

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA APLICADA A UN TRANSFORMADOR

FUNDAMENTO¹

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

"La electricidad produce magnetismo; así se había establecido a principios de los años 1820, así que cabría esperar razonablemente la inversa: el magnetismo produce electricidad. Y, sin embargo, los mejores investigadores de la época sólo podían presentar resultados ambiguos y no convincentes. El sustento era bastante obvio: una carga puede electrificar un objeto cercano por inducción; era lógico esperar que una corriente indujera una corriente en un conductor cercano.

Como una corriente estable genera un campo magnético estable, ¿no debería un campo magnético estable generar una corriente estable?. A pesar de lo lógico que parecía la posición, está equivocada. Un campo magnético estable no imparte energía a las cargas libres; no efectúa trabajo sobre ellas, y sin embargo, para que exista una corriente debe obtener su energía de algún lugar. Un campo magnético cambiante es algo muy distinto. Puede impartir energía a cargas, y puede producir corrientes."

FEM INDUCIDA ELECTROMAGNÉTICAMENTE

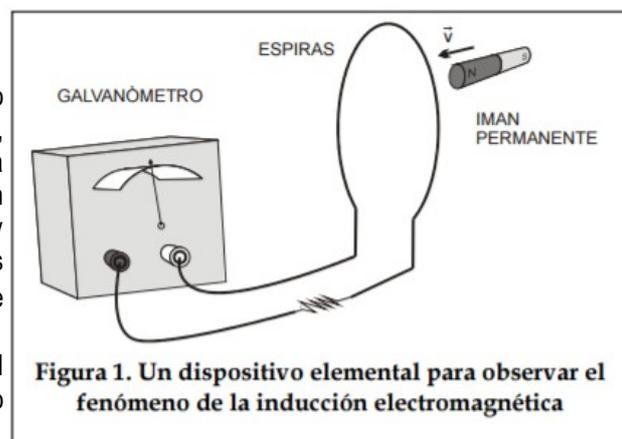
"... Faraday² regresó al problema de la inducción electromagnética en 1831. Su primer aparato usaba dos bobinas montadas en un carrete de madera. Una, llamada *primaria*, fue conectada a una batería y a un interruptor, la otra, la *secundaria* fue conectada con un galvanómetro. Al principio los resultados fueron totalmente negativos hasta que instaló una batería mucho más potente. Aún así los efectos fueron débiles y transitorios; sin embargo, para Faraday fueron suficientes. Encontró que el galvanómetro se desviaba en una dirección solo durante un momento, siempre que cerraba el interruptor, y regresaba a cero casi de inmediato, a pesar de que todavía había corriente en el primario. Siempre que abría el interruptor suspendiendo la corriente por el primario, el galvanómetro en el circuito secundario oscilaba momentáneamente en dirección contraria, para después regresar rápidamente a cero.

Al usar un núcleo ferromagnético para concentrar la 'fuerza magnética' Faraday enrolló dos bobinas en secciones opuestas de un anillo de hierro suave. Ahora el efecto era inconfundible: **un campo magnético cambiante genera una corriente**¹. En realidad, como deduciría más adelante, el cambio era aspecto esencial de la inducción electromagnética. ..."

LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY

Si se tiene una bobina conectada a un instrumento capaz de medir diferencia de potencial eléctrico, puede verificarse que al acercar o alejar un imán a una de las entradas de la bobina puede medirse un "voltaje" (si el medidor es suficientemente sensible y capaz de medir variaciones rápidas), que llamamos "fuerza electromotriz (fem) inducida" (ϵ) a través de los terminales de la bobina.

Los resultados experimentales indican que es útil definir (como se ha hecho con el campo electrostático) el **flujo de campo magnético**:



¹ El texto entrecomillado ha sido tomado del libro: **HECHT, EUGENE, FÍSICA 2, THOMSON, MÉXICO, 2001.**

² Michael Faraday (1791 - 1867) fue uno de los diez hijos de un herrero londinense. De joven, con poca educación formal, fue aprendiz de encuadernador. Pero él anhelaba participar en "el servicio a la ciencia", y finalmente llegó a ser uno de los más grandes experimentadores de todos los tiempos.

$$\Phi_B = B_{\perp} \cdot A = B \cdot A_{\perp} = B \cdot A \cdot \cos(\varphi)$$

"Las unidades del flujo son tesla. metro cuadrado, llamada "weber" (Wb) para honrar a Wilhelm Weber, uno de los primeros investigadores del magnetismo: 1 Wb = 1 T.m²"

"Los resultados de las observaciones anteriores, para una espira de alambre, se pueden escribir con

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

de la cual explicaremos el significado del signo de menos más adelante. Una sola espira de alambre desarrollará un voltaje inducido (en volts) que es igual a la rapidez de cambio del flujo magnético que la atraviesa, con respecto al tiempo, en cualquier instante dado (en unidades SI, la constante de proporcionalidad es 1). Si hay N vueltas de alambre en una bobina, cada una tiene un voltaje inducido que está en serie con las demás, de tal forma que la *fem inducida promedio* es

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

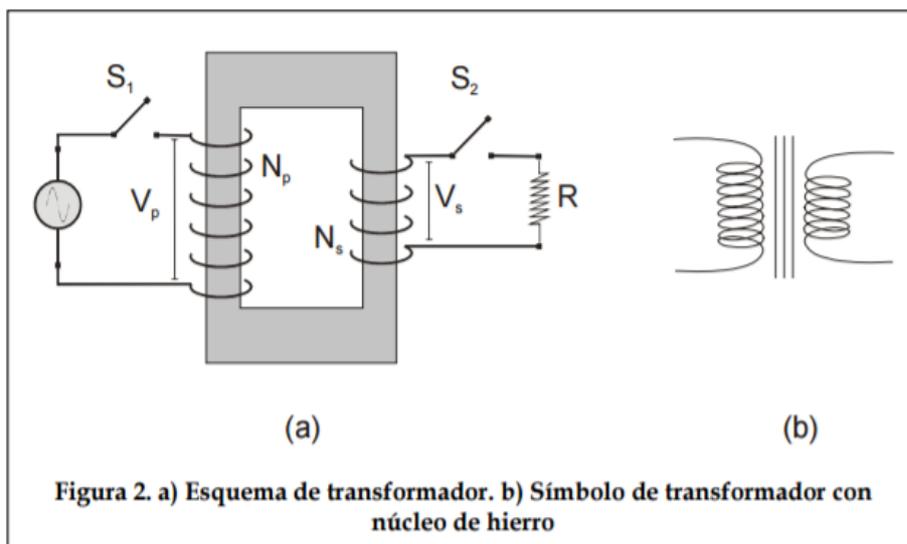
que es una de las *ecuaciones fundamentales del electromagnetismo*. Es un resumen de observaciones, y no se puede deducir a partir de fórmulas anteriores. Por lo general se llama **ley de inducción de Faraday** a esta ecuación, aunque Faraday nunca la escribió. "

LEY DE LENZ

"El signo negativo de la ecuación relaciona la polaridad de la fem inducida con el cambio de flujo, que puede ocurrir de muchas maneras: el campo puede aumentar, disminuir o moverse; el área de la espira puede ser girada, aplastada o sacada del campo y, sin embargo siempre hay un sentido consistente y reproducible con el que aparece la fem. Fue un físico que trabajaba en Rusia, Henrich Friederich Emil Lenz, quien por primera vez publicó (en 1834) en elegante enunciado del fenómeno que se ha dado en llamar **ley de Lenz**:

La fem inducida produce una corriente que actúa siempre oponiéndose al cambio que la causó originalmente."

EL TRANSFORMADOR IDEAL



"En 1831, Faraday descubrió el principio de la inducción electromagnética sobre el que se basa el transformador, pero tuvieron que transcurrir 50 años para que éste llegara a ser un instrumento práctico. En términos generales, **el transformador es un dispositivo de inducción que convierte energía en forma de una gran corriente variable con el tiempo, a voltaje bajo, en casi la misma cantidad de energía en forma de una corriente pequeña con el tiempo, pero a un voltaje alto (o viceversa)**"

"Imagine el lector que hay dos bobinas devanadas en torno a un núcleo de hierro, como se ve en la figura 2. Una fuente de poder de corriente alterna se conecta en el devanado primario y en el circuito del devanado **secundario** se deja inicialmente abierto el interruptor. La corriente primaria, variable con el tiempo, I_p , crea un flujo magnético variable con el tiempo, que circula a través de la bobina secundaria. Debido a su gran permeabilidad, el núcleo de hierro amplifica el flujo generado por la corriente primaria, en un factor aproximado de 10000. Es una trayectoria fácil para el campo, que casi se restringe en su totalidad a pasar dentro del núcleo, acoplado eficazmente a las bobinas."

"En el caso ideal, el mismo flujo variable con el tiempo pasa por todas las espiras de ambas bobinas, de modo que la fem inducida en cualquier vuelta es igual a la de cualquiera otra. En consecuencia, la fem total inducida en el primario es proporcional al número total de sus vueltas (N_p) de la misma manera que la fem total inducida en el secundario es proporcional al número de vueltas (N_s). Suponiendo que los devanados tengan una resistencia muy pequeña, y que por tanto no causen caídas de voltaje **IR** la fem inducida a través del primario será numéricamente igual al voltaje entre terminales a través del primario (V_p). De manera similar, la fem inducida en el secundario será igual al voltaje entre sus terminales (V_s). De todo lo anterior se deduce que la relación de voltajes efectivos será igual a la relación de los números de vueltas:

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

La bobina con el mayor número de vueltas corresponde al voltaje mayor, que podría ser el primario o el secundario según lo conectemos. *La relación del número de vueltas en el devanado de mayor voltaje, respecto del número de vueltas en el menor voltaje, se llama **relación de vueltas***. Por ejemplo, un transformador con una relación de vueltas 10:1, tiene 10 veces el número de vueltas en una bobina que en la otra.

Para cualquier voltaje dado en el primario, sólo se necesita seleccionar una relación adecuada de vueltas para producir cualquier voltaje deseado en el secundario. Cuando V_p mayor a V_s se dice que es un **transformador de bajada**; cuando V_p menor que V_s se trata de un **transformador de subida**. ..."

VOLTAJE ALTERNO

La forma más elemental de un voltaje alterno, se muestra en el gráfico "Voltaje - tiempo" de la figura 3. A esta forma se le llama voltaje alterno puro, ya que puede describirse en función del tiempo mediante una función sinusoidal (utilizando las "formas seno o coseno" de manera adecuada).

El gráfico adjunto simula lo que mediría un instrumento adecuado (habitualmente se analizan mediante osciloscopio o interface, aunque en este ejemplo existe alguna dificultad para medirlo directamente) si se lo conecta a una "toma de 220 V" de la red hogareña de UTE.

Estando V en unidad Volt y el tiempo t en unidad segundos.

Obsérvese que 310 V es aproximadamente el valor máximo (llamado habitualmente "valor pico") en este ejemplo.

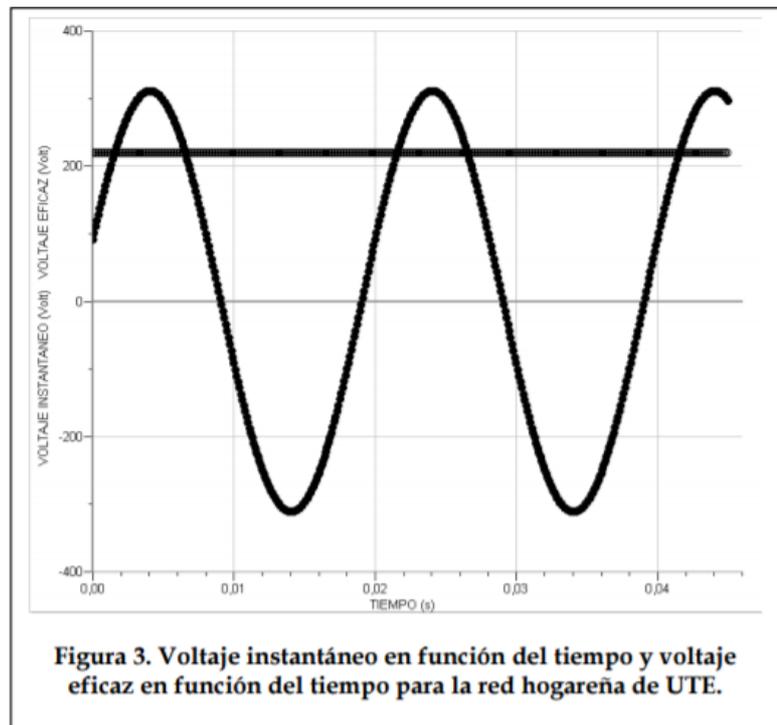


Figura 3. Voltaje instantáneo en función del tiempo y voltaje eficaz en función del tiempo para la red hogareña de UTE.

Atiéndase también que la forma "se repite cada 0,02 s". Este es el valor del período de esta señal. La frecuencia, calculable mediante el inverso del número anterior, tiene el valor 50 Hz.

A dicho gráfico le corresponde la ecuación siguiente:

$$V = 310 \cdot \text{sen} (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t + 0,30)$$

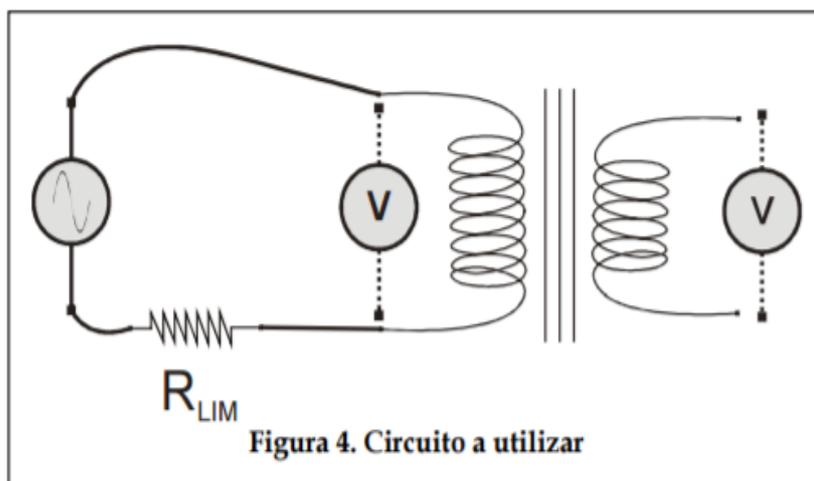
Se ha indicado también sobre el eje de los voltajes lo que se define como el "valor eficaz del voltaje", que en el ejemplo dado es 220 V. Dicho valor es el que se mide con un voltímetro "convencional" (analógico o digital) cuando se lo conecta adecuadamente a la "red hogareña de UTE" en condiciones de buen funcionamiento.

EL TRABAJO EXPERIMENTAL

Un **propósito (u objetivo)** del trabajo experimental será analizar la relación de transformación de dos bobinas que puedan acoplarse en forma de transformador, al menos en dos situaciones experimentales distintas, en las que se visualicen las diferencias que se generan cuando se cambian las propiedades eléctricas del núcleo del transformador.

Se analizará también, la cercanía entre un transformador "real" del que se originarán los datos experimentales, y un modelo de transformador "ideal" como el planteado en el fundamento de la actividad.

Para ello se dispondrá de un circuito eléctrico que permita "alimentar" una bobina que funcionará como "primario" con una fuente de voltaje alterno cuyos valores pico se pueden variar, y otra bobina que funcione como "secundario". Como modelo de circuito puede utilizarse el representado en la figura 2a, al que convendrá agregar un resistor



Se utilizará como instrumento de medida la diferencia de potencial, o un instrumento que permita medir los valores pico (osciloscopio o interface).

Convendrá, como es usual, ordenar la información experimental en una tabla de datos, que nos ayude a visualizarla conjuntamente y comenzar a buscar regularidades. Si dispusiéramos de la diferencia de potencial eléctrico en bornes del primario (V_p) y la diferencia de potencial en bornes del secundario (V_s)³, para diferentes valores de V_p , ¿qué regularidad buscaríamos entre los pares de valores V_p y V_s ?

Si se definiera analizar los datos a partir de gráficos, ¿Qué gráficos construiría?, ¿qué forma esperaría obtener?, ¿cuáles serían los significados físicos de los eventuales valores constantes que aparecen en ellos?.

³En principio asumiremos que dicha diferencia de potencial tiene el mismo valor que la fem inducida en el secundario, ¿en qué condiciones esta afirmación es suficientemente aproximada?

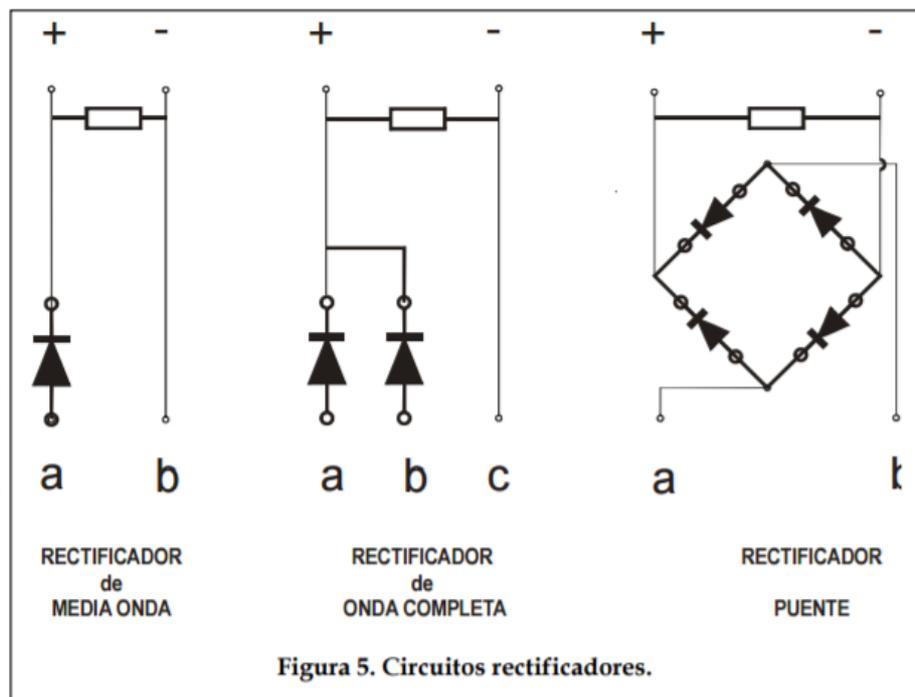
ACTIVIDAD OPCIONAL

Los transformadores son un elemento esencial para favorecer la eficiencia en la transmisión de energía eléctrica desde una planta generadora de electricidad hacia los lugares, donde esta se utiliza. Transformadores “elevadores” se ubican a la salida de la central, de modo que las líneas de transmisión (se pueden observar dichas líneas en las periferias de las ciudades como Montevideo) transportan electricidad a “alto voltaje”. Para su consumo es importante que se disminuya esa diferencia de potencial, lo que se realiza en “estaciones de transformación” (en las que se instalan transformadores “reductores”), hasta obtener el valor comercial para los hogares, que en nuestro país tiene el valor eficaz de 220 V.

Complementariamente con eso, muchos de los dispositivos que utilizamos habitualmente están diseñados para funcionar “a pilas”. Sabemos que, tanto las baterías como las pilas comerciales, son fuentes de energía eléctrica que aportan una diferencia de potencial *continua* (no *alterna*) al circuito. Muchas veces estos elementos son sustituidos por circuitos eléctricos que permiten que un dispositivo que está diseñado para funcionar con diferencia de potencial continua, pueda conectarse a la red eléctrica alterna.

El propósito de esta actividad opcional es visualizar las primeras etapas que conforman ese acondicionamiento de una señal eléctrica que se origina en el secundario de un transformador (alterna) y termina siendo una señal continua (lográndose, al menos, que no cambie de signo con el tiempo). Veremos que participan en este proceso dos elementos cuyas propiedades eléctricas hemos estudiado parcialmente en este curso: DIODOS semiconductores y CAPACITORES electrolíticos.

La primera de las etapas referidas es una llamada DE RECTIFICACIÓN donde tienen un papel fundamental los diodos. En la figura 5 se muestran tres posibles combinaciones de diodos que permiten cumplir con la función de rectificado⁴: transformar una señal eléctrica alterna en su entrada (a, b) en otra cuyo signo permanece fijo en el tiempo (aunque varíe su valor). Probablemente se pruebe al menos uno de estos circuitos rectificadores.



La etapa siguiente se llama usualmente DE FILTRADO y tienen participación preponderante los capacitores. Estos cumplen la función, como seguramente se podrá observar con un instrumento de medida adecuado, de “rellenar huecos” en el gráfico “voltaje - tiempo” originados en la señal alterna primigenia.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al conjunto “transformador – rectificador - filtro”, puede no ser adecuada la forma de la señal “voltaje - tiempo” a la salida, requiriéndose etapas posteriores, usualmente una llamada ESTABILIZACIÓN.

⁴ Si se quiere ampliar, ver por ejemplo: <http://www.forosdeelectronica.com/tutoriales/rectificadores.htm>

Autor: Prof. Daniel Baccino

Referencias:

HECHT, E., (2001). *FÍSICA 2*. MÉXICO. THOMSON.

Sitio: Física en secundaria punto uy. Recuperado de:
<https://sites.google.com/site/fisicaensecundariapuntouy/>

Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).