

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} .

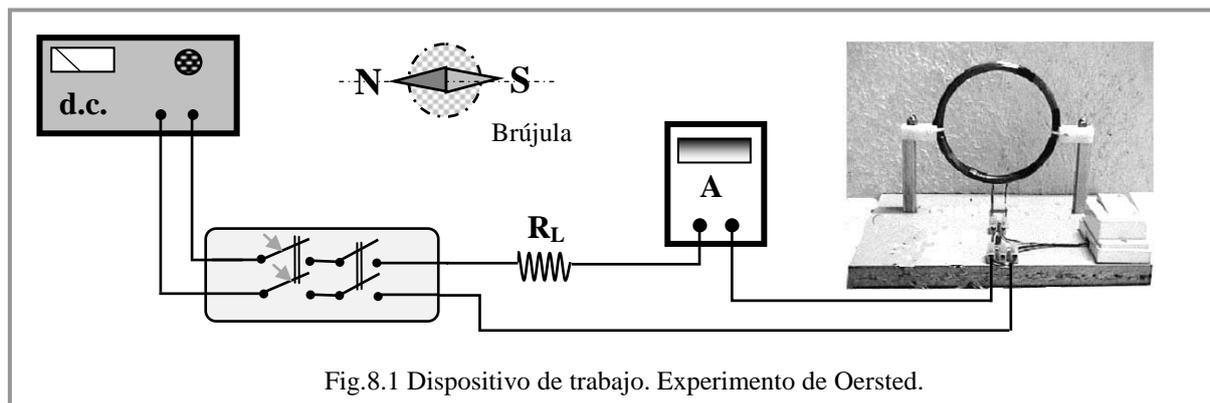


Fig.8.1 Dispositivo de trabajo. Experimento de Oersted.

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

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

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

¿Cuál es la diferencia fundamental que observa?

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

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

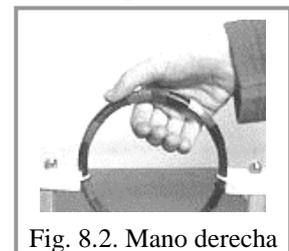


Fig. 8.2. Mano derecha

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

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

Experiencia 8.2

Fuerzas de interacción electrodinámicas. Experimento de Ampere.

Objetivo

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

Equipamiento

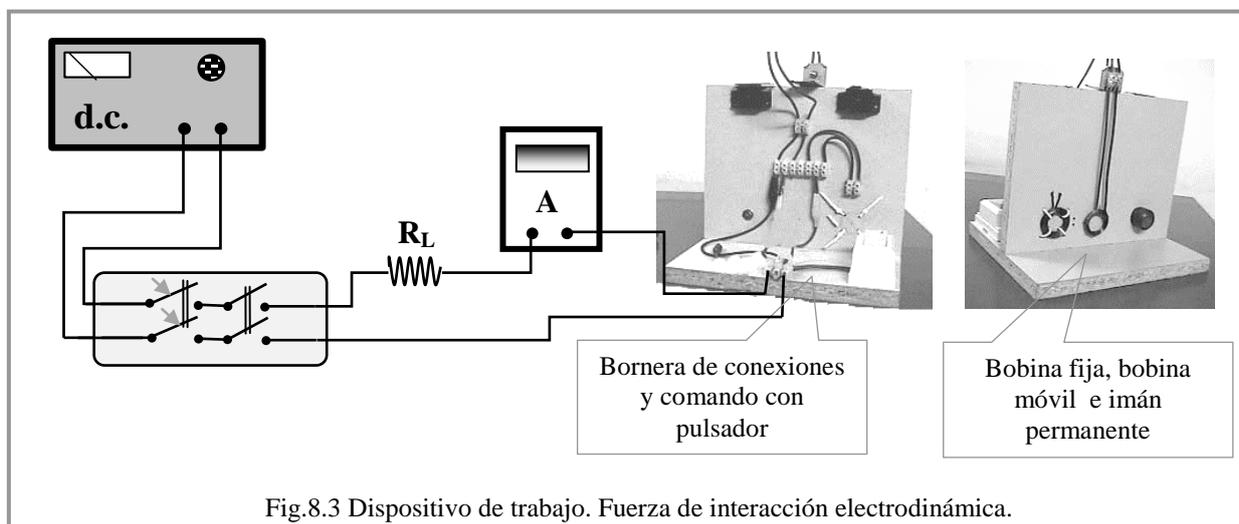
Mostrado en la figura 8.3; consta de:

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

Fuente de corriente continua.

Amperímetro.

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



Procedimiento

Preliminar

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

Realizar dos ensayos básicos:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Experiencia 8.3

Campo magnético terrestre. Brújula de tangentes.

Objetivo

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

Introducción. Brújula de tangentes.

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

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

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

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

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

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

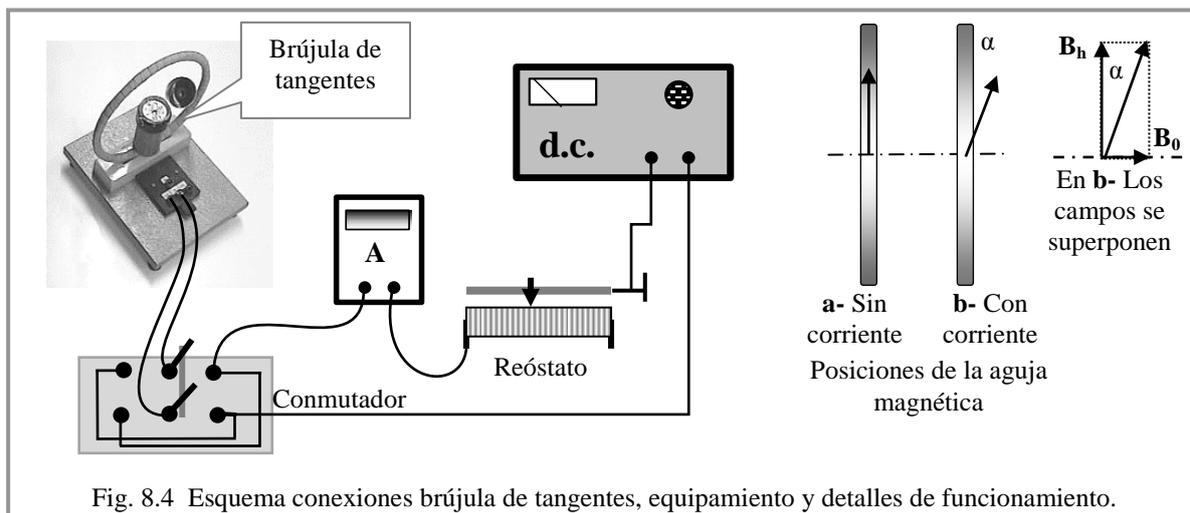
$$\vec{B} = \vec{B}_h + \vec{B}_0$$

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:

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

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.

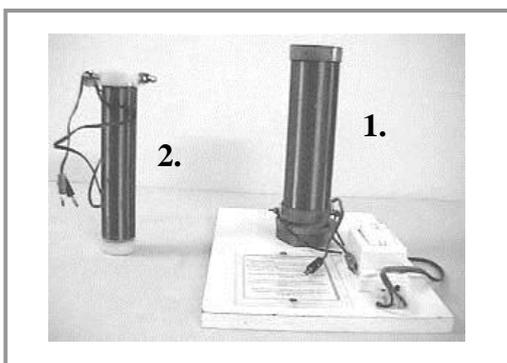
El circuito inducido: Es el circuito eléctrico donde se genera la fem inducida. El flujo de inducción es el referido a la superficie que define el circuito inducido. Debemos prestar especial atención a la vinculación magnética inductor-inducido.

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

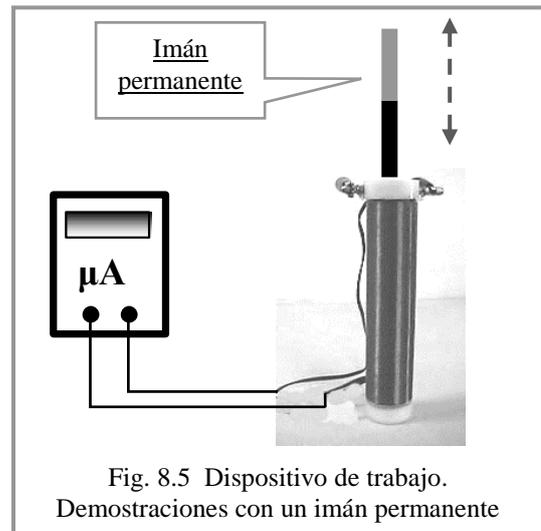
I- Demostraciones con un imán permanente

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.



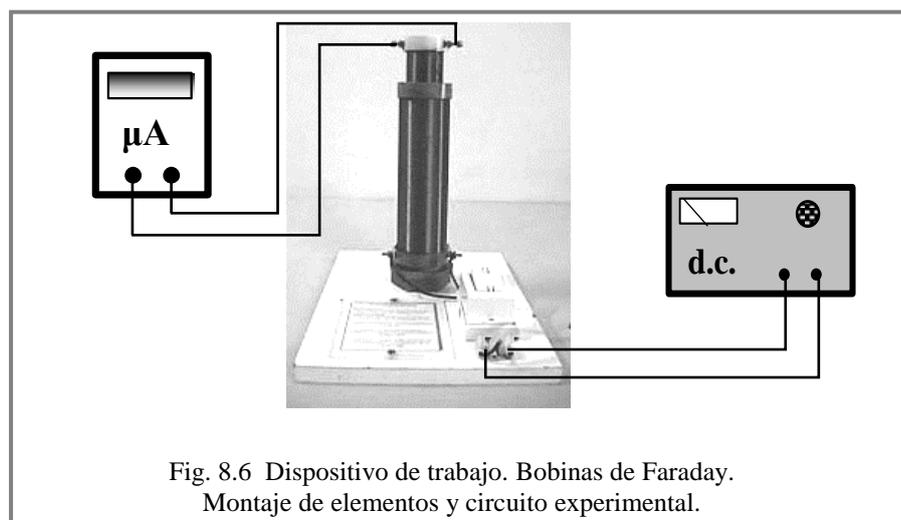
II- Bobinas de Faraday. Inducción mutua.

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 (ϵ_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:

$$\epsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (8.8)$$

Si el circuito secundario es cerrado la fem (ϵ_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

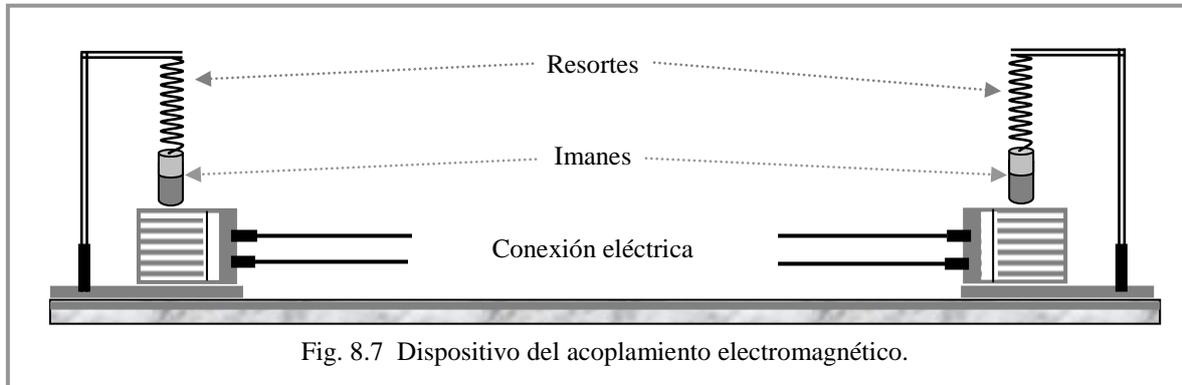
Operar un dispositivo de acoplamiento electromagnético de aparatos oscilantes y explicar su funcionamiento en términos de las leyes de inducción electromagnética.

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 dispositivos electromagnéticos y de dispositivos electrónicos, tanto fijos como portátiles que pueden ser dañados: televisores, monitores, ordenadores, celulares, pendrive, tarjetas con cinta magnética y otros dispositivos de almacenamiento, cintas de vídeo, relojes mecánicos, audífonos, altavoces, marcapasos, etc.