



- Ley de Faraday
- Ley de Lenz
- Transformadores

**:: OBJETIVOS [12.1]**

- Entender en que consiste el fenómeno de la inducción electromagnética mediante la ley de Faraday y la Ley de Lenz.
- Comprender el fenómeno de inductancia mutua.
- Estudiar el funcionamiento de un transformador.

**:: PREINFORME [12.2]**

- Explique en que consiste la ley de Faraday y la ley de Lenz y aplíquela en un ejemplo concreto.
- Consulte los conceptos de autoinductancia e inductancia mutua.
- Consulte las aplicaciones de los transformadores.
- Consulte sobre el ciclo de histéresis para especificar como se diferencia un material magnético duro de uno blando.

**:: MARCO TEÓRICO [12.3]**

En la figura (12.1) se muestran dos bobinas B1 y B2 próximas entre si pertenecientes a circuitos diferentes.

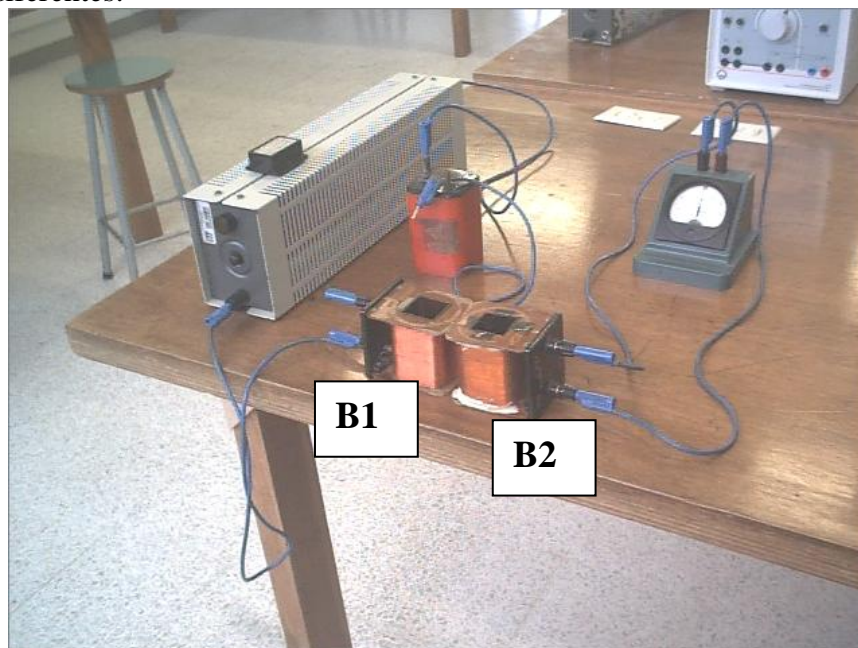


Figura 12.1: Diagrama eléctrico para observar la inducción electromagnética entre dos bobinas.

Al cerrar lentamente el interruptor  $S$ , circula durante un breve tiempo, una corriente variable  $I_1$ , a través de  $B1$ . Según la ley de Faraday, esta corriente variable genera un flujo magnético variable a través de  $B2$  y se observa la deflexión rápida en la aguja del galvanómetro, indicando el paso de una corriente  $I_2$  debido a la FEM (fuerza electromotriz)  $\varepsilon_2$  que se genera en ella. Según la ley de Faraday:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(N_2\phi)}{dt} \quad (12.1)$$

donde:

$\varepsilon_2$ : FEM generada en  $B2$ .

$N_2$ : Número de espiras de  $B2$ .

$\phi$ : Flujo magnético en cada espira.

$N_2\phi$ : Flujo magnético enlazante en  $B2$ .

El signo menos en la ecuación 12.1 es una expresión para la **ley de Lenz**, para insistir en el hecho de que la FEM generada  $\varepsilon_2$  en la bobina  $B2$  **se opone** al cambio del flujo magnético producido por  $B1$ .

El flujo magnético enlazante  $N_2\phi$ , debido a la corriente variable  $I_1$ , aumenta si ella aumenta:

$$N_2\phi \propto I_1 \quad (12.2)$$

Definiendo  $M$ : Inductancia Mutua

$$M \equiv \frac{N_2\phi}{I_1} \quad (12.3)$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{d(N_2\phi)}{dt} = -N_2 \frac{dI_1}{dt} \quad (12.4)$$

Se observa de la ecuación (12.4) que mientras  $I_1$  varíe, estará  $\varepsilon_2$  presente en  $B2$ .

Una vez llegado al estado estacionario, la corriente  $I_1$  será constante y  $\varepsilon_2 = 0$  como se observa en el galvanómetro. El factor  $M$  constante se llama Inductancia Mutua, y depende de la forma, tamaño, número de espiras, separación entre las bobinas y el material presente en los núcleos de ellas (aire o un material ferromagnético como el hierro dulce).

El concepto de inductancia se aplica también a una sola bobina aislada de  $N$  espiras apretadas. Cuando por ella circula una  $I$  variable, dentro de ella se produce un campo magnético variable, que a su vez produce un flujo magnético  $N\phi$ , variable, y finalmente una FEM inducida llamada **FEM Autoinducida**. Así, se define la inductancia  $L$ , o simplemente inductancia como en la ecuación (12.3):

$$L = \frac{N\phi}{I} \quad (12.5)$$

$$-N \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (12.6)$$

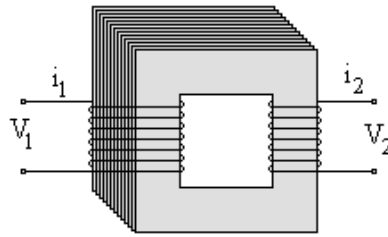


Figura 12.2: Diagrama de un transformador de núcleo de hierro.

L variara según la geometría y si hay aire o material ferromagnético en su núcleo.

Visto lo anterior, se tiene que dos circuitos como la figura (6.1) están acoplados magnéticamente. Si la corriente en  $B1$  varía con el tiempo; aparece una FEM inducida en  $B2$ , pero no todo el flujo magnético que atraviesa  $B - 1$  atraviesa  $B - 2$ . El flujo que NO atraviesa a  $B - 2$  se llama Flujo de disperso en  $B - 2$ . En determinados casos representa una pérdida de energía e interesa con frecuencia que sea lo menor posible. Cuando el flujo disperso es muy grande, se dice que las bobinas están débilmente acopladas magnéticamente. Por el contrario, si el flujo disperso es muy pequeño las bobinas tienen un fuerte acoplamiento.

Esto es lo que se desea en el transformador: Es un dispositivo que utiliza la inducción mutua para variar o transformar voltajes y corrientes suministrado por un circuito AC que alimenta otro circuito AC. Se compone de dos bobinas de alambre conocidas como bobina primaria con  $N_p$  vueltas y bobina secundaria con  $N_s$  vueltas. Las dos bobinas pueden estar entrelazadas o acopladas por medio de un núcleo de hierro blando, laminado, para evitar pérdidas por corrientes parásitas. La idea es que el flujo magnético producido por una corriente variable en el primario atraviese el devanado secundario de tal modo que todo el flujo que se pase a través del primario, atraviese también el secundario, es decir hay un fuerte acoplamiento magnético. Pueden haber pérdidas de energía por el efecto Joule en la resistencia de los devanados y la histéresis (CONSULTAR) presentada en el hierro del núcleo.

La figura (12.2) es la representación de un transformador ideal.

Cuando se aplica un voltaje AC en el primario  $V_p$ , se producirá un voltaje en el secundario de igual frecuencia. Sin embargo, el voltaje será diferente de acuerdo con el número de vueltas en dicho devanado.

De acuerdo con la ley de Faraday, el voltaje en el secundario se presenta como:

$$V_s = N_s \frac{d\phi}{dt}$$

El voltaje de entrada  $V_p$  se relaciona con este flujo magnético cambiante así:

$$V_p = N_p \frac{d\phi}{dt}$$

Finalmente:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \tag{12.7}$$

Esta es la ecuación del transformador que relaciona el voltaje del secundario (Salida) con el voltaje del primario (Entrada);  $V_s$  y  $V_p$  pueden ser los valores eficaces o r.m.s o también los valores máximos de ambos voltajes.

Si  $N_s > N_p$  y  $V_s > V_p$  se tiene el TRANSFORMADOR ELEVADOR.

Si  $N_s < N_p$  y  $V_s < V_p$  se tiene el TRANSFORMADOR REDUCTOR.

Un transformador bien diseñado puede tener una eficiencia del orden del 99%. La eficiencia viene dada por:

$$\text{Eficiencia } (\eta) = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} = \frac{P_s}{P_e}$$

Para el caso ideal la potencia de entrada es igual a la de salida.

$$\begin{aligned} V_p I_p &= V_s I_s \\ \frac{I_s}{I_p} &= \frac{N_p}{N_s} \end{aligned} \quad (12.8)$$

Es importante notar que un transformador opera sólo con corriente alterna (AC). Una corriente continua en el primario no producirá una FEM en el secundario, pero si puede hacer un daño al circuito primario si se deja circulando corriente por el un buen tiempo.

## :: EQUIPOS Y MATERIALES [12.4]

- Reóstato variable de  $100 \Omega$  .
- Multímetro digital Fluke.
- Pila comercial de 1.5 Volt , en buen estado.
- Fuente de voltaje para corriente continua DC y alterna AC.
- Amperímetro análogo Leybold.
- 3 Bobinas: 2 de 300 vueltas y 1 de 600 vueltas
- Galvanómetro.
- Montaje núcleo laminado con yugo y soporte.

## :: PROCEDIMIENTO [12.5]

### **PRIMERA PARTE. INDUCTANCIA MUTUA.**

*NOTA: No olvide que no debe mantener durante mucho tiempo la pila de 1.5 V conectada al circuito para evitar que esta se descargue.*

a) Conecte en serie B1 (bobina de 300 vueltas) a la pila de 1.5 V y a la resistencia de  $100 \Omega$  (en su valor máximo), como se muestra en la figura 12.1. Conecte B2 en serie con el galvanómetro y acérquela lentamente a la otra bobina B1. Observe y anote los cambios que ocurren (si los hay) en la lectura del galvanómetro.

b) Ahora acerque el núcleo laminado en el espacio entre las bobinas y observe los cambios que se introducen en el comportamiento de la corriente en la lectura del galvanómetro. Qué ocurre con la lectura del galvanómetro? Depende de la rapidez con que usted mueva el núcleo? Qué ocurre si en vez de mover el núcleo mueve una de las bobinas? En qué dirección se mueve la aguja del galvanómetro? Es obligatorio que haya un movimiento relativo entre los tres componentes? Cuál es la importancia del núcleo laminado en el esquema experimental? Cuál es la diferencia entre emplear corriente AC o DC? Porqué se debe emplear una resistencia en el circuito? Si la resistencia es menor o mayor se afectan los resultados?

Determine la disposición relativa entre las dos bobinas para que ellas magnéticamente queden débilmente acopladas o fuertemente acopladas. Intente explicar todos sus resultados usando la ley de inducción de Faraday y la ley de Lenz, de modo que pueda interpretar cual es la dirección de la corriente en cada bobina, y el sentido en el cual aumenta o disminuye el flujo magnético sobre cada una.

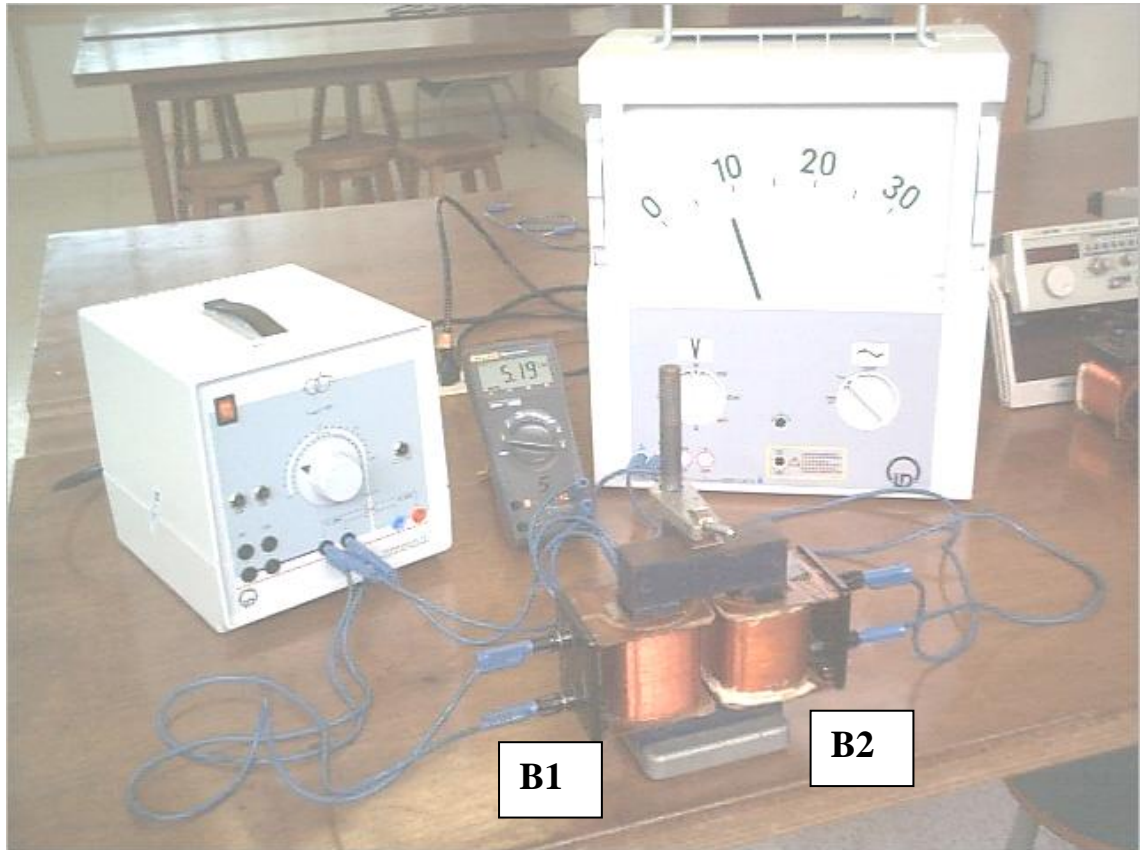


Figura 12.3 Esquema experimental para determinar el funcionamiento del transformador como reductor o elevador.

### **SEGUNDA PARTE. FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR COMO REDUCTOR O ELEVADOR.**

- c) Monte el circuito de la figura 12.3, empleando el montaje del núcleo laminado con yugo y soporte. Conecte la fuente de voltaje en los terminales para AC (corriente alterna) Cerciórese de que quede bien ajustado. Para el primer montaje considere B1 de 300 vueltas y B2 de 300 vueltas. Conecte el voltímetro Fluke a la bobina B1 para medir el voltaje AC, y el voltímetro Leybold a la bobina B2 para medir su respectivo voltaje AC. Realice sus medidas cada 2 V, por ejemplo, hasta llegar a 10 V, y realice una tabla de  $V_s$  (voltaje en el secundario) en función de  $V_p$  (voltaje en el primario).
- d) Repita el procedimiento anterior, considerando B1 de 300 vueltas y B2 de 600 vueltas. Realice otra tabla que relacione  $V_s$  y  $V_p$ .
- e) Para el tercer montaje, desconecte las bobinas de los cables e invierta el soporte con el yugo, de modo que ahora B1 será la bobina de 600 vueltas y B2 será la bobina de 300

vueltas. Conecte de nuevo los cables y repita el procedimiento para que realice otra tabla que relacione  $V_s$  y  $V_p$ .

### **:: ANÁLISIS, GRÁFICAS Y PREGUNTAS [12.6]**

- a. Conteste las preguntas formuladas en la primera parte del procedimiento. Porqué es necesario emplear una resistencia en el circuito?
- b. Construya gráficos que relacionen los voltajes medidos en las bobinas y emplee EXCEL para hacer la regresión lineal para cada uno de los tres montajes hechos en la segunda parte de la práctica. Analice sus resultados y especifique si en cada caso tiene un transformador reductor o elevador y compare el valor hallado con la ecuación 12.7. Calcule el porcentaje de error absoluto.
- c. Consulte y explique porque el núcleo de hierro que enlaza las dos láminas debe ser laminado.
- d. Exprese sus conclusiones.