

Unidad Didáctica  
Inducción Electromagnética

*FONDO  FORMACION*

---

# Programa de Formación Abierta y Flexible

*Obra colectiva de FONDO FORMACION*

**Coordinación** *Servicio de Producción Didáctica de FONDO FORMACION  
(Dirección de Recursos)*

**Diseño y maquetación** *Servicio de Publicaciones de FONDO FORMACION*

© **FONDO FORMACION - FPE**

*No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otro método, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.*

**Depósito Legal** *AS -742-2001*

# Unidad Didáctica Inducción Electromagnética

*Cuando un conductor se introduce en el interior de un campo magnético y se somete a movimiento, aparece en él una corriente. Este fenómeno se conoce como **efecto generador**.*

*Éste es el principio de funcionamiento de los generadores eléctricos. Casi la totalidad de la energía mundial (aproximadamente un 90%) se genera gracias a este tipo de fenómenos.*

---

A lo largo de esta unidad estudiaremos los siguientes temas:

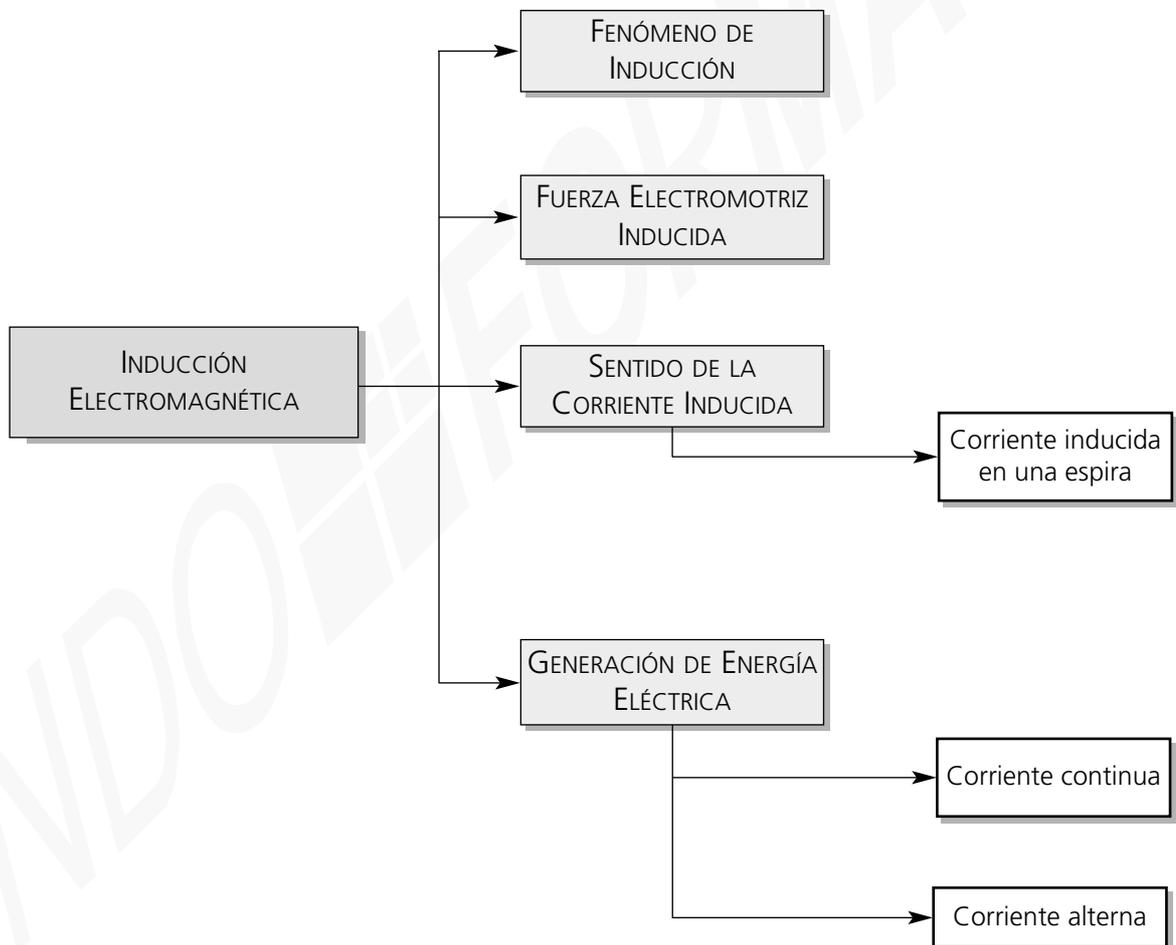
- Inducción electromagnética.
- Fuerza electromotriz inducida.
- Sentido de la fuerza electromotriz inducida.
- Generación de energía eléctrica.

## Tus objetivos

Cuando hayas concluido el estudio de esta unidad, serás capaz de:

- Explicar el fenómeno de inducción electromagnética.
- Identificar los factores de los que depende la fuerza electromotriz inducida.
- Determinar el sentido de la corriente inducida.
- Describir el funcionamiento de los generadores de energía eléctrica.

## Esquema de estudio



## Inducción electromagnética

Recordemos que el paso de una corriente a través de un conductor origina un campo magnético en las proximidades del mismo. Si este conductor recorrido por una corriente eléctrica se introduce en otro campo magnético, la interacción entre ambos da lugar a una fuerza que causa el movimiento del conductor (**efecto motor**).

El efecto contrario también es posible, es decir, un campo magnético es capaz de originar corrientes eléctricas. Las corrientes producidas por medio de campos magnéticos se denominan **corrientes inducidas** y los fenómenos que las crean se llaman fenómenos de inducción electromagnética (**efecto generador**).

Veamos algunos experimentos que muestran cómo se producen estas corrientes.

Supongamos que disponemos de un circuito formado por un conductor en forma de bobina y un galvanómetro. El galvanómetro es un aparato de medida muy sensible, capaz de detectar variaciones de corriente muy débiles.

Al acercar un imán al conductor, el galvanómetro acusará un paso de corriente. Si dejamos el imán en reposo, sin moverse, no se produce corriente. Si ahora movemos la bobina, la aguja del instrumento de medida se desplaza de nuevo.

Esto significa que *la corriente sólo circula mientras el imán y la bobina están en movimiento relativo*.

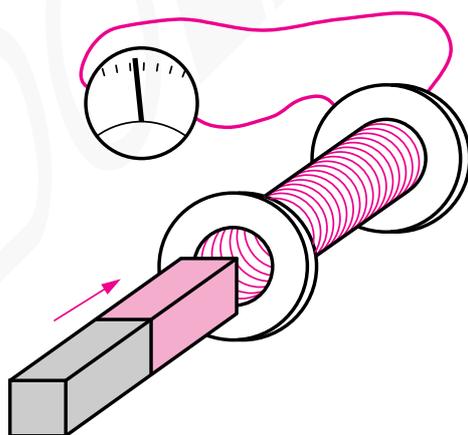


Fig. 1: Corriente inducida en una bobina por el movimiento de un imán.

Al alejar el imán, el indicador del galvanómetro se desplaza en sentido contrario. Si repetimos los movimientos anteriores invirtiendo la polaridad del imán, veremos que la corriente circula en sentido contrario al del caso anterior.

La intensidad de la corriente inducida se debe al movimiento relativo entre el imán y la bobina, y es tanto mayor cuanto más rápido sea este movimiento.

Los mismos efectos se consiguen con un electroimán conectado a un generador de corriente continua y una segunda bobina (fig. 2). Al cerrar el interruptor del electroimán, la corriente comienza a circular a través de él, creando un campo magnético que induce corriente en la otra bobina, tal como nos indica el galvanómetro. Pero esta corriente cesa rápidamente. Si abrimos el interruptor, el galvanómetro vuelve a detectar paso de corriente.

Observamos que sólo se acusa paso de corriente al abrir o cerrar el interruptor.

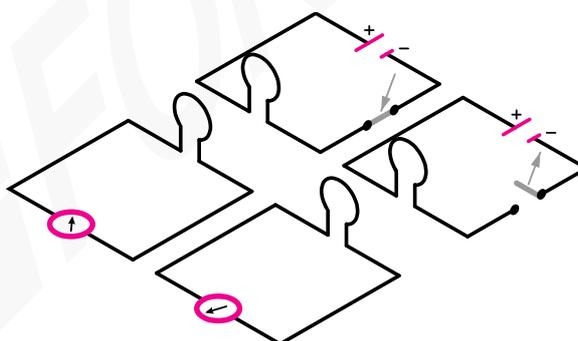


Fig. 2: Corriente inducida por un electroimán en una bobina.

Si ahora, con el interruptor cerrado, movemos una de las bobinas, el galvanómetro vuelve a indicar paso de corriente.

Por lo tanto, igual que en el caso anterior, la corriente sólo circula cuando hay un movimiento relativo entre los dos conductores, o bien cuando existe un variación de corriente en la bobina.

**Las corrientes inducidas se producen debido a una variación del campo magnético, o dicho de otra forma, un campo magnético constante no induce corriente.**

Industrialmente, para crear corrientes inducidas no se utilizan imanes naturales, sino electroimanes.

Recordemos que un electroimán consta de un **núcleo** fabricado con una sustancia ferromagnética\* (hierro, por ejemplo) y un **arrollamiento** a través del cual se hace circular la corriente eléctrica. Esta corriente crea un campo magnético que se amplifica por la acción del núcleo de hierro.

Cuando se usa un electroimán, el circuito por el que circula la corriente se denomina **inductor**, y el circuito en el que se genera la nueva corriente recibe el nombre de **inducido**.

Para conseguir un campo magnético variable y obtener corrientes inducidas, existen tres posibilidades:

- Mantener fijos los dos circuitos y hacer circular por el inductor una corriente alterna. (Principio de funcionamiento de los **transformadores**.)
- Movimiento de conductores en campos magnéticos. (Principio de funcionamiento de los generadores de corriente continua o **dinamos** y de algunos **alternadores**.)
- Movimiento de un campo respecto a un conductor fijo. (Principio de funcionamiento de los generadores de corriente alterna o **alternadores**.)

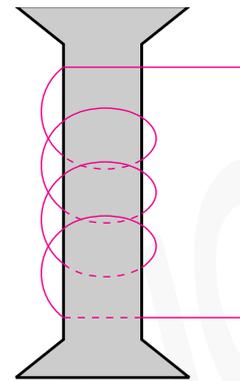


Fig. 3: Electroimán.

### ACTIVIDAD 1

Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- |  | V                        | F                        |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Las corrientes producidas por medio de campos magnéticos se denominan corrientes inducidas.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. El fenómeno de inducción de corriente recibe el nombre de efecto motor.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Un campo magnético constante induce corriente.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. La corriente inducida es tanto mayor cuanto más rápido sea el movimiento relativo entre el conductor y el imán. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## Fuerza electromotriz inducida

En el apartado anterior se ha explicado que en una bobina sometida a la influencia de un campo magnético se manifiesta una corriente eléctrica. Como recordarás, la aparición de una corriente siempre está ligada a la presencia de una fuerza electromotriz.

Esta f.e.m. se denomina **fuerza electromotriz de inducción** y su valor depende de:

- La **inducción magnética** del imán (el número máximo de líneas de fuerza que admite el imán).
- La **velocidad del movimiento** que le imprimimos.
- La **longitud del hilo** que atraviesa el campo.

Como vemos en la figura 4, disponemos de un hilo de cobre de longitud **L**, que se mueve libremente a través de un campo magnético de inducción  $\beta$ , con una velocidad **v**.

Cada vez que el hilo atraviesa el campo magnético, aparece en él una f.e.m. o tensión inducida, cuyo valor viene dado por la siguiente expresión:

### Fuerza electromotriz inducida

$$E = \frac{\beta \cdot L \cdot v}{100.000.000}$$

En donde:

**E:** f.e.m. inducida, voltios (V)

**$\beta$ :** inducción, gauss (G).

**L:** longitud del hilo (cm).

**v:** velocidad (cm/s).

$$E = \frac{\beta \cdot L \cdot v}{100.000.000}$$

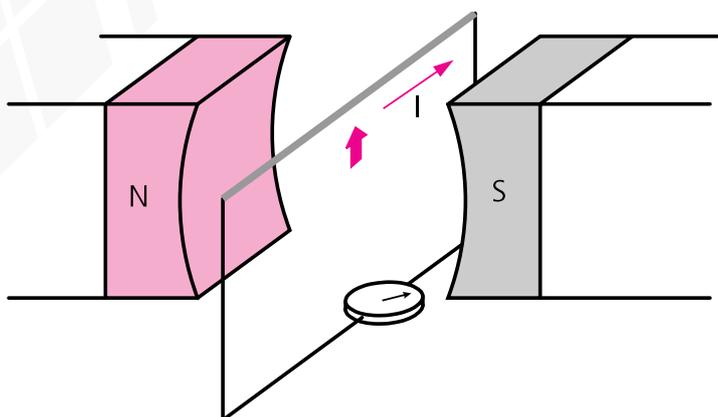


Fig. 4: Fuerza electromotriz inducida en un conductor rectilíneo.

**Ejemplo:**

Calcular la tensión que se induce en un conductor, cuya longitud activa es de 250 mm, si corta con velocidad de 20 m/s un campo magnético de 12.000 gauss.

Lo primero que haremos será pasar las longitudes a centímetros:

$$250 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} = 25 \text{ cm}$$

$$20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 2.000 \text{ cm/s}$$

Aplicando la fórmula anterior:

$$E = \frac{\beta \cdot L \cdot v}{10^8} = \frac{12.000 \times 25 \times 2.000}{10^8} = 6 \text{ V}$$

**Sentido de la corriente inducida**

El sentido de la tensión inducida se determina a partir de la **Regla de la mano derecha**:

Colocando perpendicularmente entre sí los dedos pulgar, índice y medio de la mano derecha (fig. 5), cuando el pulgar indique el sentido del movimiento, y el índice, el del flujo magnético, el medio señalará el sentido de la corriente.

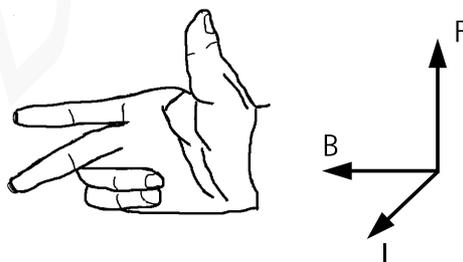
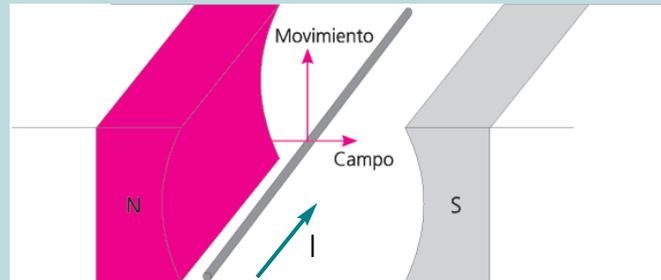


Fig. 5: Regla de la mano derecha.

### Ejemplo:

¿Cuál es el sentido de la corriente inducida en el conductor de la figura?



Para calcular el sentido de la corriente, lo único que tenemos que hacer es aplicar la regla de la mano derecha, colocando el pulgar paralelo al vector movimiento y el índice en el sentido del campo. De este modo, el dedo corazón nos indicará directamente cuál es el sentido de la corriente.

Es este caso comprobamos que la corriente entra en el conductor.

### Corriente inducida en una espira

Una espira está formada por dos conductores (conductor de ida y conductor de vuelta). Para calcular el sentido de la corriente inducida, se aplica la regla de la mano derecha a cada uno de ellos.

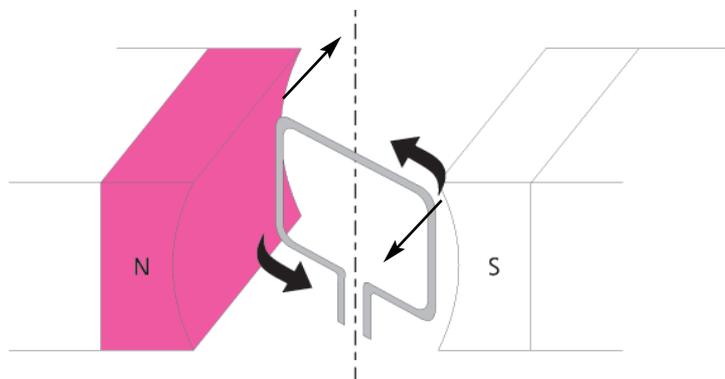


Fig. 6: Sentido de la corriente inducida en una espira.

Si la dirección del movimiento y las líneas de campo son paralelas entre sí, no se produce corriente. Observarás que resulta imposible colocar los dedos de forma que sigan sus direcciones y queden perpendiculares.

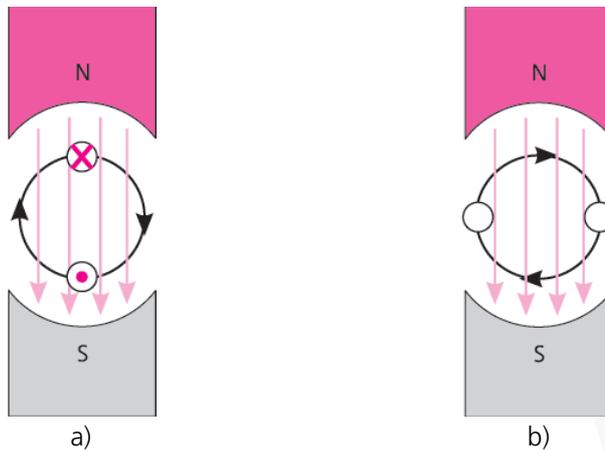


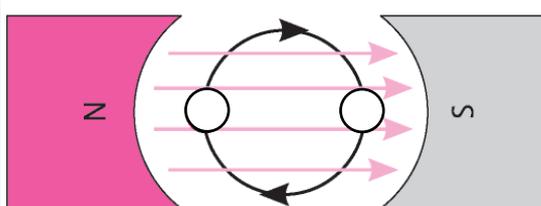
Fig. 7: Sentido de la fuerza electromotriz inducida en una espira.  
 a. Dirección del movimiento y campo perpendiculares: f.e.m máxima.  
 b. Dirección del movimiento y campo paralelas: no se induce f.e.m.

Las corrientes inducidas, como hemos dicho, son muy débiles. Para ampliar su valor se procura obtener campos magnéticos más fuertes (con electroimanes, por ejemplo). En lugar de un hilo se utilizan varias espiras (un solenoide), al tiempo que se imprime a la espira, o espiras, una rotación muy veloz. Estamos en presencia de un rudimentario generador.

## ACTIVIDAD 2

¿Cuál es el sentido de la corriente que recorre la espira de la figura?

*NOTA: debes aplicar la regla de la mano derecha.*



## Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica está definida por su tensión e intensidad. Estos parámetros se presentan de dos formas: onda senoidal\* (corriente alterna) u onda constante (corriente continua).

### Generación de corriente

Consideremos el circuito de la figura 8. Los extremos de una espira están unidos a dos anillos metálicos o de carbón conductor (**anillos colectores**). Estos anillos rozan con dos **escobillas**, cuya función es recoger la tensión en extremos (**bornes**) de la espira.

Al hacer girar la espira en el interior del campo magnético del imán, el número de líneas que la cortan varía a cada momento, lo que origina la aparición en el conductor de una **fuerza electromotriz**, que también sufre variaciones con el giro de la espira.

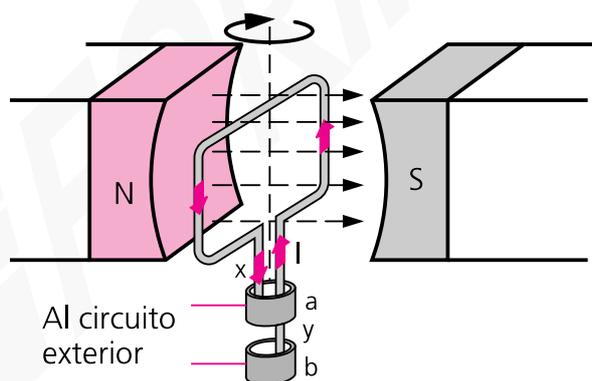


Fig. 8: Giro de una espira en el interior de un campo magnético.

En el caso de que el circuito se conecte a un elemento exterior (una bombilla, una resistencia...), se originará una corriente eléctrica.

La intensidad de la **corriente inducida** varía constantemente y sus valores se repiten, pero en sentido opuesto, a cada media vuelta, como veremos a continuación. De esta manera, se obtiene la denominada **corriente alterna**.

Examinando las distintas posiciones que la espira va ocupando en su giro y representando las corrientes correspondientes, obtenemos la gráfica de la figura 9.

Veamos qué es lo que ocurre con la tensión cuando la espira gira en el sentido de las agujas del reloj. Para ello representamos en una gráfica los valores que toma la tensión cuando la espira realiza una vuelta completa.

El eje vertical de la gráfica corresponde a los valores de la tensión inducida, y sobre la línea horizontal se mide el tiempo; es decir, se representan las unidades de tiempo empleadas por el generador en cada revolución.

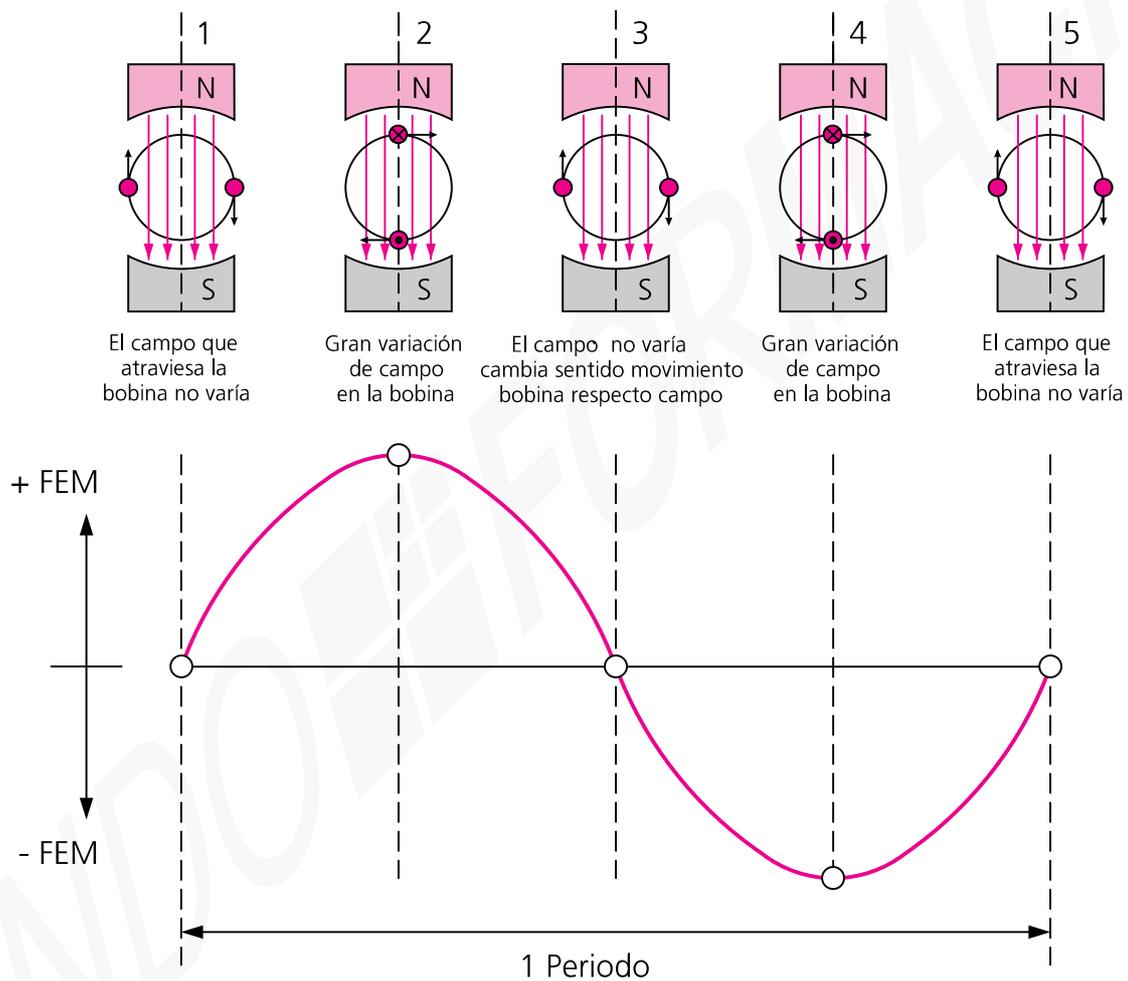


Fig. 9: Generación de corriente alterna.

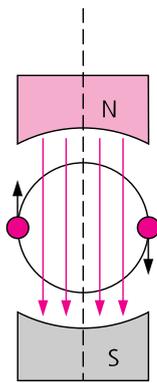


Fig. 10: Posición 0°.

### Posición 0°

En este instante la espira está situada perpendicularmente a las líneas de fuerza del campo magnético. Al no cortarse éstas con el vector (**flecha**) que representa el movimiento, no se genera fuerza electromotriz, ya que no hay variación en el campo que atraviesa la espira. El campo no varía debido a que el conductor se desplaza paralelamente a las líneas de fuerza y no corta a ninguna (fig. 10).

La tensión es cero y su valor se representa en la gráfica en el punto de origen, sobre la intersección de los dos ejes.

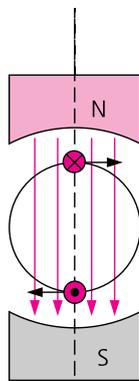


Fig. 11: Posición 90°.

### Posición 90°

La espira va avanzando hasta describir 1/4 de vuelta, es decir, 90°. El número de líneas cortadas por el conductor en la unidad de tiempo es cada vez mayor, por lo que la fuerza electromotriz inducida aumenta hasta llegar al valor máximo positivo (fig. 11).

El vector movimiento corta perpendicularmente a las líneas de campo.

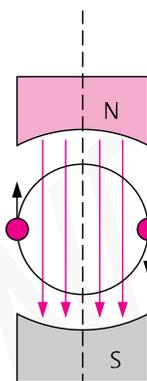


Fig. 12: Posición 180°.

### Posición 180°

La espira ha completado media vuelta, y se ha colocado de modo que vuelve a moverse paralelamente a las líneas de campo. En esta posición no se induce corriente. Desde la posición anterior hasta la actual, el número de líneas fue disminuyendo progresivamente, así como la fuerza electromotriz inducida (fig. 12).

A partir de este momento, la corriente cambia de sentido (hemos dado la vuelta a la espira). Si antes hemos considerado a la tensión como positiva, ahora debemos considerarla como negativa.

### Posición 270°

En este momento hemos alcanzado otro valor máximo (se han cortado, otra vez, todas las líneas de fuerza), pero de valor negativo. Tendremos los mismos valores máximos de tensión que en la posición 90°, pero de sentido contrario (fig. 13).

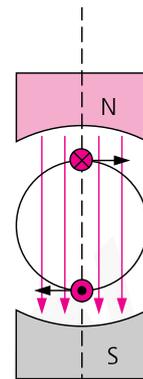


Fig. 13: Posición 270°.

### Posición 360°

Hemos alcanzado otro valor cero, similar al de la posición 0°, puesto que la espira está otra vez en su posición inicial (fig. 14).

Si la espira sigue girando con la misma velocidad, irá repitiéndose la curva. Ésta tiene una forma que es la representación de la **función seno** y recibe el nombre de curva **senoidal**.

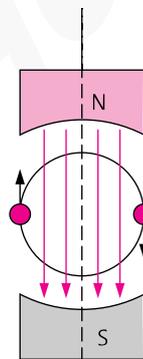


Fig. 14: Posición 360°.

**Posiciones 0°, 180° y 360°:** el vector movimiento es paralelo al campo. Ninguna línea de fuerza corta al conductor: no se induce fuerza electromotriz.

**Posiciones 90° y 270°:** el vector movimiento es perpendicular al campo. El conductor corta al máximo número de líneas de fuerza. La fuerza electromotriz resultante en este caso es máxima.

## ACTIVIDAD 3

Completa el texto con las palabras adecuadas:

*máxima, nula, fuerza electromotriz.*

Al hacer girar una espira en el interior de un campo magnético, el número de líneas que la cortan varía a cada momento, lo que origina la aparición en el conductor de una ....., que también sufre variaciones con el giro de la espira.

Cuando el vector que representa el movimiento es perpendicular al campo magnético, la fuerza electromotriz resultante es ..... En el caso de que ambos vectores sean paralelos, esta fuerza electromotriz es .....

## Generación de corriente continua

El método que se utiliza industrialmente para generar corriente continua es muy similar al que hemos estudiado para corriente alterna. La única diferencia está en la **disposición del colector**.

En este caso no está formado por dos anillos, sino por un semianillo; sobre cada una de las mitades, se sitúan las escobillas. Los semianillos giran con la espira, mientras que las escobillas rozan sobre ellos y sacan la corriente al exterior.

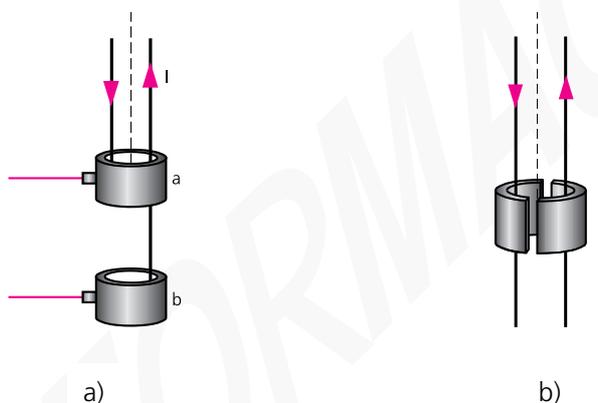


Fig. 15: Diferencia entre el colector de c.a. (a) y el de c.c. (b).

Al igual que en el caso anterior, cuando la espira gira en el interior del campo magnético, el número de líneas que la cortan varía, modificándose, a la vez, el valor de la fuerza electromotriz inducida.

A cada media vuelta, la escobilla toca un anillo distinto, de forma que la corriente siempre sale o entra por ella, nunca cambia de signo. Cada escobilla tendrá siempre la misma polaridad\*.

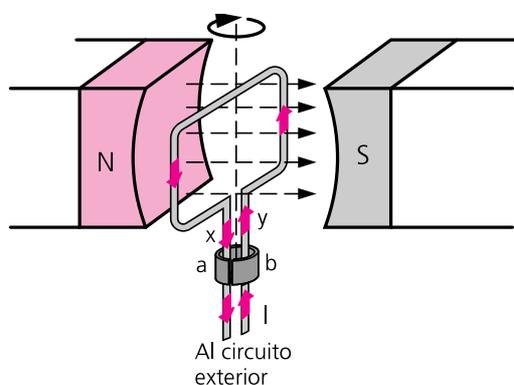


Fig. 16: Generación de corriente continua.

La onda generada en este caso nunca cambia de signo, sólo cambia de valor, dando lugar a una onda pulsatoria (fig. 17). Si en lugar de una sola espira el circuito se compone de muchas, la onda de corriente continua se irá rectificando\*, y la corriente inducida será prácticamente continua (fig. 18).

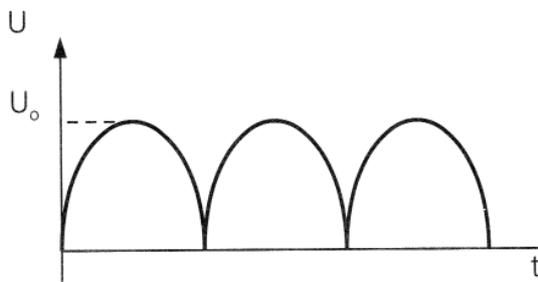


Fig. 17: Onda de corriente continua pulsatoria.

Basándose en este hecho, se fabrican los generadores de corriente continua o dinamos, donde el circuito inducido no está formado por una sola espira, sino por un bobinado.

A medida que vamos aumentando el número de espiras, la variación de la f.e.m. resultante será cada vez menor. Por lo tanto, una corriente prácticamente continua se consigue a partir de las 20 bobinas.

Como en la realidad las máquinas disponen de un número de bobinas muy superior a 20, se puede decir que la dinamo produce una f.e.m. continua pura.

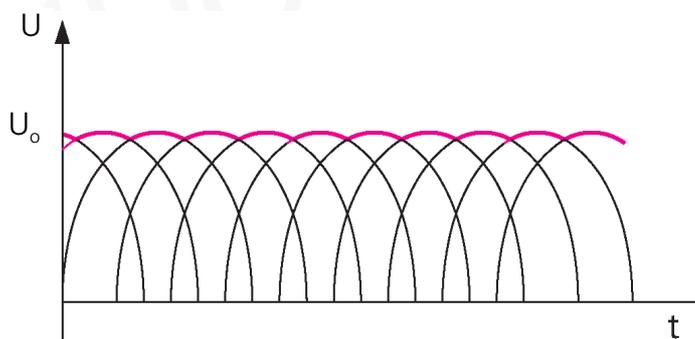


Fig. 18: Onda de corriente continua.

#### ACTIVIDAD 4

Indica si las siguientes características pertenecen a un generador de corriente continua o a uno de corriente alterna:

- a. El colector está formado por dos anillos.
- b. El colector está formado por dos semianillos.
- c. La onda resultante no cambia de signo, sólo de valor.
- d. La onda generada cambia de signo y de valor.

Si consideras que has concluido el estudio de esta unidad, intenta responder a las siguientes cuestiones de autoevaluación.

## Cuestiones de autoevaluación

1

Explica cómo se consigue producir una corriente eléctrica en un conductor que está dentro de un campo magnético.

2

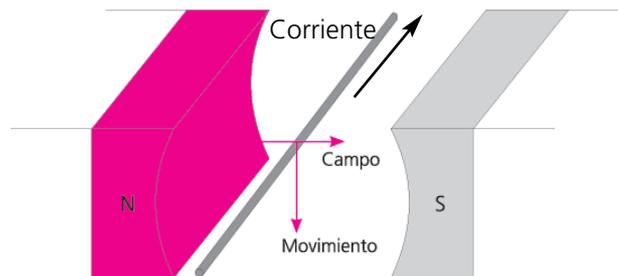
Elige las respuestas correctas:

La fuerza electromotriz inducida depende de:

- a. La inducción magnética del imán.
- b. La longitud del hilo conductor.
- c. La resistencia del conductor.
- d. La velocidad del movimiento del conductor respecto del imán.

3

En la figura se muestra un conductor en el interior de un campo magnético. ¿Es correcto el sentido de la corriente?



4

Explica las diferencias entre un generador de corriente alterna y uno de corriente continua.

## Respuestas a las actividades

# R

### ACTIVIDAD 1

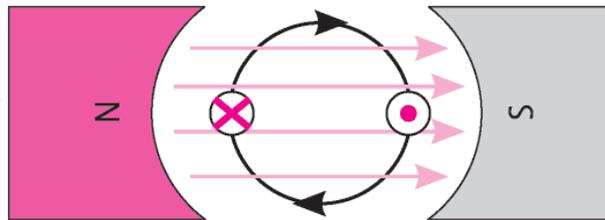
Las afirmaciones a y d son verdaderas.

- b. **Falsa:** el fenómeno de inducción de corriente recibe el nombre de efecto generador.
- c. **Falsa:** un campo magnético constante nunca induce corriente.

# R

### ACTIVIDAD 2

Aplicando la regla de la mano derecha a cada una de las espiras, calculamos el sentido de la corriente.



# R

### ACTIVIDAD 3

Al hacer girar una espira en el interior de un campo magnético, el número de líneas que la cortan varía a cada momento, lo que origina la aparición en el conductor de una **fuerza electromotriz**, que también sufre variaciones con el giro de la espira.

Cuando el vector que representa el movimiento es perpendicular al campo magnético, la fuerza electromotriz resultante es **máxima**. En el caso de que ambos vectores sean paralelos, esta fuerza electromotriz es **nula**.

# R

### ACTIVIDAD 4

La respuesta correcta es la siguiente:

- **Generador de corriente alterna:** a, d.
- **Generador de corriente continua:** b, c.

## Respuestas a las cuestiones de autoevaluación

Si el conductor se introduce en el interior del campo magnético y se somete a movimiento, se induce una corriente eléctrica en dicho conductor. Esta corriente aparece debido a la variación del campo magnético; un campo magnético constante no da lugar a una corriente inducida.

1

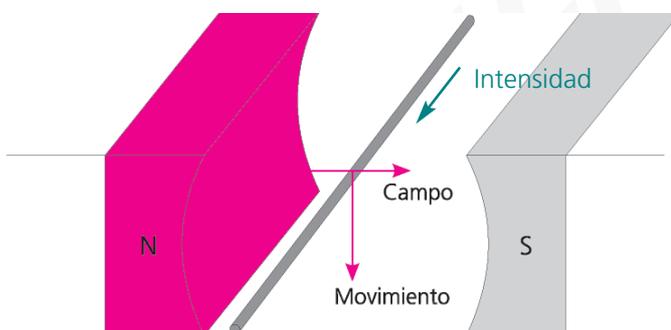
La fuerza electromotriz inducida depende de:

2

- a. La inducción magnética del imán.
- b. La longitud del hilo conductor.
- d. La velocidad del movimiento del conductor respecto del imán.

El sentido de la corriente de la figura no es correcto. Al aplicar la regla de la mano derecha, comprobamos que la circulación se produce en sentido contrario.

3



La principal diferencia entre un generador de corriente alterna y uno de corriente continua está en la disposición de los anillos conductores. En el primer caso, cada uno de los dos conductores que forman la espira está conectado a un anillo, y permanece siempre en contacto con él.

4

En un conductor de corriente continua, el colector está formado por dos semianillos. Cada escobilla recibe, a cada media vuelta, corriente de uno u otro semianillo, de forma que la polaridad de cada una de ellas siempre es la misma (la corriente entra por una escobilla y sale por la otra).

# Resumen de Unidad

## Inducción electromagnética

Si un conductor se introduce en el interior de un campo magnético y se somete a movimiento, se induce en él una fuerza electromotriz, la cual, si se cierra el circuito, dará lugar a una circulación de corriente. Esta corriente se debe al movimiento relativo entre el imán y la bobina, y es tanto mayor cuanto más rápido sea este movimiento.

## Fuerza electromotriz inducida

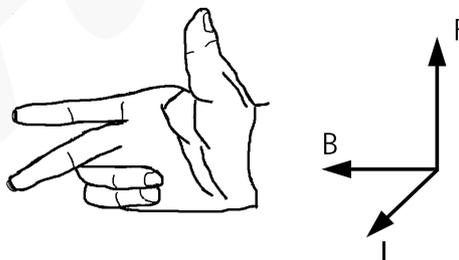
El valor de la **fuerza electromotriz de inducción** depende de:

- La **inducción magnética** del imán (el número máximo de líneas de fuerza que admite el imán).
- La **velocidad del movimiento** que le imprimimos.
- La **longitud del hilo** conductor.

$$E = \beta \cdot L \cdot v$$

## Sentido de la corriente inducida

El sentido de la corriente inducida se determina por la **Regla de la mano derecha**:



## Generación de corriente alterna

Cada extremo de la espira se une a un anillo conductor (**anillos colectores**). Estos anillos, al girar, rozan con dos **escobillas**, cuya función es la de recoger la tensión en extremos (**bornes**) de la espira. Al girar la espira, varía el número de líneas de fuerza que la cortan, por lo que también lo hace la fuerza electromotriz que se induce en ella.

## Generación de corriente continua

En este caso, el colector está formado por dos **semianillos**. Sobre cada uno de ellos se sitúan las escobillas que sacan la corriente al exterior. Cada una de las escobillas conserva siempre la misma polaridad, de forma que por una sale corriente y por la otra entra.

## Notas

## Vocabulario

**Onda senoidal:** gráfica de la función trigonométrica  $f(x) = \text{sen } x$ . Esta onda comienza en cero, va aumentando hasta un máximo y vuelve a cero, para repetir esta operación en sentido contrario.

**Polaridad:** en el caso de las escobillas, indica que la corriente siempre conserva el mismo sentido en cada una de ellas. Si se trata de un imán, se refiere a los polos Norte y Sur.

**Rectificar:** aplicado a una onda alterna, consiste en someterla a una serie de aplicaciones que la conviertan en continua.

**Sustancia ferromagnética:** es aquella que concentra las líneas de fuerza que la atraviesan, ampliando el campo magnético.



*FONDO  FORMACION*