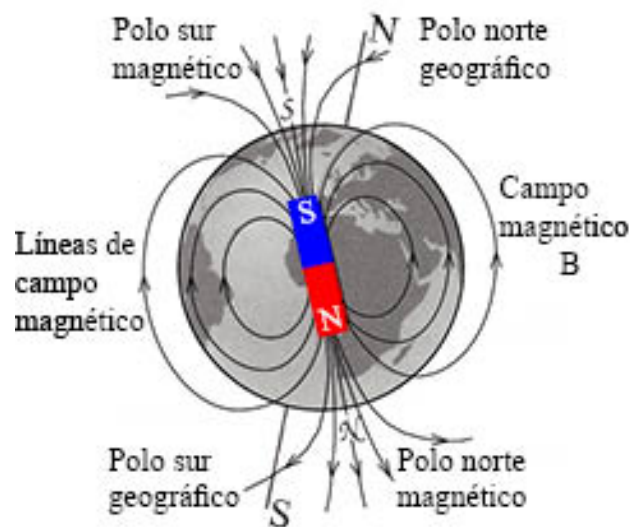
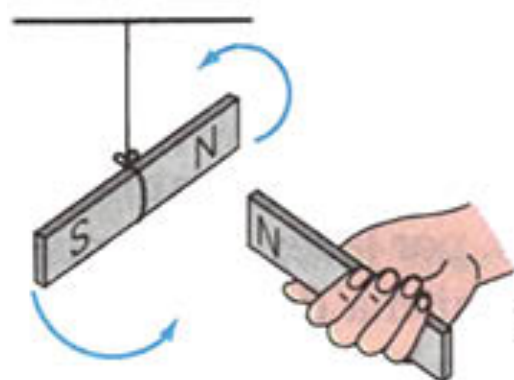


Magnetismo e Imanes

La magnetita, un mineral de hierro ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$) conocido desde hace varios miles de años, fue utilizada por Gilbert para realizar estudios que le llevaron a concluir que la orientación de las brújulas (hechas de este mineral), en la dirección norte-sur terrestre, se debe a que la Tierra misma es un imán de gran tamaño cuyos extremos coinciden aproximadamente con los polos geográficos norte y sur.

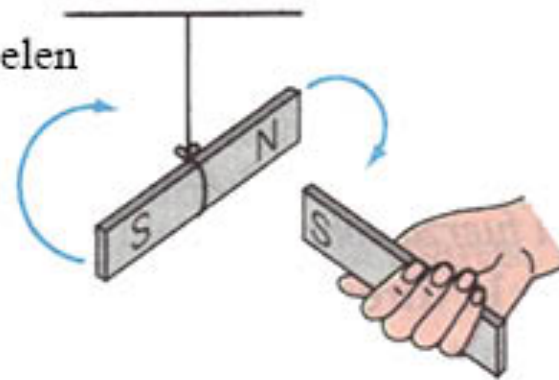


Ésta es la razón por la que a los extremos de un imán, llamados polos magnéticos, también se les identifica como polos norte y sur. Donde al acercar polos iguales se repelen y al acercar polos diferentes se atraen.

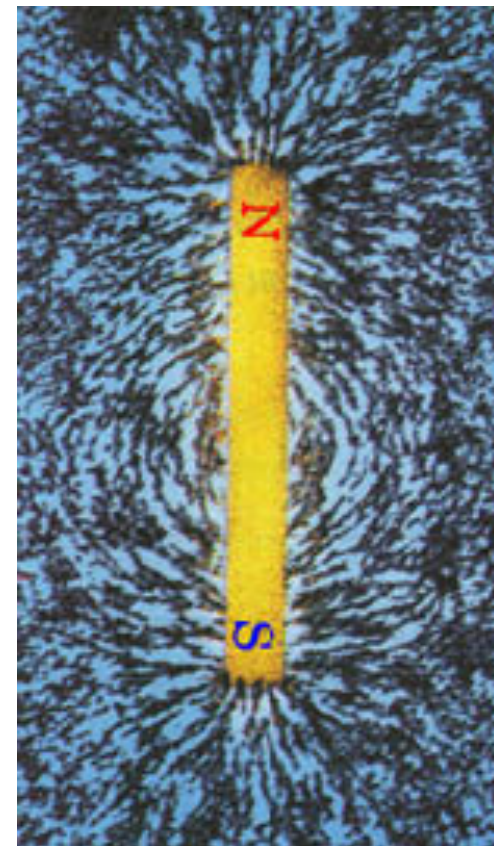
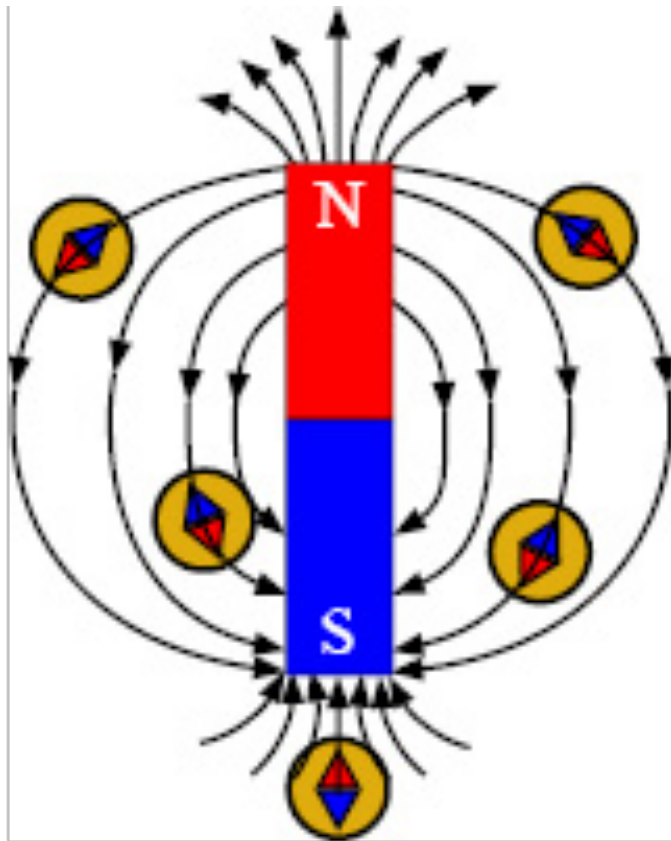


Polos diferentes se atraen

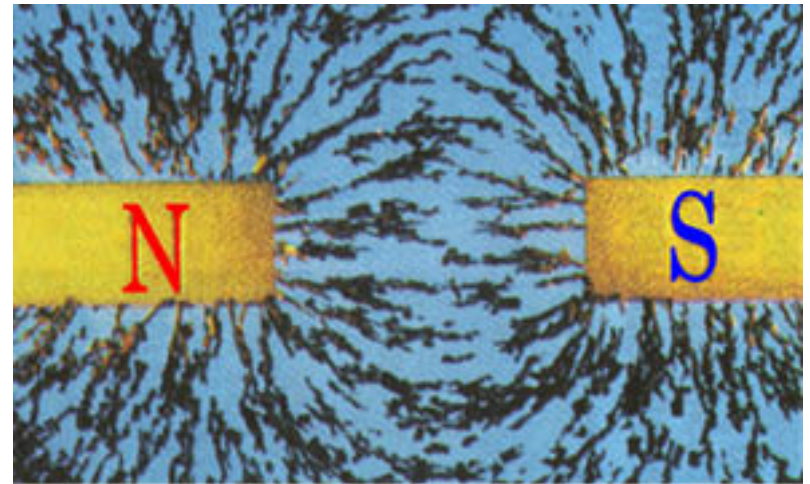
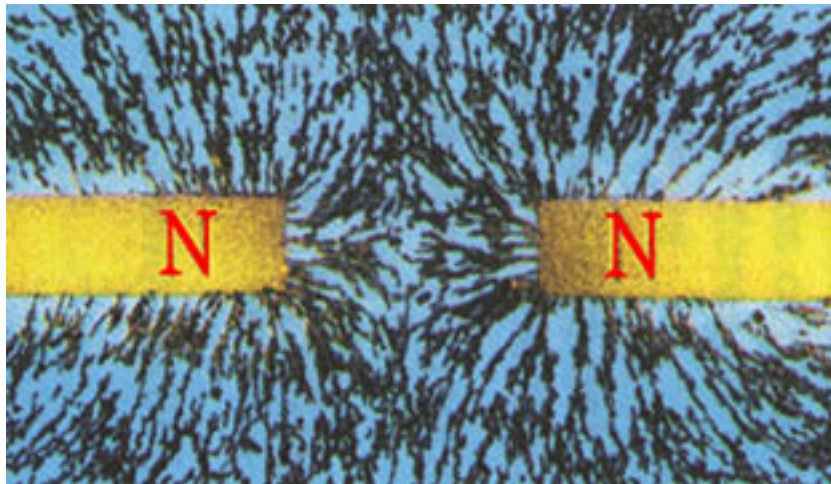
Polos iguales se repelen



El campo magnético o densidad de flujo magnético B , es posible establecer con la ayuda de una brújula, donde las líneas de campo de un dipolo magnético son cerradas (viajan en ambas direcciones), tal como se muestra en la figura.



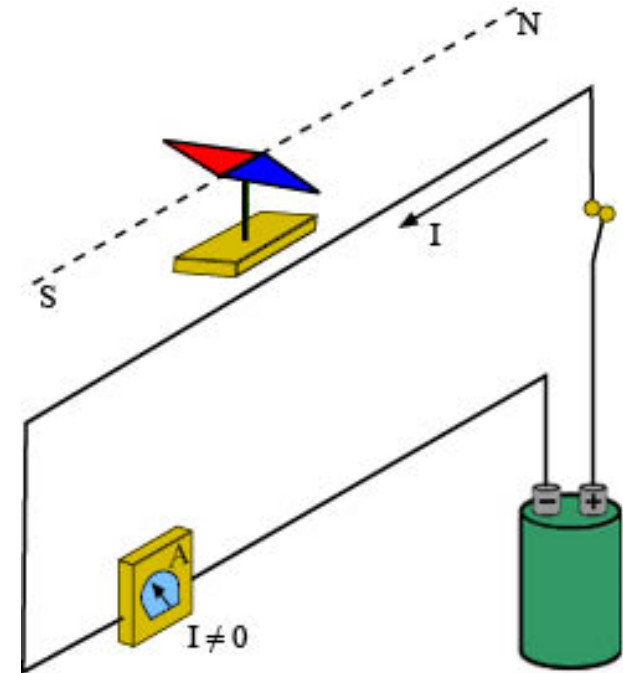
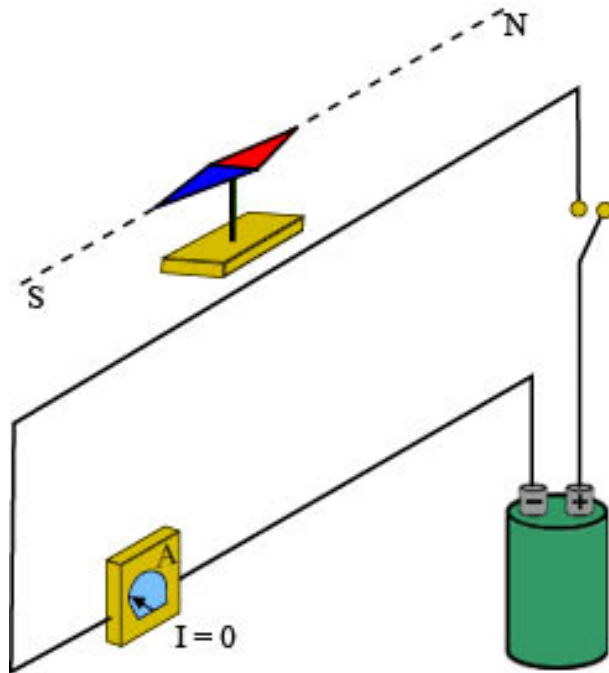
Si quisiéramos aislar los polos magnéticos para interrumpir las líneas de campo, cortando a la mitad la barra imantada, obtendríamos dos barras con sus propios polos norte y sur, en las cuales las líneas de campo seguirían cerradas, tal como se muestra en las figuras.



Campo Magnético debido a Corriente Eléctrica

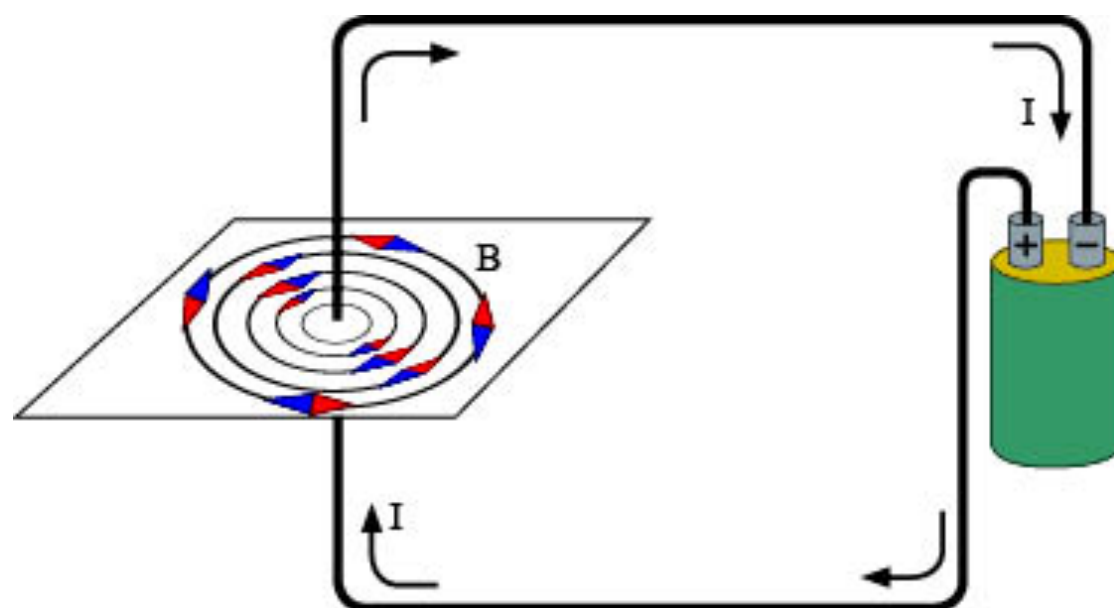
Dos A principios del siglo XIX, el maestro danés Hans Christian Oersted (1777-1851) se dedicó a estudiar la relación entre la electricidad y el magnetismo, y en 1820 empezó con un experimento fallido. Tomó una brújula y colocó un alambre en dirección perpendicular a la orientación de ella. Al hacer circular una corriente por el alambre, nada ocurrió. Pero después repitió el experimento colocando el alambre encima de la brújula y con la misma orientación que ella; al hacer pasar una corriente por el alambre, la brújula giró hasta ponerse casi perpendicular al alambre, tal como se muestra en la figura. Al desconectar el alambre de la pila, la brújula recobró la orientación inicial.

Al hacer pasar la corriente en el sentido opuesto, la brújula giró otra vez, pero en el sentido opuesto al del primer experimento. ¡Había demostrado la conexión entre electricidad y magnetismo!

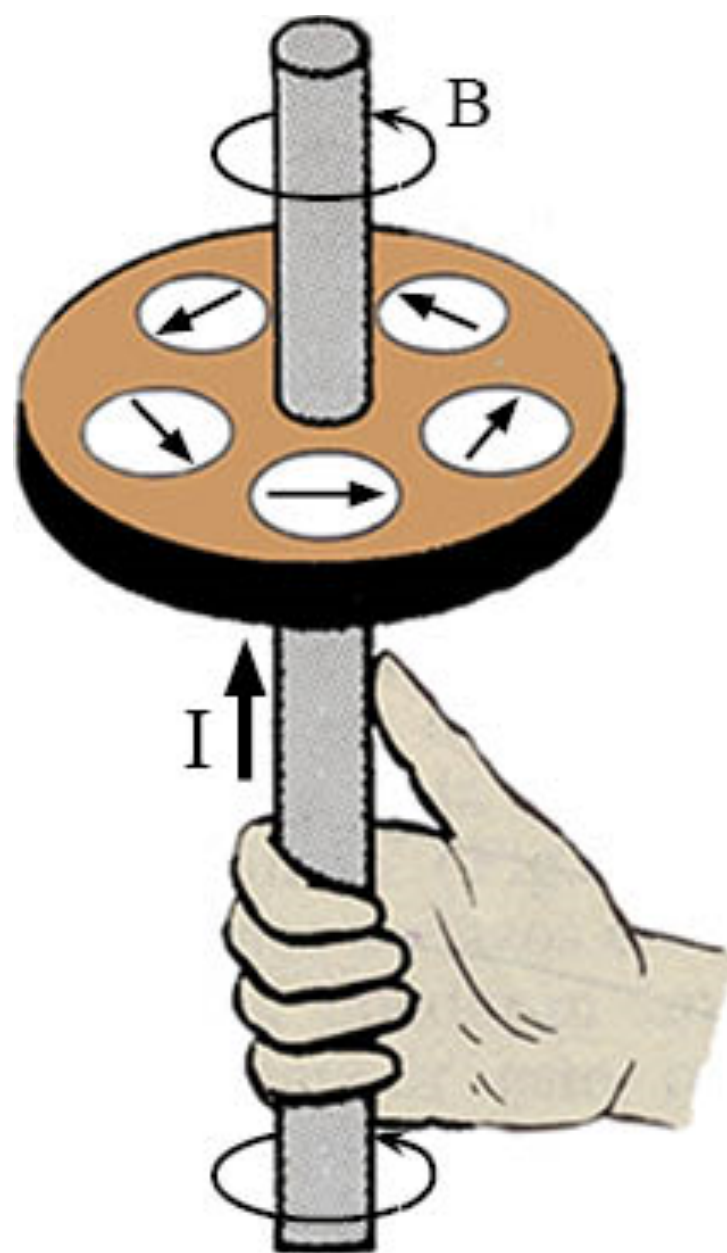


Tal efecto de la corriente eléctrica, consiste en producir un campo magnético B a su alrededor sobre el alambre, a la manera de un imán.

Tomemos un alambre recto y atravesémoslo perpendicularmente en un cartón que colocamos en forma horizontal y sobre el cual depositamos limaduras de hierro de manera uniforme, cubriéndolo todo. Si hacemos circular una corriente eléctrica i por el alambre, las limaduras se orientarán en arreglos semejantes a círculos. Para conocer el sentido del campo B circular necesitamos usar una brújula, colocando ésta en varios puntos sobre el cartón, tal como se muestra en la figura.



La relación entre el sentido del campo B y el de la corriente I , puede describirse con la ayuda de la "regla" de la mano derecha: el pulgar indica el sentido convencional de la corriente I , el cerrar de los otros dedos indican la dirección y el sentido del campo magnético o densidad de flujo magnético B . Recuerda que el sentido convencional de la corriente es opuesto al sentido en que se mueven los electrones en el conductor.



En resumen, el campo magnético o densidad de flujo magnético B producido por una corriente, es un campo circular, ya que sus líneas de campo son círculos concéntricos cuyos centros se encuentran en el alambre que lleva la corriente.

Además, se puede demostrar que la magnitud del campo magnético producido por una corriente en un alambre es:

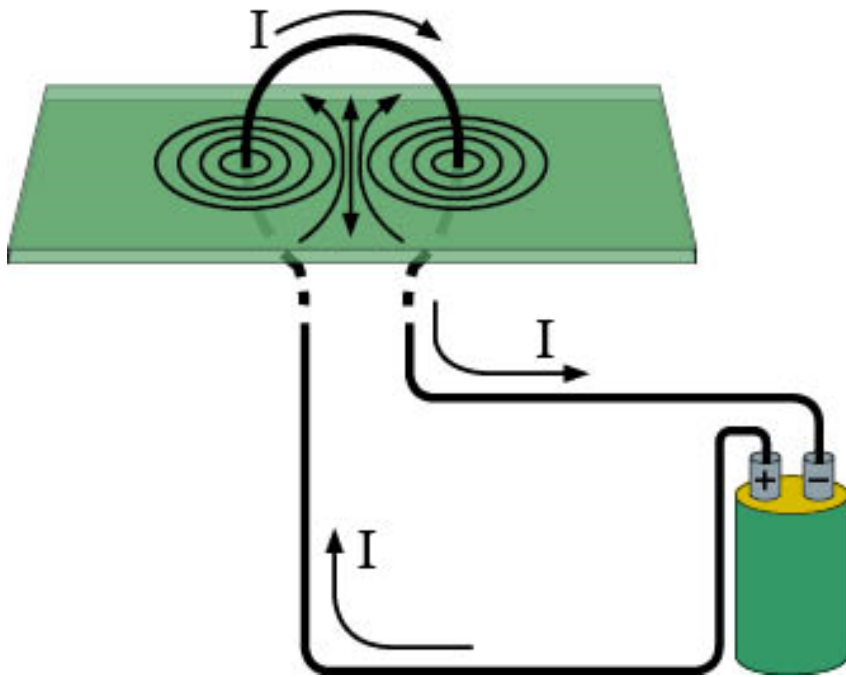
En un alambre largo y recto: (Ley de Ampère)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

En el centro de un alambre doblado formando una espira circular: (Ley de Boit y Savart)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

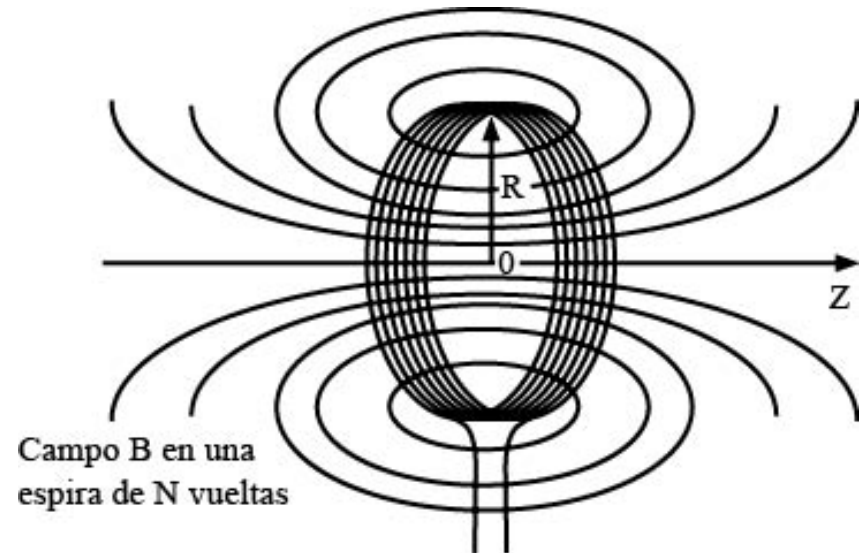
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A}$$



En el centro de una espira circular de N vueltas:

$$B_z = \frac{N\mu_0 I}{2r}$$

N = # de vueltas

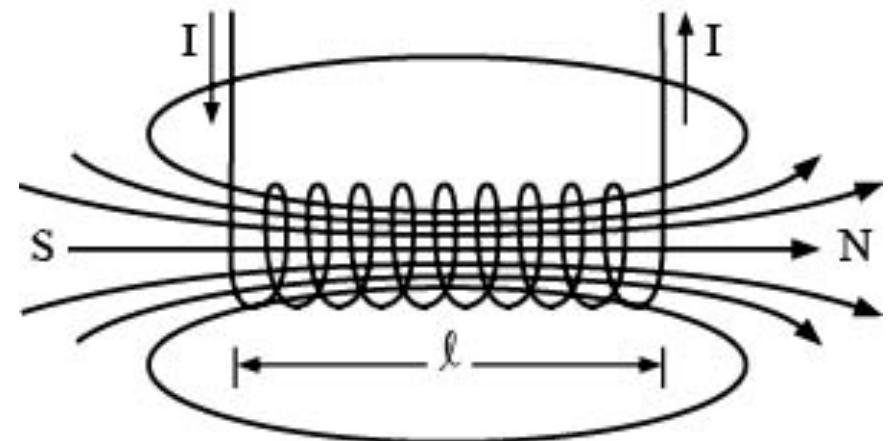


En el centro de una bobina o solenoide circular:

$$B_z = \frac{n\mu_0 I}{2} (\cos \theta_r - \cos \theta_l) \approx n\mu_0 I$$

$$n = \frac{N \text{ espiras}}{\ell \text{ del solenoide}}$$

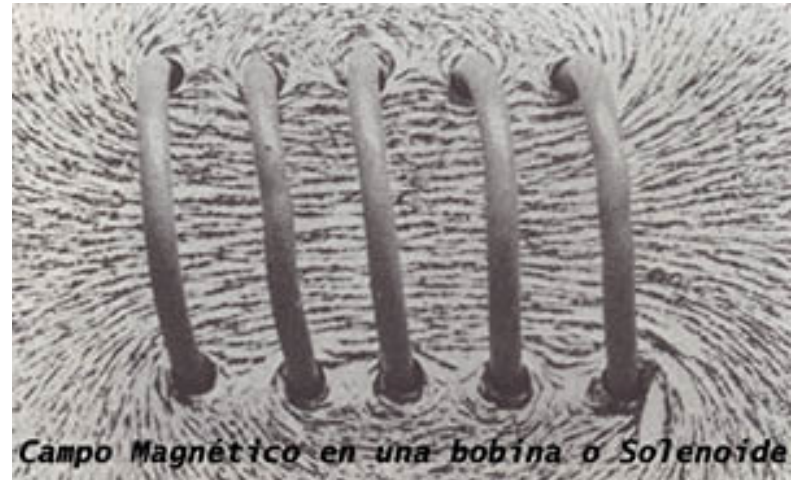
El campo B en una bobina o solenoide



y en los extremos de la bobina circular:

$$B_z = \frac{n\mu_0 I}{2}$$

$$n = \frac{N \text{ espiras}}{\ell \text{ del solenoide}}$$



Fuerza Magnética

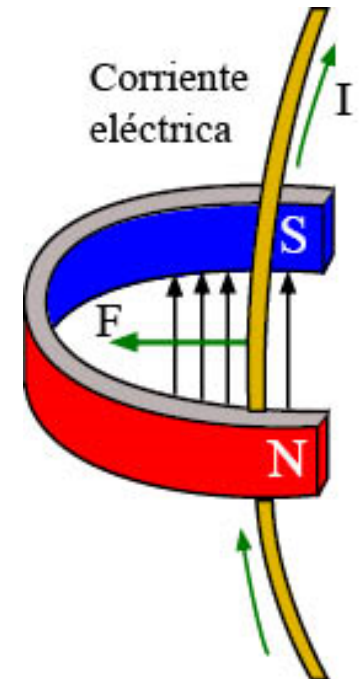
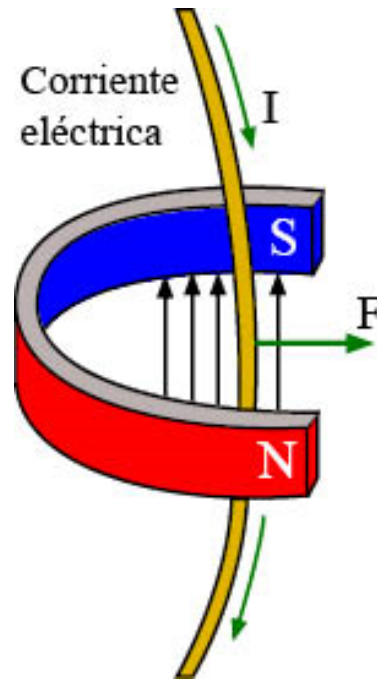
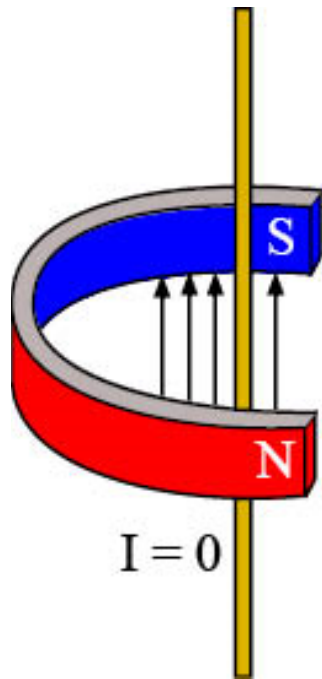
El campo magnético B de una corriente eléctrica que pasa por un alambre recto en reposo, es colocado en diversas direcciones en el campo magnético de un imán, estos interactúan de acuerdo con la tercera ley de Newton experimentando una fuerza magnética (desviación o deflexión).

La fuerza magnética o fuerza de deflexión será máxima, cuando el alambre portador de corriente, este en posición perpendicular al campo del imán y cero cuando la posición es paralela a él.

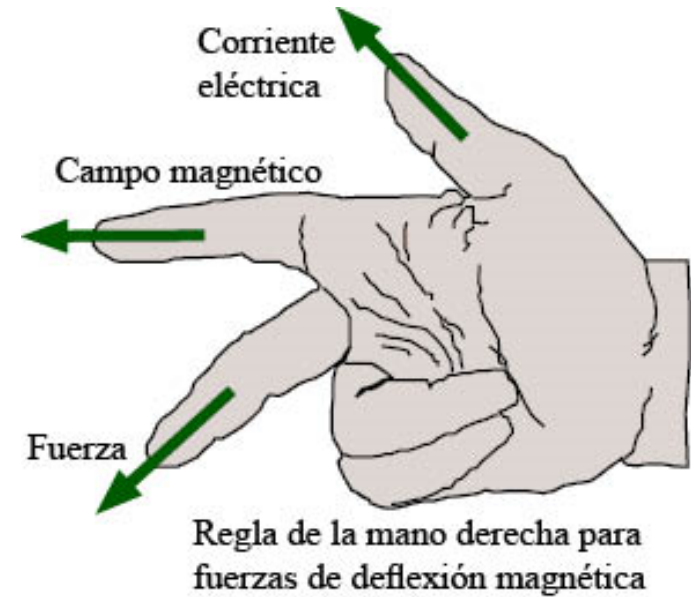
La fuerza de deflexión en un alambre recto en reposo, portador de corriente eléctrica es:

$$F = I\ell B \sin \theta$$

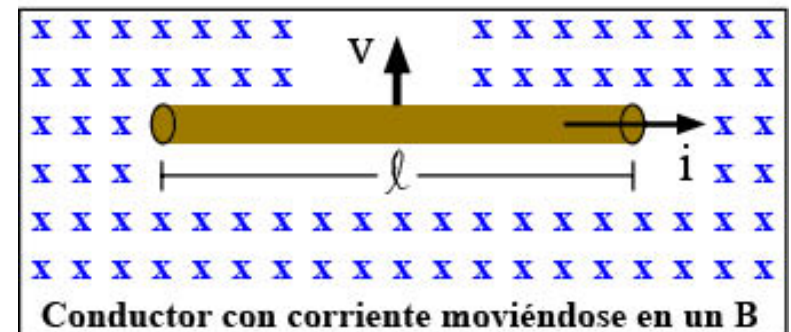
θ ángulo entre I y B



El sentido de la fuerza de deflexión, el campo y la corriente eléctrica, se obtiene aplicando la regla de la mano derecha.

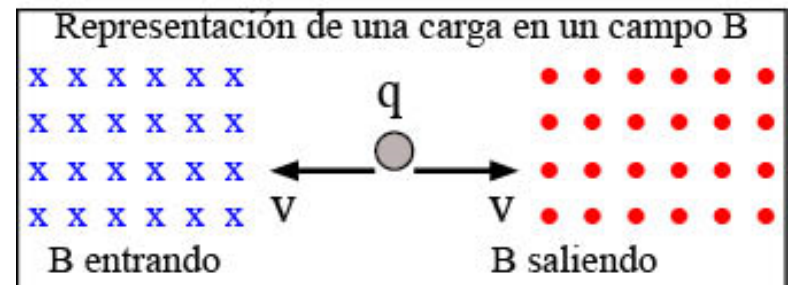


La fuerza magnética en un conductor con corriente o carga eléctrica que se desplaza dentro de un campo magnético



$$F = qvB \sin \theta$$

θ ángulo entre v y B

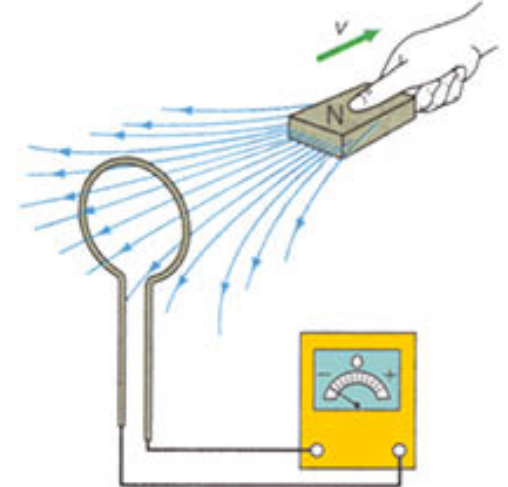
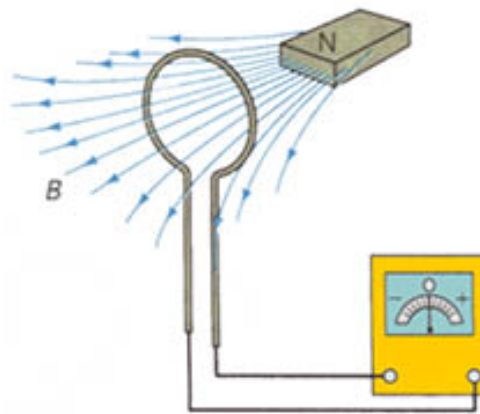
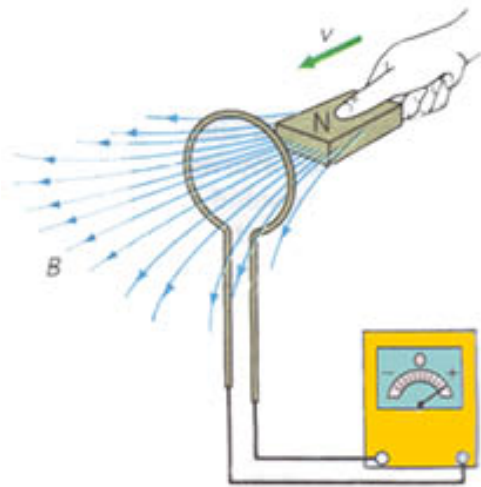


Inducción Magnética

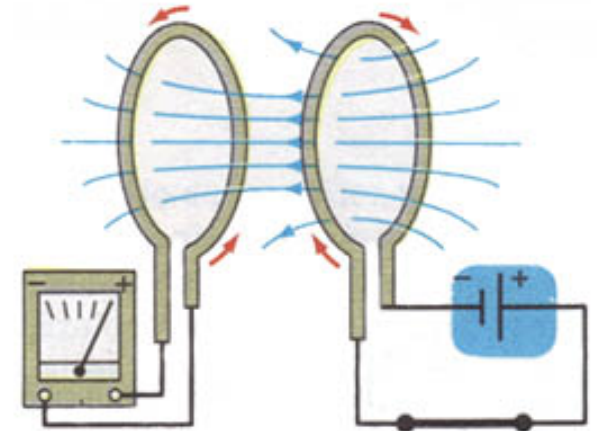
Después que Oersted descubrió que una corriente eléctrica produce un campo magnético, los físicos se plantearon esta pregunta: "Si las corrientes eléctricas producen campos magnéticos", ¿no deberían producir corrientes eléctricas los campos magnéticos?. Le tomó varios años a Michael Faraday encontrar la respuesta, su descubrimiento de la inducción electromagnética en 1831, es uno de los grandes triunfos de la ciencia.

La inducción electromagnética se puede describir como la interacción entre la corriente eléctrica y el magnetismo, las siguientes ilustraciones muestran de manera sencillas tres efectos:

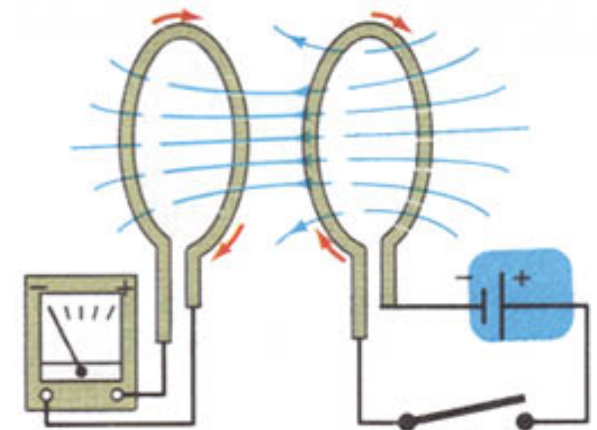
1. Una bobina de alambre aislado conectada a un galvanómetro, se mueve un imán recto hacia ella y la aguja del galvanómetro se desvía, mostrando la existencia de una corriente e indicado la existencia de una fuerza electromotriz en el circuito.



2. A continuación se reemplaza el imán por una segunda bobina conectada con una batería. Cuando se mueve esa bobina hacia la primera, o cuando se aleja de ella, la aguja del galvanómetro se desvía como lo hacía al moverse el imán.



3. Ahora se conserva la segunda bobina en una posición fija y el circuito se abre para interrumpir la corriente. La aguja del galvanómetro se desvía como si la bobina se moviera y cuando se cierra el circuito nuevamente, hay una desviación que será en sentido contrario.



En los tres casos, existe un cambio del flujo magnético ($\Delta\phi$) que induce una fuerza electromotriz y donde el campo B (densidad de flujo magnético) de la corriente inducida en la bobina, se opone a este cambio de flujo.

La fuerza electromotriz ($fem = \varepsilon$), en una bobina de N vueltas cuando ocurre un cambio de flujo ($\Delta\phi$) en un tiempo determinado (Faraday), corresponde a la ley de Faraday - Lenz y se expresa como:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad N = \# \text{ de vueltas o espiras}$$

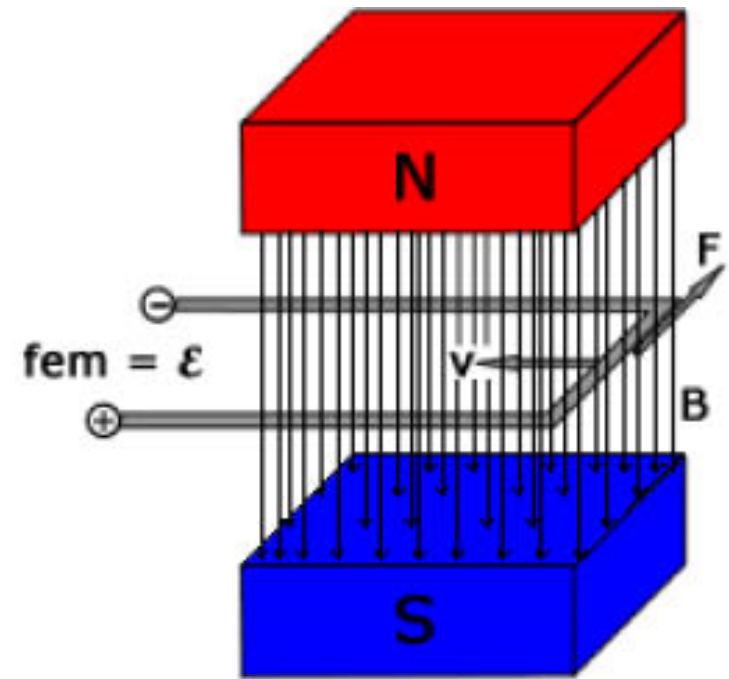
El signo negativo (Lenz) indica que la fem inducida tiene un sentido tal que establece una corriente que se opone al cambio de flujo magnético.

La fem para un conductor de longitud ℓ , que se mueve con una velocidad v dentro de un campo magnético o densidad de flujo magnético B en un tiempo Δt , barre una área ΔA ($\ell \cdot v \cdot \Delta t$) y se obtiene:

si $\Delta\phi = B \cdot \Delta A = B\ell v\Delta t$

para $N = 1$ espira o vuelta

$$\therefore \varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -vB\ell$$



La fem en una espira al moverse en un campo B

En resumen, como hay una relación entre la I y el B , es por consiguiente que exista una relación entre la diferencia de ΔV y la magnitud de la fem(ε), esto es posible porque la fuerza eléctrica iguala a la fuerza magnética en un punto donde se interrumpe el flujo de carga en el conductor, es decir:

$$\text{como } F_e = qE \quad , \quad F_B = qvB \quad \text{y} \quad \Delta V = \ell E$$

$$E = vB \quad \therefore \quad \Delta V = \ell vB = |\varepsilon|$$

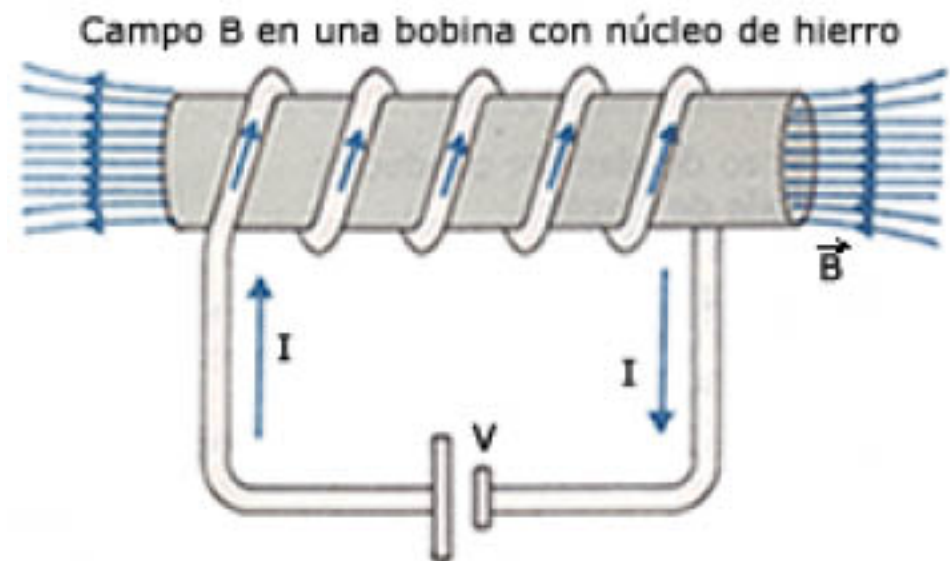
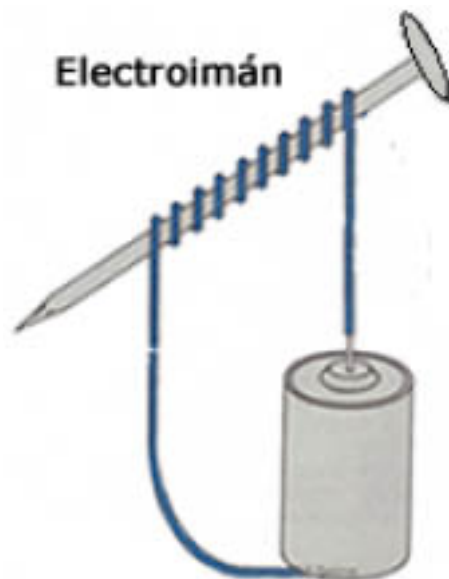
La magnitud del campo magnético B en función de la resistencia del circuito, es mediante:

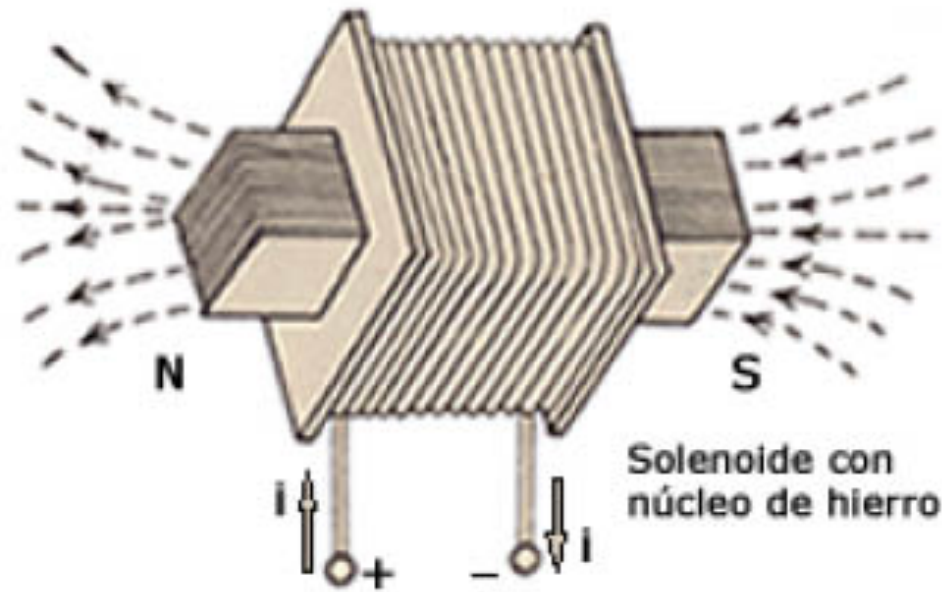
$$\text{si } |\varepsilon| = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad , \quad I = \frac{V}{R} = \frac{|\varepsilon|}{R} \quad \text{y} \quad q = I \cdot \Delta t$$

$$B = \frac{qR}{N \cdot \Delta A}$$

Aplicaciones Magnéticas

Si en el interior de una bobina se coloca una barra (no imantada) de hierro dulce (hierro puro), al pasar la corriente por la bobina, el campo magnético que se genera es mucho más intenso que el que se formaría con la bobina sola. Este dispositivo recibe el nombre de electroimán y a la barra de hierro dulce se le denomina núcleo del electroimán.





Si variamos la corriente que fluye por la bobina, también cambia el campo magnético generado, de esta manera podemos tener campos magnéticos variables: esta característica hace que los electroimanes tengan mucha importancia tecnológica; se usan en los timbres, los teléfonos, los televisores, etcétera.

El Motor y Generador Eléctrico

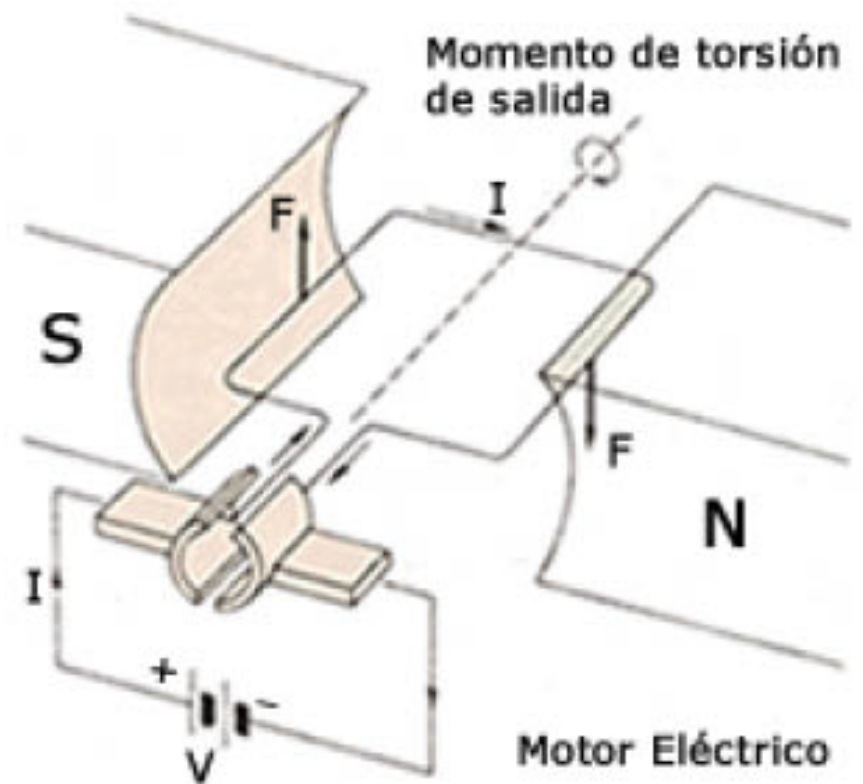
Un motor eléctrico consta de una espira (bobina) portadora de corriente I colocada en un campo magnético, contiene unos anillos deslizantes (conmutador) y unas escobillas que permiten el suministro de tensión V . En la bobina obra un momento de rotación ocasionado por las fuerzas de deflexión, provocando que la bobina gire continuamente. La energía eléctrica es convertida en energía mecánica, conforme el motor hace trabajo sobre el mecanismo que va unido a él, por ejemplo el motor de un auto, una máquina de coser, una bomba para mover fluidos, etc.

La fem producida por el motor se llama fuerza contraelectromotriz (ϵ_c) que se opone a la tensión de entrada V y la diferencia es la fem (ϵ_i) en el inducido, así la corriente del inducido de acuerdo a la ley de Ohm es:

si
$$I_i = \frac{V_i}{R_i} \quad , \quad V_i = \epsilon_i$$

y
$$\epsilon_i = V - \epsilon_c$$

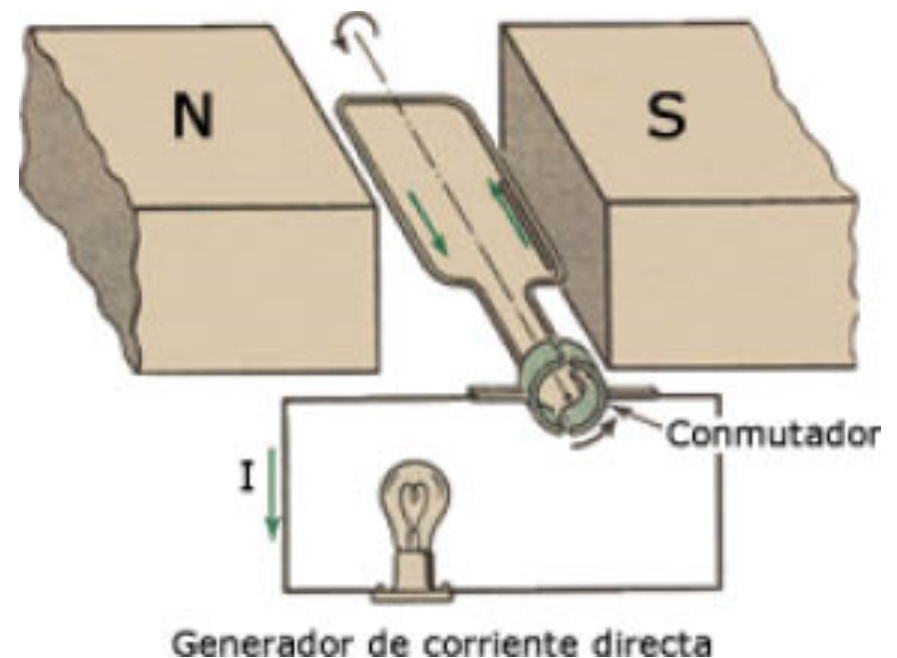
$$\therefore I_i = \frac{V - \epsilon_c}{R_i}$$



Un generador consiste de una o más bobinas que pueden girar en un campo magnético para producir una fuerza electromotriz($fem = \varepsilon$). Durante la rotación completa, las líneas magnéticas se hicieron entrar dos veces a la espira y dos veces se sacaron, así la espira corta las líneas magnéticas($\Delta\phi$) cuatro veces($4B\Delta A$) y el trabajo mecánico se transforma en energía eléctrica. Si la bobina da "n" revoluciones por unidad de tiempo, se obtiene una fem igual a:

$$\text{si } 4\Delta\phi = 4B\Delta A \quad , \quad n = \frac{1}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = -4NnB\Delta A$$

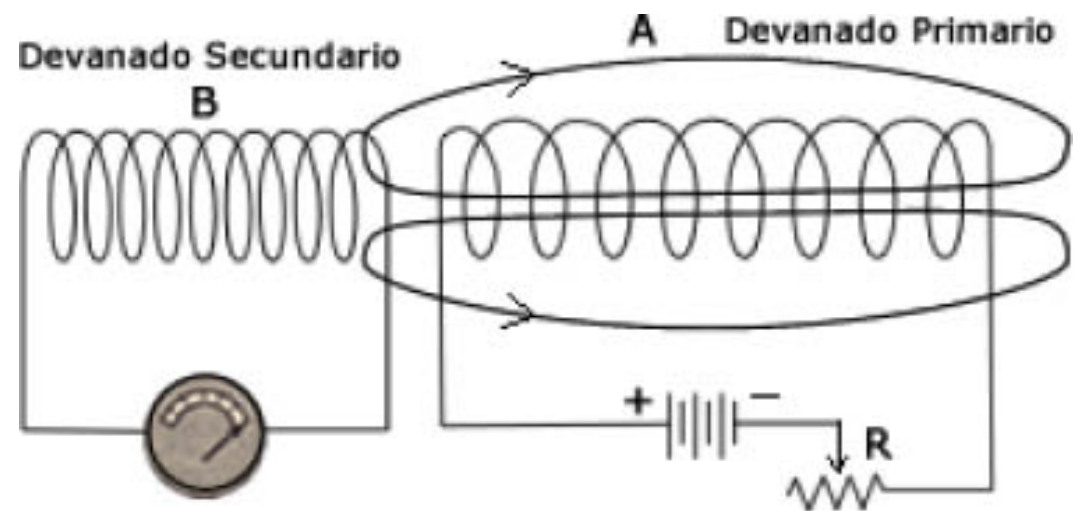


La Inductancia Mutua y Autoinductancia

La rapidez de cambio de la corriente en la bobina A induce o genera una fem(ε) en la bobina B, por lo cual decimos que la combinación tiene una inductancia mutua M entre las bobinas o devanados, obteniendo:

$$\text{si} \quad N_B \Delta \phi_B = M \Delta I_A$$

$$\varepsilon_B = \frac{M \Delta I_A}{\Delta t}$$

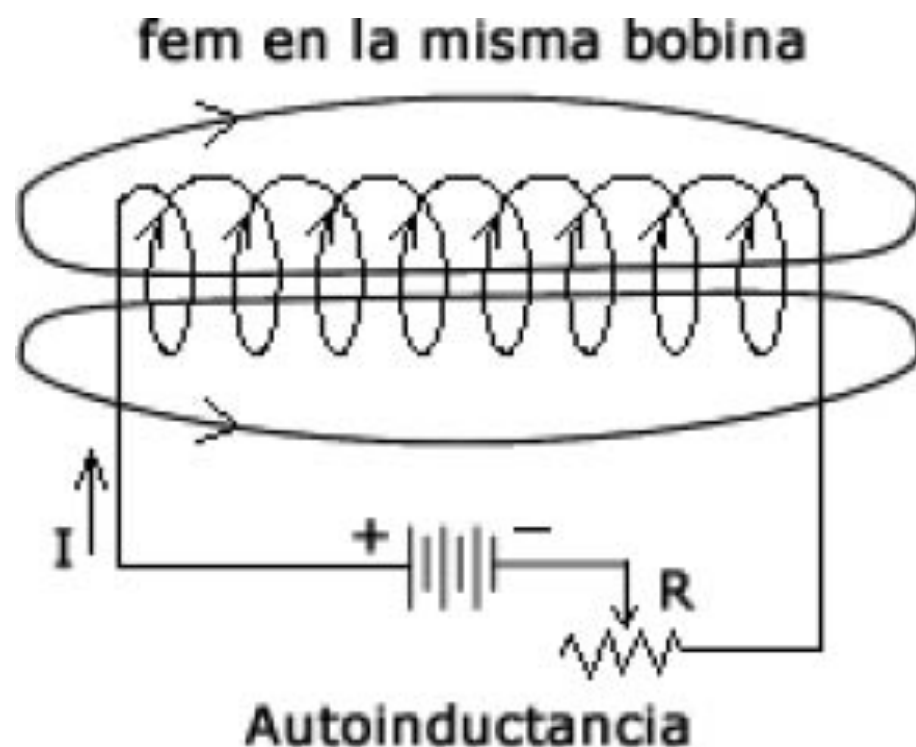


Inductancia Mutua de dos bobinas

En una bobina de N vueltas o espiras, un cambio de corriente ΔI en una de estas espiras hace variar el flujo magnético $\Delta\phi$ que pasa por las demás espiras, generando una fem(ε) inducida en el mismo circuito, por lo cual decimos que la bobina tiene una autoinductancia o inductancia L . Este efecto de autoinducción se opone no sólo al aumento de corriente en una bobina, sino también a la disminución, obteniendo:

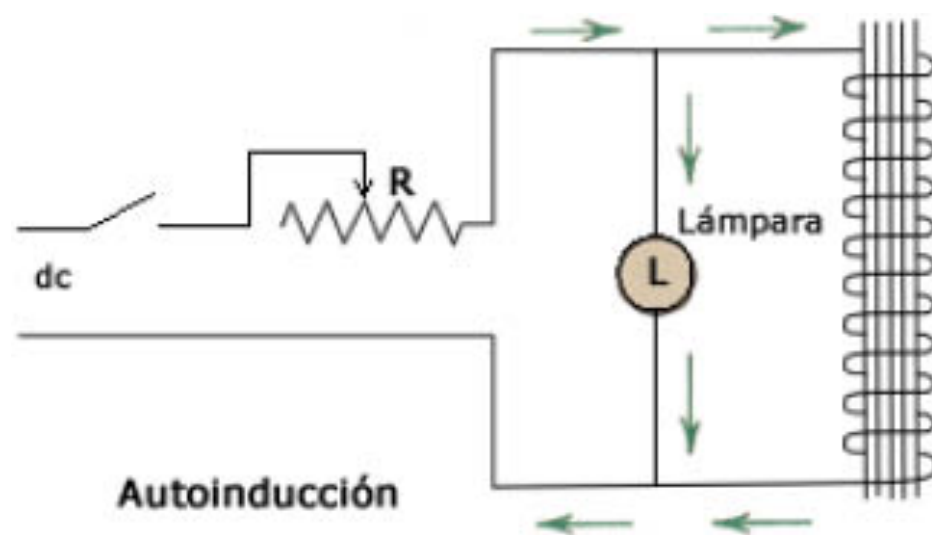
si $N\Delta\phi = L\Delta I$

$\therefore \varepsilon = \frac{L\Delta I}{\Delta t}$



Como ejemplo de Autoinducción: Al cerrar el circuito, la autoinducción se opone a que pase corriente por la bobina; por consiguiente, la lámpara brilla intensamente. Después, la mayor parte de la corriente pasa por la bobina.

Cuando se abre el interruptor, la desimanación de la bobina induce una $\text{fem}(\varepsilon)$, de modo que la lámpara brilla durante un instante, durante este proceso cuando se extingue la chispa, es con tal rapidez que genera una $\text{fem}(\varepsilon)$ elevada y la corriente inducida puede llegar a fundir la lámpara.



Energía Almacenada en un Inductor

El trabajo total efectuado por el generador para incrementar la corriente en el inductor por una cantidad ΔI , durante el intervalo en que cambia desde cero hasta su valor final, es la suma de todos los pequeños incrementos de trabajo ΔW , que se almacena como energía en el inductor, obteniendo:

$$\text{si } \Delta \check{W} = L \Delta I (\Delta I) \quad \text{y} \quad \Delta I = I_{\text{final}} = I$$

$$\therefore E_{\text{almacenada}} = \frac{LI^2}{2}$$

Un transformador es un dispositivo que consta de un núcleo de hierro sobre el que están enrolladas dos bobinas (espiras), a las cuales por su posición de diseño, la primera se llama devanado primario N_p y devanado secundario N_s . Los transformadores se consideran elevadores o reductores de voltaje (tensión) y la relación entre el primario y el secundario se le llama ecuación del transformador y está dada por:

$$\text{si} \quad \varepsilon_p = V_p \quad , \quad \varepsilon_s = V_s \quad , \quad \varepsilon_p = \varepsilon_s$$

$$\text{y} \quad \varepsilon = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} \quad \therefore \quad \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\text{si} \quad P_p = P_s$$

$$\text{y} \quad P = VI \quad \therefore \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p}$$

