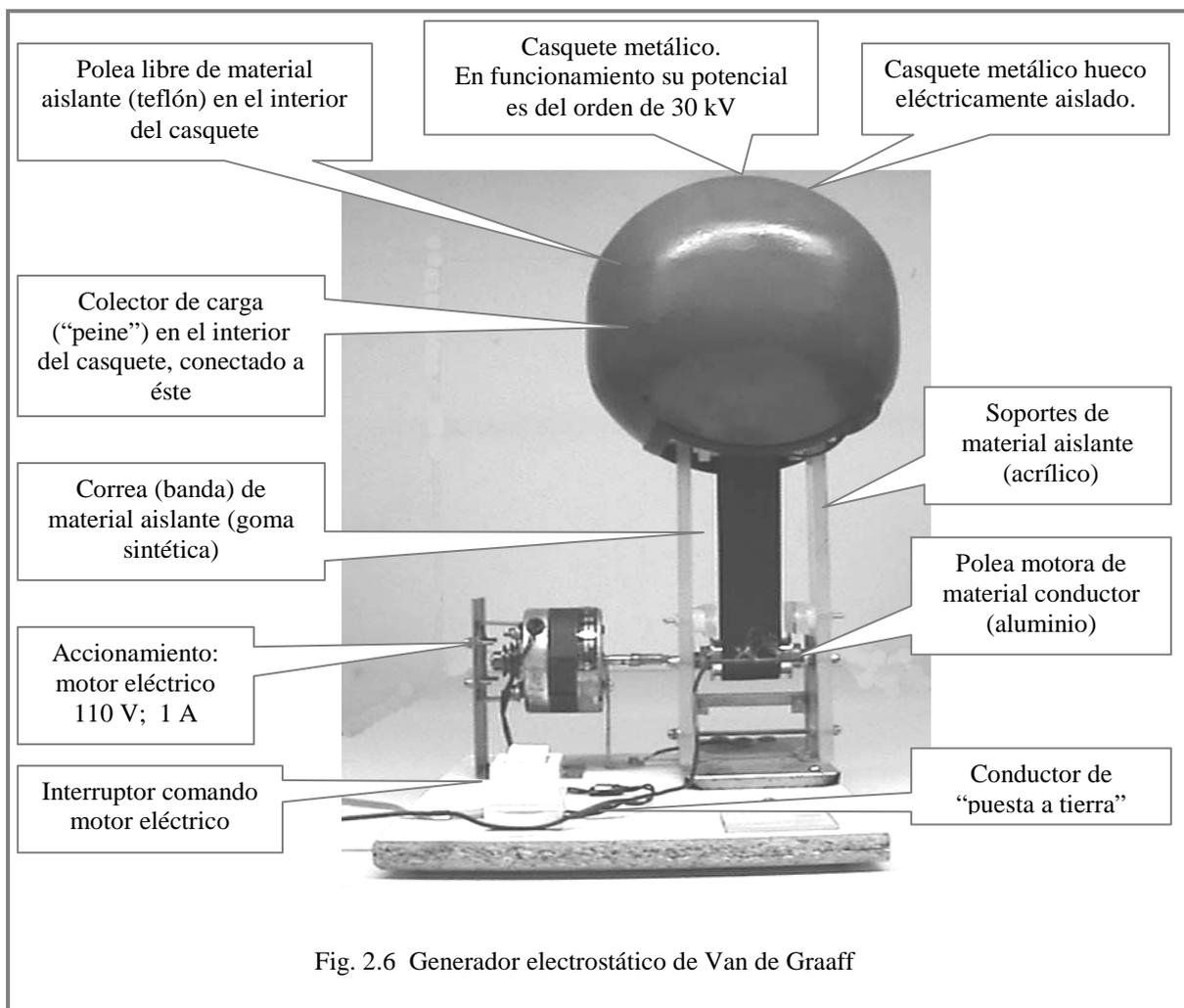
En este generador la función de la placa cargada es cumplida por una banda de material aislante, electrizada, que lleva carga en forma continua al interior de un casquete metálico (electrodo superior, hueco).

La banda se electriza por frotamiento; es accionada por una polea motora (metálica; inferior) y guiada por una polea libre (material aislante, superior, introducida en el casquete).

Objetivo

Presentar y operar un generador electrostático de Van de Graaff, reconocer sus partes esenciales e interpretar su funcionamiento.

Demostrar fenómenos particulares, factibles cuando se dispone de alto potencial electrostático.



Procedimiento:

- a) Reconocer las partes esenciales del generador e interpretar su funcionamiento
 - Banda transportadora de carga
 - Casquete hueco de material conductor; soporte de material aislante (acrílico transparente).
 - Colector de carga (“peine”) inferior con conexión a tierra. Colector de carga superior introducido en el casquete y conectado a éste.
 - Motor eléctrico de accionamiento; polea motora.

- b) Mostrar fenómenos característicos
 - Carga y descarga de piezas metálicas por inducción y por contacto.
 - Efectos de atracción y repulsión.
 - Descarga en tubos de gas (tubo de luz fluorescente).
 - Efecto “de puntas”.
 - Mostrar en el plano la forma de las líneas de campo: en un recipiente plano, con aceite aislante, se colocan electrodos metálicos y semillas de césped. (¿Cuál es el efecto eléctrico que hace alinear las semillas señalando así la estructura del campo?)

Nota: El generador electrostático mostrado en la Fig. 2.6 ha sido construido en este Laboratorio de FISICA II, utilizando elementos de rezago. Se ha adoptado un sencillo montaje para facilitar su desarme, mostrar sus partes esenciales e interpretar el principio de funcionamiento ideado por su inventor, Robert J. Van de Graaff. Esto es, cumplimentar el objetivo de la Experiencia.

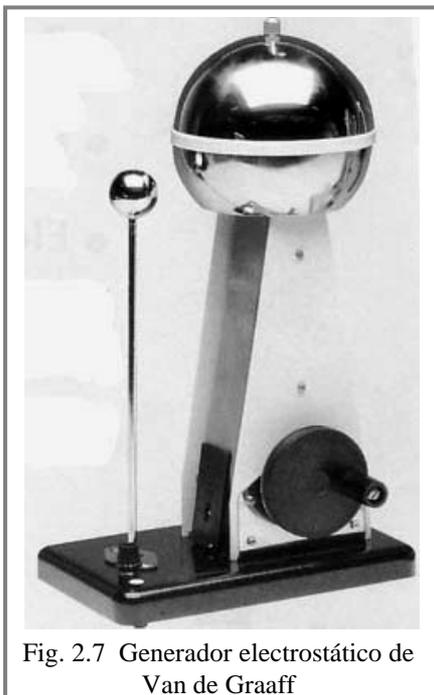


Fig. 2.7 Generador electrostático de Van de Graaff

La figura 2.7 muestra un generador electrostático de Van de Graaff, de fabricación normal.

La polea motora es de accionamiento manual y con él se consiguen potenciales del orden de 100 kV.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 3 CAPACITORES

Introducción

El capacitor es un elemento eléctrico que se construye con dos cuerpos de material conductor, denominados placas o armaduras, separados por un aislante (o por el vacío). Se caracterizan por proporcionar una capacitancia C que es función de la geometría y dimensiones de los cuerpos de material conductor enfrentados y de las dimensiones y características del medio que los separa aislándolos eléctricamente.

Cuando un capacitor está cargado se tienen cargas Q de igual magnitud y de signo opuesto en las placas. La magnitud de la carga es proporcional a la tensión eléctrica o diferencia de potencial V entre los bornes de conexión. El factor de proporcionalidad es la capacitancia C del capacitor.

Por consiguiente, los parámetros que determinan el comportamiento eléctrico de un capacitor son su capacitancia C , la carga Q de sus armaduras y la tensión V entre sus bornes; la relación entre ellos expresa la definición operacional de capacitancia:

$$Q = CV \quad \therefore \quad C = \frac{Q}{V} \quad (3.1)$$

Objetivo

Corroborar lo expresado por la ecuación de definición operacional de capacitancia ensayando un capacitor, manteniendo uno de los parámetros constante, variando el segundo y controlando las consecuentes variaciones del tercero.

Equipamiento

Capacitor experimental, formado por dos placas planas circulares de 20 cm. de diámetro; la separación es variable a partir de 1 mm.

Fuente de tensión variable, de baja potencia, con dos escalas: 0 – 30 V y 0 – 1000 V con señalización analógica de la diferencia de potencial en bornes de conexión. (Fig. 3.2)

Fuente de carga estática, constituida por una esfera conductora conectada a la fuente de tensión, ajustada en 1000 V (Fig. 3.3).

Plano de prueba: pequeño disco de material conductor con mango de material aislante (De la esfera se extrae carga y se la transporta manualmente utilizando este accesorio)

Electrómetro; doble jaula de Faraday y accesorios para mediciones electrostáticas (especificaciones y detalles de operación descriptos en el T.P. Nº 2)

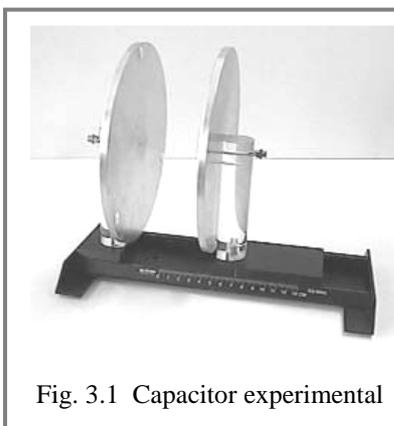


Fig. 3.1 Capacitor experimental

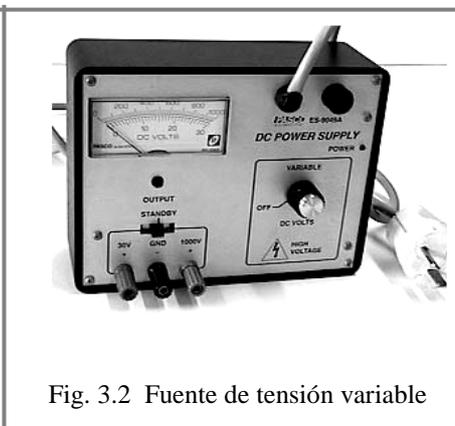


Fig. 3.2 Fuente de tensión variable



Fig. 3.3 Esfera

Nota I: los ensayos en los que se utilizará la fuente de baja potencia regulada a 1000 V, no tienen riesgo eléctrico para el operador, por las características especiales de la fuente y de la esfera que, al ser conectada a la fuente, adquiere dicho potencial.

Nota II: Se dice que son mediciones estáticas de tensión porque no necesitan, como en los voltímetros comunes, circulación de corriente a través del instrumento para efectuar la medición. Esto se logra por la elevada resistencia interna que posee el electrómetro.

Nota III: La utilización del electrómetro se debe ajustar a lo indicado en la Exp. 2. Si por error se conecta el electrómetro directa o indirectamente a la esfera o a la fuente (regulada en alta tensión), se producirán importantes averías del instrumento

Experiencia 3.1

I- Capacitor eléctrico. $V = f(Q)$ con C constante

Objetivo

Mantener constante la capacitancia C del capacitor y observar la influencia que tiene la carga Q , suministrada a las armaduras, sobre la tensión V en bornes.

Procedimiento

Separar las placas la distancia $d = 2$ mm. No modificarla, manteniendo de ese modo constante la capacitancia C del capacitor.

Conectar el electrómetro a los terminales del capacitor, controlar que esté en la posición LOCK. El terminal + a la placa móvil. Unir las masas del electrómetro con la de la fuente de alta tensión. Desbloquear el electrómetro. En estas condiciones el instrumento medirá la tensión V en bornes del capacitor.

Suministrar carga al capacitor utilizando para ello el plano de prueba. Tocar con el disco conductor la esfera, que estará conectada al borne + de la fuente regulada a 1000 V y luego la parte externa de la placa + del condensador. Realizar varias veces esta operación. En principio se puede admitir que toda la carga del plano pasa al capacitor y que cada toque suministra al capacitor la misma cantidad de carga ΔQ .

Leer y registrar los incrementos de tensión para cada una de las operaciones de carga.

Analizar los valores registrados e informar.

Repetir el ensayo con otro valor de C , por ejemplo fijando $d = 4$ mm.

Analizar los valores registrados e informar.

Nota: en comparación con el ensayo anterior, al adoptar $d = 4$ mm, la capacitancia C del capacitor ha disminuido a la mitad y esto debería duplicar el valor de los saltos de tensión por cada toque del plano. No se observa tal duplicación debido a que los resultados están afectados por la capacitancia propia del electrómetro. Esta capacitancia es constante, está en paralelo con C , y su valor es del orden de **30 pF** (comparable a los de C).

Experiencia 3.2

II- Capacitor eléctrico. $Q = f(C)$ con V constante

Objetivo

Mantener constante la tensión V y observar la influencia que el valor de C (variable) tiene sobre la carga q que aparece sobre las armaduras.

Procedimiento

Conectar el capacitor a la fuente de alta tensión y el electrómetro a la doble jaula de Faraday manteniendo unidas las masas. Durante toda la medición el operador debe tocar con un dedo el terminal GND del electrómetro, para evitar efectos de inducción. Separar las placas una

distancia $d = 6$ cm y llevar la tensión V alrededor de **1000 V**.

Con el plano de prueba previamente descargado, tocar la parte central interna de la placa +. Llevar el disco al interior de la cubeta y la lectura del electrómetro dará una idea de la cantidad de carga q que el disco capturó en la superficie de contacto.

Analizar los valores registrados e informar.

Repetir la operación descargando previamente el disco y haciendo contacto en otros puntos interiores que no disten del centro más de 5 cm, para evitar el efecto de borde. Repetir las dos operaciones sobre la placa. Tomar nota de las lecturas obtenidas del electrómetro.

Variar la capacitancia C adoptando $d = 3$ cm (la capacitancia se duplica); repetir todo el proceso anterior.

Analizar los valores registrados e informar

Experiencia 3.3

III- Capacitor eléctrico. $Q = f(V)$ con C constante

Objetivo

Mantener la capacitancia C constante y observar la influencia que la tensión V en bornes tiene sobre la carga de las placas.

Procedimiento

Dejar el condensador conectado a la fuente de alta tensión con la separación $d = 3$ cm entre placas. Regular la tensión de la fuente a $V = 400$ V y explorar la carga con el procedimiento descrito en la experiencia anterior.

Duplicar la tensión ($V = 800$ V) y repetir la operación.

Analizar los valores registrados, comparando resultados e informar

Experiencia 3.4

IV- Capacitor eléctrico. $V = f(C)$ con Q constante

Objetivo

Mantener la carga Q constante y observar la influencia que la capacitancia C tiene sobre la tensión en bornes.

Procedimiento

Conectar los terminales del capacitor al electrómetro en posición LOCK.

Ajustar la separación de las placas a **2 mm**.

Regular la tensión de la fuente a 10 V: pasar el selector de la fuente de alimentación a la posición 30 V y ajustar con el regulador la lectura de la aguja a alrededor de **10 V**.

Destabar el electrómetro en la escala de **30 V** y con conductores conectados a los bornes de la fuente tocar brevemente los bornes del capacitor, que quedará cargado con una carga fija y a una tensión del orden de los 10 V, indicada por el electrómetro.

Variando la separación entre las placas puede observar la influencia de la capacidad sobre la tensión en bornes. Hacer lecturas con **$d = 4$ mm y $d = 6$ mm**.

Comparar los valores medidos (los cuales están influenciados por la capacidad de entrada del electrómetro que es constante y en todo momento está conectada en paralelo con C).

Estimación de la capacidad del electrómetro

La llamaremos C_x . Usar en el cálculo las mediciones de tensión hechas con $d=2\text{ mm}$ y 6 mm . Indicar con C la capacidad del condensador cuando d es 2 mm y con $C/3$ cuando d es 6 mm (la triplicación de la separación de las placas hace caer la capacidad a un tercio del valor original). Si q es la carga del conjunto condensador y electrómetro que no cambia, e indicamos con V la lectura del electrómetro con 2 mm de separación y V' cuando d es 6 mm , podemos escribir las siguientes relaciones:

$$\begin{cases} C + C_x = \frac{q}{V} \\ \frac{C}{3} + C_x = \frac{q}{V'} \end{cases}$$

De donde podemos despejar:

$$C_x = C \frac{V - V'}{V' - V} \quad (3.2)$$

La capacidad C se calcula teniendo en cuenta que se trata de un capacitor plano de placas circulares de 20 cm de diámetro y una separación de 2 mm .

Hablamos de una estimación y no propiamente de un cálculo, por cuanto las mediciones están fuertemente afectadas por errores que provienen de inducciones espúreas y de la capacidad distribuida de los cables de conexión.

Experiencia 3.5

V- Capacitor eléctrico. $C = f(K)$

Objetivo

Mantener la carga Q constante. Estudiar la influencia del dieléctrico en la capacitancia. Estimar la constante dieléctrica del vidrio.

Procedimiento

Analizar la influencia de incorporar, entre las placas del capacitor, una lámina de vidrio de 5 mm de espesor, al estar el capacitor cargado con la misma carga Q .

Conectar el capacitor al electrómetro en posición LOCK y colocar el vidrio entre las placas juntándolas hasta hacer tope. La corredera indicará una separación de 6 mm , pues los separadores plásticos tienen 1 mm de espesor. Desbloquear el electrómetro y dar tres golpes de carga con el plano de prueba y la fuente de carga estática, como se describe en la Exp.3.1. Tomar lectura de la indicación del electrómetro y registrar V .

Bloquear el electrómetro, extraer el vidrio separando previamente las placas y luego reponiéndolas a 6 mm . Con el electrómetro en escala de 30 V , desbloquear y repetir los tres golpes iguales de carga. Tomar lectura de la indicación del electrómetro y registrar V_0 .

Comparar resultados. Estimar el valor de la constante dieléctrica K del vidrio.

La influencia del dieléctrico la podremos apreciar claramente al constatar que $V < V_0$.

En la estimación de la constante K del vidrio, es de esperar resultado razonable en cuanto son de aplicación las mismas consideraciones referidas a errores de los ensayos anteriores.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 4 INTERCONEXIÓN DE CAPACITORES

Introducción

Las principales especificaciones eléctricas de un capacitor son su capacitancia y su máxima tensión de servicio.

El valor de la máxima tensión de servicio depende de las características del material aislante interpuesto entre las placas del capacitor y responden a normas de fabricación. Si la tensión aplicada excede el valor máximo garantizado, se corre el riesgo de producir la ruptura dieléctrica y el material aislante se vuelve conductor inutilizando al capacitor.

Los valores de capacitancia, también están normalizados y, para conseguir valores diferentes, se interconectan dos o más capacitores combinándolos.

Las combinaciones más sencillas son las conexiones serie y paralelo. En estos casos interesa la capacidad equivalente C_{equiv} de la combinación.

Cuando se interconectan capacitores cargados, en general, se producen transferencias de carga y consecuentes cambios en las tensiones entre armaduras de los capacitores. El análisis teórico de estos procesos se realiza aplicando las reglas que se enuncian a continuación. Siempre se cumple la relación fundamental $Q = CV$ y, por supuesto, el principio de conservación de la carga.

Combinación serie

El recíproco de la capacitancia equivalente de una combinación serie de capacitores es igual a la suma de los recíprocos de las capacitancias individuales.

El valor de la carga es el mismo en todos los capacitores de la combinación serie e igual al valor de la carga de la capacitancia equivalente.

Las diferencias de potencial de los capacitores individuales se suman para dar la diferencia de potencial total de la combinación serie.

Combinación paralelo

La capacitancia equivalente de una combinación de capacitores en paralelo es igual a la suma de las capacitancias individuales.

Los valores de las cargas de los capacitores individuales se suman para obtener la carga total de la capacitancia equivalente.

La diferencia de potencial de los capacitores combinados en paralelo es de igual valor en todos los capacitores e igual a la de la capacitancia equivalente.

Objetivo

Corroborar los resultados de interconectar capacitores cargados, de capacitancia conocida, formando combinaciones paralelo o serie; aplicando el concepto capacidad equivalente de los capacitores así interconectados.

Equipamiento

Caja RC. Consiste en una red eléctrica de tres capacitores $C_1 = 0.22 \mu\text{F}$; $C_2 = 0.47 \mu\text{F}$ y $C_3 = 0.94 \mu\text{F}$, tres resistores y tres llaves deslizantes que permiten la interconexión en diferentes formas de los elementos. Además tiene bornes de conexión para la fuente de energía e instrumentos que facilitan los ensayos pertinentes a lo propuesto. En la tapa de la caja se encuentran grabadas la red y los valores de los resistores y capacitores que la conforman (Fig.4.1).

Los capacitores son de tensión máxima 50 V. Para la ejecución de este Trabajo se ha agregado un capacitor exterior $C_4 = 0.47 \mu\text{F}$; 50 V.

Fuente de tensión variable, de baja potencia; se usará sólo en la escala de 0 – 30 V.
Electrómetro. Se usará en la escala de 0 – 30 V.

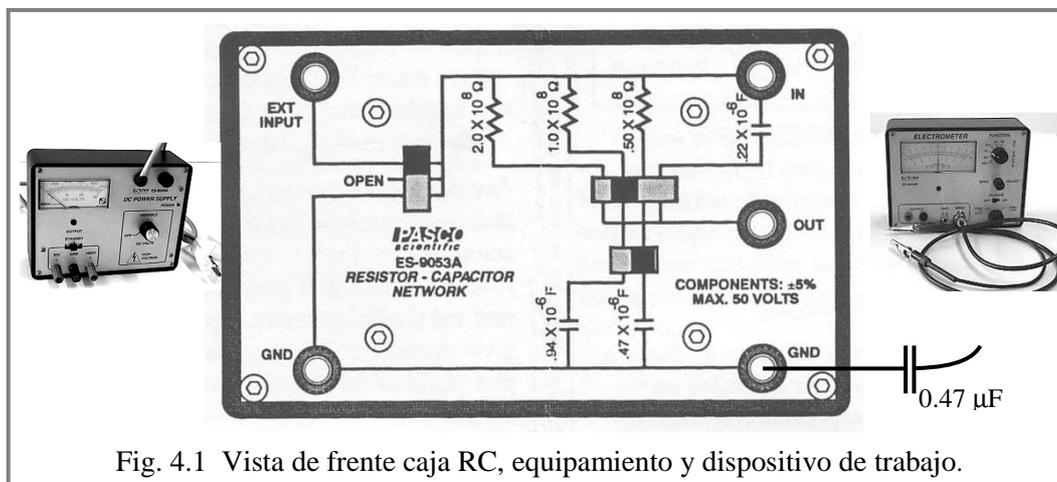


Fig. 4.1 Vista de frente caja RC, equipamiento y dispositivo de trabajo.

Procedimiento

- Cargar un capacitor a una tensión determinada utilizando la fuente de baja potencia regulada convenientemente.
- Conectar este capacitor cargado a otro u otros capacitores de manera que queden formando asociaciones paralelo o serie.
- Utilizando el electrómetro, medir las tensiones resultantes en los capacitores así interconectados.
- Determinar analíticamente las relaciones entre capacitancias equivalentes, cargas y tensiones en los capacitores interconectados.
- Finalmente comparar los valores de tensión medidos con los valores de tensión determinados analíticamente y detallar conclusiones.

Para cada ensayo confeccionar esquemas eléctricos que muestren condiciones iniciales y condiciones finales de los capacitores; registrar valores medidos y valores calculados con datos y fórmulas aplicadas.

Experiencia 4.1

Capacitores en paralelo

Ensayar combinaciones paralelo de capacitores. Usar solo los capacitores que contiene la red de la caja. Asegurarse que estén descargados cortocircuitándolos transitoriamente con un conductor.

4.1.a Cargar el capacitor $C_1 = 0.22 \mu\text{F}$ a 20 V, tocando brevemente con sus terminales los bornes de la fuente ajustada a **20 V**.

Usando las llaves conectarlo en paralelo con el capacitor $C_2 = 0.47 \mu\text{F}$.

Medir, con el electrómetro, la tensión resultante.

Determinar analíticamente el valor de la tensión resultante.

Comparar el valor medido de la tensión resultante con el valor determinado analíticamente.

4.1.b Descargar los capacitores y cargarlos: el $C_1 = 0.22 \mu\text{F}$ a **10 V** y el $C_2 = 0.47 \mu\text{F}$ a **20 V**.

Conectarlos en paralelo uniendo las armaduras con cargas de igual signo entre sí.

Medir, con el electrómetro, la tensión resultante.

Determinar analíticamente el valor de la tensión resultante.
Comparar el valor medido de la tensión resultante con el valor determinado analíticamente.

4.1.c Repetir el ensayo anterior pero uniendo ahora las armaduras con cargas de distinto signo.

Comparar el valor medido de la tensión resultante con el valor determinado analíticamente.

Experiencia 4.2

Capacitores en serie

Ensayar combinaciones serie de capacitores. Usar los capacitores que contiene la red de la caja y, cuando se indique, también el capacitor exterior. Previo a cualquier operación, asegurarse que estén descargados cortocircuitándolos transitoriamente con un jumper.

4.2.a Descargar los capacitores $C_1 = 0.22 \mu\text{F}$ y $C_3 = 0.94 \mu\text{F}$ y conectarlos en serie.

Conectar la combinación a la fuente ajustada a **30 V**.

Medir, con el electrómetro, la tensión resultante en cada capacitor.

Determinar analíticamente el valor de la tensión resultante en cada capacitor.

Comparar los valores medidos de las tensiones resultantes con los valores determinados analíticamente.

4.2.b Descargar los capacitores.

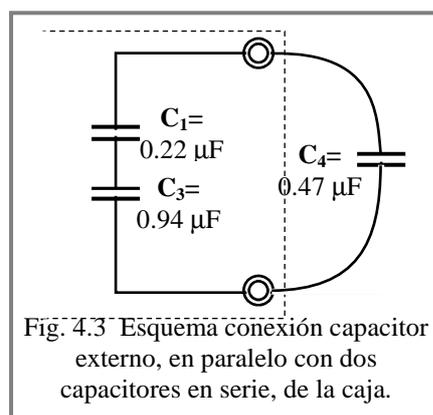
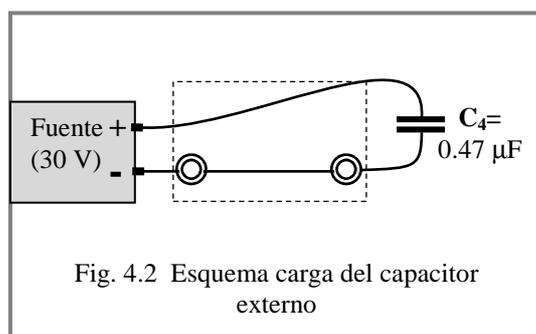
Cargar el capacitor externo $C_4 = 0.47 \mu\text{F}$ a **30 V** (Fig. 4.2 Esquema).

Desconectar de la fuente y conectar en paralelo con los capacitores $C_1 = 0.22 \mu\text{F}$ y $C_3 = 0.94 \mu\text{F}$. (Fig. 4.3 Esquema)

Medir, con el electrómetro, la tensión resultante en cada uno de los capacitores.

Determinar analíticamente el valor de la tensión resultante en cada uno de los capacitores.

Comparar los valores medidos de las tensiones resultantes con los valores determinados analíticamente.



Informe

Para cada ensayo confeccionar esquema eléctrico de la combinación (paralelo o serie) de capacitores con indicación de su capacitancia individual, que muestren condiciones iniciales y condiciones finales.

Registrar valores medidos, valores calculados con indicación del procedimiento y fórmulas aplicadas.

Registrar comparación entre valores medidos de tensiones y valores calculados. Conclusiones.

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** (ϵ) 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 (Ω).

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 (Ω), **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).

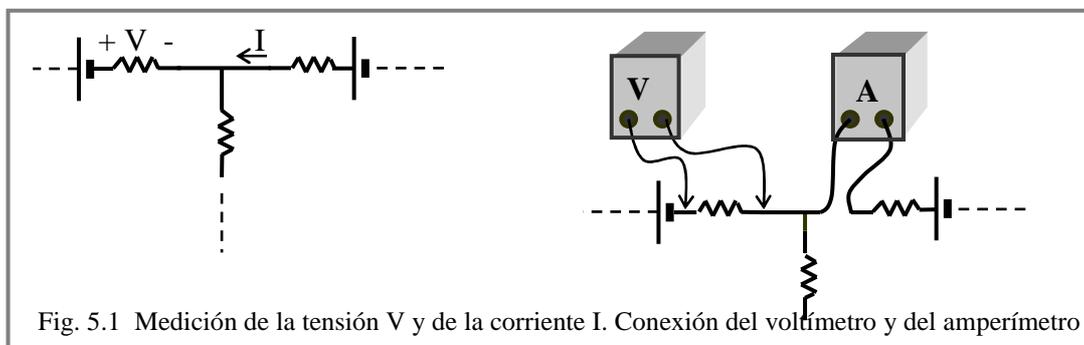
Medición de corriente: Para medir la corriente que circula por un conductor, al tester se lo selecciona en la función amperímetro; se abre el circuito en el punto de medición y se conecta el instrumento restableciendo con este la continuidad del circuito. Esta forma de conexión se denomina en **serie** 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.

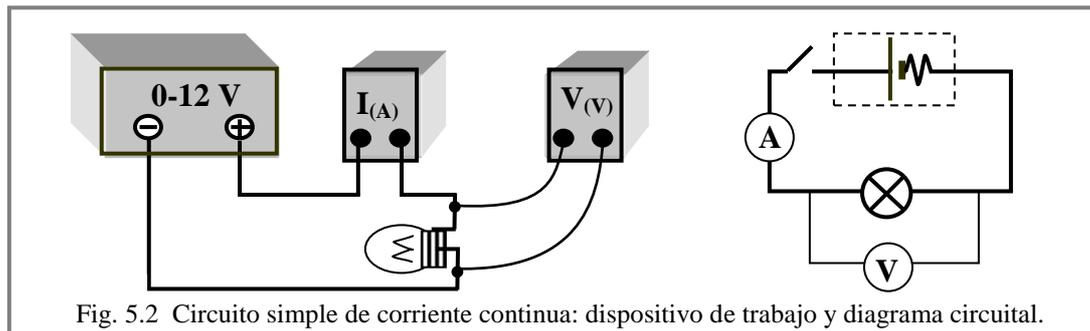
Dos multímetros analógicos.

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 ϵ 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.

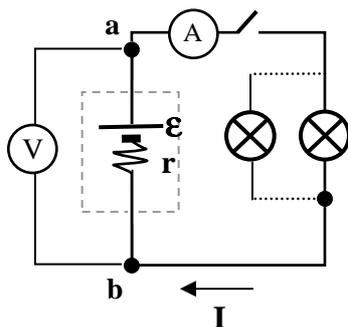
Interruptor, porta pilas, conductores y accesorios.

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 ε . (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 ε 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 ε (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 0Ω . 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.

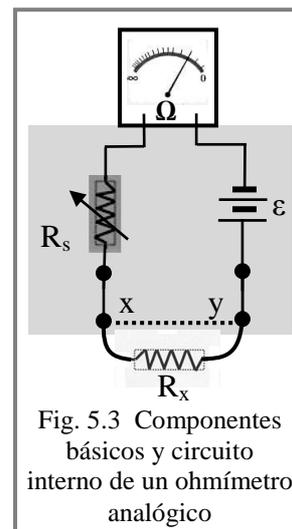


Fig. 5.3 Componentes básicos y circuito interno de un ohmímetro analógico

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: $I = \frac{V}{R}$

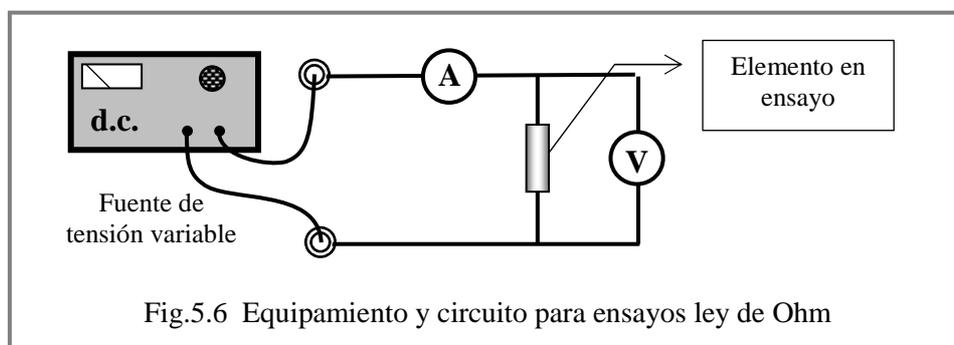
donde I es la corriente que se establece en el alambre y R la constante de proporcionalidad a la que llamamos resistencia del alambre. La resistencia tiene por expresión: $R = \frac{V}{I}$ Esta expresión tiene validez general, cualquiera sea la geometría del conductor.

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 ρ 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°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 ρ 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 .

ρ_0 es la resistividad a la temperatura de referencia T_0 (generalmente la temperatura ambiente)

α es el coeficiente de proporcionalidad denominado coeficiente térmico de la resistividad.

Dada la relación directa de R con ρ , 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 α 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°C ; 110°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°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°C (por ejemplo, sea de 72°C).

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

Calcular (α) 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 α 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.

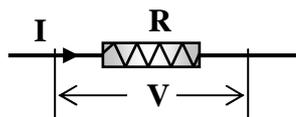
TRABAJO PRÁCTICO N° 6 CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA - PARTE II

Experiencia 6.1

Resistencias. Especificaciones eléctricas. Circuito puente.

Introducción

Una resistencia R en un circuito eléctrico, en las condiciones mostradas en el esquema, transforma energía eléctrica en calor con una potencia P expresada por:



$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

El calor aumenta la temperatura de la resistencia y si ésta no está adecuadamente diseñada, el exceso de temperatura puede causar daños al elemento, inclusive su inutilización por fusión.

En los artefactos con resistencias eléctricas de uso ordinario, el valor de la tensión (V) a la cual deben conectarse es la especificación que garantiza su funcionamiento normal. Además, se especifica la potencia de funcionamiento a dicha tensión.

Ejemplos: Estufa eléctrica: 220 V; 2000 W. Lámpara de filamento: 12 V; 40 W.

Las resistencias que se utilizan en circuitos con componentes electrónicos, instrumentos para mediciones eléctricas, etc.; en general en las que se requiere un **comportamiento lineal**, se denominan **resistores** y se especifican con los siguientes datos:

- Valor de la resistencia (a temperatura ambiente) y precisión.
- Potencia de disipación: es la potencia máxima de funcionamiento para la que son válidos los valores de resistencia y precisión garantizados. Como alternativa: corriente máxima admitida.

Ejemplos:

1800 $\Omega \pm 5\%$; 0,5 W 100 $\Omega \pm 10\%$; 10 W 200 $\Omega \pm 0,1\%$; $I_{\text{máx.}} = 5$ mA

En algunos resistores, para indicar sus valores garantizados, se aplica un procedimiento normalizado denominado “código de colores”.

En la Exp. 5.3 hemos ensayado un resistor, aplicando el método voltímetro-amperímetro, determinando el valor de la resistencia y comprobando que su comportamiento es lineal. En esta Experiencia completaremos el ensayo controlando si su valor óhmico y precisión, indicados mediante el “código de colores”, cumple con lo especificado. Para esto efectuaremos mediciones de resistencias utilizando el “Puente de Wheatstone”.

Puente de Wheatstone

Introducción

El puente de Wheatstone es un circuito, como el mostrado esquemáticamente en la Fig. 6.1; se utiliza para medir resistores.

Permite mediciones con mayor precisión con respecto al método voltímetro-amperímetro (error sistemático) y también con respecto a la de los óhmetros de uso común

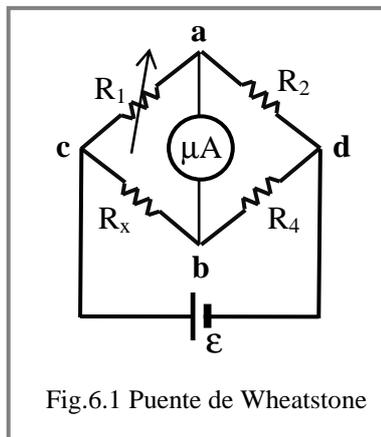


Fig.6.1 Puente de Wheatstone



Fig.6.2 Caja de resistencias patrón

R_x es la resistencia cuyo valor desconocido deseamos medir.

R_2 y R_4 son dos resistores cuyo valor se conoce con exactitud. En nuestro equipo valen **1000 Ω** con una precisión del **0.1 %**. Potencia de disipación 0,25 W.

R_1 es una resistencia variable cuyo valor también se conoce con exactitud. En nuestro equipo es una caja de resistores al **0.1 %** variable de **0 a 11110 Ω** regulable por puntos de **1 en 1 Ω** con indicación de la corriente máxima admitida a su través. Se la identifica con la denominación de caja de resistencias patrón (Fig. 6.2.)

Entre los puntos **a** y **b** tenemos conectado un microamperímetro.

Entre **c** y **d** conectamos una fuente de **cc** ajustada a **6 V**.

Al activar la fuente, circularán corrientes como las indicadas por las flechas en el esquema Fig. 6.3.

Por el microamperímetro también circulará una corriente que puede tener cualquier sentido pues dependerá de la ddp V_{ab} .

Variando R_1 se modifica la distribución de corrientes y se puede lograr la anulación de la corriente que pasa por el microamperímetro; o sea equilibrar el puente.

En esta condición de equilibrio se cumple que $V_a = V_b$ y por tanto $V_{ca} = V_{cb}$. Si llamamos I a la corriente por R_1 e I' a la de R_x , resulta:

$$I R_1 = I' R_x \quad (6.1)$$

La corriente por R_2 también es I , ya que no hay derivación por el microamperímetro. Igualmente, la corriente en R_4 es I' .

Las mismas consideraciones que hicimos con R_1 y R_x , aplicadas a R_2 y R_4 nos permiten deducir:

$$I R_2 = I' R_4 \quad (6.2)$$

Dividiendo (6.1) y (6.2) **m. a m.** resulta:

$$R_x = R_1 \frac{R_4}{R_2} \quad (6.3)$$

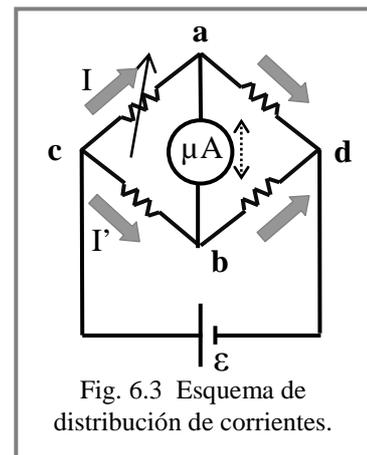


Fig. 6.3 Esquema de distribución de corrientes.

como hemos tomado $R_2 = R_4$; R_1 da directamente el valor de la resistencia desconocida. En este método de medición, el valor de la resistencia desconocida se obtiene por comparación con resistencias conocidas. La incertidumbre en el valor obtenido para R_x está determinada por la incertidumbre de los valores de las resistencias R_1 , R_2 y R_4 que hemos tomado como de valor conocido o patrón. Vamos a calcular esta incertidumbre o margen de error:

$$dR_x = \frac{\partial R_x}{\partial R_1} dR_1 + \frac{\partial R_x}{\partial R_2} dR_2 + \frac{\partial R_x}{\partial R_4} dR_4$$

$$dR_x = \frac{R_4}{R_2} dR_1 - \frac{R_1 R_4}{R_2^2} dR_2 + \frac{R_1}{R_2} dR_4 = \frac{R_x}{R_1} dR_1 - \frac{R_x}{R_2} dR_2 + \frac{R_x}{R_4} dR_4$$

Haciendo una aproximación de los diferenciales con las incertidumbres de los patrones y sumando todos los aportes con igual signo, para ponernos en la situación más desfavorable, tenemos

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4}$$

Como el error de las resistencias patrones es del 1 por mil, la suma del segundo miembro es 3×10^{-3} y la incertidumbre de la medición será: $\Delta R_x = R_x \cdot 3 \cdot 10^{-3}$

Debe notarse que aunque el instrumento tenga suficiente sensibilidad como para detectar corrientes de desequilibrio para variaciones de 1Ω , la exactitud con que se mide, o sea el **error sistemático**, está determinado por la incertidumbre anteriormente calculada.

Equipamiento

Dispositivo de trabajo que corresponde al circuito mostrado en la Fig. 6.1, con bornes de conexión y resistencias R_2 y R_4 de acuerdo a lo especificado precedentemente.

Fuente de corriente continua.

Caja de resistencia patrón.

Dos resistores R_x , potencia de disipación 0,5 W; valor y tolerancia especificados con el “código de colores”.

Tabla: “código de colores para resistores”.

Objetivo

Controlar valor y precisión especificado en resistores (R_x) con el “código de colores”.

Procedimiento:

Confeccionar diagrama circuital, de acuerdo a lo mostrado en la Fig. 6.1 e identificar sus elementos en el dispositivo de trabajo.

Conectar la fuente regulada a 2 V (mínima tensión para no sobrecargar el microamperímetro), variar la resistencia R_1 y, logrado aproximadamente el equilibrio del puente, efectuar ajuste final aumentando la tensión de la fuente como máximo a 6 V. Eventualmente conectar en serie con el microamperímetro una resistencia de protección; esta posibilidad se indica en el dispositivo de trabajo. En el ajuste final esta resistencia se anula.

Lograr el ajuste final de equilibrio del puente obteniendo así el valor de R_1 que permite la medición de R_x según (6.3).

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.

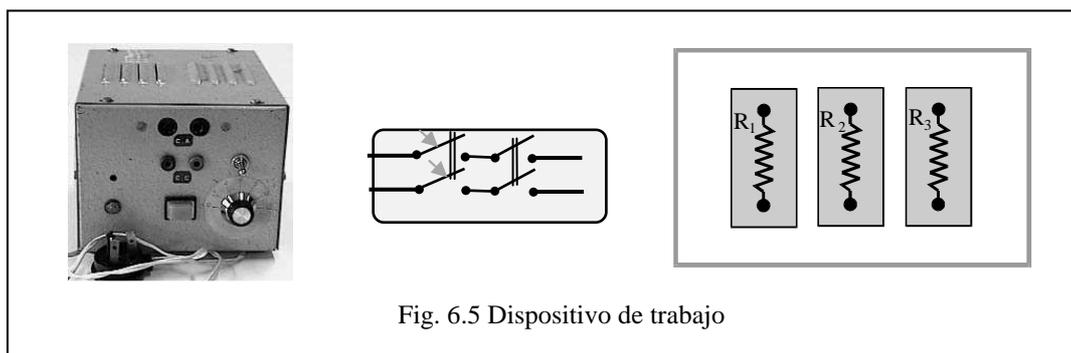


Fig. 6.5 Dispositivo de trabajo

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.

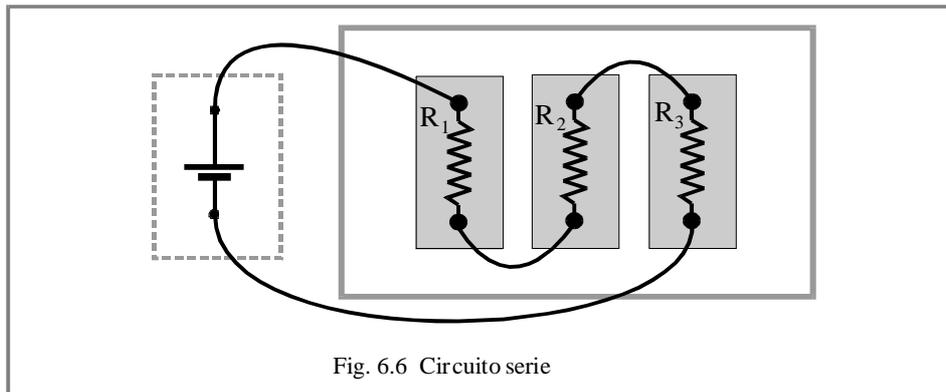
Nota: es conveniente adoptar figuras de buen tamaño, que permitan rotular claramente los datos.

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.

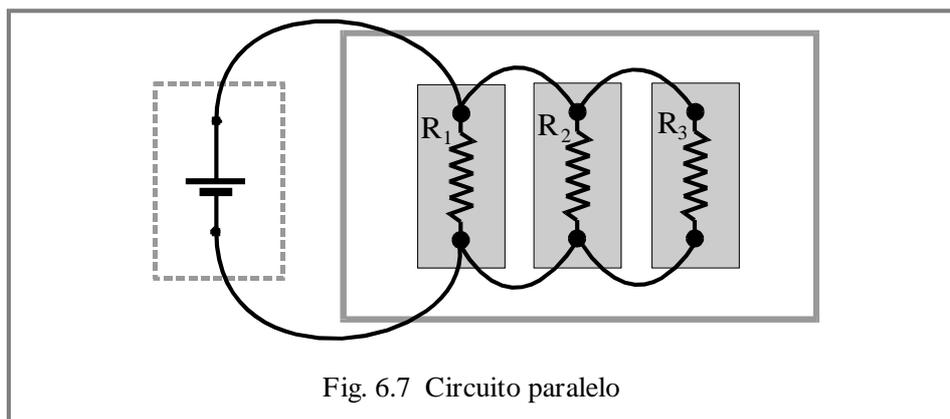
Registrar valores medidos en el diagrama esquemático circuital. Registrar cálculos complementarios. Exponer conclusiones.

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 7
CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA-PARTE III

Experiencia 7.1

Redes de corriente continua

Objetivo

Corroborar procedimientos y reglas que se aplican en la resolución de redes de corriente continua constituidas por elementos lineales y funcionamiento en régimen estacionario.

Introducción

Se trata de circuitos eléctricos cuyo funcionamiento se resuelve analíticamente aplicando la ley de Ohm, las reglas de asociación de resistencias, la ecuación del circuito serie y las reglas de Kirchhoff.

<i>Ley de Ohm:</i>	$i = \frac{V}{R}$
<i>Regla; resistencias en serie:</i>	$R_{eq} = \sum R_i$
<i>Regla; resistencias en paralelo:</i>	$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i}$
<i>Ecuación del circuito serie:</i>	$i = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R}$
<i>Kirchhoff; regla de las mallas:</i>	$\sum V = 0$
<i>Kirchhoff; regla de los nudos:</i>	$\sum i_{entrante} = \sum i_{saliente} \quad \text{ó} \quad \sum i = 0$

La denominación de red eléctrica que se da a los circuitos proviene de la configuración en mallas de la interconexión de elementos, de manera que se los puede describir mediante:

- **Malla (o espira):** cualquier trayectoria conductora cerrada que se pueda definir recorriendo el circuito.
- **Nodo (o unión, o nudo):** punto del circuito al que confluyen tres o más conductores de interconexión de elementos.
- **Rama:** tramo del circuito, con uno o varios elementos en serie, definido entre dos nodos.
- **Elementos activos:** Generadores de fem; se los representa como ideales, sin resistencia interna. Si es necesario tomar en cuenta el valor de r , se la representa en serie con ε , como una resistencia externa.
- **Elementos pasivos o consumidores:** resistores (resistencias lineales).

Las redes más sencillas son aquellas que se pueden resolver reduciéndolas a una malla simple o circuito serie usando las reglas de asociación serie y paralelo de resistencias y generadores. Llamamos a estas redes **circuitos reducibles**.

Las redes en las que no es posible la reducción a circuito serie se denominan **redes o circuitos no reducibles** y para su resolución se recurre a las reglas de Kirchhoff.

Las fuentes de fem que usaremos serán consideradas como ideales (sin resistencia interna) por esto, adoptaremos como valor de \mathcal{E} directamente la diferencia de potencial en bornes de las fuentes, en funcionamiento y conectadas a la red en estudio.

I. Verificación del procedimiento para resolver una “red reducible a circuito serie”.

Equipamiento

Siete resistores potencia de disipación 0,5 W con terminales de conexión tipo “banana” y accesorios fijos en un panel rectangular.

Dos fuentes de corriente continua.

Tester digital.

Dos módulos con interruptores y accesorios para conexión, comando y protección de circuitos.

Conductores y accesorios para el cableado.

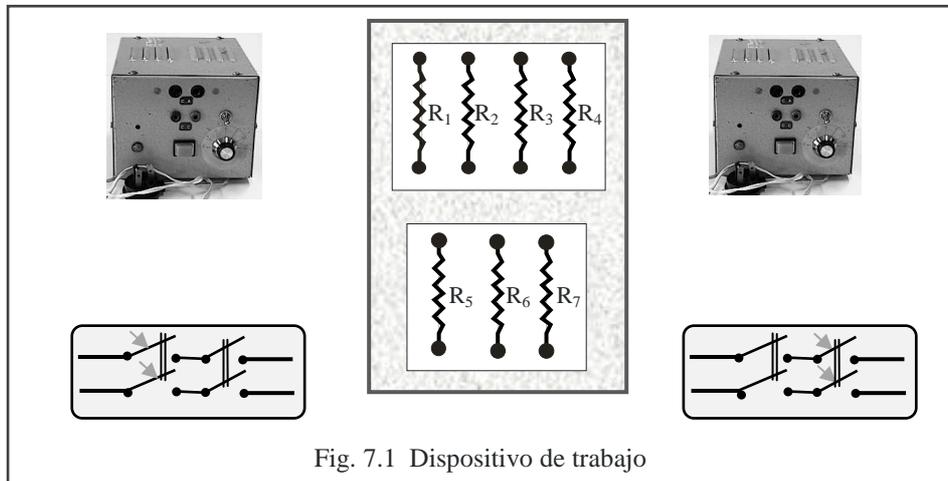


Fig. 7.1 Dispositivo de trabajo

Procedimiento

Representar esquemáticamente el grupo de resistores y numerarlos conforme se indica en el dispositivo de trabajo. Medirlos utilizando el ohmímetro y registrar sus valores en el esquema. Dibujar diagrama circuital de una red reducible a circuito serie indicando la conexión de las fuentes; por ejemplo, el mostrado en el esquema (Fig. 7.2) que interconecta los siete resistores y las dos fuentes.

Interconectar los resistores del panel conforme a lo representado en el diagrama (el diagrama siempre debe tenerlo a la vista).

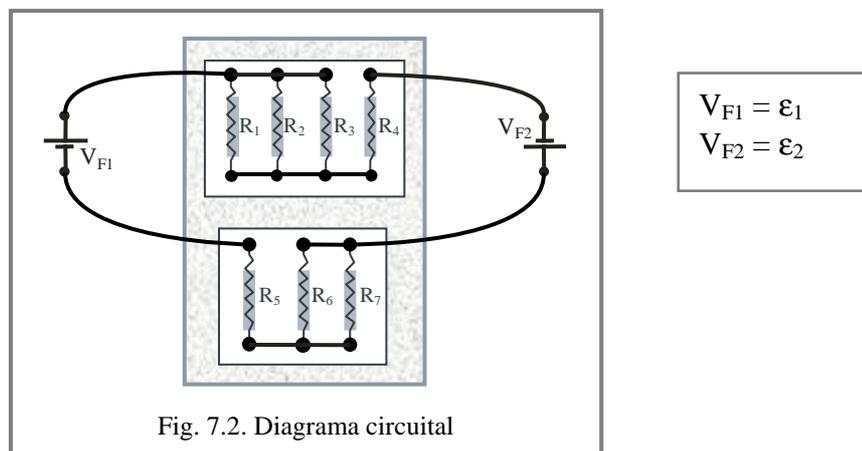


Fig. 7.2. Diagrama circuital

Determinar con el tester en la función ohmímetro los valores de resistencias equivalentes que permitan calcular el denominador ΣR de la ecuación general del circuito. Registrar valores y calcular ΣR .

Comparar el valor determinado anteriormente con el que resulta de resolver las combinaciones serie paralelo de la red a partir del valor de los resistores individuales. Para el caso de la red del diagrama corresponde:

$$\Sigma R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3} + R_4 + R_5 + \left(\frac{R_6 R_7}{R_6 + R_7} \right) \quad (7.1)$$

Conectar la red a las fuentes utilizando los interruptores de comando y protección de circuitos; previamente, controlar que las **polaridades** sean las indicadas en el diagrama y que la regulación de las fuentes (no necesariamente iguales) supere 12 V.

Controlar que los resistores funcionen sin exceder la potencia de disipación 0,5 W; en caso de que esto ocurra, disminuir la tensión de alguna de las fuentes. Para este control aplicar la expresión $P = \frac{V^2}{R}$ (con el tester, en la función voltímetro, medir la tensión V en el resistor de resistencia R que controla).

Medir con el tester en la función voltímetro las tensiones de salida de las fuentes, estando estas activadas y conectadas a la red. Registrar los valores medidos y calcular el numerador de la ecuación general del circuito serie $\Sigma \mathcal{E}$.

Calcular la corriente del circuito serie aplicando $i = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{\Sigma R}$ (7.2)

Medir la corriente en diferentes puntos del circuito serie, comprobando la característica de corriente del circuito serie. Indicar en el diagrama los puntos de medición y registrar valores medidos.

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

Final: verificar correspondencia entre valor medido y valor calculado de la intensidad de corriente del circuito reducible a serie.

II. Verificación de las reglas de Kirchoff. “Redes no reducibles a circuito serie”.

Equipamiento

Seis resistores potencia de disipación 0,5 W parcialmente interconectados conforme se indica en el dispositivo de trabajo (Fig. 7.3).

Dos fuentes de corriente continua.

Tester digital.

Dos módulos con interruptores y accesorios para conexión, comando y protección de circuitos.

Conductores y accesorios para el cableado.

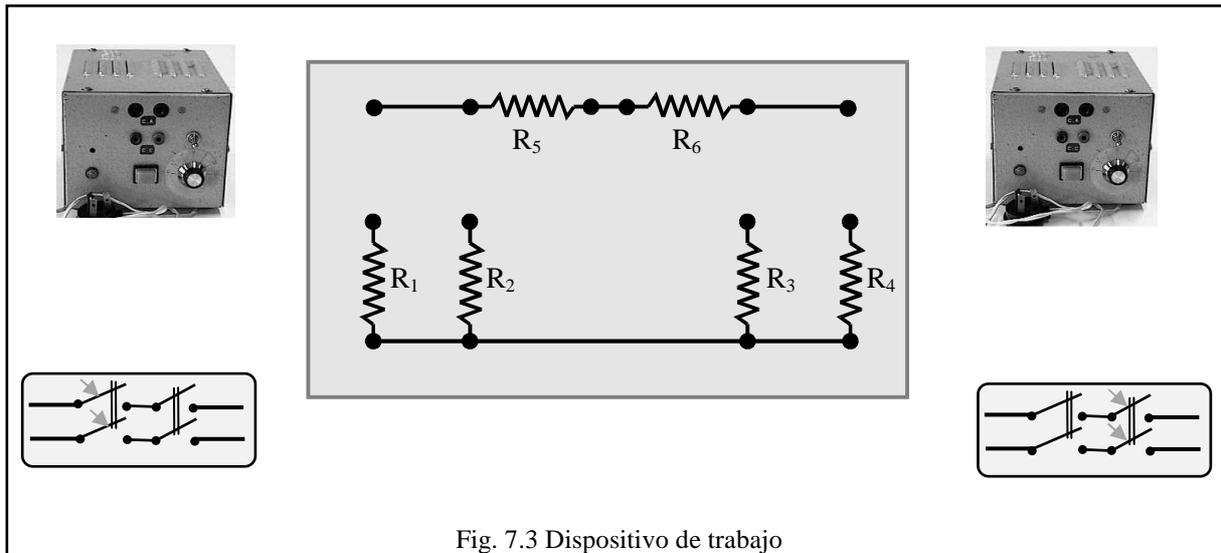


Fig. 7.3 Dispositivo de trabajo

Procedimiento

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

Dibujar diagrama circuital de una red no reducible a circuito serie indicando la conexión de las fuentes; por ejemplo, el mostrado en el esquema (Fig. 7.4) que interconecta los seis resistores y las dos fuentes. Marcar en el diagrama la formación de nodos y mallas (en el ejemplo son tres nodos y tres mallas simples).

Registrar en el diagrama la identificación y valor de los resistores.

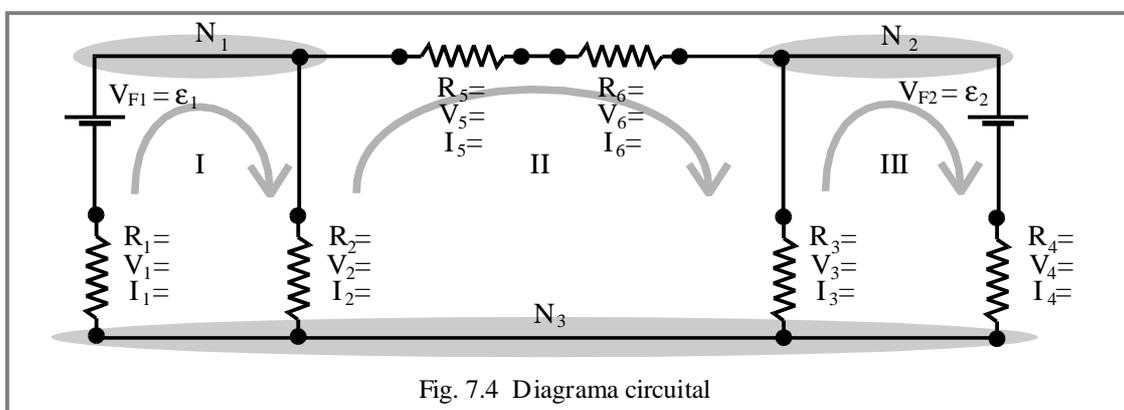


Fig. 7.4 Diagrama circuital

Con el diagrama circuital a la vista

Construir la red efectuando el correspondiente cableado; inclusive el de conexión de las fuentes. Activar las fuentes reguladas a tensiones del orden de 12 V y cerrar los interruptores de comando.

Con el tester en la función voltímetro

Controlar que los resistores funcionen sin exceder la potencia de disipación 0,5 W; en caso de que esto ocurra, disminuir la tensión de alguna de las fuentes.

Medir la tensión en cada uno de los elementos de la red registrando **valores** y **polaridades** en el diagrama circuital.

Aplicando la ley de Ohm

Calcular la corriente en cada uno de los resistores; registrar **valores** y **sentidos** en el diagrama circuital.

Considerando los datos registrados en el diagrama circuital:

Verificar la regla de las mallas en las cuatro mallas simples.

Verificar la regla de los nudos en los cuatro nudos.

Registrar los cálculos y exponer conclusiones.

Ejercicio complementario

Determinar la diferencia de potencial entre los puntos **a** y **b** de la red ($V_{ab} = V_a - V_b$). (7.3)

Sobre el diagrama circuital, partiendo del punto **b** seguir una trayectoria conductora hasta el punto **a** sumando algebraicamente las diferencias de potencial que encuentre. Efectuar igual determinación siguiendo diferentes trayectorias. Comparar resultados. Verificar midiendo V_{ab} con el tester en la función voltímetro.

Ejercicio complementario

Para resolver una red no reducible a serie, aplicando las reglas de Kirchhoff, debe obtener un número de ecuaciones lineales independientes igual al número de incógnitas; así, la resolución de la red es, en definitiva, un problema algebraico.

Resolver la red Fig. 7.4 (determinar analíticamente las corrientes) a partir del conocimiento de las resistencias y de las tensiones en bornes de las fuentes. Verificar valores y sentido de las corrientes con los registrados en el diagrama circuital.

Experiencia 7.2

Circuitos resistencia-capacitancia

Introducción

Cuando se tiene un circuito formado por un resistor **R** y un capacitor **C** en serie, y se lo conecta a una fuente de corriente continua, se produce la carga del capacitor; esta carga y la consecuente diferencia de potencial entre las placas del capacitor, no son constantes por cuanto se aproximan a un valor final (Q y V) de manera asintótica siguiendo una variación exponencial con un tiempo característico $\tau = RC$, denominado “constante de tiempo” o “tiempo de relajación”.

En el proceso de descarga, los parámetros mencionados, también varían exponencialmente, con la misma constante de tiempo.

A estos procesos, en los que los parámetros eléctricos varían con el tiempo, se denominan “transitorios” y, en la práctica, se consideran finalizados cuando el tiempo transcurrido es del orden de 5 veces el tiempo de relajación τ

Objetivo

Analizar transitorios de carga y descarga de capacitores en circuitos **RC** y determinar las respectivas constantes de tiempo τ

Equipamiento

Caja **RC**. Características y especificaciones de los capacitores en T.P.Nº 4. Los resistores son: $R_1 = 2.0 \times 10^8 \Omega$; $R_2 = 1.0 \times 10^8 \Omega$ y $R_3 = 0,50 \times 10^8 \Omega$

Fuente de tensión variable de baja potencia. Se usará solo en la escala **0 – 30 V**.

Electrómetro para mediciones estáticas de tensión. Se usará en la escala de **0 – 30 V**.

Cronómetro.

I. Transitorio de carga

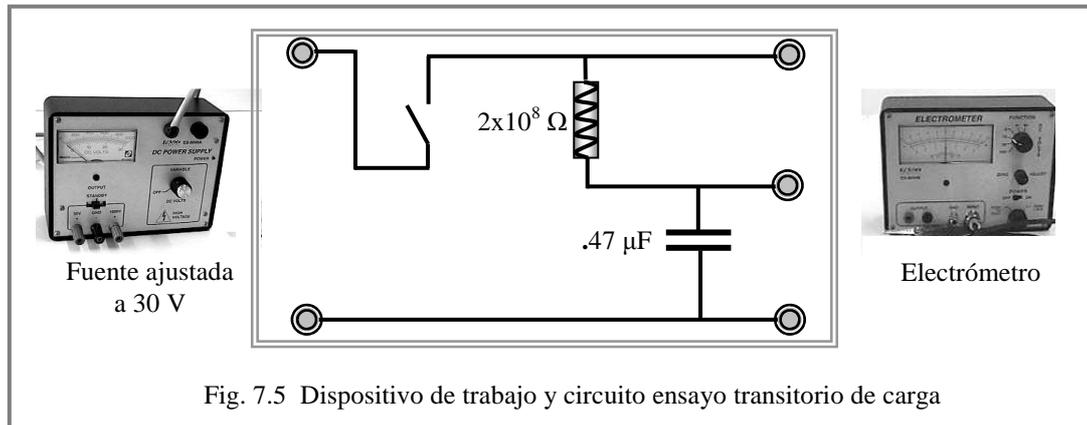
Procedimiento:

Seleccionar el circuito que muestra la Fig. 7.5. El circuito serie es formado con $R_1=2.0 \times 10^8 \Omega$ y $C_2=0.47 \mu\text{F}$.

Asegurar que el capacitor se encuentre descargado cortocircuitándolo transitoriamente.

Incorporar la fuente ajustada a **30 V**.

Conectar el electrómetro a los terminales del capacitor



Cerrar la llave de la fuente iniciando el proceso de carga y simultáneamente accionar el cronómetro comenzando a medir el tiempo t

Tomar los valores de t correspondientes a tensiones de **5 V; 10 V; 15 V y 20 V** en bornes del capacitor (que serán indicadas por el electrómetro).

Graficar la curva de carga $v=f(t)$. (al finalizar el proceso de carga la tensión en bornes del condensador será $V_f=30 \text{ V}$).

Repetir la operación conectando el electrómetro en bornes de la resistencia y tomar lecturas de t para valores de tensión de **25 V; 20 V; 15 V y 10 V**.

Graficar la curva $v=f(t)$. (al finalizar el proceso de carga la tensión en bornes del resistor será nula).

Cálculo de la constante de tiempo

Para cualquier punto de la curva de carga obtenida, por ejemplo, el punto 2, se cumple:

$$v_2 = V_f \left(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}} \right) \quad (7.4)$$

de donde despejamos:

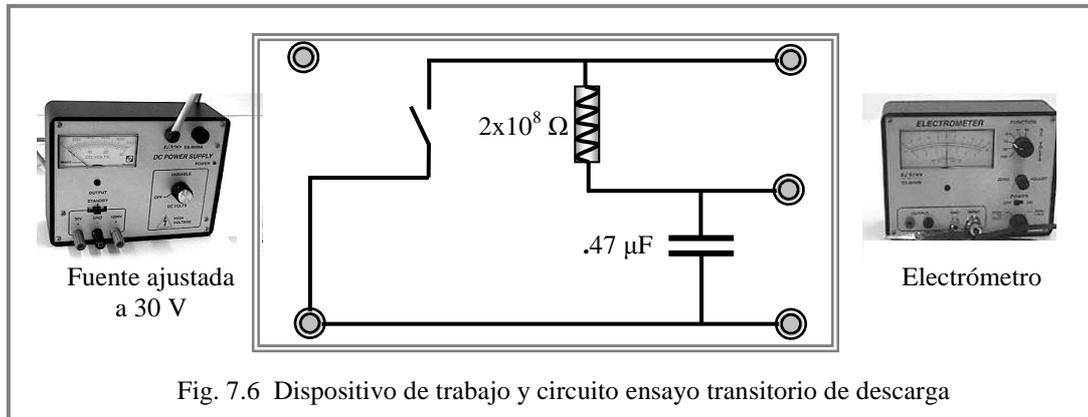
$$\tau = \frac{-t_2}{\ln \frac{V_f - v_2}{V_f}} \quad (7.5)$$

Verificar resultado con los valores de R y C del circuito ensayado ($\tau = RC$).

Observar que en el ensayo donde v es la tensión en bornes del resistor, indirectamente está analizando la corriente i del transitorio de carga del capacitor.

Repetir procesos de carga seleccionando distintos valores de R y C ; controlando cualitativamente su influencia en la duración del transitorio. No tomar lecturas; únicamente observar el desplazamiento de la aguja del electrómetro.

II. Transitorio de descarga



Procedimiento:

Adoptar iguales componentes del circuito **RC** como muestra la Fig. 7.6.

Cargar el capacitor a **30 V** haciendo breve contacto con los terminales conectados a los bornes de la fuente.

Conectar el electrómetro a los bornes del capacitor.

Cerrar la llave y simultáneamente operamos el cronómetro comenzando a medir el tiempo t .

Tomar lecturas de t correspondientes a tensiones de **20; 15; 10 y 5 V**.

Graficar la curva de descarga $v = f(t)$. (al finalizar el proceso de descarga la tensión en bornes del capacitor será nula).

Cálculo de la constante de tiempo

Para dos puntos cualesquiera de la curva, por ejemplo el **2** y el **4**, se cumple:

$$v_2 = V_i e^{-\frac{t_2}{\tau}} \quad \text{y} \quad v_4 = V_i e^{-\frac{t_4}{\tau}} \quad (7.6)$$

De donde resulta:

$$\frac{v_2}{v_4} = e^{-\frac{t_4 - t_2}{\tau}}$$

finalmente:

$$\tau = \frac{t_4 - t_2}{\ln \frac{v_2}{v_4}} \quad (7.7)$$

Teniendo en cuenta que ha ensayado el circuito con los mismos elementos: ¿Coincide el valor obtenido de τ con el valor determinado anteriormente con datos del proceso de carga?

Repetir procesos de descarga con distintos valores de R y C ; controlando cualitativamente su influencia en la duración del transitorio. No tomar lecturas; únicamente observar e interpretar el desplazamiento de la aguja del electrómetro.

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 (Φ_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.

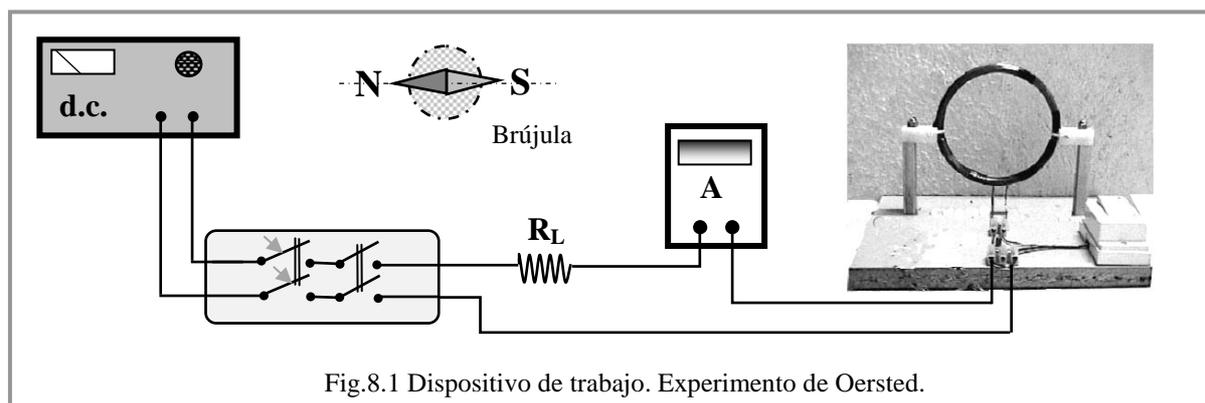
Procedimiento

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} .



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.

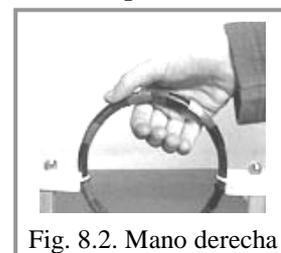


Fig. 8.2. Mano derecha

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

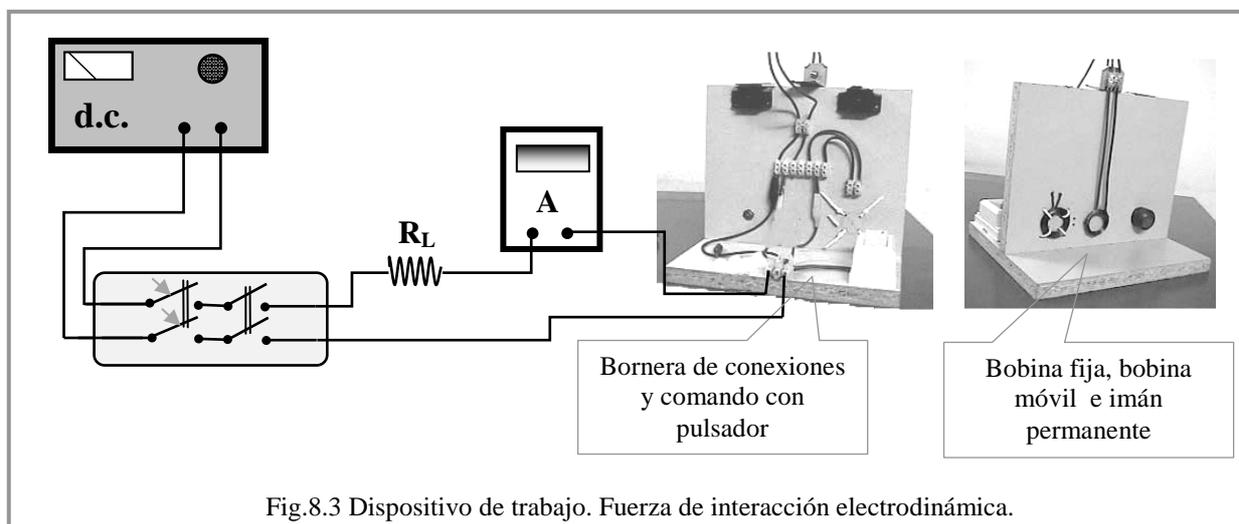
Mostrado en la figura 8.3; consta de:

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} :

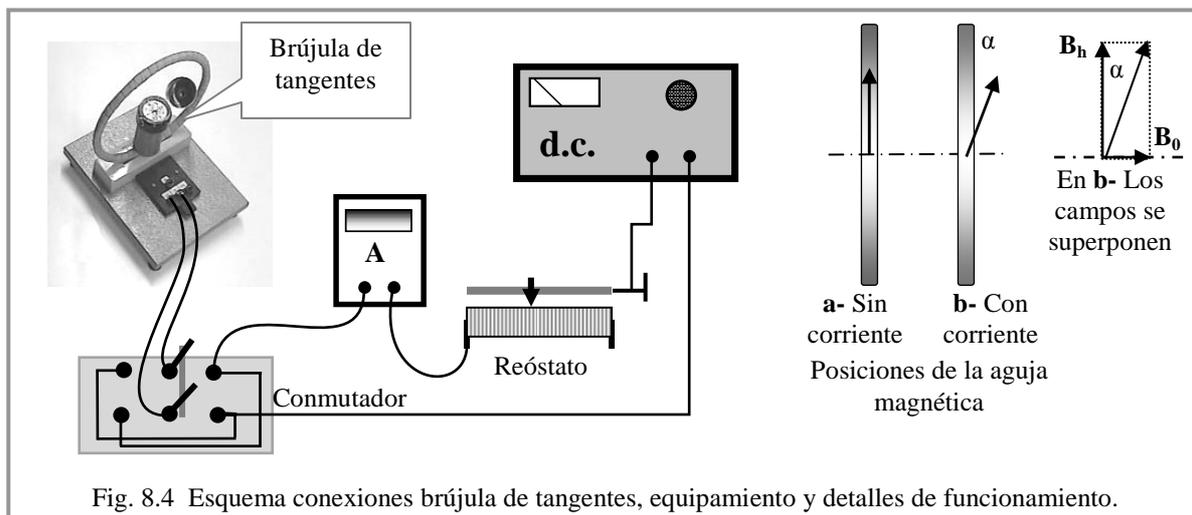
$$\vec{B} = \vec{B}_h + \vec{B}_0$$

Esto significa que la aguja magnética de la brújula se desvía un ángulo α 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.



Cerrar el circuito y, con el reóstato, regular la corriente hasta lograr que la aguja de la brújula se desvíe el ángulo α que conviene sea entre 30 y 50°.

Medir (tester digital en la función amperímetro) y registrar el valor de la intensidad de corriente I y el valor de α (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 α , invirtiendo el sentido de la corriente (operando el conmutador). Tomar para α 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 (Φ_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; ϵ**) 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 Φ_B de inducción. Puede ser: un imán permanente, un electroimán, conductores con corriente (generalmente bobinas), etc.

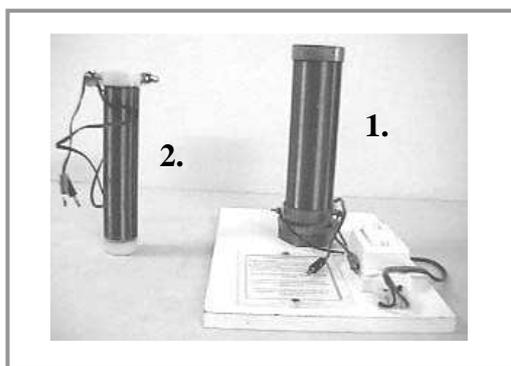
El circuito inducido: Es el circuito eléctrico donde se genera la fem inducida. El flujo de inducción es el referido a la superficie que define el circuito inducido. Debemos prestar especial atención a la vinculación magnética inductor-inducido.

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: $\pm 50 \mu\text{A}$.

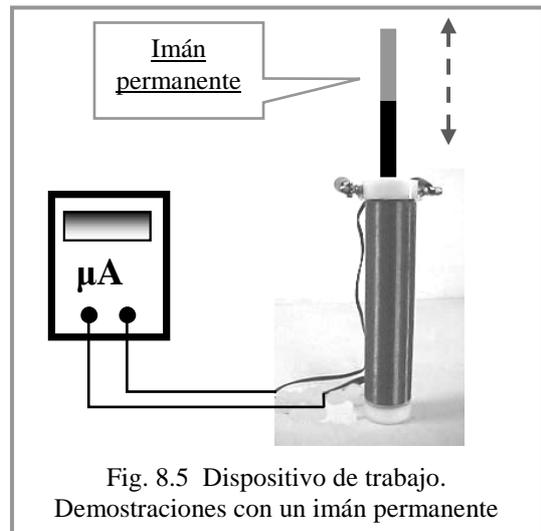
I- Demostraciones con un imán permanente

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.



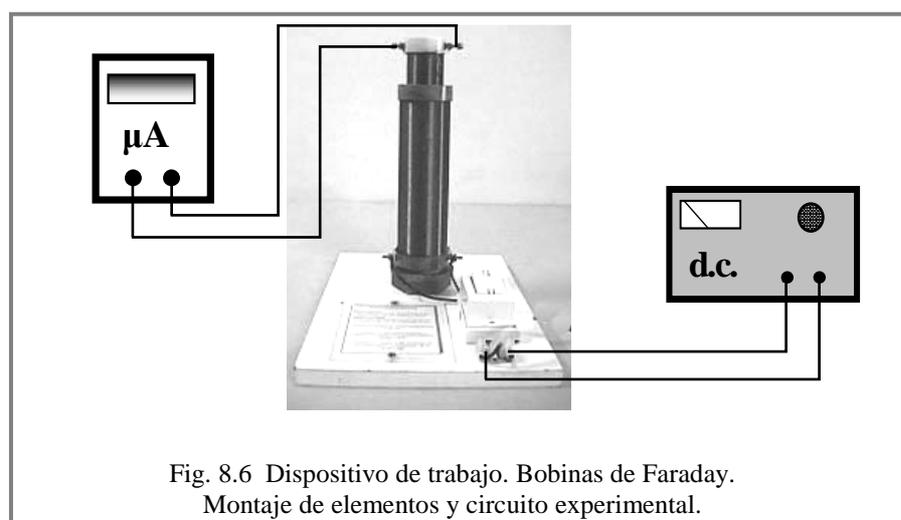
II- Bobinas de Faraday. Inducción mutua.

Introducción

Cuando el flujo de inducción (Φ_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 μA 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 μA 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

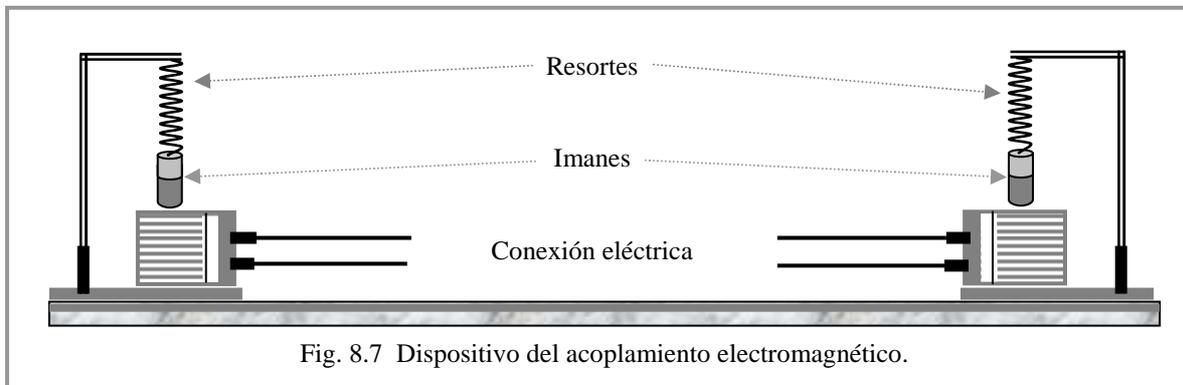
Operar un dispositivo de acoplamiento electromagnético de aparatos oscilantes y explicar su funcionamiento en términos de las leyes de inducción electromagnética.

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.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 9 MAGNETISMO – PARTE II

Experiencia 9.1

Inductor. Energía almacenada en un inductor.

Introducción

Una corriente variable i en cualquier circuito eléctrico induce una fem ε en el mismo circuito, denominada fem autoinducida, que obedece a las leyes de Faraday y Lenz, conforme a la siguiente expresión:

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt} \quad (9.1)$$

La constante de proporcionalidad L se conoce como inductancia o autoinductancia del circuito; su valor depende de la geometría del circuito y de las características magnéticas del material que rodea a los conductores; está distribuida en todo el circuito.

El elemento diseñado para obtener un conveniente y concentrado valor de **inductancia L** , se denomina **inductor**. Generalmente se construye formando una bobina solenoidal, de alambre de cobre y núcleo cerrado de material ferromagnético. Como el conductor usado para construir la bobina tiene **resistencia óhmica R** al elemento resultante se lo indica:



Una corriente estacionaria I en un circuito que contiene un inductor de inductancia L , almacena energía U asociada al campo magnético del inductor cuyo valor es:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (9.2)$$

En el análisis y evaluación de inductores siempre se tiene un circuito **RL** y, para establecer la corriente I , es necesaria una fuente de corriente continua. El crecimiento y la disminución de corriente, al cerrar y abrir el circuito, son exponenciales con un tiempo característico τ (constante de tiempo):

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (9.3)$$

El análisis teórico del funcionamiento de los transitorios de cierre y apertura de un circuito **RL** es análogo a los transitorios de circuitos **RC** (T.P.Nº 7). Obsérvese que al interrumpirse la corriente I , el inductor del elemento se comporta como fuente “descargando” la energía U que acumuló.

Objetivo

Considerar detalles constructivos de un inductor y corroborar su propiedad de almacenar energía.

Equipamiento

Inductor: El inductor que disponemos se utiliza como reactancia o “balasto” para funcionamiento de lámparas de vapor de mercurio. Está construido con una bobina de alambre de cobre y núcleo de hierro laminado cerrado. Proporciona una inductancia L del orden de **200 mH**; la resistencia R de la bobina es del orden de **2,5 Ω** .

Fuente de corriente continua.

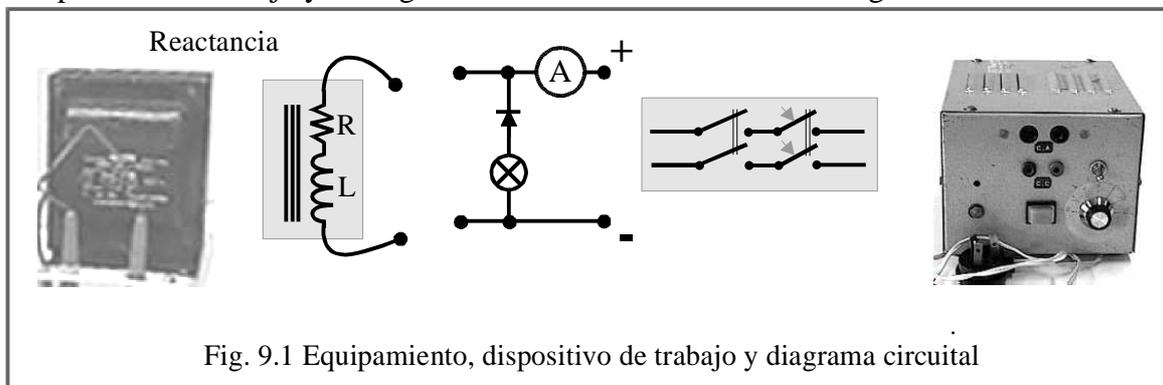
Una lámpara 24 V, 4 W.

Un diodo semiconductor.

Tester digital.

Módulo con interruptores y accesorios para conexión, comando y protección del circuito.

El dispositivo de trabajo y el diagrama circuital es mostrado en la Fig.9.1.



Procedimiento

Reconocer el equipamiento y dispositivo de trabajo. Con el tester en la función óhmetro determinar la resistencia del inductor y controlar la continuidad eléctrica de la rama que conecta la lámpara en serie con el diodo. Observar que la continuidad eléctrica de esta rama se interrumpe, conforme a la propiedad característica **de conducción unidireccional de los diodos** y que esto permite asegurar que la lámpara no encenderá con energía proveniente de la fuente.

Activar la fuente y regular su tensión aproximadamente a **9 V**. Incorporar al circuito el tester como amperímetro función seleccionada en un alcance superior a 4 A. Conectar el circuito a la fuente por intermedio del módulo de comando. Controlar que la polaridad sea la indicada en el esquema.

Con el inductor desconectado: cerrar el interruptor del módulo de comando, mantenerlo cerrado brevemente y abrirlo. Observar: la lámpara no enciende y el amperímetro indica que la corriente es nula.

Conectar el inductor.

Con el inductor conectado: repetir cierre del interruptor, mantenerlo cerrado brevemente y abrirlo. Tomar lectura del amperímetro al mantener cerrado el interruptor. Observar lo señalado por la lámpara; en particular, en el instante de apertura del interruptor.

Explicar lo observado, en el ensayo del circuito con el inductor conectado, en términos de las leyes de Faraday y Lenz y del concepto “energía almacenada en un inductor”. ¿Cuál es el valor de la corriente estacionaria establecida en el inductor? ¿Qué valor tiene, aproximadamente, la energía almacenada en el elemento? Explique las dificultades que presenta el sistema operado para realizar determinaciones cuantitativas, de los transitorios de carga y descarga de la energía, similares a las efectuadas al operar circuitos **RC** (T.P. N° 7). Graficar cualitativamente (puesto que no se realizan mediciones) la corriente **i** en el inductor en función del tiempo $i = f(t)$ del circuito **RL** operado.

¿Cuál sería el comportamiento de la red en el proceso de apertura del interruptor:

si no estuviera presente la rama que contiene la lámpara y el diodo?

si en el lugar de dicha rama se colocara otra con un capacitor?

Dibuje el diagrama circuital con interruptor abierto

Experiencia 9.2

Electroimanes; magnetización. Inducción mutua. Fuerza por inducción. Corrientes parásitas o de remolinos.

Introducción

Un electroimán se construye colocando una bobina de alambre conductor en un núcleo de hierro de forma adecuada. El campo magnético de la bobina núcleo de aire con corriente es relativamente débil, pero con núcleo de hierro (material ferromagnético en general), se obtiene un campo mucho más intenso debido a la **magnetización** del material.

En efecto, el campo (\vec{B}_0) originado por la corriente en el arrollamiento, actúa sobre los momentos magnéticos atómicos del material ferromagnético; más precisamente sobre los denominados “dominios magnéticos”, produciendo la magnetización (\vec{M}) del material; esto es, del núcleo.

Cuando el núcleo es **cerrado**, rodeando por completo al arrollamiento con corriente, el campo magnético total \vec{B} resulta:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} \quad (9.4)$$

Es evidente que el coeficiente de inducción mutua será mayor cuanto mayor sea el flujo que vincula el arrollamiento primario con el arrollamiento secundario; es decir, cuanto mejor sea el acoplamiento de los circuitos. Por consiguiente las bobinas (primaria y secundaria) deben ubicarse entre sí, adecuadamente.

La fuerza magnética sobre un segmento infinitesimal $d\vec{l}$ de conductor por el que circula una corriente i se expresa:

$$d\vec{F} = i d\vec{l} \times \vec{B} \quad (9.5)$$

Si la corriente i es una corriente inducida, es decir debida a un fenómeno de inducción y por consiguiente establecida en un circuito que podemos denominar secundario, a la fuerza $d\vec{F}$ se la denomina fuerza por inducción.

Las corrientes inducidas que hemos considerado en las Exp. anteriores, se han establecido en conductores o circuitos eléctricos bien definidos. Cuando campos magnéticos variables se establecen en piezas de material conductor, se inducen “corrientes parásitas” o “corrientes de remolino” que circulan y cierran dentro del volumen de tales piezas.

Objetivo

Considerar detalles constructivos y de funcionamiento de electroimanes. Comprobar cualitativamente efectos de inducción mutua, de corrientes parásitas y de fuerzas de interacción campo magnético - corrientes de remolino.

Equipamiento

En la Fig. 9.2 se puede observar detalles del equipamiento a utilizar.

Un electroimán recto construido con un solenoide (1.) de varias capas y como núcleo una barra cilíndrica de hierro dulce.

Un solenoide (2.) con núcleo de aire y terminales conectados a una pequeña lámpara de filamento.

Una barra cilíndrica (3.) de igual diámetro y material del núcleo del electroimán.

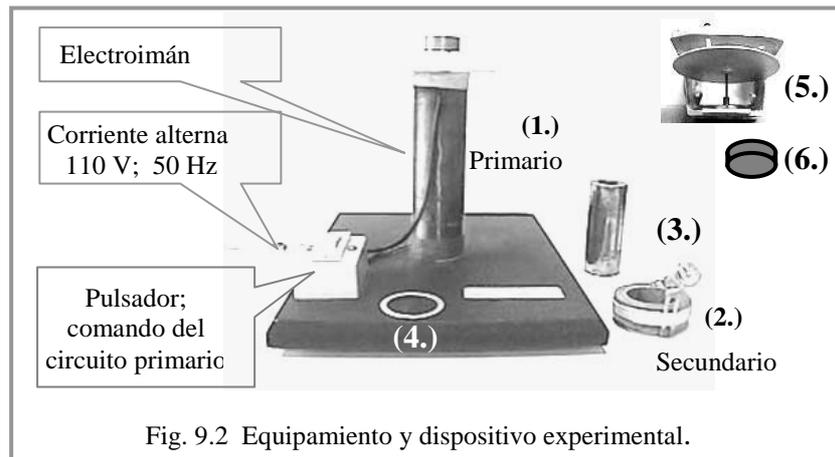
Un anillo de aluminio (4.). Debidamente ubicado en el sistema, actuará como secundario (espira en cortocircuito).

Fuente de corriente alterna 110 V y accesorios para conexión. Comando con pulsador.

- Para efectos de interacción “campo magnético – corrientes de remolino”:

Un disco de aluminio (5.) con eje y montado en una estructura que posibilita su rotación (Nota: este accesorio lo hemos obtenido de un medidor de energía; obsérvese que está construido con metales y aleaciones de materiales no ferromagnéticos).

Un imán permanente de sección circular (6.), de alta magnetización (imán de neodimio).



Procedimiento

Conectar el solenoide (1.) a la fuente de corriente alterna accionando el pulsador.

Apreciar que el campo obtenido es variable y de mayor valor al que se lograría con el solenoide núcleo de aire. En estos primeros ensayos utilizará al electroimán como sistema inductor primario.

Desplazar el solenoide (2.) por los alrededores del electroimán a efectos de que actúe como secundario.

Observar que el encendido de la lámpara tiene correspondencia con el respectivo acoplamiento magnético.

Controlar la distancia entre arrollamientos y su posición relativa.

¿En cual posición se logra el mejor encendido de la lámpara?

Colocar la barra (3.) prolongando el núcleo del primario; incorporar nuevamente el solenoide (2.) ¿Observa mejoras en el encendido de la lámpara? ¿Cómo las explica?

Sustituir el solenoide (2.) por el anillo (4.)

¿Por qué salta el anillo? ¿Cómo encararía el análisis teórico de este efecto?

Tocar el núcleo del electroimán.

¿Por qué ha aumentado la temperatura del núcleo?

¿Cómo se puede disminuir este calentamiento sin alterar el comportamiento magnético del material?

Demostración efectos de interacción “campo magnético – corrientes de remolino”

Efecto frenado: Impulsar con la mano al disco (5.) de manera que gire; en estas condiciones ubicar el imán permanente (6.) de manera que su flujo de inducción actúe sobre el disco.

Efecto motor: Mover el imán desplazándolo paralelamente a la superficie del disco en reposo. Explicar estos efectos: mencionar aplicaciones prácticas.

Experiencia 9.3

Transformadores.

I. Bobinas magnéticamente acopladas.

Introducción

En el caso particular de dos bobinas que se hallen próximas, si la corriente variable en una de las bobinas induce una **fem** en la otra bobina, tenemos inducción mutua y aseveramos que ambas bobinas están magnéticamente acopladas. Este acoplamiento es ponderado por el coeficiente de inducción mutua **M**.

Las bobinas magnéticamente acopladas más comunes se encuentran en los **transformadores**; estos son dispositivos que permiten transformar el voltaje suministrado por un circuito para alimentar a otro. A una de las bobinas se la denomina **primaria**, mientras que a la otra se la denomina **secundaria**, la diferencia entre las bobinas es el número de vueltas y la función que cumplen: la bobina primaria es aquella a la que llega la corriente a ser transformada, mientras que la bobina secundaria es aquella de la cual sale la corriente ya transformada. Si la tensión eléctrica en la primaria es menor que en la secundaria tendremos un **transformador elevador de voltaje**; caso contrario un **transformador reductor de voltaje**. La relación que existe entre los voltajes y los números de vueltas de las bobinas es la siguiente:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (9.6)$$

Indicando el subíndice **p** y **s** si se trata (del voltaje o número de vueltas) del primario o del secundario respectivamente. Esta relación es exacta cuando el campo magnético queda totalmente confinado en el núcleo ferromagnético del transformador de manera que el primario y el secundario concatenan el mismo flujo por espira. Esta es una situación ideal, llamada de acoplamiento perfecto. En la práctica hay líneas de campo que se cierran por el aire, dando lugar a lo que se denomina “flujo disperso”. En este caso la relación anterior pasa a ser aproximada.

Objetivo

Estudiar condiciones de acoplamiento en bobinas de transformadores.

Equipamiento

Dos bobinas iguales, de 400 vueltas (primaria y secundaria).

Núcleos de hierro laminado en forma de “**I**”, de “**U**” y de “**□**”.

Fuente de corriente alterna. La usará en la salida de **6 V**.

Tester. (Se usará como voltímetro en **AC**).

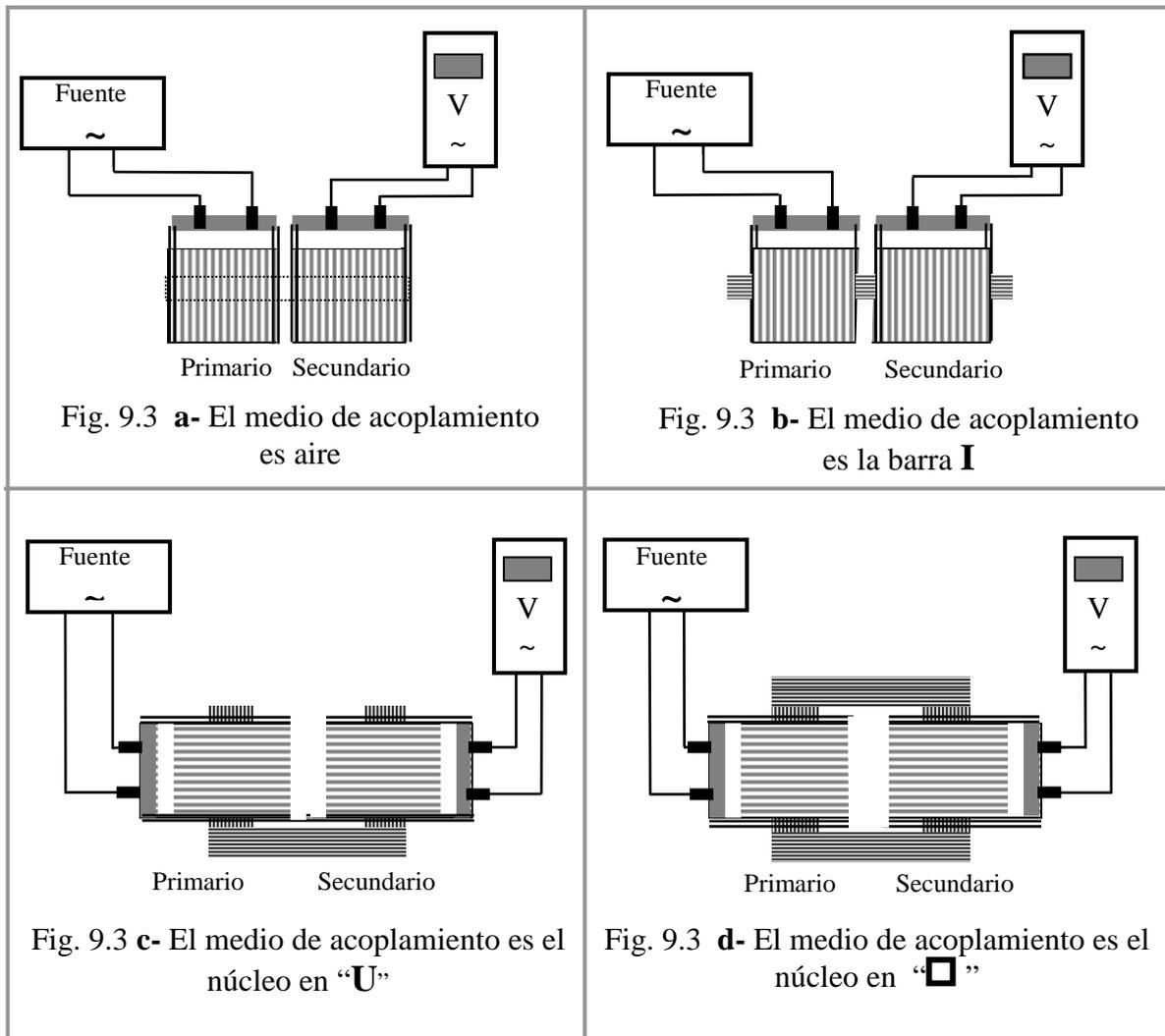
Conductores de conexión con terminales.

Procedimiento:

Armar cuatro (**a.**; **b.**; **c.**; y **d.**) dispositivos con las dos bobinas; cada dispositivo se diferenciará de los otros por el medio de acoplamiento que vincule la bobina primaria con la secundaria. Los dispositivos y circuitos eléctricos a ensayar los muestra la Fig. 9.3.

En cada caso medir la tensión en el secundario, manteniendo el primario conectado a la fuente en **6 V**, lo que dará idea de la efectividad del acoplamiento.

De los cuatro dispositivos ensayados: ¿Cuál se aproxima más al comportamiento de un transformador ideal? Fundamente su respuesta.



II. Relación de transformación.

Objetivo

Construir transformadores montando bobinas con diferente número de vueltas y verificar las correspondientes relaciones de transformación.

Juego completo de bobinas (cantidad y número de vueltas indicadas en la Fig. 9.4)
Núcleos de hierro laminado en forma de “□”.
Fuente de corriente alterna.
Tester digital (se usará como voltímetro en AC)
Conductores de conexión con terminales.

Procedimiento

Armar el dispositivo **d-** de la experiencia anterior utilizando como primario una bobina de **400** vueltas (N_p) y, para los ensayos sucesivos, utilizar las restantes como secundario tomando nota de su número de vueltas (N_s).

Conectar la bobina primaria a la fuente regulada a **6 V** (V_p), y medir las tensiones (V_s) que aparecen en las bobinas secundarias de los transformadores así formados.

Confeccionar cuadro de valores y comparar los valores obtenidos con los que corresponden a la relación ideal:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (9.7)$$

III. Relación de transformación. Acoplamiento en circuito magnético de dos mallas.

Objetivo

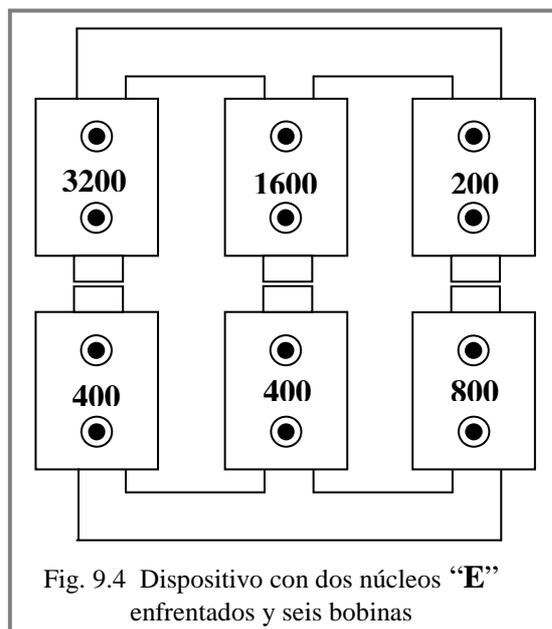
Verificar relaciones de transformación en bobinas de un transformador cuyo circuito magnético es de dos mallas.

Equipamiento

Juego de seis bobinas (número de vueltas indicada en la Fig. 9.4).
Dos núcleos de hierro laminado en forma de “E”
Fuente de corriente alterna. Accesorios para conexiones.
Tester. (Se usará como voltímetro en **AC**).

Procedimiento:

Enfrentando los dos núcleos “E”, armar un circuito magnético de dos mallas y montar el juego de bobinas de acuerdo a lo indicado en la Fig. 9.4.



Usar como primario la bobina de **400** vueltas ubicada en la rama central. El campo magnético generado en la rama central, encuentra, para cerrarse, dos caminos iguales por las ramas laterales. Debe esperar, entonces, una bifurcación simétrica del flujo magnético generado por el primario.

Aplicar **6 V** de tensión a la bobina primaria y medir las tensiones que aparecen en los bobinados secundarios. Comparar los valores medidos con los obtenidos de las relaciones ideales. Confeccionar cuadro de valores.

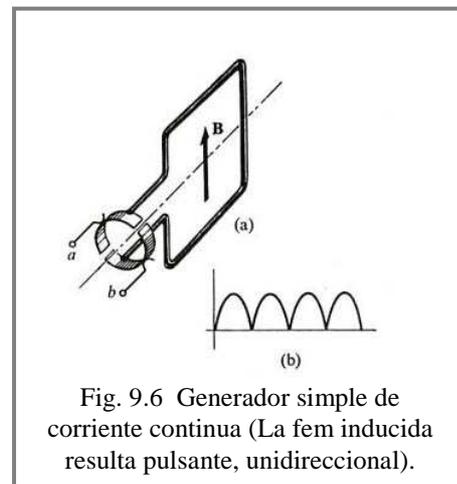
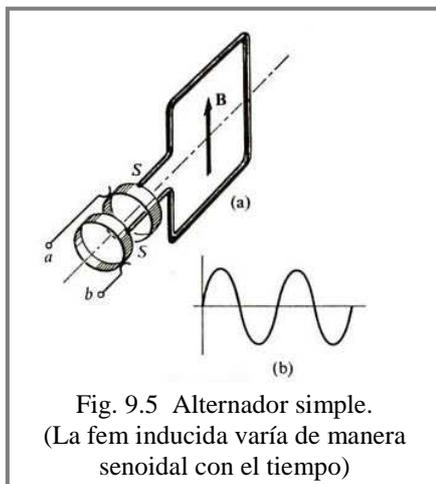
Experiencia 9.4 Generadores dinamoeléctricos.

Introducción

Las figuras representan versiones de generadores dinamoeléctricos simples: una espira rectangular está montada de manera que, accionada por un motor, puede girar con velocidad angular ω constante alrededor del eje, en una región donde existe un campo magnético **uniforme** \vec{B} .

Si los terminales de la espira se conectan con el circuito externo mediante anillos colectores **S** se tiene un generador de corriente alterna o alternador (Fig. 9.5).

Si los terminales de la espira se conectan a un anillo colector partido, se tiene un generador de corriente continua (unidireccional), por cuanto las mitades de anillo funcionan como conmutador (Fig. 9.6)



Objetivo

Considerar el principio de funcionamiento de generadores dinamoeléctricos y efectuar ensayos demostrativos.

Nota: Los generadores han sido preparados en este Laboratorio de FÍSICA II recuperando pequeños motores de corriente continua, rebobinándolos y preparándolos para las correspondientes demostraciones.

Equipamiento

Alternador simple: una bobina de espiras rectangulares, colocada en ranuras de un núcleo cilíndrico de material ferromagnético, puede girar en el campo magnético proporcionado por

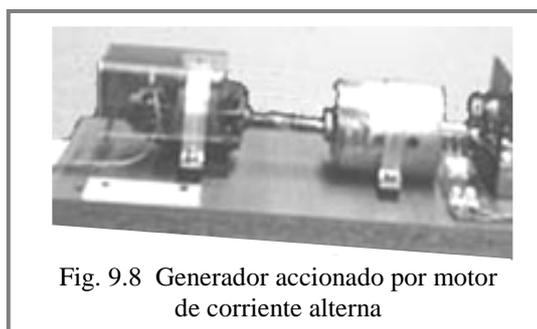
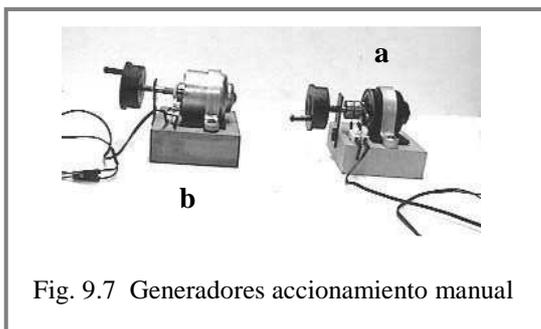
dos imanes permanentes. El accionamiento es manual. Las conexiones de los extremos de la bobina con el circuito externo se hacen mediante anillos colectores y *escobillas* (Fig 9.7 a)

Generador simple de corriente continua: generador igual al anterior; modificado en cuanto las conexiones de los extremos de la bobina se realizan a un anillo partido (conmutador mecánico) y *escobillas*. (Fig. 9.7 b)

Generador simple similar a los anteriores, equipado con dos anillos y un anillo partido, colectores con *escobillas*, que permiten que funcione como alternador simple y como generador de corriente continua simple, respectivamente. Este equipo es accionado por un motor monofásico de corriente alterna fabricación normal (Fig. 9.8).

Microamperímetro del tipo con cero al centro de la escala.

Osciloscopio. Contamos con el instrumento mostrado en la Fig. 9.9.



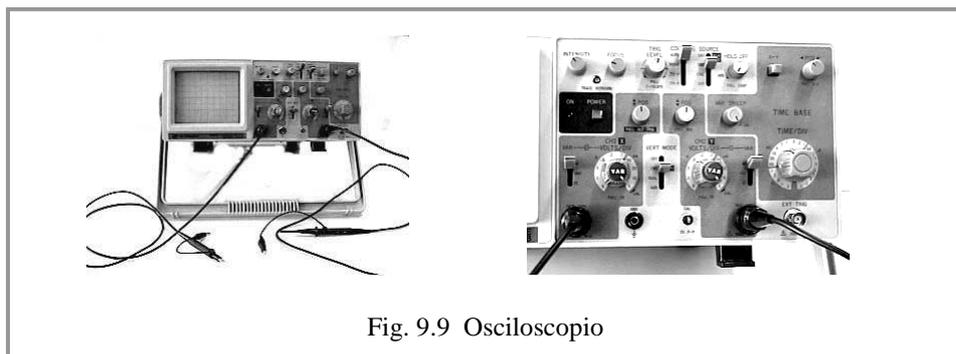
Comentario

El osciloscopio de rayos catódicos

La propiedad más importante de este instrumento y sobre la cual están basadas la mayoría de sus aplicaciones prácticas, es la de poder representar de una manera clara y precisa la variación de los valores de una magnitud durante un período de tiempo.

El ejemplo más sencillo es mostrar una tensión que varía sinusoidalmente con el tiempo. Para esto se conectan las placas **Y** a la tensión a estudiar de manera que el punto luminoso se mueva verticalmente de acuerdo con los valores instantáneos de esta tensión. Al mismo tiempo se aplica a las placas **X** una tensión que aumenta uniformemente con el tiempo durante cada período de modo que el punto luminoso se mueva también hacia la derecha. A esta tensión, caracterizada fundamentalmente por su frecuencia, se la denomina “base de tiempo”. Al estar aplicada la tensión “base de tiempo” la deflexión vertical causada por la tensión conectada a las placas **Y** no produce una línea vertical sino que se desplaza progresivamente de lado a lado hacia la derecha. En definitiva el punto luminoso se mueve en la pantalla señalando las variaciones de la tensión en estudio en función del tiempo.

En esta Experiencia trataremos de visualizar y estudiar las señales de la fem inducida en el generador del grupo moto-generador, en corriente alterna (que esperamos será senoidal) y en corriente continua (que esperamos será pulsante unidireccional).



Para esta aplicación del osciloscopio, controlaremos básicamente:

Frecuencia de la “base de tiempos”: si la frecuencia está ajustada a la de la señal de la fem inducida, aparecerá un ciclo en la pantalla; si la frecuencia es la mitad de la de la señal, aparecerán dos ciclos, etc.

Amplitud de la imagen en la pantalla: se ajustará regulando las tensiones obtenidas del generador.

Procedimiento

Examinar los generadores e identificar en cada uno de ellos los elementos que los conforman de acuerdo a lo descripto en equipamiento.

I.) Ensayos de los generadores de accionamiento manual.

Conectar el microamperímetro al generador de corriente continua y observar la señalización que se obtiene al operarlo con diferentes velocidades, inclusive cambiando el sentido de giro. Informar justificando observaciones.

Proceder en igual forma operando el generador de corriente alterna e informar.

II.) Ensayos del generador accionado por el motor de ca, utilizando el osciloscopio.

Poner en funcionamiento el equipo y analizar las señales, de la fem generada, utilizando el osciloscopio.

¿A qué se deben los apartamientos, a una señal alterna sinusoidal (Fig. 9.5 **b**), de la fem generada tomada de los anillos e indicada en la pantalla del osciloscopio?

Medir la amplitud de la fem alterna generada y suponiendo que es sinusoidal calcular el valor eficaz; comparar el resultado con el valor medido con un voltímetro.

Determinar la frecuencia de la fem generada y calcular la velocidad del grupo moto-generador en revoluciones por minuto.

¿Se cumple lo indicado en la Fig. 9.6 **b** en la indicación del osciloscopio cuando se conectan los bornes (escobillas) del colector anillo partido?

TRABAJO PRÁCTICO Nº 10 CORRIENTE ALTERNA

Introducción

Ensayaremos circuitos armados con resistores (R), inductores (L) y capacitores (C), conectados a fuentes de corriente alterna (CA) senoidal de frecuencia angular ω y frecuencia temporal f .

En estos circuitos los voltajes y las corrientes varían senoidalmente con el tiempo y, en general, en los elementos individuales existe una diferencia de fase entre voltaje y corriente.

La primer parte de este trabajo contempla estudiar detenidamente el funcionamiento de circuitos de CA. La segunda parte prevé estudiar un circuito serie RLC, en CA variando la frecuencia, utilizando voltímetros y amperímetro.

La frecuencia de la CA del servicio público de electricidad es $f = 50 \text{ Hz}$.

Las amplitudes de los voltajes y de las corrientes que varían senoidalmente en los circuitos de CA pueden describirse en términos de promedios rectificadas, **valores cuadráticos medios (rms) o valor eficaz**; estos valores son los que se miden con voltímetros y amperímetros de uso común.

Los cocientes entre valores medidos con voltímetros y amperímetros determinan resistencia, reactancia inductiva, reactancia capacitiva e impedancia. Asimismo debe tenerse en cuenta las diferencias de fase entre las dos magnitudes.

Los valores medidos con voltímetro y amperímetro los indicaremos directamente **V** e **I** respectivamente; es decir, prescindiremos del subíndice rms aclaratorio de valor cuadrático medio que figura en algunos textos.

Experiencia 10.1

Ensayo de circuitos serie R-L, R-C y R-L-C con fuente de 50 Hz, voltímetro y amperímetro.

Equipamiento

Fuente de corriente alterna de baja tensión (aproximadamente 12 V).

Multímetros.

Resistor **R**.

Capacitor **C**.

Inductor **L**. Utilizar el balasto para lámparas de vapor de mercurio ya conocido; aceptarlo como un inductor puro (sin resistencia óhmica) es una práctica razonable para este ensayo por cuanto se trata de un elemento de bajas pérdidas (se desprecian la resistencia óhmica del bobinado y las pérdidas imputables al comportamiento magnético del núcleo).

Ensayo 1: Circuito R-L

Procedimiento:

Medir con el óhmetro la resistencia R.

Armar el circuito que muestra el esquema:

Colocar la fuente de alimentación en alrededor de 10V (salida de corriente alterna, 50 Hz.)

Medir la caída de tensión en la resistencia.

Medir la caída de tensión en el inductor.

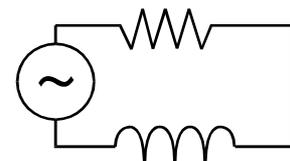


Fig. 10.1
Esquema del RL
50Hz

Medir la tensión de la fuente.

Medir la intensidad de corriente.

Calcular la impedancia del circuito, Z , dividiendo la tensión del generador por I .

Calcular la reactancia inductiva: $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ (10.1)

Calcular la inductancia: $L = \frac{X_L}{2\pi f}$ (10.2)

Calcular el ángulo de fase: $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$ (10.3)

Realizar el diagrama fasorial de corrientes y tensiones tomando I como referencia a 0° (observar que se verifica la ley de tensiones de Kirchhoff).

Ensayo 2: Circuito R-C

Procedimiento:

Proceder igual que en el ensayo anterior.

Amar el circuito que muestra el esquema:

Colocar la fuente de alimentación en alrededor de 10V (salida de corriente alterna, 50 Hz.)

Medir la caída de tensión en la resistencia.

Medir la caída de tensión en el capacitor.

Medir la tensión de la fuente.

Medir la intensidad de corriente.

Calcular la impedancia del circuito, Z , dividiendo la tensión del generador por I .

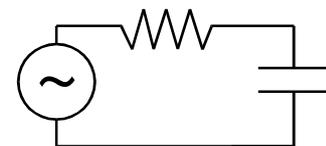


Fig. 10.2
Esquema del RC
50Hz

Calcular la reactancia capacitiva: $X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$ (10.4)

Calcular la capacidad: $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$ (10.5)

Calcular el ángulo de fase: $\varphi = \arctg -\frac{X_C}{R}$ (10.6)

Realizar el diagrama fasorial de corrientes y tensiones tomando I como referencia a 0° (observar que se verifica la ley de tensiones de Kirchhoff).

Ensayo 3: Circuito serie R-L-C:

Armar el circuito que muestra el esquema:

Colocar la fuente de alimentación en aproximadamente 10V (salida de corriente alterna, 50 Hz.).

Medir la caída de tensión en la resistencia.

Medir la caída de tensión en el inductor.

Medir la caída de tensión en el capacitor.

Medir la tensión de la fuente.

Medir la intensidad de corriente.

Calcular la impedancia z del circuito dividiendo la tensión del generador por I .

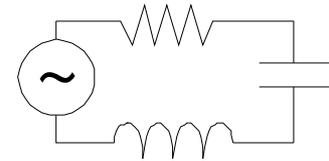


Fig. 10.3
Esquema del RLC
50Hz

Calcular el ángulo de fase:
$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} \quad (10.7)$$

Tomar el valor de la resistencia medida y los valores de X_L y X_C calculados en los ensayos 1 y 2, dado que estos no cambian ya que la frecuencia, 50Hz, es la misma.

La potencia media que demanda el circuito en general, se calcula aplicando:

$$P = V I \cos (\varphi) \quad (10.8)$$

En esta expresión al $\cos (\varphi)$ se lo denomina *factor de potencia*.

Experiencia 10.2

Ensayos con generador sinusoidal de frecuencia variable, elementos de circuito (R, L y C), voltímetros analógicos y amperímetro.

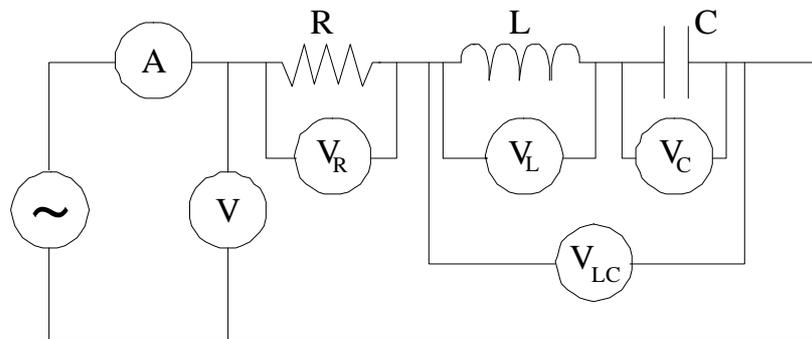


Fig: 10.4 Esquema del circuito eléctrico para ensayo de resonancia

Equipamiento

Generador de señal con modo sinusoidal de frecuencia variable 0 a 200Hz.

Elementos de circuito: resistor, inductor y capacitor usados en la experiencia anterior.

Voltímetros analógicos.

Tester digital. Lo usaremos como amperímetro.

Estudio de la resonancia

La condición de resonancia se produce cuando la frecuencia es tal que se igualan las reactancias inductiva y capacitiva. La impedancia del circuito toma su valor mínimo haciéndose igual a la resistencia **R**. Consecuentemente la corriente toma su valor máximo y está en fase con la tensión del generador ($\phi = 0^\circ$)

Cálculo de la frecuencia de resonancia a partir de los valores de L y C obtenidos en la experiencia 10.1.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (10.9)$$

Medición de la frecuencia de resonancia

Procedimiento

Armar el circuito de la figura 10.4.

Colocar la fuente de frecuencia variable en máxima amplitud, en función sinusoidal y en el rango de 100Hz.

Seleccionar el alcance de los voltímetros analógicos en 2,5 V de CA.

Llevar la fuente a la frecuencia de resonancia y medir las caídas de tensión en los elementos (R, L, C y L+C) y la tensión de la fuente.

Repetir para frecuencias por encima (120Hz) y por debajo (30Hz) de la frecuencia de resonancia.

Observar y anotar conclusiones.