

## Objetivos

1. Estudiar y comprobar los principios de la inducción electromagnética descritos por la ley de inducción de Faraday y la ley de Lenz.
2. Aplicar los conceptos involucrados en la ley de Faraday y la ley de Lenz al transformador.

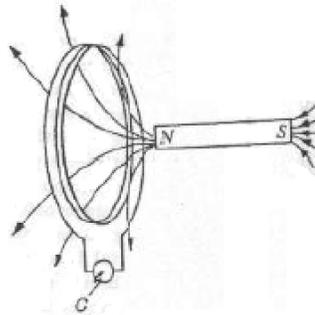
## Esquema del laboratorio y Materiales

| Equipo requerido  | Cantidad | Observaciones |
|---|----------|---------------|
| Galvanómetro de cuadro móvil con cero en el centro de la escala | 1        |               |
| Bobinas cilíndricas   | 2        |               |
| Barras magnéticas   | 2        |               |
| Fuente de CC  | 1        |               |
| Transformador de bobinas desmontables y bobinas                 | 1        |               |
| Auto transformador variable                                     | 1        |               |
| Multímetro de Corriente alterna                                 | 1        |               |
| Cables para conexión  | Varios   |               |
| Barras de diferentes materiales                                 | 4        |               |

## Marco teórico

### LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY

En 1831 Faraday observó experimentalmente que cuando en una bobina se establece un flujo magnético variable mediante el movimiento de un imán, como se ilustra en la **figura 1**.



**Figura 1. Circuito con flujo magnético variable.**



Y se produce una desviación en el galvanómetro lo que es equivalente a producir una corriente inducida en la bobina. Este fenómeno sucede únicamente cuando el imán está en movimiento. De este y otros experimentos, Faraday estableció que se induce una fem (fuerza electromotriz) en la bobina donde está conectado el galvanómetro, y que la magnitud de la fem inducida depende de la rapidez de la variación de flujo magnético.

El flujo magnético está definido como:

$$\phi = \iint B \cdot \hat{n} \, ds \quad (9.1)$$

Y la fem inducida está definida como:

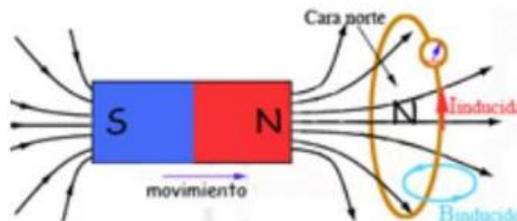
$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (9.2)$$

A la ecuación anterior se conoce como “Ley de la Inducción de Faraday”, donde “ $\varepsilon$ ” es la fem inducida, y  $\frac{d\phi_B}{dt}$  es la razón del cambio del flujo magnético con respecto al tiempo.

### LEY DE LENZ

En la sección anterior se analizó cómo se inducen las fem pero no se mencionó nada acerca de la dirección de esta fem, y por tanto de la corriente inducida. Fue el físico Alemán Heinrich Lenz (Dorpat, 1804 - Roma, 1865), contemporáneo de Faraday, quien en una forma sencilla, estableció el sentido de las corrientes inducidas, mediante el siguiente enunciado que se conoce con el nombre de Ley de Lenz: “La corriente que es inducida en un circuito tendrá una dirección de tal forma que se oponga a la causa que la produce”; que es una consecuencia directa del principio de la conservación de la energía.

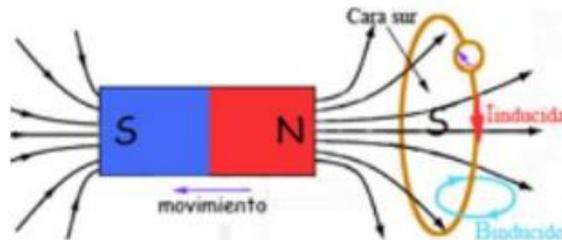
Cuando a la espira le aproximas un polo norte de un imán como se observa en la **figura 2**, la corriente inducida circulará en un sentido tal que la cara enfrentada al polo norte del imán es también Norte, con lo que ejercerá una acción magnética repulsiva sobre el imán, repulsión que debes vencer para que se siga manteniendo el fenómeno de la inducción.



**Figura 2. Campo magnético en dirección sur-norte.**



A la inversa como se observa en la **figura 3**, si alejas el polo norte del imán, de la espira, la corriente inducida creará un polo Sur que se oponga a la separación de ambos.



**Figura 3. Campo magnético en dirección norte-sur.**

### **FEM INDUCIDA**

De acuerdo a la Ley de Faraday que se define con la ecuación (9.1) se pueden inducir fem cuando existe una razón de cambio del flujo magnético con respecto al tiempo, vamos a considerar un ejemplo sencillo en el cual se tiene una espira dentro de un campo magnético (el eje de la espira es paralelo a la dirección del campo para simplificar el ejemplo) si el campo magnético varía con el tiempo, entonces, se induce una fem en la espira, si movemos la espira perpendicularmente a la dirección del campo magnético, que se mantiene uniforme (con una velocidad constante), también se induce una fem.

### **PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LOS MATERIALES**

No todos los materiales se comportan de igual manera frente a los campos magnéticos. El comportamiento de los materiales frente a los campos magnéticos depende de la estructura interna del material. El movimiento de los electrones que forman un material hace que se induzcan pequeños campos magnéticos. En función de cómo se orienten estos pequeños campos magnéticos en presencia de un campo magnético externo los materiales presentan estas propiedades:

- **Diamagnéticos:** Esta propiedad magnética consiste en que parte de los pequeños campos magnéticos inducidos por el movimiento de rotación de los electrones del propio material, en presencia de un campo magnético externo, se orientan de forma opuesta este. Como consecuencia, un material diamagnético tiende a desplazarse a la zona donde el campo magnético externo es más débil.



- **Paramagnéticos:** Esta propiedad magnética consiste en que parte de los pequeños campos magnéticos inducidos por el movimiento de rotación de los electrones del propio material, en presencia de un campo magnético externo se alinean en la misma dirección que este. Como consecuencia, el campo magnético en el interior se hace más intenso, y el material tiende a desplazarse al lugar donde el campo magnético externo es más intenso.
- **Ferromagnéticos:** En los materiales ferromagnéticos, las fuerzas entre los átomos próximos, hace que se creen pequeñas regiones, llamadas dominios, en las que el campo magnético originado por el movimiento de rotación de los electrones está alineado en la misma dirección. En ausencia de campo magnético externo, los dominios están orientados al azar, pero al aplicar un campo magnético externo, estos dominios se alinean en la dirección del campo aplicado, haciendo que este se intensifique en el interior del material de forma considerable. Parte de estos dominios conservan la orientación incluso una vez que el campo magnético externo desaparece, hecho que explica el fenómeno de la imanación.

## Cuestionario

Este cuestionario debe desarrollarse antes de la realización de la práctica y debe entregarse en el pre-informe según indicaciones del docente.

1. Explicar el concepto de Flujo Magnético y realizar un esquema que lo represente.
2. Explicar cómo se genera una FEM (Fuerza electromotriz) inducida a partir de un campo magnético.
3. Explicar las propiedades de Paramagnetismo, Ferromagnetismo y diamagnetismo. Dar ejemplos para cada caso.
4. Explicar el funcionamiento del transformador
  - Razón de voltajes.
  - Potencia.
  - Pérdidas.
  - Relación del transformador.
  - Partes de un transformador.
5. Explicar el principio de funcionamiento del galvanómetro.
6. Explicar el comportamiento de la señal de corriente alterna.

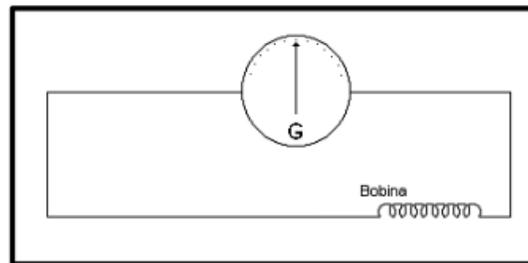


## Procedimiento

### Parte 1: Inducción electromagnética

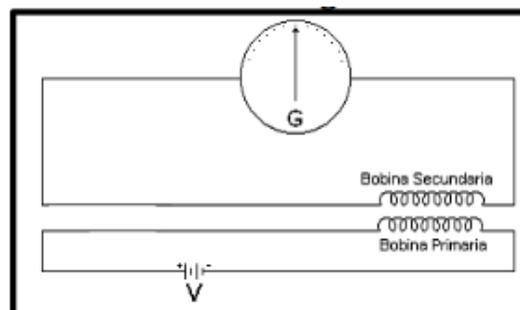
La corriente en una bobina puede describirse a partir de la deflexión del galvanómetro como circulan en sentido horario o antihorario. Para cada uno de los experimentos tomar nota de la dirección de la corriente en las bobinas.

1. Conectar los terminales de la bobina a los terminales del galvanómetro como se observa en la **figura 4**.



**Figura 4. Montaje para generar una fem.**

2. Coloque la barra magnética, con el polo norte hacia abajo, dentro de la bobina. Tomar nota de lo observado en el galvanómetro. (Completar **tabla 1**)
3. Insertar el imán con la polaridad invertida. Tomar nota de las observaciones. (Completar **tabla 1**)
4. Colocar la bobina primaria dentro de la secundaria y conectar aquella, a la fuente de corriente continua como se observa en la **figura 5**.



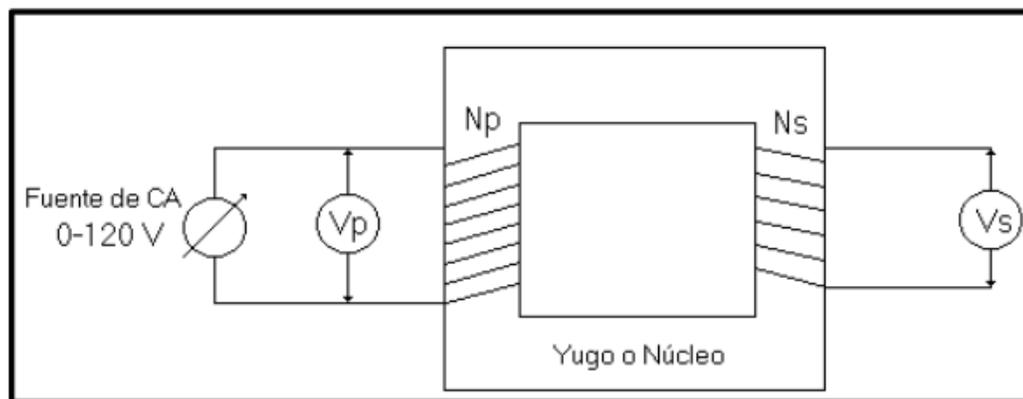
**Figura 5. Montaje para generar una FEM inducida en la bobina secundaria**



5. Con la polaridad de la fuente e inspeccionando los arrollamientos de las bobinas, determine la dirección de la corriente inducida en la bobina secundaria. (Tome nota de lo observado para dar solución a las preguntas de control)
6. Relacionar las deflexiones del galvanómetro; con la dirección de la corriente en la bobina secundaria. Reducir al mínimo el tiempo de conexión del circuito para evitar recalentamiento de la bobina.
7. Con la bobina secundaria introducida en la primaria, introduzca las barras de diferentes materiales alternadamente y registre lo sucedido en la **tabla 2**.

## Parte 2: Transformador

8. Realizar el montaje como se observa en la **figura 6**.



**Figura 6. Circuito del transformador**

9. Utilizando una bobina de 500 espiras en el primario ( $N_p$ ) y otra de 250 vueltas en el secundario ( $N_s$ ). Variar el voltaje de entrada de 10 en 10 voltios hasta 120 V y en cada caso registre los valores correspondientes a  $V_s$ , sin sobrepasar el máximo de la escala del voltímetro y registre estos datos en la **tabla 3**.
10. Manteniendo fijo el voltaje en el primario en 120 V invierta el transformador de manera que en el primario se tengan las 250 vueltas y en el secundario las 500 vueltas.
11. Disminuya el voltaje de entrada de 10 en 10 voltios hasta 0 V y en cada caso registre los valores correspondientes a  $V_s$  y registre estos datos en la **tabla 3**.



Análisis de datos

| DISPOSICIÓN DE LA BARRA MAGNÉTICA | ¿QUÉ SE OBSERVÓ? | ¿POR QUÉ OCURRIÓ ESTO? |
|-----------------------------------|------------------|------------------------|
| POLO NORTE HACIA ABAJO            |                  |                        |
| POLO SUR HACIA ABAJO              |                  |                        |

Tabla 1. Comportamiento del Galvanometro ante la inducción presente en la bobina al introducir barra magnética.

| MATERIAL        | ¿QUÉ SE OBSERVÓ? | ¿POR QUÉ OCURRIÓ ESTO? |
|-----------------|------------------|------------------------|
| <u>COBRE</u>    |                  |                        |
| <u>ALUMINIO</u> |                  |                        |
| <u>ACERO</u>    |                  |                        |
| <u>BRONCE</u>   |                  |                        |

Tabla 2. Comportamiento del Galvanometro al introducir barras de diferentes materiales en el circuito de bobina primaria dentro de secundaria.



1. Describir y dar la explicación física de los efectos observados en la parte 1 del procedimiento (**tabla 1** y **tabla 2**)

| Primario: 500<br>Secundario: 250 |                    | Primario: 250<br>Secundario: 500 |                    |
|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| V <sub>p</sub> (V)               | V <sub>s</sub> (V) | V <sub>p</sub> (V)               | V <sub>s</sub> (V) |
| <u>0</u>                         |                    | <u>120</u>                       |                    |
| <u>10</u>                        |                    | <u>110</u>                       |                    |
| <u>20</u>                        |                    | <u>100</u>                       |                    |
| <u>30</u>                        |                    | <u>90</u>                        |                    |
| <u>40</u>                        |                    | <u>80</u>                        |                    |
| <u>50</u>                        |                    | <u>70</u>                        |                    |
| <u>60</u>                        |                    | <u>60</u>                        |                    |
| <u>70</u>                        |                    | <u>50</u>                        |                    |
| <u>80</u>                        |                    | <u>40</u>                        |                    |
| <u>90</u>                        |                    | <u>30</u>                        |                    |
| <u>100</u>                       |                    | <u>20</u>                        |                    |
| <u>110</u>                       |                    | <u>10</u>                        |                    |
| <u>120</u>                       |                    | <u>0</u>                         |                    |

**Tabla 3. Datos del transformador.**

2. Con los datos de la **tabla 3** realice las gráficas del voltaje en la bobina secundaria “V<sub>s</sub>” en función de del voltaje de la bobina primaria “V<sub>p</sub>” para los dos casos. Interprete las gráficas obtenidas.

### Preguntas de control

1. Según las propiedades de paramagnetismo, ferromagnetismo y diamagnetismo estudiadas según lo planteado en el cuestionario, ¿Cómo clasificaría los materiales mencionados en la **tabla 2**.
2. Con la polaridad de la fuente e inspeccionando los arrollamientos de las bobinas determine la dirección de la corriente inducida en la bobina secundaria. Sustente la respuesta.
3. Según los datos medidos y registrados en la **tabla 3** ¿qué relación se puede establecer entre los voltajes del primario y el secundario a partir del número de vueltas de los dos bobinados?



### Conclusiones y observaciones

Las conclusiones se deben formular de los resultados obtenidos en la practica.

### Bibliografía