

TEMA 5. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1. Flujo magnético a través de una superficie
2. Experiencias de Faraday: inducción electromagnética
3. Ley de Faraday-Lenz
4. Generación de corriente alterna
5. Transformadores
6. Autoinducción electromagnético
7. Analogías y diferencias entre el campo electrostático y el campo magnético



INTRODUCCIÓN

En el tema anterior hemos visto que las corrientes eléctricas (cargas eléctricas en movimiento), generan a su alrededor un campo magnético. En este tema nos planteamos si un campo magnético es capaz de generar una corriente eléctrica. La respuesta es que sí pero, bajo ciertas condiciones.

1. FLUJO MAGNÉTICO A TRAVÉS DE UNA SUPERFICIE

Cuando una superficie S se coloca en el interior de un campo magnético \vec{B} , esta superficie es atravesada por un cierto nº de líneas de fuerza. En Física existe una magnitud física cuyo valor es directamente proporcional al nº de líneas de fuerza que atraviesa una determinada superficie.

Supongamos un campo magnético uniforme \vec{B} , y una superficie plana S , colocada en el interior de dicho campo. Se define el **flujo magnético** del campo \vec{B} , a través de la superficie plana S , como el producto escalar de los vectores campo magnético \vec{B} y superficie \vec{S} .

$$\Phi = B \cdot S = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos(\theta) \quad [5.1]$$

El vector superficie \vec{S} es un vector perpendicular a la superficie y de módulo el valor del área de la misma.

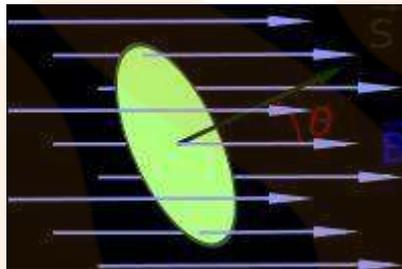


Figura 5.1

De la definición de flujo magnético a través de una superficie, podemos deducir las siguientes características:

1ª.- El flujo magnético es una magnitud física escalar puesto que se define mediante el producto escalar de dos vectores.

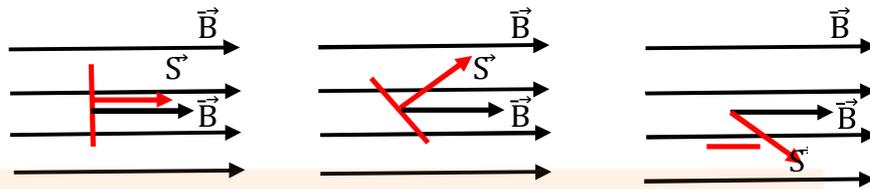
2ª.- La unidad de flujo magnético es la unidad de campo magnético por la unidad de superficie que, en el SI de unidades sería $T \cdot m^2$. A esta unidad se le denomina weber (Wb).

$$1Wb = 1 T \cdot m^2$$

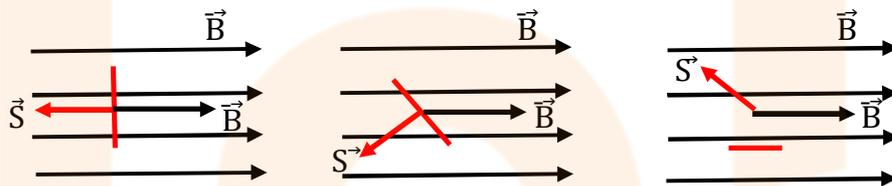
3ª.- Si observamos la expresión del flujo, podemos ver que depende de tres factores: la intensidad del campo $|\vec{B}|$, el tamaño de la superficie $|\vec{S}|$, y la orientación de la superficie respecto al campo magnético $\cos(\theta)$. Por tanto, si queremos modificar el flujo magnético a través de una superficie, podemos modificar cualesquiera de estos tres factores.

4ª.- El flujo magnético puede ser positivo, negativo o cero.

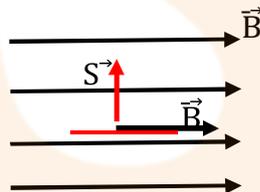
- El flujo a través de una superficie es positivo si $\cos(\vec{B}, \vec{S}) > 0$, y esto implica que los vectores \vec{B} y \vec{S} formen un ángulo agudo. Desde el punto de vista físico esto significa que hay un nº neto de líneas de fuerza que son salientes de la superficie.



- El flujo a través de una superficie es negativo si $\cos(\vec{B}, \vec{S}) < 0$, y esto implica que los vectores \vec{B} y \vec{S} formen un ángulo mayor de 90° . Desde el punto de vista físico esto significa que hay un nº neto de líneas de fuerza que son entrantes a la superficie.



- El flujo a través de una superficie es nulo si $\cos(\vec{B}, \vec{S}) = 0$, y esto implica que los vectores \vec{B} y \vec{S} sean perpendiculares, es decir, que la superficie este colocada paralelamente a las líneas de fuerza. Desde el punto de vista físico esto significa que la superficie no es atravesada por ninguna línea de fuerza o que el nº de líneas que atraviesan la superficie en ambos sentidos es el mismo.



5ª.- El flujo es máximo y positivo cuando $\cos(\vec{B}, \vec{S}) = 1$, es decir, el nº de líneas de fuerza que atraviesa la superficie es máximo y salientes. Si $\cos(\vec{B}, \vec{S}) = -1$, El flujo es máximo y negativo, es decir, el nº de líneas de fuerza que atraviesa la superficie es máximo pero entrantes.

6ª.- Si la superficie es cerrada, el flujo a través de ella es cero, ya que la superficie es atravesada en ambos sentidos por el mismo nº de líneas de campo.

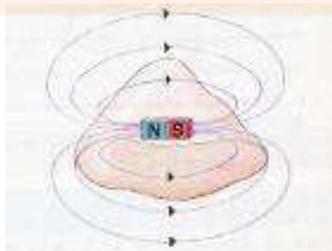


Figura 5.2

7ª.- La definición que hemos dado es para un campo magnético uniforme y una superficie plana. Pero, y si el campo no es uniforme y/o la superficie no es plana.

En estos casos se divide la superficie en infinitas superficies elementales de modo que cada una de estas superficies infinitesimales puede ser considerada como plana y el campo magnético constante en cada una de ellas. Calcularíamos entonces el flujo elemental $d\phi$ realizado en cada superficie elemental mediante el producto escalar $d\phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$ y sumariamos todos estos flujos para obtener el flujo total a través de toda la superficie. Esta sumatoria se realiza mediante una operación matemática denominada integral y se escribe así:

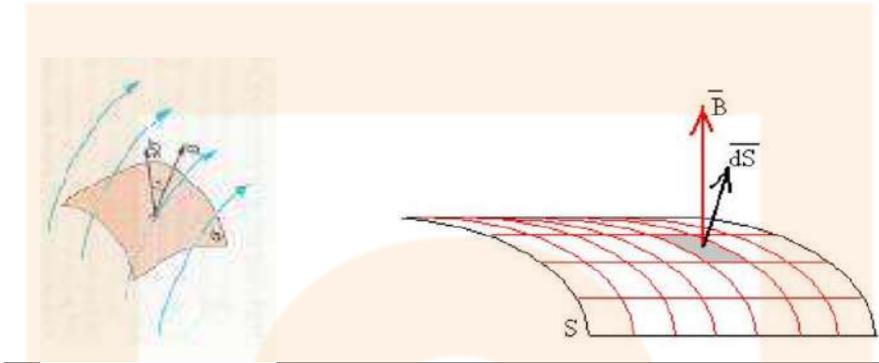
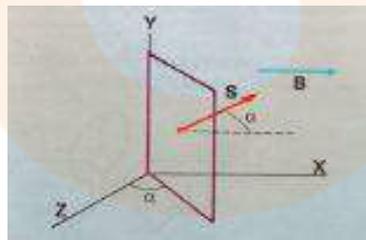


Figura 5.3

$$\Phi = \int_A^B d\phi = \int_A^B \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad [5.2]$$

Ejemplo 1º

Una espira cuadrada de 10 cm de lado, puede girar en torno a uno de sus lados que está situado en el eje y, tal y como se indica en la figura. En esa región existe un campo magnético uniforme de 0,1 T, en sentido positivo del eje x.



a) Calcula el valor del flujo magnético a través de la superficie de la espira para cuando la espira ha girado los siguientes ángulos: 0° , 30° , 60° , 90° , 120° y 180° .

b) Si suponemos que la espira con una velocidad angular de $\omega = \pi \text{ rad/s}$, calcula la expresión que proporcionaría el valor del flujo magnético en cualquier instante.

2. EXPERIENCIAS DE FARADAY: INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En el tema anterior, vimos cómo una corriente eléctrica genera a su alrededor un campo magnético. El científico inglés Michael Faraday y el físico estadounidense Joseph Henry demostraron por separado en 1832 y 1831, respectivamente, con sus experiencias, cómo los campos magnéticos, en determinadas circunstancias, son capaces de generar corrientes eléctricas. Analicemos algunas de ellas.

Primera experiencia

Al acercar o alejar un imán a una espira conectada a un galvanómetro (aparato que detecta el paso de corriente eléctrica en un circuito), se observa que éste mide el paso de corriente eléctrica por la espira. Sin embargo, al dejar en reposo el imán, cesa el paso de corriente por la espira.

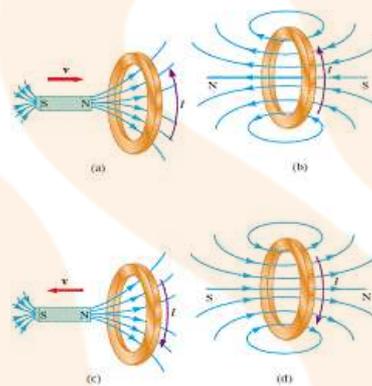
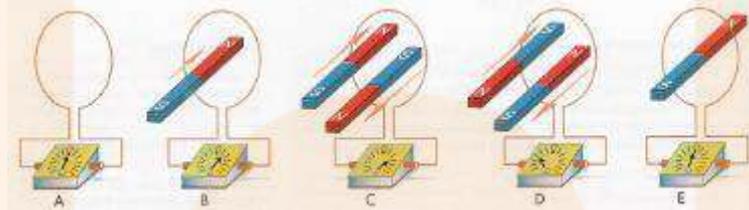


Figura 5.4

Segunda experiencia

Si en la primera experiencia se sustituye el imán por una espira por la que pasa una determinada corriente eléctrica y se acerca o se aleja a la espira conectada al galvanómetro, éste detectará paso de corriente eléctrica en esta última espira. Si las espiras se mantienen en reposo una respecto a la otra, no aparecerá corriente en la espira con galvanómetro.



Figura 5.5

Tercera experiencia

Al enfrentar dos circuitos, uno de ellos conectado a un generador de corriente y a un interruptor (bobina primaria) ,y cerrar y abrir alternativamente el interruptor, se observa la aparición de corriente eléctrica en el otro circuito (bobina secundaria). No aparece corriente en este segundo circuito si el interruptor se mantiene cerrado o abierto.

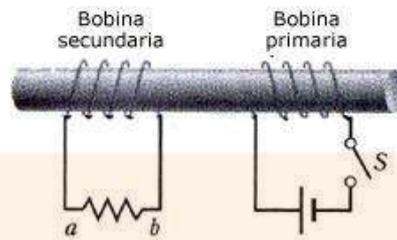


Figura 5.6

Inducción electromagnética

En todas las experiencias anteriores, hay un hecho en común: la **variación del flujo magnético** que atraviesa el circuito en el que aparece la corriente eléctrica.

Se denomina **inducción electromagnética**, al fenómeno que consiste en la creación de una corriente eléctrica, denominada **corriente inducida**, en un circuito (**inducido**) mediante un campo magnético. Para que este fenómeno se produzca, no basta con la sola utilización de un campo magnético, es necesario que exista una variación del flujo magnético a través del circuito en el que queremos inducir la corriente.

3. LEY DE FARADAY-LENZ

Esta ley caracteriza (cuantifica) el fenómeno de la inducción electromagnética y permite determinar el valor y el sentido de la corriente inducida que aparece en un determinado circuito. Para que aparezca dicha corriente es necesario generar la energía para ello. Se llama **fuerza electromotriz (fem) inducida (\mathcal{E})** a la energía comunicada a la unidad de carga eléctrica que circula por el inducido. Su unidad en el S.I. es el voltio (V).

Ley de Faraday

Permite calcular el valor de la fem inducida y su enunciado es el siguiente:

La fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la rapidez con que varía el flujo magnético que lo atraviesa.

$$\mathcal{E} = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| \quad [5.3]$$

El valor absoluto permite obtener el valor de la fem inducida sin signo independientemente de que el flujo magnético aumente o disminuya.

- **Observaciones a la ley de Faraday**

- Si el flujo magnético varía uniformemente a lo largo de un determinado intervalo de tiempo (Δt) o bien sólo podemos conocer los valores inicial y final del mismo, el valor de la fem se determinará con la expresión:

$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| \quad [5.4]$$

- Como el flujo depende de tres factores (valor del campo magnético, superficie del circuito inducido y ángulo formado por el campo y la normal a la superficie del circuito), la variación de cualquiera de ellos permite que se genere corriente en el inducido.
- El mayor o menor valor de la fem inducida no depende de lo grande o pequeño que sea el flujo magnético, depende de la mayor o menor rapidez en la variación del flujo, independientemente de si este es grande o pequeño.
- Si el inducido consiste en una bobina (enrollamiento de N espiras), el valor de la fem será:

$$\mathcal{E} = N \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| \quad \text{ó} \quad \mathcal{E} = N \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

- Si R es la resistencia óhmica del circuito inducido, la intensidad de corriente inducida se podrá determinar por medio de la ley de Ohm:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Ley de Lenz

Permite determinar el sentido de la corriente inducida y su enunciado es el siguiente:

El sentido de la corriente inducida es tal que se opone con sus efectos (generación de un campo magnético inducido), a la causa que la produce.

Esto significa que el sentido de la corriente inducida es tal que su campo magnético se opondrá a los aumentos o disminuciones de flujo que la han originado.

- **Observaciones a la ley de Lenz**

- Si el flujo magnético inductor aumenta, la corriente inducida producirá un campo magnético que tiende a oponerse al campo inductor, por lo que tendrá sentido opuesto a éste (ver esquema superior de la figura 5.4).
- Si el flujo magnético inductor disminuye, la corriente inducida producirá un campo magnético que tiende a oponerse al campo inductor, por lo que tendrá el mismo sentido que éste (ver esquema inferior de la figura 5.4).

Ley de Faraday-Lenz

Consiste en la aplicación conjunta de la ley de Faraday y la ley de Lenz, siendo su expresión:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [5.5]$$

donde el signo “-” expresa la oposición de la fem inducida a la variación del flujo magnético que la genera.

Ejemplo 2º

Una bobina está formada por 100 espiras rectangulares de 20x30 cm de lado, y se encuentra situada perpendicularmente a un campo magnético variable de valor $B = t^2 + 4t$ T

- Calcula el flujo magnético a través de una de las espiras de la bobina en función del tiempo.
- Calcula el flujo magnético a través de la bobina en función del tiempo.
- Calcula la fem inducida en la bobina.
- Dibuja la gráfica del flujo magnético y de la fem inducida en la bobina en función del tiempo.

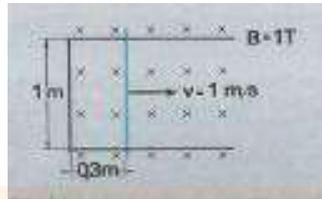
Ejemplo 3º

Una bobina está formada por 500 espiras circulares de 50 cm de radio cada una, y se encuentra en el seno de un campo magnético perpendicular al plano de las espiras. El campo magnético inicialmente vale 1 T y disminuye linealmente hasta anularse en 10 s.

- Calcula la expresión del campo magnético en función del tiempo.
- Calcula el flujo magnético a través de la bobina en función del tiempo.
- Calcula la fem inducida en la bobina. ¿Habría otra forma de calcular la fem inducida? ¿Cuál?
- Razona el sentido de la corriente eléctrica inducida.

Ejemplo 4º

Una espira rectangular está colocada perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 1 T. La espira posee un lado móvil que se desplaza con una velocidad constante de 1 m/s, debido a un agente externo, tal y como se indica en la figura:



- Calcula: a) La expresión instantánea del flujo magnético que atraviesa la espira.
 b) La fem inducida en la espira.
 c) El valor de la corriente eléctrica inducida si la resistencia de la espira es de 2Ω .
 d) El sentido de la corriente inducida.

Ejemplo 5º

Una espira cuadrada de 20 cm de lado se aproxima con velocidad constante hacia una región en la que existe un campo magnético uniforme B, perpendicular a la espira.

- a) Razona cuando y porqué se producirá inducción electromagnética en la espira desde que se acerca al campo, penetra en él y lo abandona.
 b) Cuando se produzca inducción electromagnética, razona el sentido de la corriente inducida.



4. GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

La corriente alterna consiste en la variación periódica tanto de la fem inducida como de la intensidad de corriente que aparece en el circuito inducido.

Una forma de generarla consiste en disponer, dentro de un campo magnético uniforme B , una espira que gira con velocidad angular ω constante (MCU) alrededor de un determinado eje (figura 5.7).

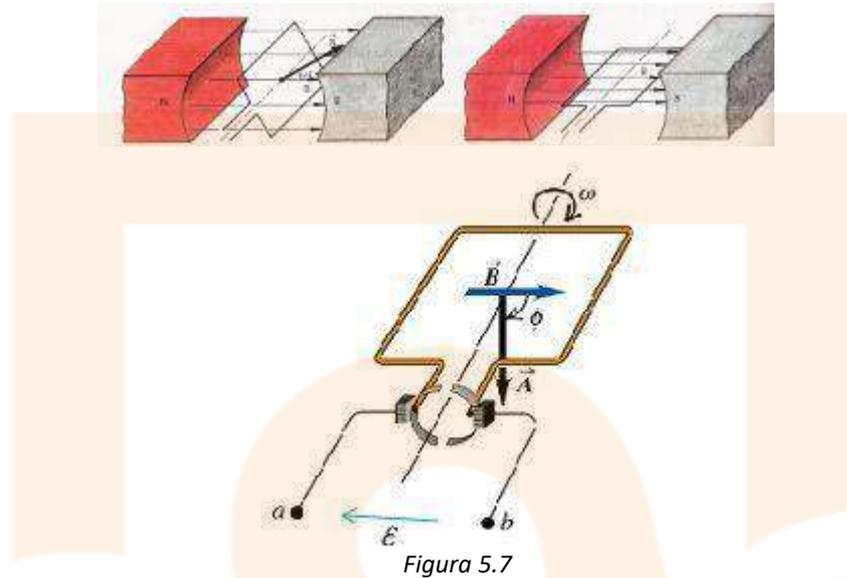


Figura 5.7

En estas condiciones, el valor del ángulo θ que forma el campo magnético con la normal a la espira, varía con el tiempo según la expresión $\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$, donde θ_0 es el ángulo que forman inicialmente el campo y la normal a la espira. Si suponemos que inicialmente los vectores campo magnético y superficie formaban 0° , podemos, entonces, escribir la expresión del flujo magnético a través de la espira de la siguiente forma:

$$\Phi(t) = B \cdot S = |B| \cdot |S| \cdot \cos(B, S) = B \cdot S \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Si se trata de una bobina formada por N espiras, todas de la misma superficie, el flujo instantáneo a través de la bobina sería:

$$\Phi(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad [5.6]$$

Aplicando la ley de Faraday-Lenz, la fem inducida instantánea será:

$$\mathcal{E}(t) = - \frac{d\Phi}{dt} = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Llamando fem máxima \mathcal{E}_0 al término $N \cdot B \cdot S \cdot \omega$, resulta:

$$\mathcal{E}(t) = N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t) = \mathcal{E}_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad [5.7]$$

Aplicando la ley de Ohm, la expresión de la corriente inducida queda así:

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)}{R} = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad [5.8]$$

donde I_0 es la intensidad máxima ($I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R}$).

Como puede observarse en las expresiones instantáneas de la fem y de la intensidad, éstas varían periódicamente con el tiempo, y por tanto, la corriente eléctrica inducida en el dispositivo anterior es una corriente alterna y, al dispositivo anterior se le denomina **GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA** o **ALTERNADOR**.

Recuerda que para una pila o generador de corriente continua (c. c) se utiliza un símbolo que consiste en dos pequeñas líneas paralelas de distinta longitud, para un generador de c. a. o alternador se utiliza también un símbolo y es el siguiente:



Con la siguiente tabla de valores podemos representar gráficamente ambas magnitudes físicas:

t (s)	$\phi \cdot t = \frac{2\pi}{T} \cdot t \text{ (rad)}$	sen($\omega \cdot t$)	$\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \text{ (V)}$	$I(t) = I_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \text{ (A)}$
0	0	0	0	0
T/4	$\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}$	1	\mathcal{E}_0	I_0
T/2	π	0	0	0
3T/4	$3\pi/2$	-1	$-\mathcal{E}_0$	$-I_0$
T	2π	0	0	0



Figura 5.8

Como podemos observar el signo de la fem cambia dos veces en un periodo, por tanto, el sentido de la corriente eléctrica cambia también dos veces en un periodo.

Podría pensarse que este cambio en el sentido de la intensidad de la c. a. supone que los electrones se desplazan a lo largo del conductor en uno y otro sentido alternativamente, sin embargo, lo que en realidad ocurre, es que los electrones del conductor se ponen a vibrar en torno a una posición fija.

Ejemplo 6º

Una bobina de 1000 espiras circulares de 5 cm de radio cada una gira en el interior de un campo magnético uniforme de 0,2 T, alrededor de un eje vertical que pasa por su centro, a razón de 1200 rpm.

- a) Calcula las expresiones instantáneas del flujo, de la fem inducida y de la intensidad en la bobina, si su resistencia es de 20 Ω.
- b) Calcula el valor de las tres magnitudes anteriores para t = 1s.
- c) Representa gráficamente al flujo, a la fem inducida y a la intensidad en función del tiempo.

Ejemplo 7º

Calcula a qué velocidad angular debería de girar una bobina de 10.000 espiras cuadradas de 20 cm de lado en el seno de un campo magnético de 1 T para que produzca una fem máxima de 220 V. Exprésala en rpm.



5. TRANSFORMADORES

La corriente alterna ha de ser transportada desde donde se produce hasta donde se utiliza. En este transporte se producen pérdidas energéticas por efecto Joule en los cables conductores por los que circula. En concreto la potencia disipada en un conductor de resistencia R por el que circula una c. a. de intensidad I es:

$$P = I^2 \cdot R$$

Si se quieren reducir las pérdidas energéticas puede elegirse entre dos opciones: disminuir la resistencia del cable conductor que la transporta, o disminuir la intensidad que circula por el mismo.

La primera opción supone aumentar el grosor del conductor (recordemos que la resistencia de un conductor viene dada por la expresión: $R = \rho \frac{L}{S}$). Esto implica un mayor gasto en la instalación, al aumentar la cantidad de metal a utilizar y ser mayor el peso que tendrían que soportar las torres de sujeción.

La segunda opción, la disminución de la intensidad que circula, puede conseguirse aumentando la ddp en los cables de conducción. Esto se explica porque la potencia que transporta (energía por unidad de tiempo) una corriente eléctrica viene dada por:

$$P = V \cdot I$$

De modo que para un cierto valor de la potencia, cuando menor sea la intensidad, mayor tendrá que ser la ddp.

Esta segunda opción obliga a transportar la c. a. a un potencial muy elevado. En las centrales eléctricas la c. a. se produce a unos 20.000 V y en los cables se transporta hasta a 400.000 V. Esto exige disponer de un dispositivo que sea capaz de aumentar la tensión de la c. a. a la salida de las centrales eléctricas, y que luego reduzca la tensión al llegar a los lugares de consumo (p. e. 220 V en los hogares). Este dispositivo es el transformador de c. a.

Un transformador es un dispositivo que consiste de un núcleo metálico (generalmente de hierro) al que se enrollan dos conductores formando dos circuitos: un circuito primario con N_1 espiras (arrollamiento primario), y un circuito secundario con N_2 espiras (arrollamiento secundario) (figura 5.9).

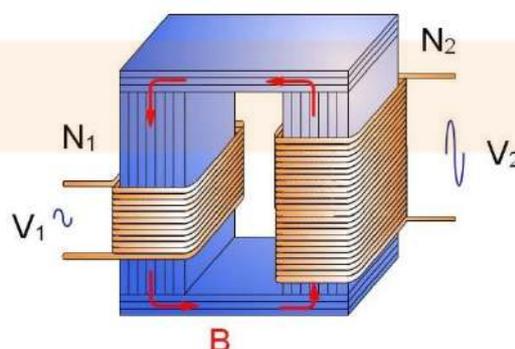


Figura 5.9

Al conectar el circuito primario a una fuente de corriente alterna de voltaje máximo V_1 , ésta genera un campo magnético variable cuyas líneas de campo con conducidas a lo largo del núcleo de hierro hasta atravesar las espiras del circuito secundario. Como la intensidad de la c. a. del primario es variable con el tiempo, el campo magnético que crea también lo será, y por tanto, el flujo magnético a través del secundario, dándose la condición necesaria para que en este último arrollamiento se produzca el fenómeno de la inducción electromagnética, es decir, en el secundario aparecerá una corriente eléctrica inducida que también será alterna.

Puede demostrarse que la relación entre la tensión de entrada V_1 y la tensión de salida V_2 , es la siguiente:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad [5.9]$$

La última expresión nos indica que el voltaje en cada circuito es directamente proporcional al número de espiras que lo forman. Este hecho permite **transformar** la corriente alterna de manera que:

- Si el arrollamiento secundario tiene mas vueltas que el primario, entonces la tensión a la salida del transformador es mayor que a la entrada, es decir, el transformador actúa como un elevador de tensión:

Si $N_2 > N_1$, entonces $V_2 > V_1$ y hablaremos de **elevador de tensión ó transformador de alta**.

- Si el arrollamiento secundario tiene menos vueltas que el primario, entonces la tensión a la salida del transformador es menor que a la entrada, es decir, el transformador actúa como un reductor de tensión:

Si $N_2 < N_1$, entonces $V_2 < V_1$ y hablaremos de **reductor de tensión ó transformador de baja**.

De la misma forma, si suponemos comportamiento ideal del transformador, no habrá pérdida de potencia cumpliéndose:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \Rightarrow \frac{I_1}{N_2} = \frac{I_2}{N_1}$$

donde observamos que la intensidad de corriente en cada circuito es inversamente proporcional al número de espiras en cada uno. Por tanto, un transformador elevador de tensión será reductor de intensidad y, por el contrario, un transformador reductor de tensión será elevador de intensidad.



Figura 5.10

IMPORTANTE:

Un transformador no puede ser utilizado en cc, ya que, si al primario llega una cc, su campo magnético no produciría en el secundario un flujo variable con el tiempo y, por tanto, en este

arrollamiento no se produciría el fenómeno de la inducción electromagnética, es decir, no aparecería corriente inducida en el secundario.

Ejemplo 8º

Un transformador de c. a. está formado por un arrollamiento de 100 espiras y otro de 1000. Calcula cual será la tensión de salida si se conecta de una u otra forma a una tensión alterna de 220 V.



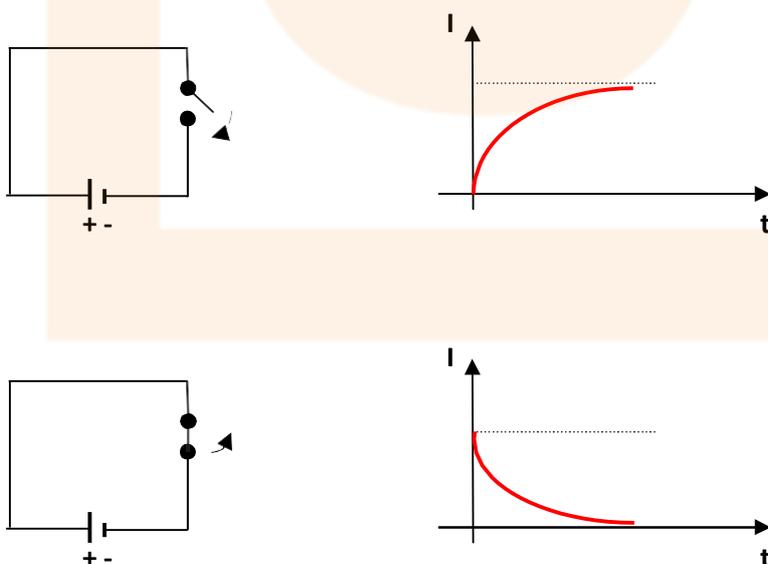
8. AUTOINDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Hasta ahora, en los fenómenos de inducción que hemos estudiado, el campo magnético que utilizábamos para producir el flujo variable en el circuito inducido era externo a este circuito, es decir, utilizábamos como fuente del campo magnético a un imán o a la corriente eléctrica del circuito inductor. Pero, ¿puede un circuito por el que circula una corriente eléctrica producirse a sí mismo fenómenos de inducción, es decir, puede un circuito ser al mismo tiempo el inductor y el inducido? La respuesta es que sí, y al fenómeno ahora se llamaría **AUTOINDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA**. Veámoslo.

Imaginemos un circuito por el que circula una corriente eléctrica variable (p. e. una c. a.). Por ser variable la intensidad de la corriente, creará a su alrededor un campo magnético variable con el tiempo. Este campo magnético variable producirá un flujo variable a través de la superficie del propio circuito, y por tanto, según Henry y Faraday, se dan las condiciones para que se produzca en el propio circuito fenómenos de inducción electromagnética, es decir, además de la corriente eléctrica que ya había en el circuito, aparece una segunda corriente, una corriente extra, la corriente inducida (corriente autoinducida).

Como hemos comprobado en el razonamiento anterior, para que se produzca el fenómeno de autoinducción en un circuito, es necesario que circule por él una corriente eléctrica variable. Según esto podría pensarse que el fenómeno de la autoinducción sólo se presenta en circuitos de c. a. Sin embargo, también se produce en los circuitos de c. c. durante un breve periodo de tiempo cuando se conectan o desconectan dichos circuitos.

Imaginemos un circuito abierto de c.c. Al cerrar el interruptor, varía la intensidad de la corriente que circula por él, que pasa de 0 a un valor I en un breve intervalo de tiempo Δt . En este intervalo de tiempo es cuando se produce la autoinducción, y desaparece cuando la intensidad se estabiliza. Lo mismo sucede cuando, una vez conectado, se desconecte el circuito, porque también habrá un breve intervalo de tiempo en el que la intensidad variará para pasar del valor I al valor 0. Estas corrientes autoinducidas se denominan extracorrientes de cierre y de apertura.



9. ANÁLOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE EL CAMPO ELECTROSTÁTICO Y EL CAMPO MAGNÉTICO

Si analizamos las expresiones del campo eléctrico y del campo magnético creado por una carga puntual, observamos diferentes analogías y diferencias:

$\vec{E} = K \frac{Q_1}{r^2} \vec{U}_r$	(vector campo)	$E = K \frac{ Q_1 }{r^2}$	(módulo del vector campo)
$\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{v} \times \vec{U}_r$	(vector campo)	$B = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{ Q }{r^2} \cdot v$	(módulo del vector campo)

ANÁLOGÍAS

1ª.- Los dos campos son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que separa cada punto de la carga fuente.

2ª.- Las fuerzas de interacción en ambos campos pueden ser de atracción o de repulsión dependiendo del signo de las cargas eléctricas que interactúan (campo eléctrico) o de los polos que interactúan (campo magnético).

3ª.- No son fuerzas por contacto, sino interacciones a distancia que actúan tanto en el vacío como en presencia de medios materiales. La presencia de una carga o de una carga en movimiento, produce una “deformación” que dota al espacio de cierta propiedad en cada uno de sus puntos, creándose, de este modo, los campos correspondientes. Esta “deformación” del espacio sólo se pone de manifiesto al situar en esos puntos a una carga o a una carga testigo en movimiento.

4ª.- En ambos campos el medio juega un importante papel a través de la constante eléctrica K, en el campo eléctrico, y de la permeabilidad magnética μ en el campo magnético.

5ª.- Ambos campos presentan fenómenos de inducción.

DIFERENCIAS

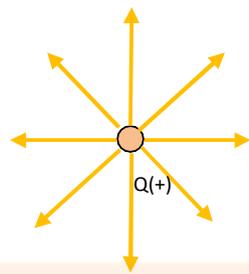
1ª.- Una carga en reposo o en movimiento puede crear un campo eléctrico. Sin embargo, una carga tiene que estar en movimiento para crear un campo magnético.

2ª.- Mientras que el campo eléctrico puede actuar sobre cargas en reposo o en movimiento, el campo magnético sólo puede hacerlo sobre cargas en movimiento.

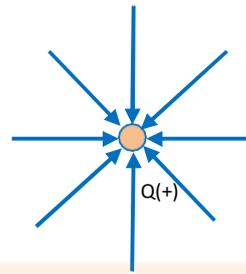
3ª.- El campo eléctrico es central ya que su dirección es la de la recta que une cada punto con la carga que crea el campo. Sin embargo el campo magnético no lo es, es perpendicular a la dirección radial y a la velocidad de la carga que lo crea.

4ª.- El campo eléctrico es conservativo, pero el campo magnético no lo es, es decir, mientras que al campo eléctrico le podemos asociar una energía potencial y un potencial, al campo magnético no.

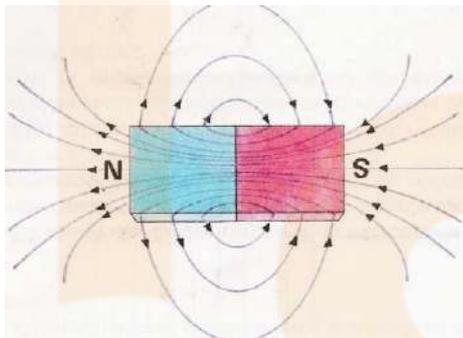
5ª.- Las líneas de campo eléctrico son abiertas, pero las del campo magnético son cerradas.



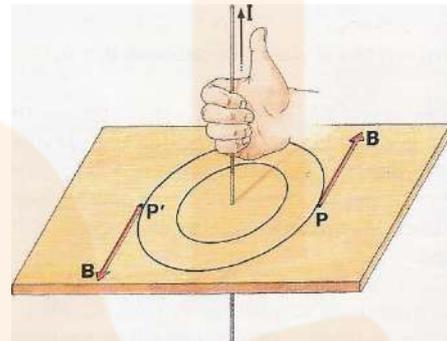
Líneas de fuerza de una carga puntual +



Líneas de fuerza de una carga puntual -



Líneas de fuerza de un imán



Líneas de fuerza de una corriente eléctrica rectilínea

6ª.- Mientras que en el campo eléctrico las cargas positivas y negativas se pueden aislar entre sí (monopolos eléctricos), en el campo magnético el polo norte y el polo sur siempre aparecen juntos (dipolo magnético), es decir, no se pueden separar, no hay monopolos magnéticos.

7ª.- El campo eléctrico es máximo en el vacío. Sin embargo el campo magnético no es máximo en el vacío. En los medios paramagnéticos y ferromagnéticos el campo magnético es mayor que en el vacío, pero en los medios diamagnéticos es menor.