

## Generación de corriente eléctrica por efecto de un campo magnético

### Introducción.

Un transformador es un dispositivo que permite incrementar o disminuir el potencial eléctrico en un circuito cuando se emplea una intensidad de corriente eléctrica alterna. Para entrar en materia, es necesario primero explorar un par de conceptos base.

El flujo de campo magnético,  $\Phi_B$ , en cualquier superficie está dado por:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

En donde  $\vec{B}$  representa al vector campo magnético, medido en tesla, mientras que el  $d\vec{A}$  corresponde con un elemento normal al área de superficie por la cual se cuantificará el flujo de campo magnético.

Dada la definición de flujo de campo magnético, podemos asociar que la rapidez de cambio del flujo magnético, respecto al tiempo, generará una fuerza electromotriz, denominada inducida,  $\xi_{ind}$ . Lo anterior es conocido como la ley de inducción de Faraday y matemáticamente se expresa como:

$$|\xi_{ind}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

En el caso particular de que el dispositivo sobre el cual se inducirá una fuerza electromotriz por efecto de un flujo de campo magnético variable es una bobina con N vueltas en su devanado, entonces la expresión anterior ahora será:

$$|\xi_{ind}| = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

En términos del dispositivo denominado transformador, este está conformado por dos bobinas que, eléctricamente, están aisladas una de la otra pero que están enrolladas en torno a un mismo material ferromagnético denominado núcleo, figura 1.

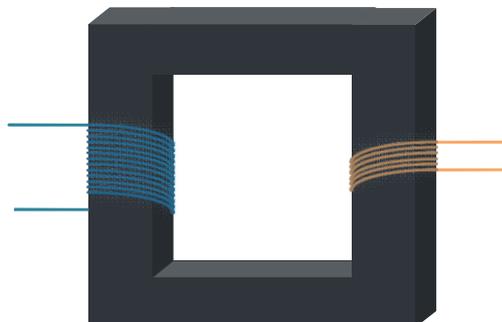


Figura 1. Transformador básico compuesto por un núcleo (material ferromagnético) y dos bobinas.

En el transformador es común que el número de vueltas que conforman cada bobina sea diferente, siendo la relación entre el número de vueltas directamente asociable con el incremento o decremento del potencial eléctrico que se genere por efecto de la inducción magnética en el núcleo.

Para generar una inducción magnética en el núcleo, una de las bobinas debe estar conectada a una fuente de alimentación de corriente eléctrica alterna. A esta bobina se le denomina bobina primaria. El hecho de que fluya por la bobina primaria una intensidad de corriente eléctrica variable, generará un campo magnético variable, tal y como está descrito por ley de Ampère. Este campo magnético variable produce una inducción magnética en el núcleo, la cual será la causante de generar un potencial eléctrico en la segunda bobina (que no está conectada a ninguna fuente de alimentación) y con ello, se producirá un flujo de corriente eléctrica, tal y como lo describe la ley de inducción de Faraday. A esta segunda bobina se le denomina bobina secundaria. Figura 2.

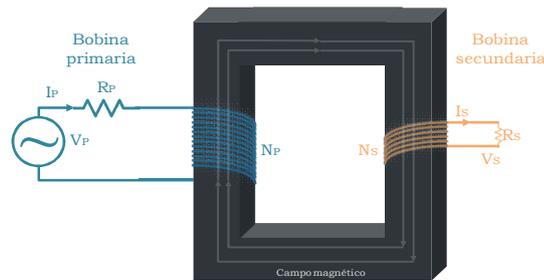


Figura 2. En la bobina primaria se conecta la fuente de alimentación de corriente eléctrica alterna. Las características de las bobinas: corriente eléctrica,  $I$ , resistencia eléctrica,  $R$ , potencial eléctrico,  $V$ , y número de vueltas,  $N$ , se diferencian mediante el subíndice P (primaria) o S (secundaria).

En el caso de un transformador ideal, es decir, un dispositivo en donde el campo magnético inducido por la bobina primaria forma espiras de campo magnético que se mantienen en el interior del núcleo magnético, entonces, el flujo de campo magnético en la bobina primaria y secundaria será el mismo, de forma que podemos establecer:

$$\left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|_P = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|_S$$

De la ley de inducción de Faraday, descrita previamente, podemos obtener que el flujo de campo magnético en términos del número de vueltas y del potencial eléctrico inducido, el cual experimenta la bobina secundaria, es:

$$\left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| = \frac{|\xi_{ind}|}{N} = \frac{V_S}{N_S}$$

En el caso de la bobina primaria, quien es el agente generador del campo magnético y, como consecuencia, del flujo de campo magnético, podemos establecer lo siguiente:

$$\left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| = \frac{V_P}{N_P}$$

Y dado que el flujo de campo magnético es el mismo en la bobina primaria como en la bobina secundaria, lo cual corresponde con un transformador ideal, entonces obtenemos la relación de transformación:

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad \Rightarrow \quad \frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{V_P}$$

Se puede observar que es posible controlar el potencial eléctrico inducido en la bobina secundaria con únicamente cambiar la relación entre el número de vueltas de la bobina primaria y secundaria.

Por ejemplo, si se desea que el potencial eléctrico inducido en la bobina secundaria sea el doble de aquel impuesto en la bobina primaria, entonces la relación entre el número de vueltas  $N_S/N_P$  deberá ser dos; es decir, el número de vueltas en la bobina secundaria,  $N_S$ , deberá ser el doble del número de vueltas que en la bobina primaria,  $N_P$ .

Adicionalmente se puede establecer una relación que nos permita modular la intensidad de corriente eléctrica en la bobina secundaria. En esta dirección, podemos recurrir al hecho de que en un transformador ideal, en el cual no hay pérdidas de ningún tipo, la potencia eléctrica asociada a la bobina primaria es la misma potencia eléctrica que en la bobina secundaria.

La potencia eléctrica,  $\mathcal{P}$ , se puede expresar mediante el producto del potencial eléctrico,  $V$ , por la intensidad de corriente eléctrica,  $I$ ; o bien:  $\mathcal{P} = VI$ . Dada la condición de transformador ideal, tenemos entonces que :

$$\mathcal{P}_P = \mathcal{P}_S \quad \Rightarrow \quad V_P I_P = V_S I_S \quad \Rightarrow \quad \frac{I_P}{I_S} = \frac{V_S}{V_P}$$

Haciendo uso de la relación de transformación que encontramos previamente, podemos establecer:

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

Se puede observar que es posible controlar la intensidad de corriente eléctrica inducida en la bobina secundaria con únicamente cambiar la relación entre el número de vueltas de la bobina primaria y secundaria. Por ejemplo, si se desea que la intensidad de corriente eléctrica inducida en la bobina secundaria sea el doble de aquella que fluye por la bobina primaria, entonces la relación entre el número de vueltas  $N_S/N_P$  deberá ser un medio; es decir, el número de vueltas en la bobina secundaria,  $N_S$ , deberá ser la mitad del número de vueltas que en la bobina primaria,  $N_P$ .

## Resultados del procedimiento experimental.

Armar el transformador con las dos bobinas y el núcleo de hierro.

Conectar una de las bobinas la fuente de alimentación de corriente eléctrica alterna, la cual se debe asegurar que no esté encendida al momento de realizar la conexión. Este instrumento sólo deberá de encenderse hasta el momento de iniciar las mediciones requeridas.

Conectar un multimedidor en cada bobina, asegurándose que las terminales correspondan con una lectura de potencial eléctrico alterno. El circuito formado está representado en la figura 3.



Figura 3. La bobina del lado izquierdo de la imagen corresponde a la bobina primaria por estar conectada a la fuente de alimentación de corriente eléctrica alterna mientras que la bobina del lado derecho de la imagen presenta la bobina secundaria en la que se inducirá una corriente eléctrica por efecto del campo magnético.

Encender los multimedidores, la fuente de alimentación de corriente alterna y aplicar una diferencia de potencial eléctrico. Colectar el valor del potencial eléctrico alterno que marca cada multimetedor.

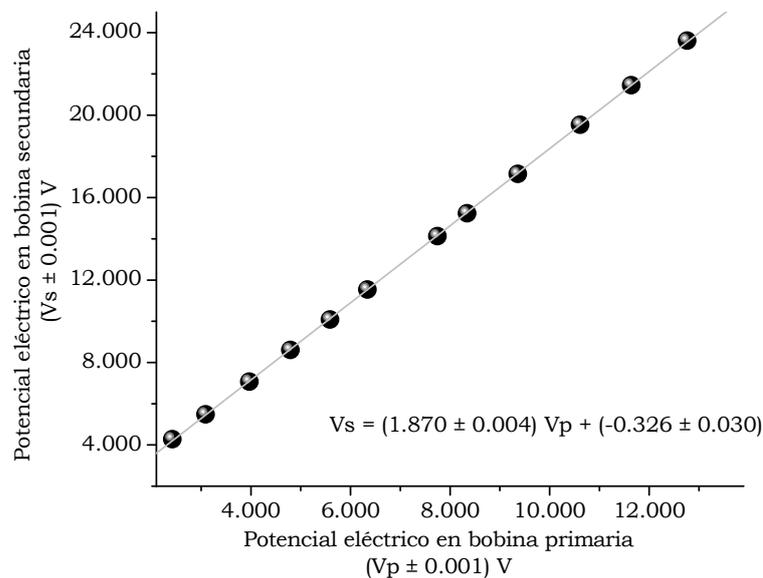
Repetir el paso anterior suministrando diferentes valores de la diferencia de potencial eléctrico.

† Una alternativa a este experimento puede ser conectar los multimedidores en serie para medir la intensidad de corriente eléctrica alterna que fluye en cada bobina.

### Resultados esperados.

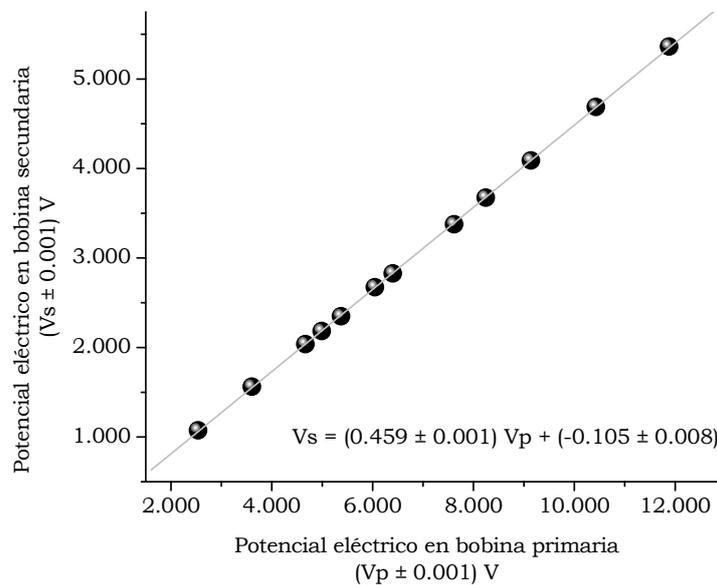
Considerando un transformador en donde el número de vueltas de la bobina primaria es 500 y el número de vueltas de la bobina secundaria es 1000, al medir el potencial eléctrico de la bobina secundaria como función del potencial eléctrico impuesto en la bobina primaria, se pueden obtener los siguientes valores experimentales:

Potencial eléctrico en bobina primaria, $(V_p \pm 0.001) \text{ V}$	Potencial eléctrico en bobina secundaria, $(V_s \pm 0.001) \text{ V}$	Potencial eléctrico en bobina primaria, $(V_p \pm 0.001) \text{ V}$	Potencial eléctrico en bobina secundaria, $(V_s \pm 0.001) \text{ V}$
2.421	4.276	7.746	14.130
3.088	5.487	8.343	15.242
3.968	7.074	9.361	17.148
4.793	8.611	10.615	19.532
5.589	10.085	11.641	21.452
6.342	11.536	12.764	23.617



Considerando un transformador en donde el número de vueltas de la bobina primaria es 1000 y el número de vueltas de la bobina secundaria es 500, al medir el potencial eléctrico de la bobina secundaria como función del potencial eléctrico impuesto en la bobina primaria, se pueden obtener los siguientes valores experimentales:

Potencial eléctrico en bobina primaria, $(V_p \pm 0.001)$ V	Potencial eléctrico en bobina secundaria, $(V_s \pm 0.001)$ V	Potencial eléctrico en bobina primaria, $(V_p \pm 0.001)$ V	Potencial eléctrico en bobina secundaria, $(V_s \pm 0.001)$ V
2.542	1.075	6.402	2.827
3.609	1.562	7.619	3.377
4.670	2.037	8.245	3.675
4.993	2.184	9.142	4.089
5.375	2.349	10.429	4.687
6.047	2.673	11.883	5.363



### Cuestionario.

- ¿Cómo se modificaría la tendencia entre los datos experimentales si se invierte la bobina primaria por la bobina secundaria que elegiste en el experimento?
- ¿Qué explicación puedes brindar al hecho de que al incrementar la intensidad de la corriente eléctrica impuesta en la bobina primaria se disminuye la intensidad de corriente eléctrica inducida en la bobina secundaria?

### Bibliografía.

- Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S. *Física*. Grupo Editorial Patria, México, 2008.
- Gil, S.; *Experimentos de Física, usando las TIC y elementos de bajo costo*. Alfaomega. México, 2014.