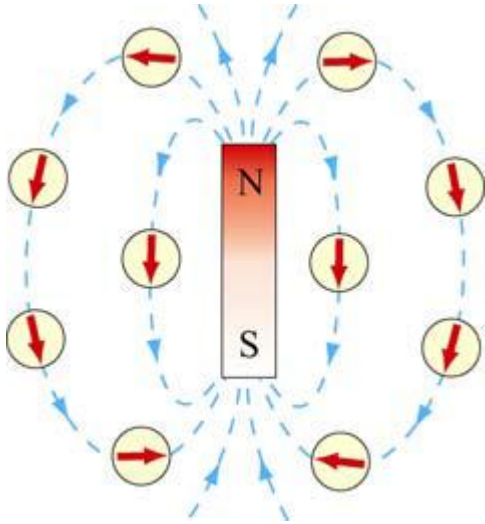


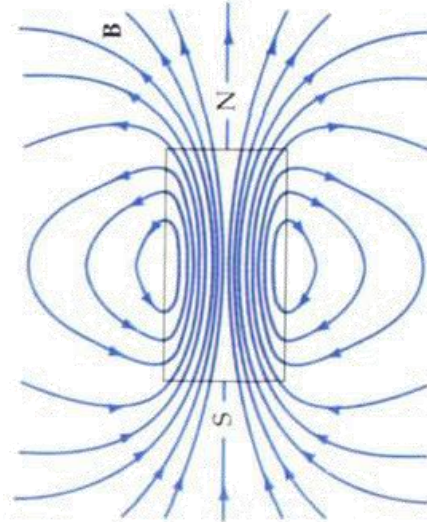
Magnetismo

Barra magnética como fuente de campo magnético

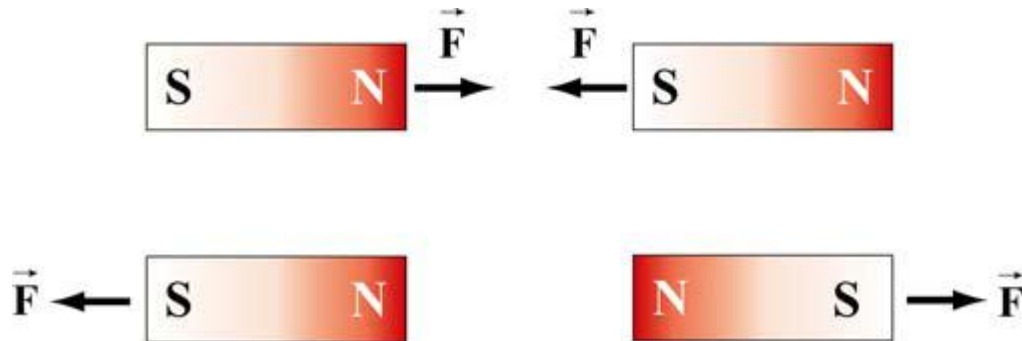
Posee dos polos: Polo Norte (N) y Polo Sur (S)



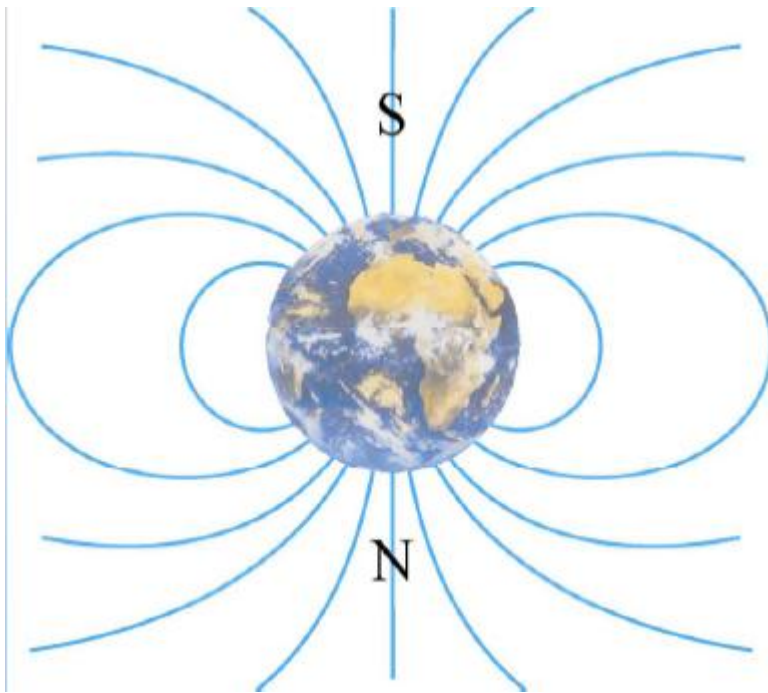
Las líneas de campo salen del polo Norte e ingresan en el polo Sur



¿Qué sucede si colocamos dos barras magnéticas cerca?



No existen los monopolos magnéticos aislados

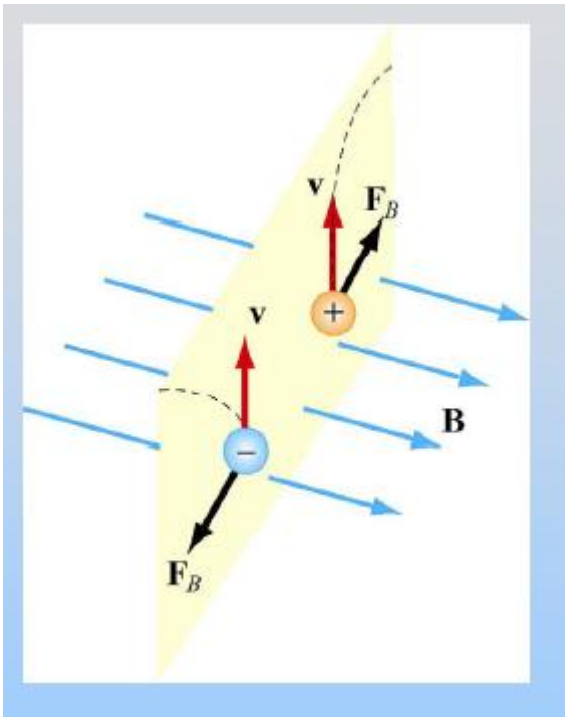
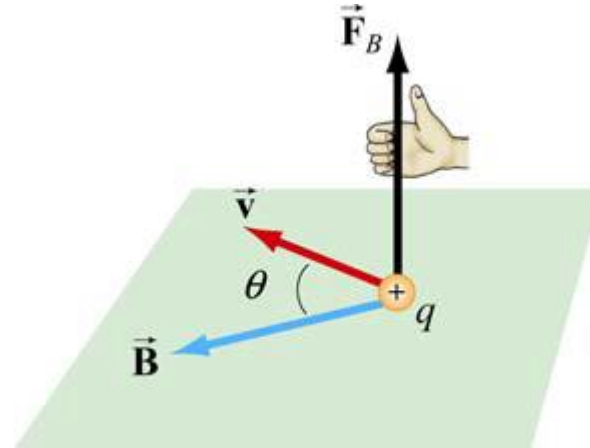


La tierra como un dipolo magnético

Polo Norte geográfico es el polo sur magnético

Fuerza magnética sobre una partícula cargada

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$$

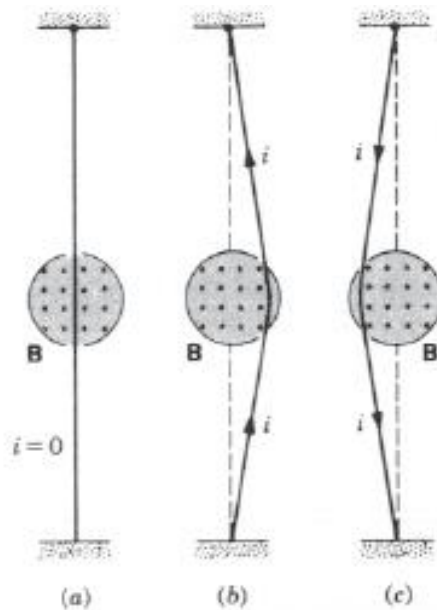


La fuerza magnética que experimenta la partícula cargada es perpendicular a la velocidad y al campo magnético y su sentido depende del signo de la carga.

$$\begin{aligned} \text{Unidades de } B &= \text{Newton}/(\text{coulomb} \times \text{m/s}) \\ &= \text{N}/\text{Ampere} \cdot \text{m} \\ &= \text{N}/\text{A} \cdot \text{m} = \text{T (tesla)} \end{aligned}$$

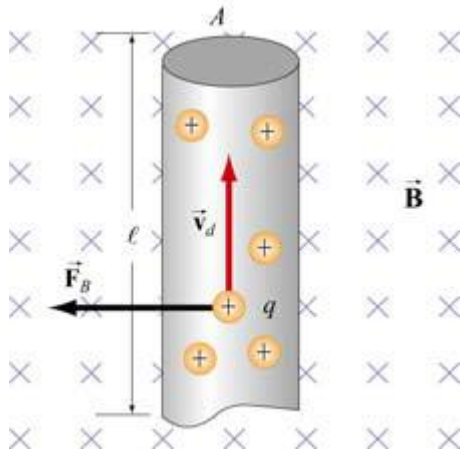
Fuerza magnética sobre un hilo conductor por el que circula una corriente

Dado que un campo magnético ejerce una fuerza sobre una carga en movimiento, debe ejercer también una fuerza sobre una corriente (que no es más que un conjunto de cargas en movimiento).



La deflexión en el alambre es producida por la acción de la fuerza magnética.

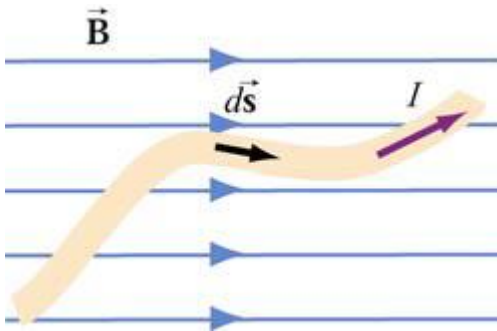
Figura 20 Un alambre flexible pasa entre los polos de un imán. (a) No existe corriente en el alambre. (b) En el alambre se crea una corriente. (c) La corriente se invierte.



Fuerza sobre un elemento de corriente de longitud l

$$\vec{F}_B = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Conductor de forma arbitraria

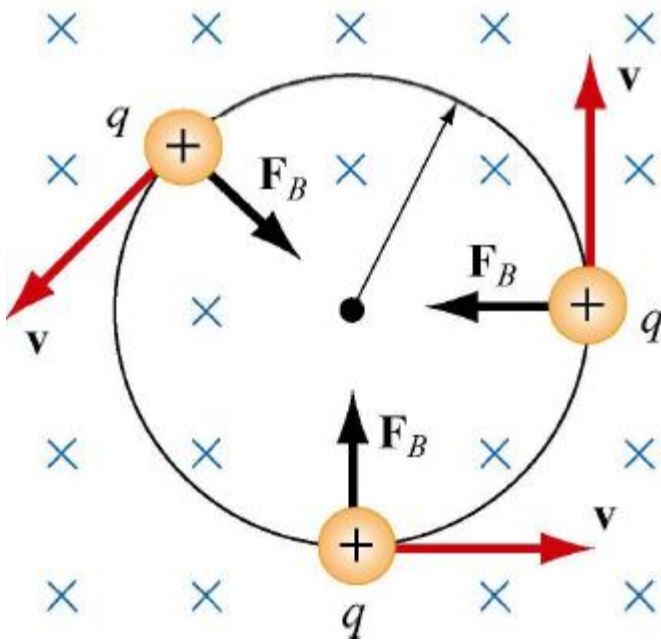


$$d\vec{F}_B = I(d\vec{s} \times \vec{B})$$

Fuerza total

$$\vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

Movimiento de una carga puntual en un campo magnético uniforme



Partícula de masa m , carga q y velocidad constante v

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

r : radio de la trayectoria

$$r = \frac{mv}{qB}$$

T : período del movimiento

f : frecuencia ciclotrón

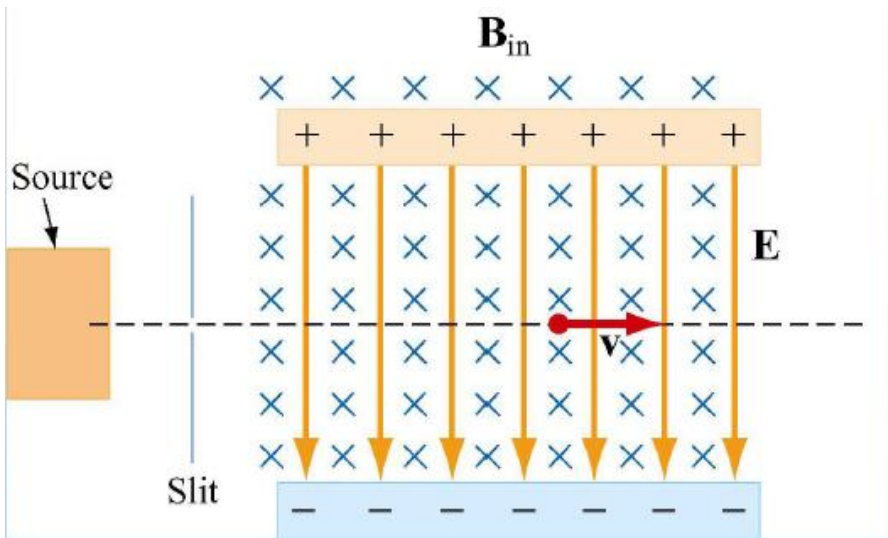
$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

Selector de velocidades

Una partícula cargada en presencia de campos eléctricos y magnético experimenta una fuerza resultante llamada fuerza de Lorentz

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$



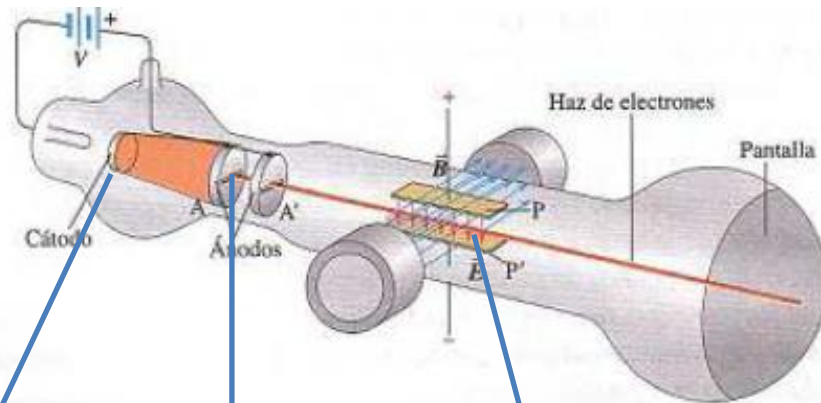
- \vec{B} Campo magnético entrante al plano del dibujo
- \vec{E} Campo eléctrico apunta hacia abajo paralelo al plano del dibujo

Cuando la **fuerza de Lorentz es cero** las partículas cargadas se mueven en una línea recta

$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Ejemplo: el experimento de Thomson para determinar la relación e/m del electrón (1897).



27.21 Aparato de Thomson para medir la relación e/m del electrón.

Fuente de electrones

Campos E y B cruzados.

Los electrones son acelerados por una diferencia de potencial V .

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \quad \text{o} \quad v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

El valor que Thomson determinó para e/m (expresado en unidades modernas) fue 1.7×10^{11} C/kg, en buena concordancia con el actual valor de $1.75881962 \times 10^{11}$ C/kg.

$$\frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad \text{por tanto} \quad \frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$$

Ejemplo: Espectrómetro de masas

Este dispositivo se emplea para separar iones por su masa.

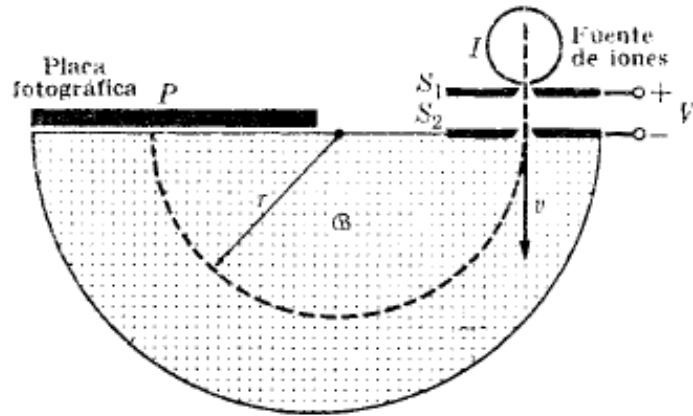


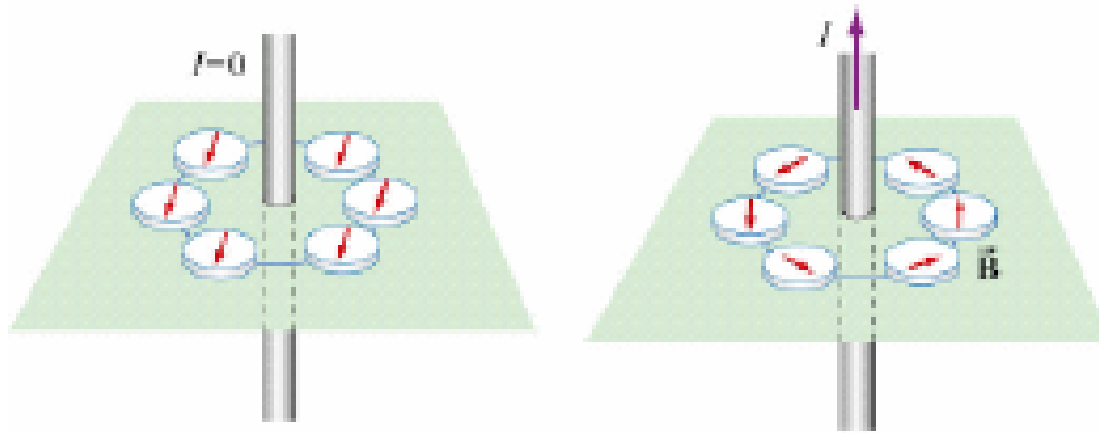
Fig. 15-12. Espectrómetro de masas de Dempster. I es una fuente de iones. Las rendijas S_1 y S_2 sirven de colimadores del haz de iones. V es la diferencia de potencial aceleradora aplicada entre S_1 y S_2 . P es una placa fotográfica que registra la llegada de los iones.

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

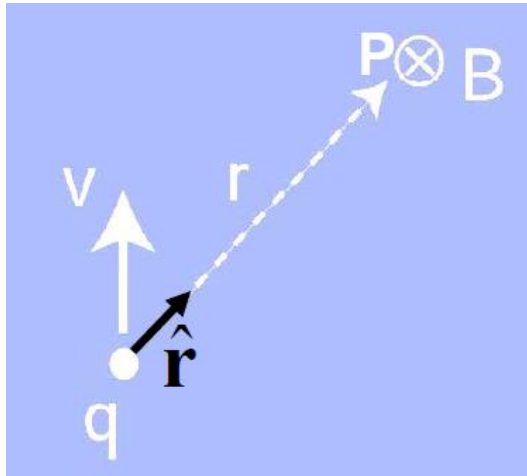
$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

Fuentes de campo magnético



Al colocar una brújula en las proximidades de un alambre recto por el que circula una corriente la aguja se alinea siempre perpendicular al alambre. Por lo tanto la corriente (movimiento de cargas) produce un campo magnético.

Campo magnético producido por una carga en movimiento



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$$

\hat{r} Vector unitario desde q a P

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

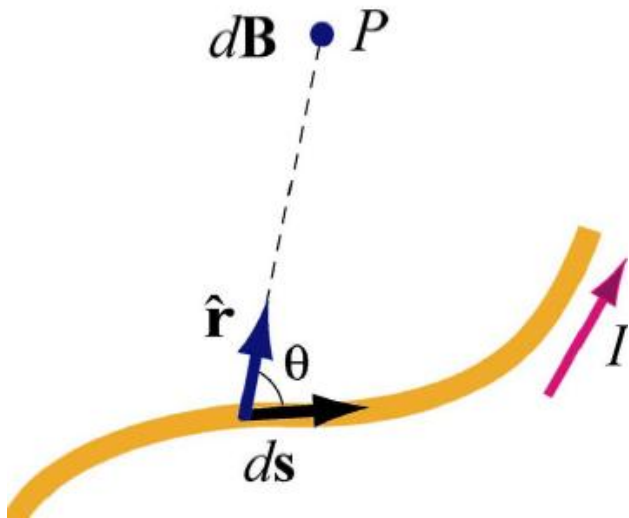
Permeabilidad del vacío

Ley de Biot y Savart

Elemento de corriente de longitud ds produce un campo $d\mathbf{B}$ en P

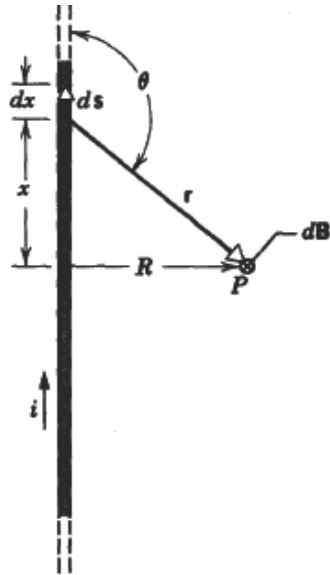
$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Da la dirección de \mathbf{B}



Ejemplo: Alambre recto infinito

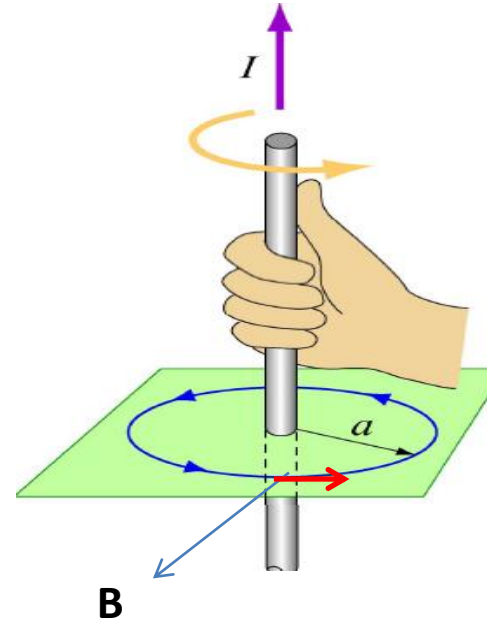
Como calcular la magnitud de **B**



$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i ds \sin \theta}{r^2}$$

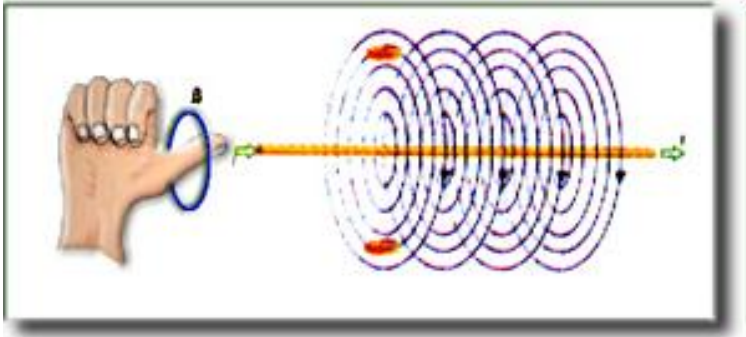
$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

Cómo calcular la dirección y sentido de **B**: regla de la mano derecha

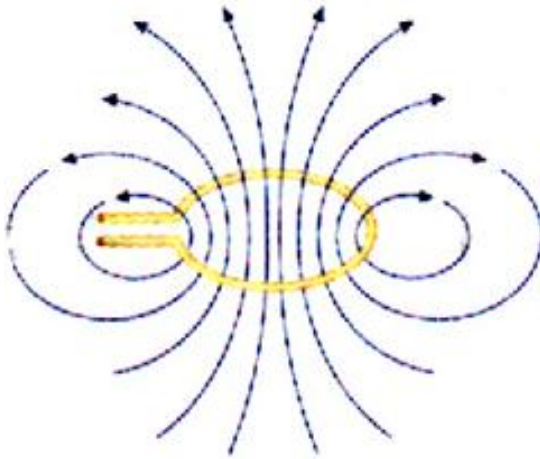


Ver la deducción en el libro

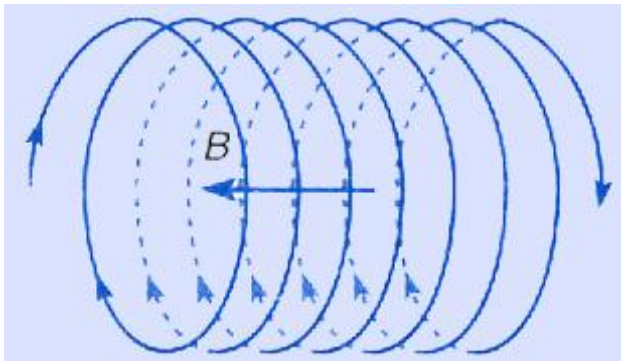
Las líneas del campo magnético



Conductor recto

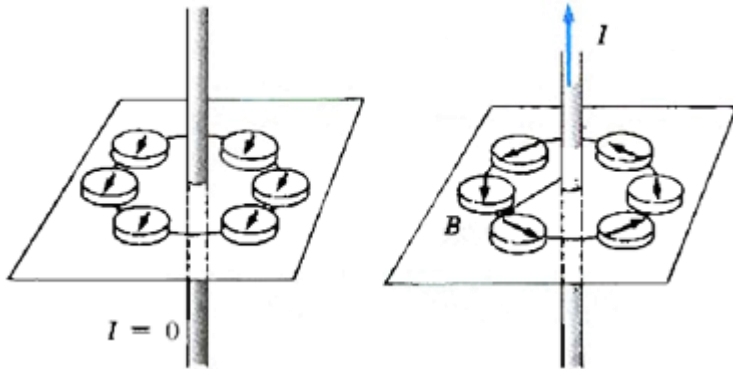


Espira conductora



Solenoid

Ley de Ampere



Cuando pasa corriente por el conductor en todos los puntos de la trayectoria circular \mathbf{B} y $d\mathbf{l}$ son paralelos. Además, $|\mathbf{B}|$ es constante en la circunferencia.

Dado que

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

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B_r dl = B \oint dl = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r) = \mu_0 I$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \quad \text{Ley de Ampere}$$

La Ley de Ampere establece que la integral de línea de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente total que pasa a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria.

Nota:

- Esta ley es válida para corrientes estables.
- Además se utiliza sólo para cálculo de campos magnéticos de configuraciones de corrientes con un alto grado de simetría.
- I será positiva si cumple con la regla de la mano derecha, y negativa en caso contrario.

Ley de Biot- Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

Fuente general de corriente,
Ej: segmento de alambre

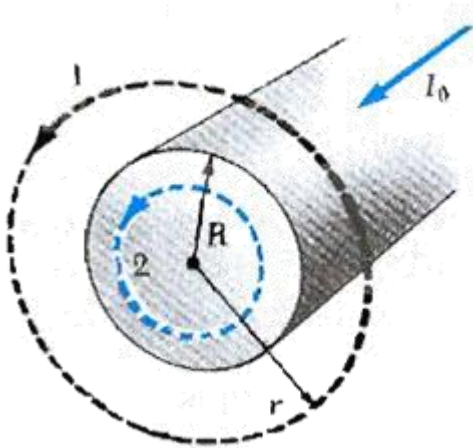
Ley de Ampere

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

Fuentes de corriente simétricas.
Ej: alambre infinito

Ejemplos de aplicación de Ley de Ampere

Conductor rectilíneo infinito

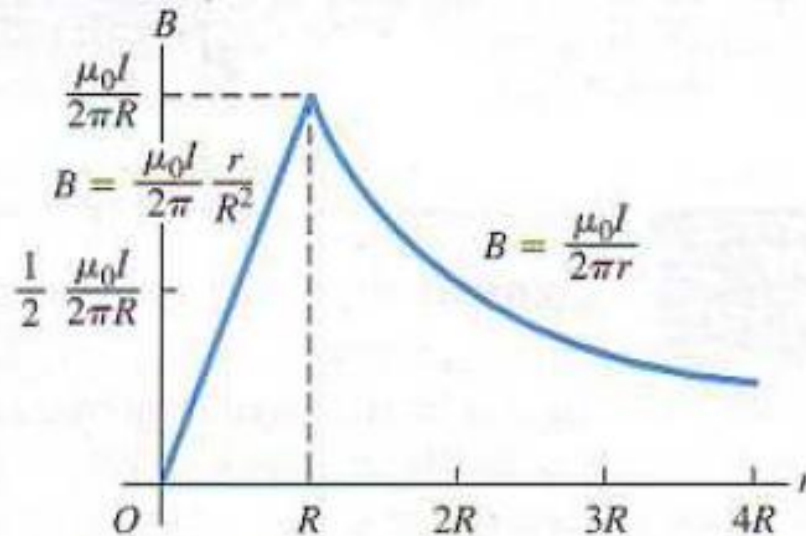


$$r < R$$

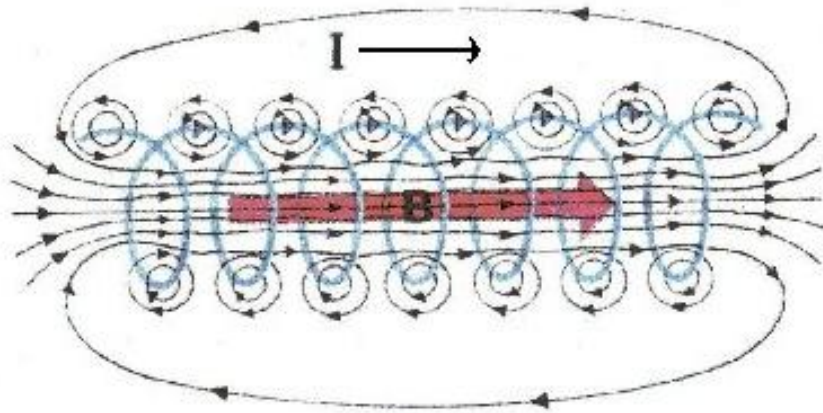
$$B = \frac{\mu_0 r}{2\pi R^2} I_0$$

$$r > R$$

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}$$



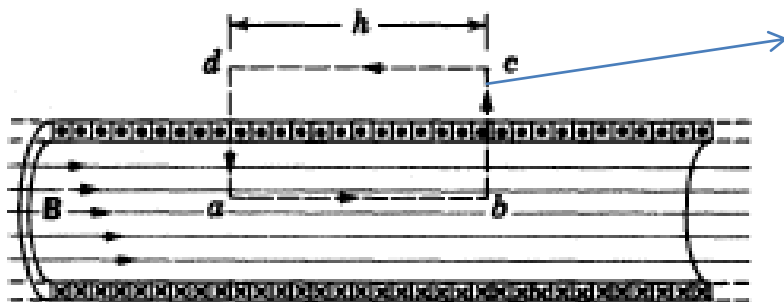
Solenoid: arrollamiento de alambre



El campo en el interior del solenoide es la suma vectorial de los campos de cada espira que compone el solenoide.

En el interior del solenoide, (y lejos de los alambres) B es paralelo al eje del solenoide.

Consideraremos entonces un solenoide cuyo largo es mucho mayor que su diámetro, y sólo puntos lejos de los extremos del mismo. En estas condiciones, podemos considerar que el campo en el exterior es nulo.



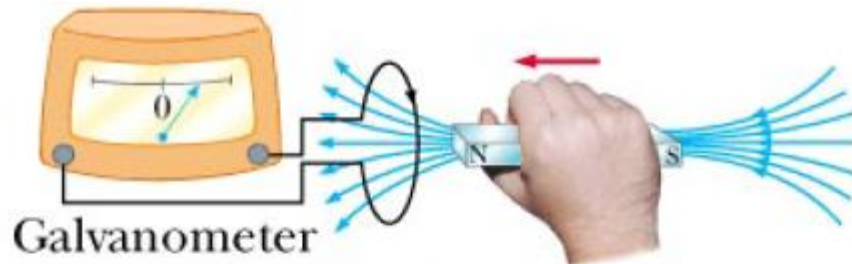
Curva amperiana

$$B = \mu_0 I n$$

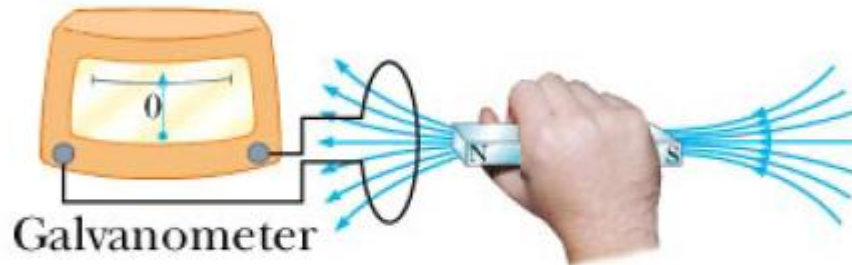
I : corriente
 n : número de espiras por unidad de longitud

Ley de Faraday

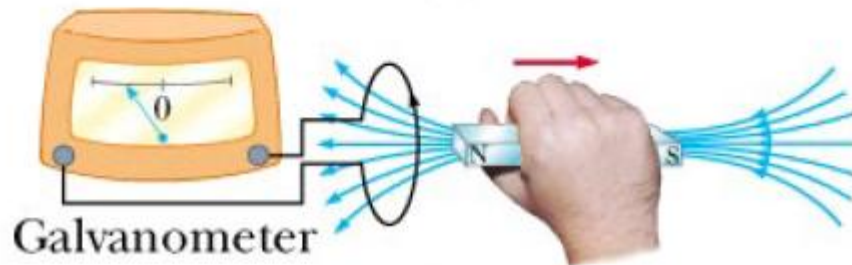
Inducción electromagnética



(a)



(b)

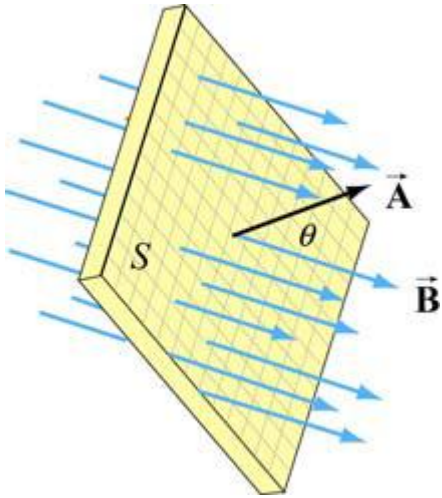


(c)

La aguja del galvanómetro no se aparta de cero si el imán está en reposo

En 1831 Faraday descubre que un campo magnético variando en el tiempo produce un campo eléctrico este fenómeno es llamado inducción electromagnética. Demostró que se produce una corriente eléctrica en el alambre cuando se varía \mathbf{B} como si éste estuviera conectado a un fuente. Se induce una fuerza electromagnética.

Flujo magnético



$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \theta$$

Si el campo es no uniforme

$$\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Unidad del Flujo magnético 1Wb (weber)= 1T. m²

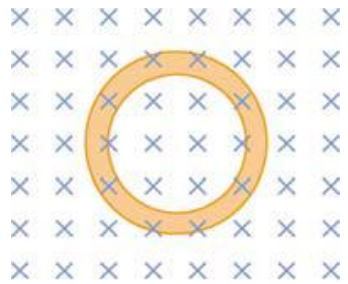
La **Ley de inducción de Faraday** establece que:

La fuerza electromotriz inducida ε en una espira conductora es proporcional a menos el cambio del flujo magnético en función del tiempo.

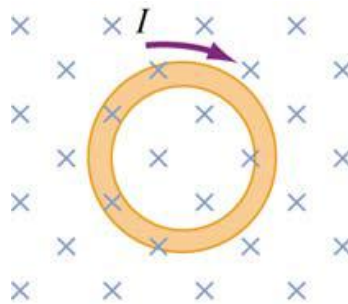
$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

La fuerza electromotriz puede inducirse:

Variando la intensidad del campo

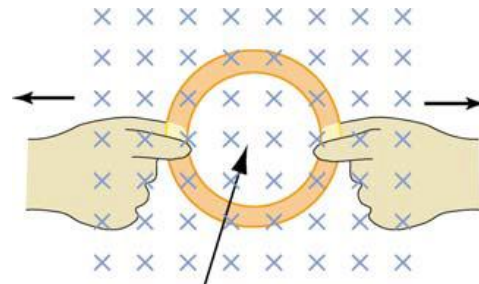


\vec{B}

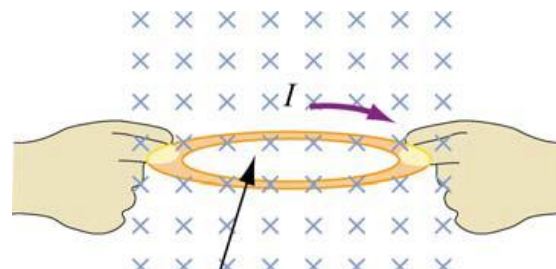


$B' < B$

Variando el área

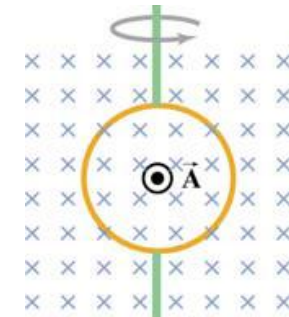


Area = A

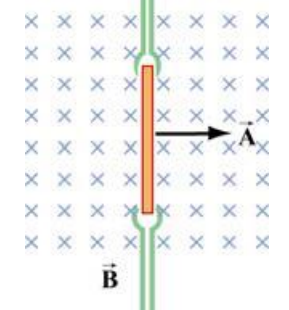


Area = $A' < A$

Variando el ángulo entre **B** y **A**



\vec{B}

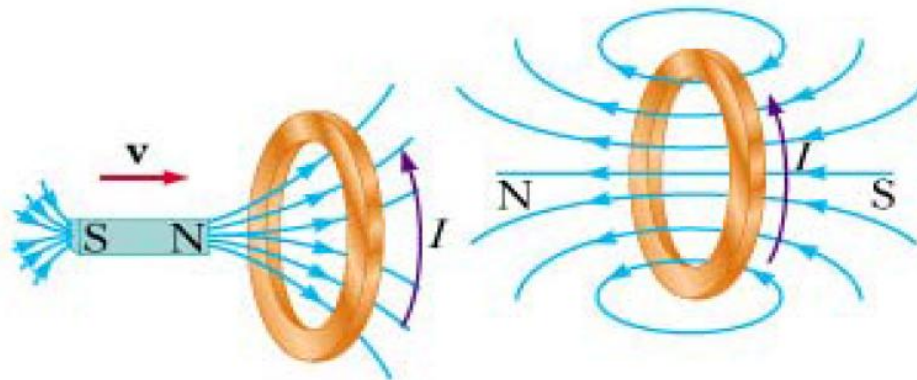
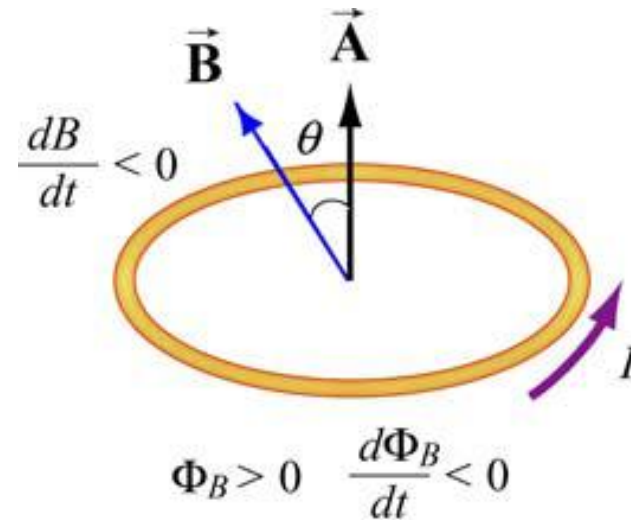
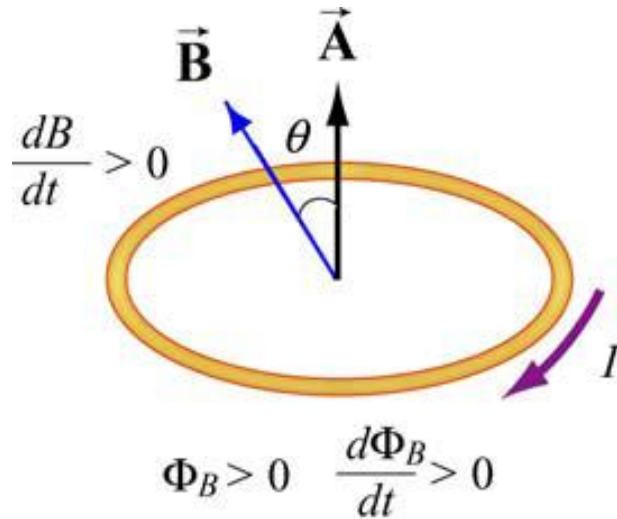


\vec{B}

La dirección de la corriente inducida está determinada por la **Ley de Lenz**

La corriente inducida produce un campo magnético el cual tiende a oponerse al cambio en la magnitud del flujo magnético.

Direcciones de la corriente según el cambio en el flujo magnético sea mayor o menor que cero



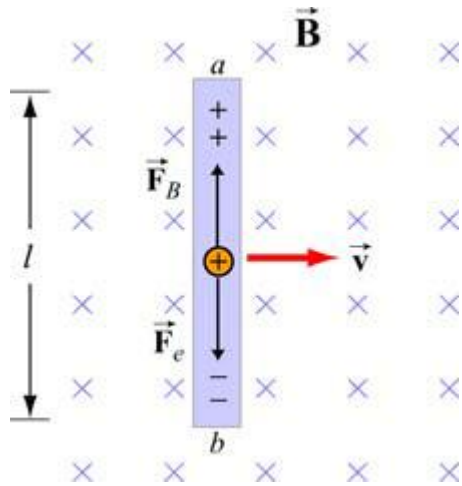
La fuerza electromotriz (fem) ε $\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$

Ley de Faraday-Lenz

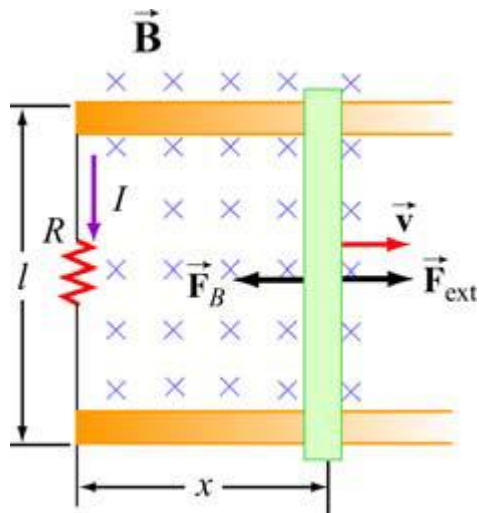
$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Fuerza electromotriz de movimiento

Barra conductora moviéndose a través de un campo magnético uniforme



$$|\mathcal{E}| = Blv$$

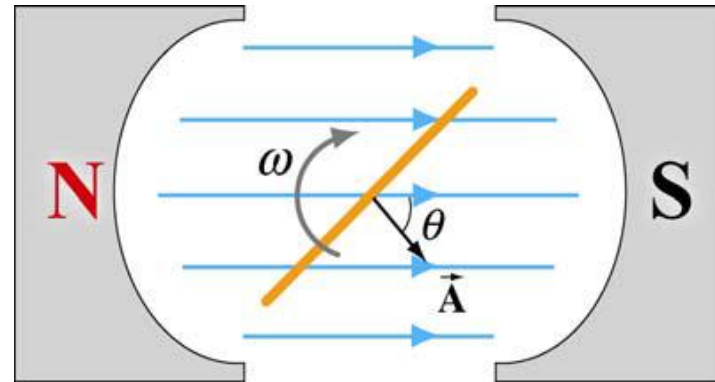
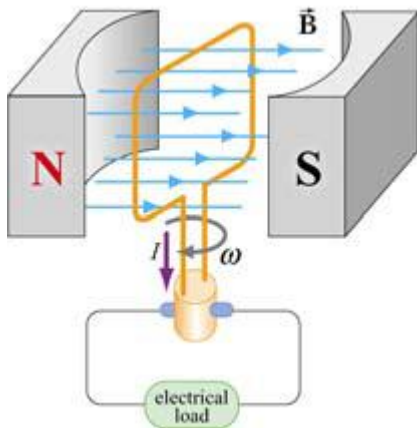


$$|\mathcal{E}| = Blv \quad I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

Dirección de I en contra de las agujas del reloj

Aplicación de la Ley de Faraday: generadores

Un generador convierte energía mecánica en energía eléctrica



$$\phi_B = BA \cos \theta = BA \cos(\omega t) \quad \frac{d\Phi_B}{dt} = -BA\omega \sin(\omega t)$$

Si hay N espiras la fem inducida será $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = NBA\omega \sin(\omega t)$

y la corriente $I = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{NBA\omega}{R} \sin(\omega t)$

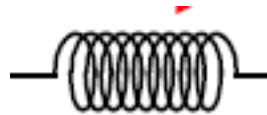
Inductancia

El flujo magnético a través de una espira por la que circula I es

$$\Phi_B = LI$$

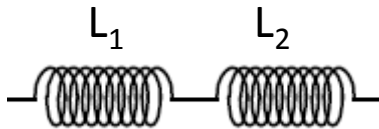
L: autoinducción, es una constante que depende de la forma geométrica de la espira
La unidad en el S.I es el henrio (H), $1H = 1Wb/m^2$

I: corriente



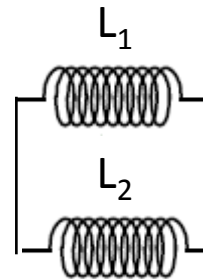
Símbolo que representa un inductor

Inductores conectados en serie



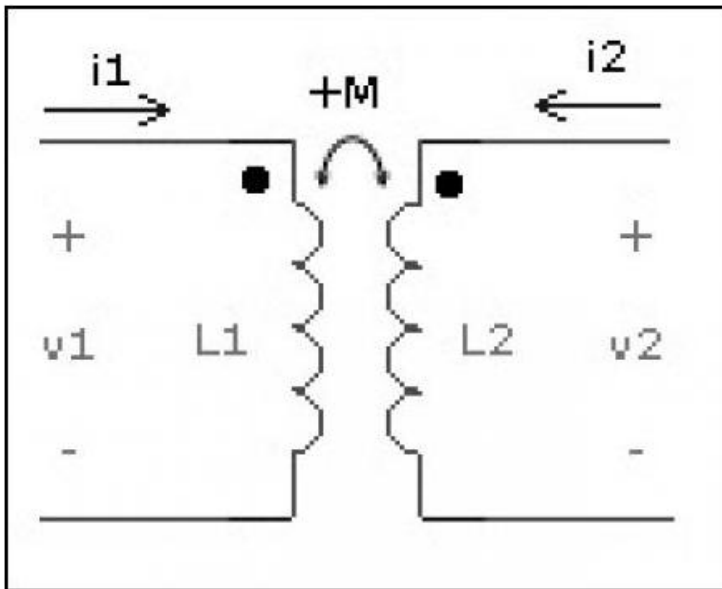
$$L_{eq} = L_1 + L_2$$

Inductores conectados en paralelo



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

Inductancia mutua



El flujo magnético que atraviesa el circuito 2 es

$$\Phi^2_B = L_2 i_2 + M i_1$$

El flujo magnético que atraviesa el circuito 1 es

$$\Phi^1_B = L_1 i_1 + M i_2$$

M: inductancia mutua