

## LEY DE AMPERE

Del mismo modo que el t. de Gauss permite calcular el campo eléctrico debido a determinadas distribuciones simétricas de carga eléctrica, la ley de Ampere permite calcular el campo magnético debido a determinadas distribuciones simétricas de corrientes eléctricas.

El campo magnético creado por un conductor rectilíneo es  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$  de donde, se deduce que:

$$B 2\pi r = \mu_0 I$$

El primer miembro se denomina circulación del vector  $\vec{B}$  a lo largo de la circunferencia. Ampere demostró que esta expresión es válida para cualquier línea cerrada que englobe una o más corrientes.

Si el vector  $\vec{B}$  cambia a lo largo de una línea, la circulación del vector  $\vec{B}$  es la suma a lo largo de la línea de los productos  $\vec{B} \cdot d\vec{L}$ , siendo  $d\vec{L}$ , los elementos diferenciales de longitud de la línea cerrada. En este caso, la suma se transforma en una integral:

$$\text{Circulación de } \vec{B} = \int \vec{B} \cdot d\vec{L}$$

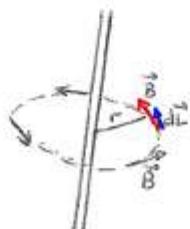
LEY DE AMPERE: La circulación de  $\vec{B}$  a lo largo de una línea cerrada es igual a  $\mu_0$  veces la intensidad de la corriente o corrientes encerradas por ella.

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \Sigma I$$

El término  $\Sigma I$  se interpreta tomando como positivas las corrientes encerradas por la línea con sentido de avance del sacacorchos que gira en el sentido de la circulación del vector  $\vec{B}$  y siendo negativas las corrientes con sentido contrario.

### APLICACIONES DE LA LEY DE AMPERE AL CALCULO DE CAMPOS MAGNETICOS

#### HILO INDEFINIDO (Ley de Biot y Savart): CAMPO MAGNETICO EN EL EXTERIOR DE UN CONDUCTOR



$$\int \vec{B} \cdot d\vec{L} = \int B dL \cos 0 = B L = B 2\pi r$$

$dL$  = desplazamiento infinitesimal a lo largo del camino o línea

$$B 2\pi r = \mu_0 I \quad \boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}}$$

#### CAMPO MAGNETICO EN EL INTERIOR DE UN CONDUCTOR

Consideramos una circunferencia de radio  $r < R$   $R$  = radio del conductor

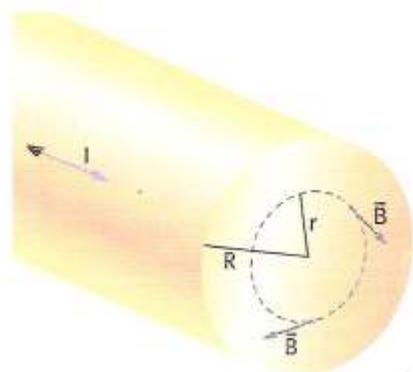
$$\int \vec{B} \cdot d\vec{L} = \int B \cdot dL \cos 0 = \int B dL = B 2\pi r = \mu_0 I'$$

$I'$  = intensidad de la corriente encerrada por la circunferencia de radio  $r$ .

Como la corriente está distribuida uniformemente:  $\frac{I}{S_R} = \frac{I'}{S_r}$

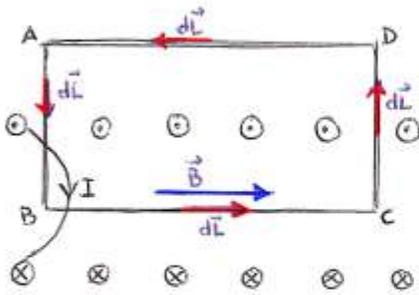
$$\frac{I}{\pi R^2} = \frac{I'}{\pi r^2} \rightarrow I' = \frac{r^2}{R^2} I \Rightarrow B 2\pi r = \mu_0 \frac{r^2}{R^2} I$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}}$$



## CAMPO MAGNETICO DEBIDO A UN SOLENOIDE EN SU INTERIOR

Un solenoide está formado por una serie de espiras circulares paralelas e iguales. Por tanto, circulará por ellas la misma corriente y en el mismo sentido.



Sea un solenoide de longitud  $L$ , por el que circula una corriente  $I$  y está formado por  $N$  espiras. Para determinar el campo magnético, aplicando la ley de Ampere, tomamos un camino cerrado ABCD que sea atravesado por corrientes. La circulación es la suma de las cuatro contribuciones

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = \int_A^B \vec{B} \cdot d\vec{L} + \int_B^C \vec{B} \cdot d\vec{L} + \int_C^D \vec{B} \cdot d\vec{L} + \int_D^A \vec{B} \cdot d\vec{L}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = \int_A^B \vec{B} \cdot d\vec{L} \frac{\cos 90^\circ}{0} + \int_B^C \vec{B} \cdot d\vec{L} \cos 0 + \int_C^D \vec{B} \cdot d\vec{L} \frac{\cos 90^\circ}{0} + \int_D^A \vec{B} \cdot d\vec{L} \frac{\cos 90^\circ}{0}$$

$$\int_D^A \vec{B} \cdot d\vec{L} \frac{\cos 90^\circ}{0} = \int_B^C \vec{B} \cdot d\vec{L} = \int_B^C B \cdot dL = \int_B^C B \cdot L$$

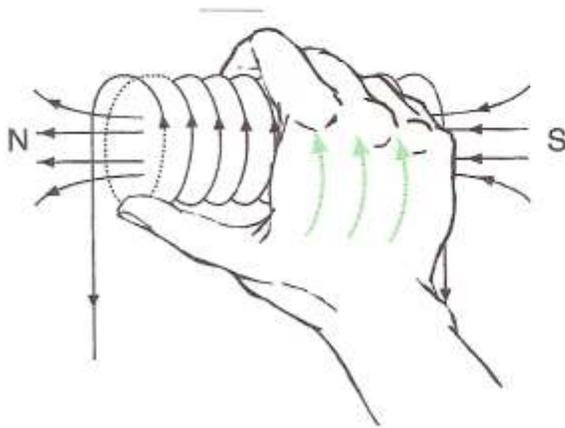


Fig. 8.50. Regla de la mano derecha para saber la polaridad del campo magnético de una bobina o solenoide

(\*) La contribución es cero, ya que en el exterior al solenoide, el campo es muy débil.

Como por cada espira del solenoide pasa una corriente  $I$  y son  $N$  espiras  $\Rightarrow BL = \mu_0 NI$

$$BL = \mu_0 NI \quad B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

Los Solenoides tienen gran importancia en electromagnetismo

porque el campo magnético que usan en su interior es uniforme. Además, se comportan como un imán, ya que posee un polo N en uno de sus extremos y un polo S en el otro.

## CAMPO MAGNETICO DE UN ELECTROIMAN

Si en el solenoide se coloca en su interior como núcleo, una sustancia de elevada permeabilidad magnética, por ej, el hierro, se forma un electroimán, que suele tener forma de herradura.

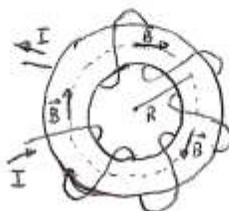
$$B = \frac{\mu NI}{L}$$

El valor de la inducción magnética aumenta mucho en un electroimán por ej: hierro  $\mu_{Fe} = 1000 \mu_0$

## CAMPO MAGNETICO DEBIDO A UN TOROIDE

Un toroide es un conjunto de espiras circulares enrolladas en torno a un núcleo de hierro en forma de anillo.

$$B = \mu_0 \frac{N}{2\pi R} I$$



$N = n^2$  espiras enrolladas en el toroide

En puntos exteriores del toroide, el campo magnético es prácticamente nulo.

## INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Oersted demostró que una corriente eléctrica era capaz de originar un campo magnético. Entonces, los físicos especularon sobre la posibilidad de que se produjera el fenómeno contrario, es decir, que un campo magnético pudiera producir una corriente eléctrica. Fue Faraday quien demostró que se podía producir este fenómeno a partir de sus experimentos. Este fenómeno se denomina "inducción electromagnética".

El experimento de Faraday se puede reproducir a partir de una espira conductora que no esté conectada a ninguna fuente de alimentación eléctrica. Si acercamos o alejamos un imán a la espira, el galvanómetro detecta el paso de la corriente eléctrica por la espira mientras el imán se mueve. El sentido de la corriente cuando se acerca el imán es opuesto al sentido que tiene cuando se aleja.

Si se mantiene fijo el imán y se mueve la espira, el resultado es el mismo: aparece una corriente inducida mientras hay movimiento relativo entre la espira y el imán.

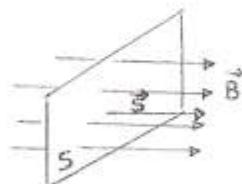
Si sustituimos el imán por un solenoide, se obtiene también corriente inducida en la espira, mientras que se mueva el solenoide.



En todas estas experiencias, se obtiene una corriente eléctrica en el circuito de la espira, sin que se haya conectado a una batería o pila. Por lo tanto, se ha producido una fuerza electromotriz que ha originado la corriente.

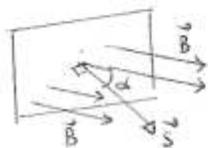
**Inducción electromagnética:** En determinadas condiciones se induce en un circuito una fuerza electromotriz capaz de generar una corriente eléctrica sin necesidad de establecer conexiones con ninguna fuente de alimentación.

## FLUJO MAGNETICO



Sea una superficie plana  $S$  colocada perpendicularmente a la dirección de las líneas de fuerza de un campo magnético uniforme. El nº de líneas que atraviesan la superficie dependerá de la intensidad del campo y de la extensión de la superficie.  $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$        $\phi \rightarrow$  Weber (Wb)

$$\phi = B \cdot S \cos \alpha \rightarrow \text{si } \vec{B} \parallel \vec{S} \quad \alpha = 0^\circ \quad \phi = B \cdot S$$



Si la superficie no está colocada  $\perp$  a la dirección del campo magnético, el flujo magnético es menor.

El flujo magnético representa el nº de líneas que atraviesan una superficie y es igual al producto escalar de  $\vec{B}$  y el vector superficie  $\vec{S}$ .

$\vec{S}$  es  $\perp$  a la superficie

$$\boxed{\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha}$$

## LEY DE LENZ

El sentido de la corriente inducida es tal que su flujo se opone a la causa que lo produce.

Esta ley se puede considerar como el principio de acción y reacción del electromagnetismo.

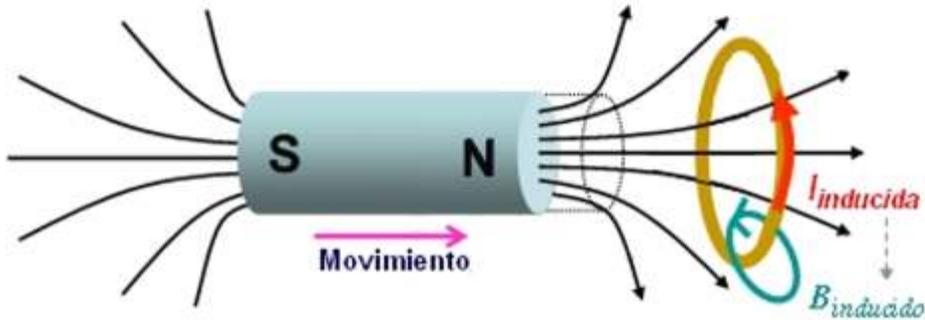
La polaridad de una fuerza electromotriz inducida es tal, que tiende a producir una corriente, cuyo campo magnético se opone siempre a las variaciones del campo existente producido por la corriente original.

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos \alpha$$

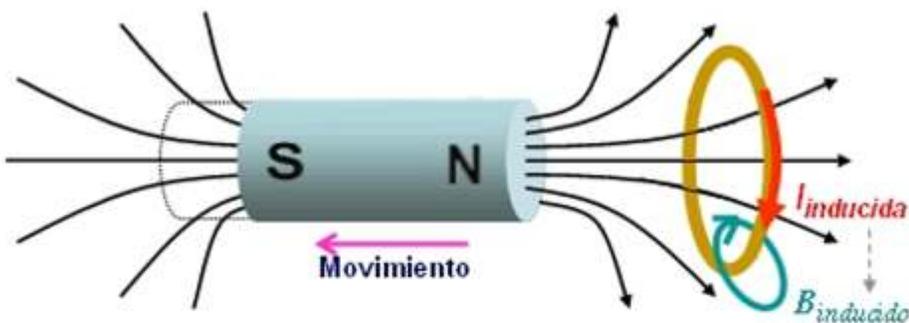
$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi}{dt}$$

$$\mathcal{E} = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{para } N \text{ espiras})$$

**LEY DE LENZ: El sentido de la corriente inducida es tal que su variación de flujo se opone a la causa que lo produce**



A medida que se acerca el imán, aumenta el flujo, ya que aumenta el campo magnético. El campo magnético inducido crea una corriente que debilita el campo magnético principal.



A medida que se aleja el imán, disminuye el flujo, ya que disminuye el campo magnético. El campo magnético inducido crea una corriente que refuerza el campo magnético principal.