

## 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  $\varepsilon$  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  $\tau$  (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  $\Omega$** .

**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.

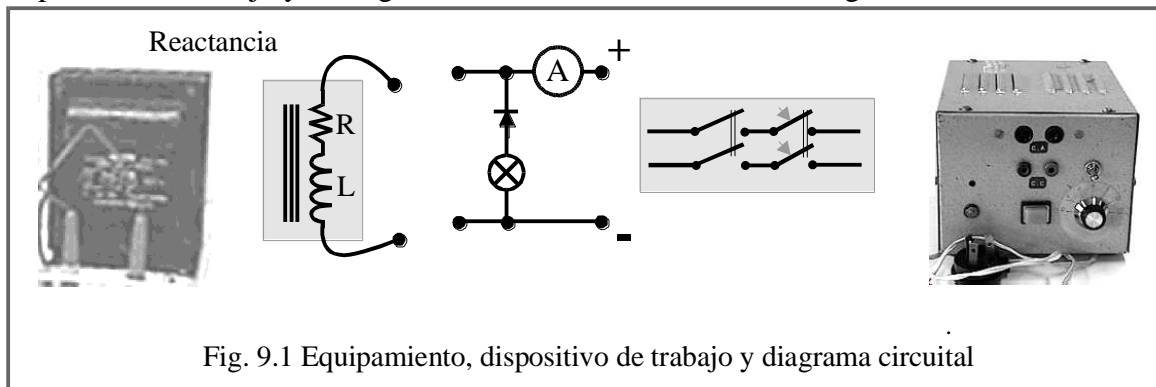


Fig. 9.1 Equipamiento, dispositivo de trabajo y diagrama circuital

### 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).

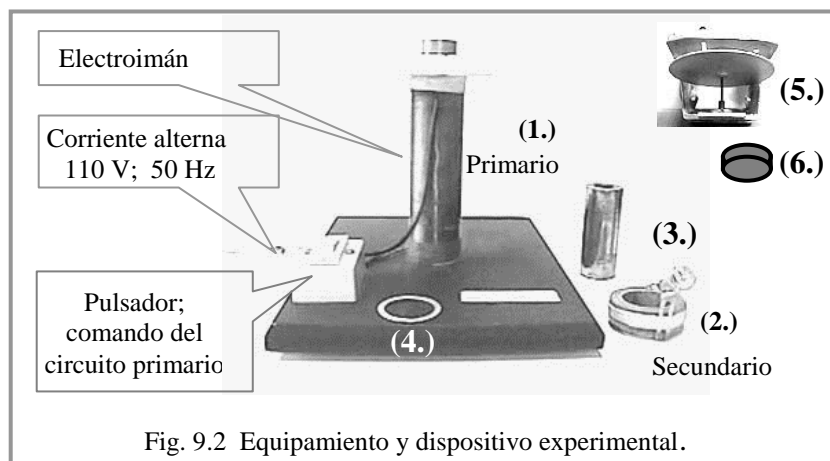


Fig. 9.2 Equipamiento y dispositivo experimental.

#### 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**).

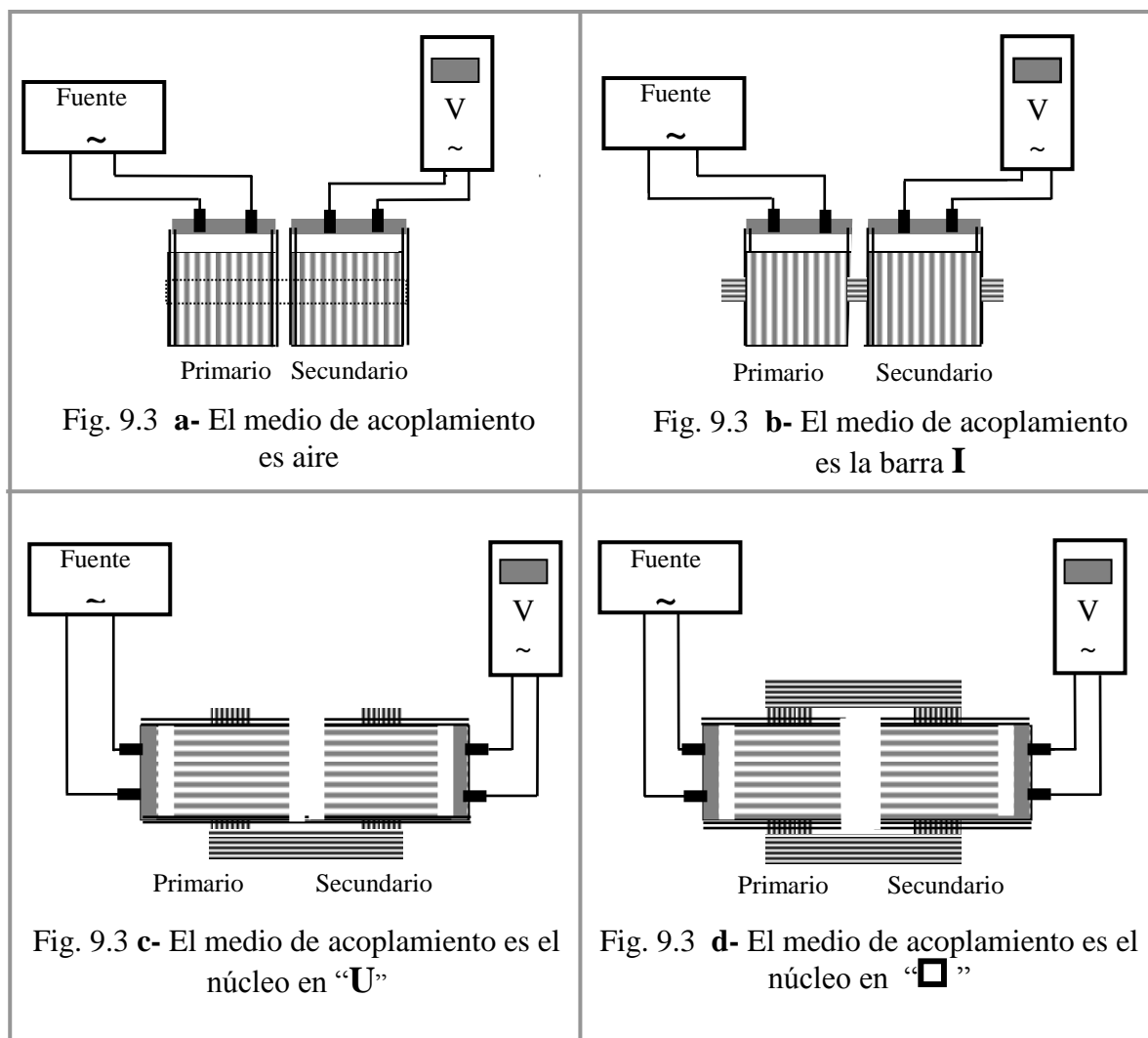
Conductores de conexión con terminales.

##### 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.

### Equipamiento

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).

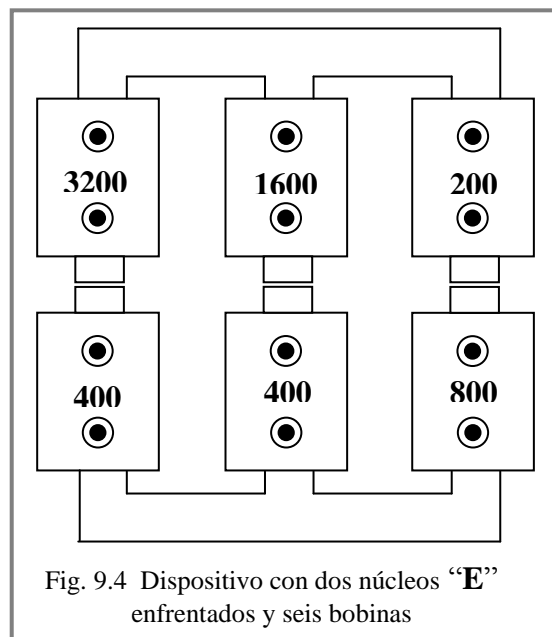
Dos núcleos de hierro laminado en forma de “E”

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.

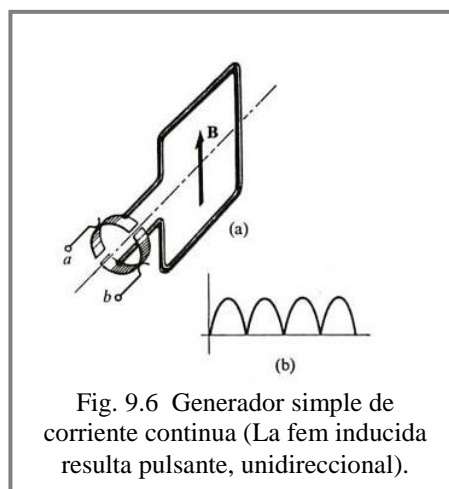
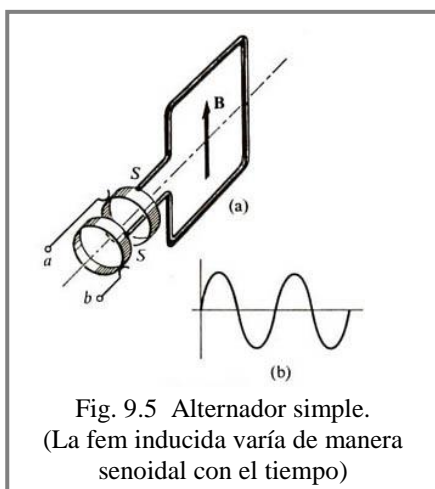
## Experiencia 9.4 Generadores dinamoeléctricos.

### 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  $\omega$  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.



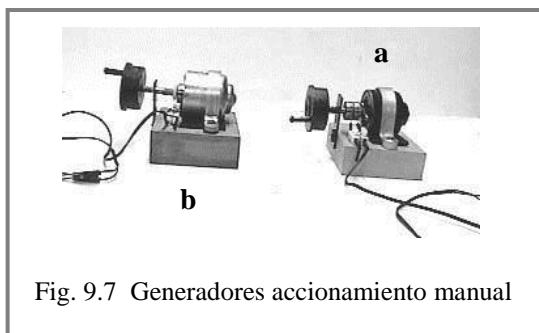


Fig. 9.7 Generadores accionamiento manual

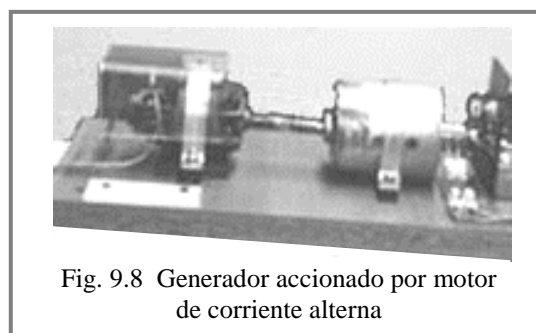


Fig. 9.8 Generador accionado por motor de corriente alterna

#### 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-generator, en corriente alterna (que esperamos será senoidal) y en corriente continua (que esperamos será pulsante unidireccional).

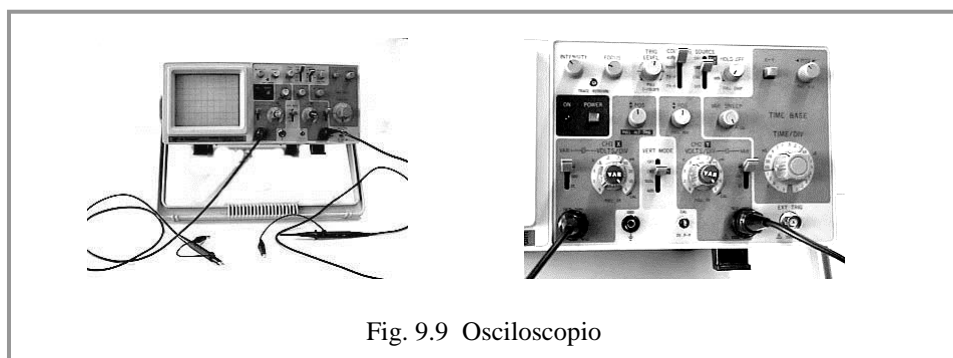


Fig. 9.9 Osciloscopio

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?