

TEMA 2

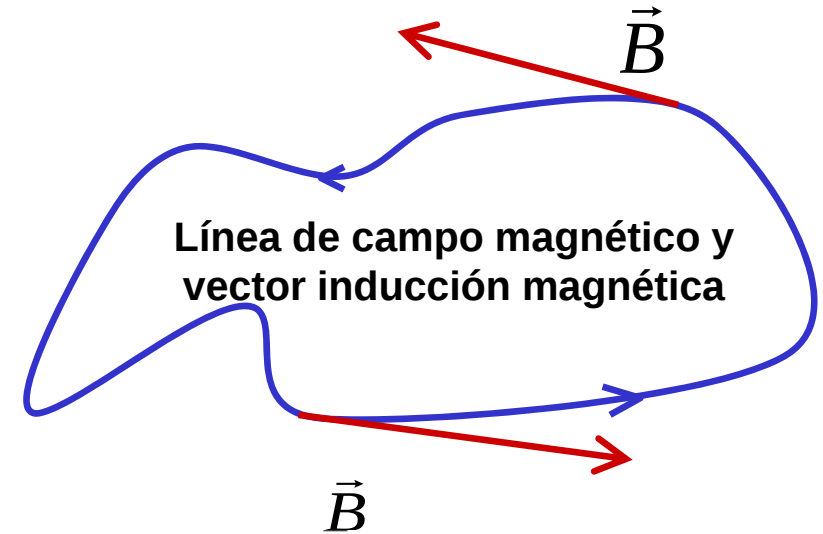
CAMPO MAGNÉTICO

1. CAMPO MAGNÉTICO. EL VECTOR INDUCCIÓN MAGNÉTICA
2. FUERZA MAGNÉTICA:
 - 2.1. Fuerza magnética sobre una carga puntual. Aplicaciones
 - 2.2. Fuerza magnética sobre una corriente eléctrica
3. LEY DE BIOT Y SAVART. APLICACIONES
4. LEY DE AMPÈRE. APLICACIONES
5. FLUJO MAGNÉTICO. LEY DE GAUSS PARA EL CAMPO MAGNÉTICO
6. PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA
7. FENÓMENOS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA: LEY DE FARADAY Y LENZ:
 - 7.1. Fuerza electromotriz debida al movimiento
 - 7.2. Inducción mutua
 - 7.3. Autoinducción
 - 7.4. Generador de fuerza electromotriz sinusoidal
8. DENSIDAD DE ENERGÍA DEL CAMPO MAGNÉTICO
9. DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS EN CIRCUITOS:
 - 9.1. Circuitos de corriente continua
 - 9.2. Circuitos de corriente alterna

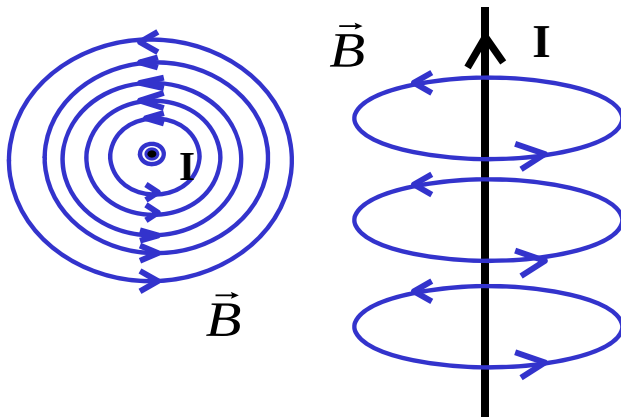
CAMPO MAGNÉTICO. EL VECTOR INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Conceptos sobre el campo magnético:

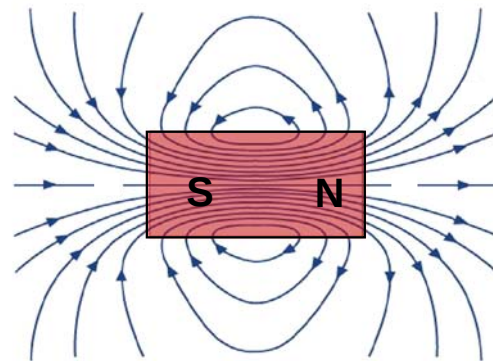
- ↪ Campo magnético
- ↪ Vector inducción magnética
- ↪ Líneas de campo magnético

 $\vec{B}$


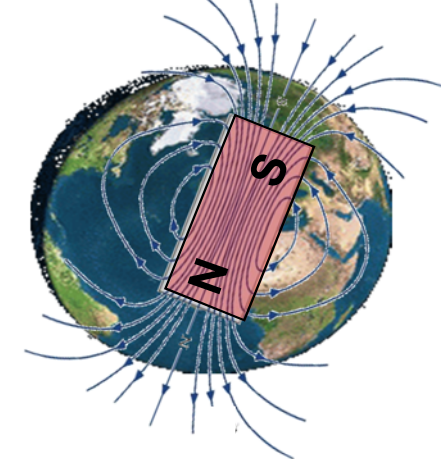
Hilo conductor



Imán



Tierra



Las interacciones eléctricas y magnéticas son dos aspectos diferentes de una misma propiedad de la materia: su carga eléctrica

INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

FUERZA MAGNÉTICA

Si se estudia el movimiento de una carga, q , que lleva una velocidad, v , en el interior de un campo magnético, B , se llega a la siguiente expresión para la fuerza magnética:

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

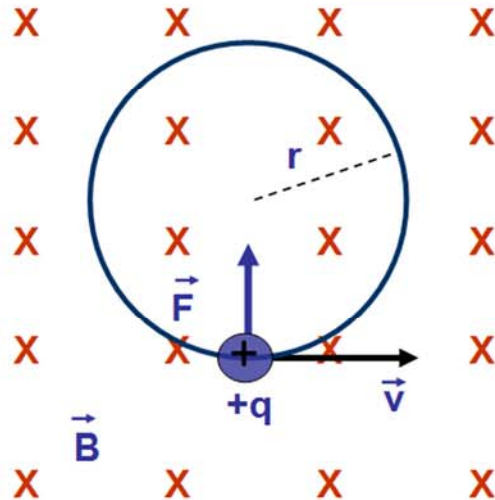
Fuerza magnética sobre una carga eléctrica puntual. Aplicaciones

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) = q(\vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}) \times \vec{B} = q\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}$$

✉ Situación 1

$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp}$$

$$\vec{B} = cte$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{|q|B}{m}$$

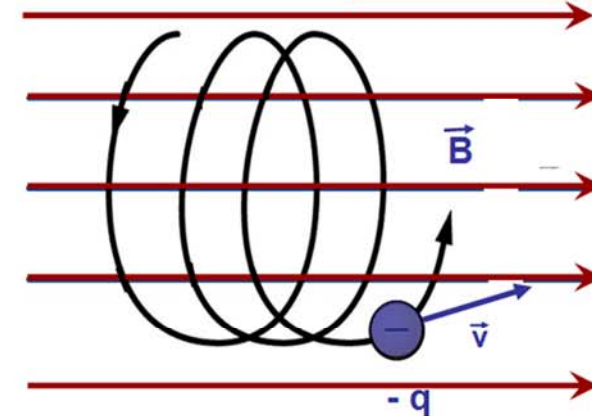
$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B} \quad R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B}$$

Radio de curvatura

✉ Situación 2

$$\vec{v} = \vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}$$

$$\vec{B} = cte$$



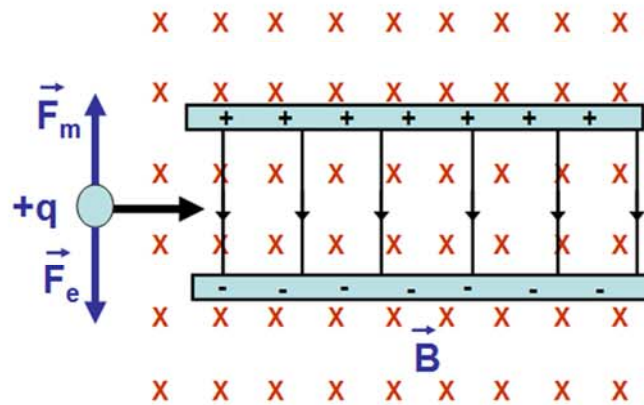
$$d = v_{\parallel} T = \frac{2\pi m v_{\parallel}}{|q|B}$$

Paso de hélice

Fuerza de Lorentz: Fuerza sobre una carga moviéndose en el interior de un campo magnético y de un campo eléctrico

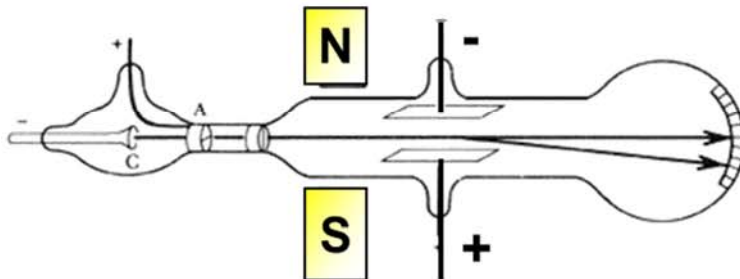
$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

☒ Selector de velocidades



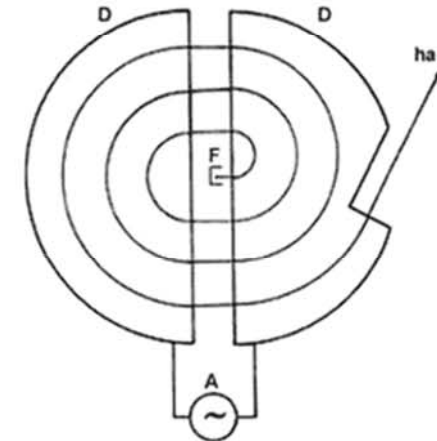
☒ Tubo de Thomson

J.J. Thomson (1897)



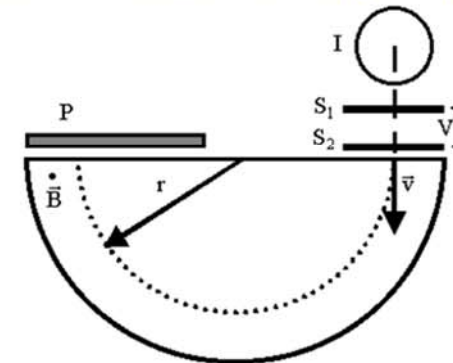
☒ Ciclotrón

E.O. Lawrence y M.S. Livingston (1934)



☒ Espectrómetro de masas

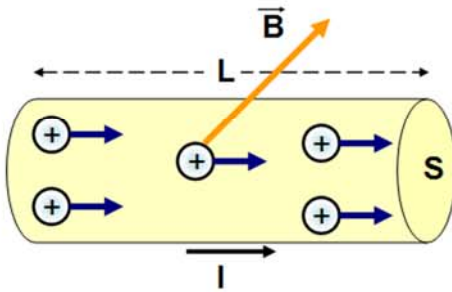
Francis William Aston (1919)



Aplicaciones

Fuerza magnética sobre una corriente eléctrica

⊠ Fuerza magnética sobre un hilo conductor rectilíneo



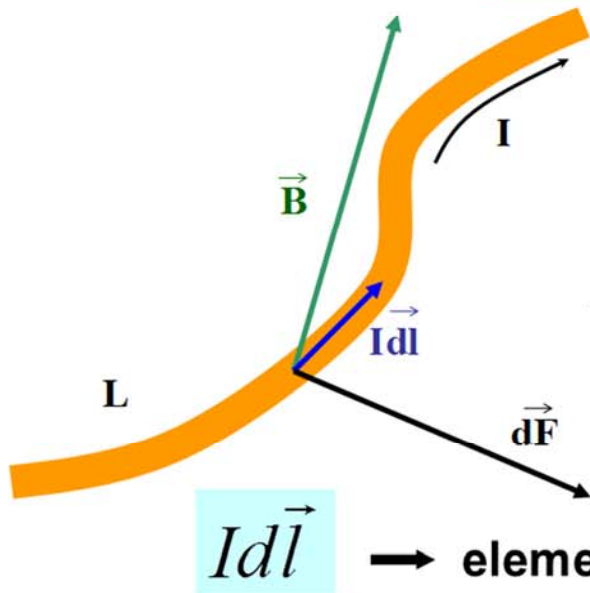
$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow \vec{F} = N \vec{F}_q \Rightarrow \vec{F} = Nq(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$N = nSL$$

$$\vec{F} = nSLq(\vec{v} \times \vec{B}) = L(nqS\vec{v} \times \vec{B}) = IL\vec{u}_\ell \times \vec{B} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

$$\boxed{\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}}$$

⊠ Fuerza magnética sobre un hilo conductor



$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = \int_L Id\vec{\ell} \times \vec{B}}$$

$$\vec{F} = \int_L Id\vec{\ell} \times \vec{B} \xrightarrow{I = cte} \vec{F} = I \int_L d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

$$\xrightarrow{\vec{B} = cte} \boxed{\vec{F} = I \left(\int_L d\vec{\ell} \right) \times \vec{B}}$$

⊗ Fuerza magnética sobre un hilo conductor cerrado

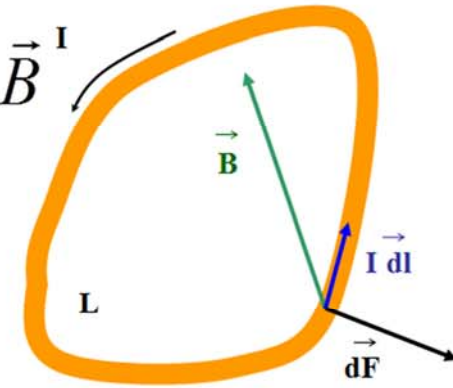
$$I = cte$$

$$\vec{B} = cte$$

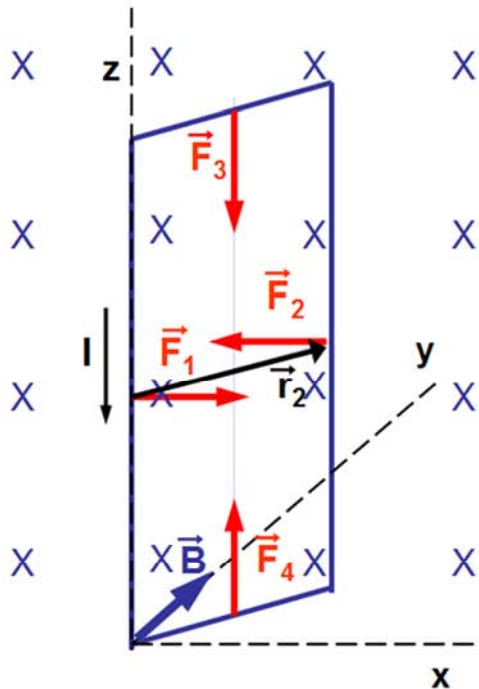
$$\vec{F} = \oint_L I d\vec{l} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = I \oint_L d\vec{l} \times \vec{B} \Rightarrow \vec{F} = I \left(\oint_L d\vec{l} \right) \times \vec{B}$$

$$\oint_L d\vec{l} = 0 \quad \Downarrow$$

$$\vec{F} = 0$$



⊗ Fuerza magnética sobre una espira de corriente



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_1 = -\vec{F}_2; \quad \vec{F}_3 = -\vec{F}_4 \\ \vec{F}_i = I \vec{L}_i \times \vec{B} \end{array} \right.$$

$$\boxed{\sum \vec{F}_i = 0}$$

$$\vec{\tau} = \sum \vec{r}_i \times \vec{F}_i = \vec{r}_2 \times \vec{F}_2 = I \vec{S} \times \vec{B} \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{\tau}_3 = -\vec{\tau}_4 \\ \vec{\tau}_1 = 0 \end{array} \right.$$

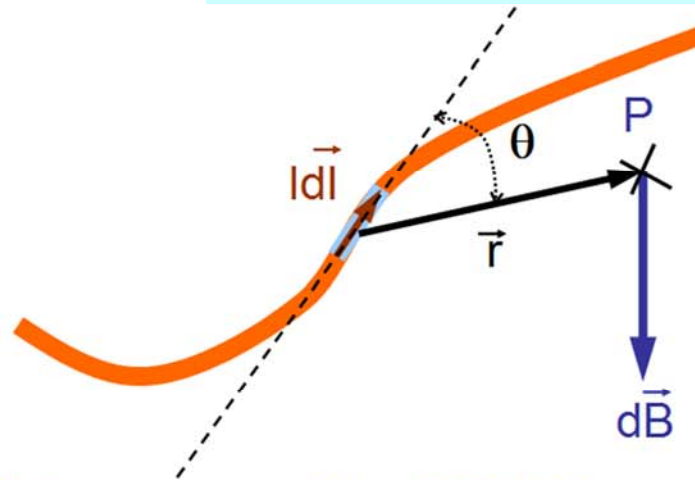
$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}}$$

Momento dipolar magnético

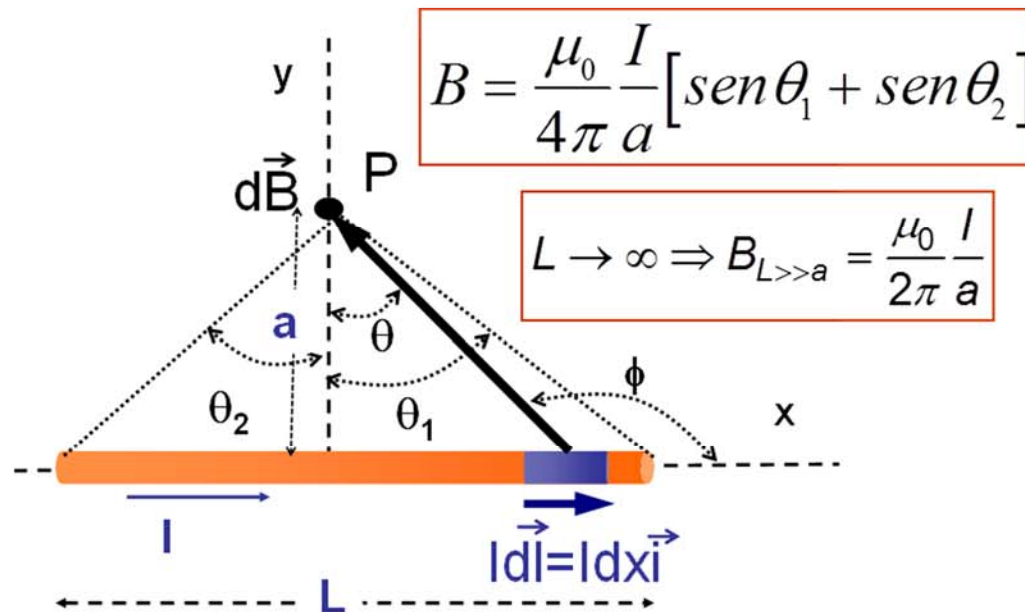
$$\vec{M} = I \vec{S}$$

$$\vec{M}_N = N I \vec{S}$$

LEY DE BIOT Y SAVART. APLICACIONES



☒ **Campo magnético CREADO por una corriente rectilínea**



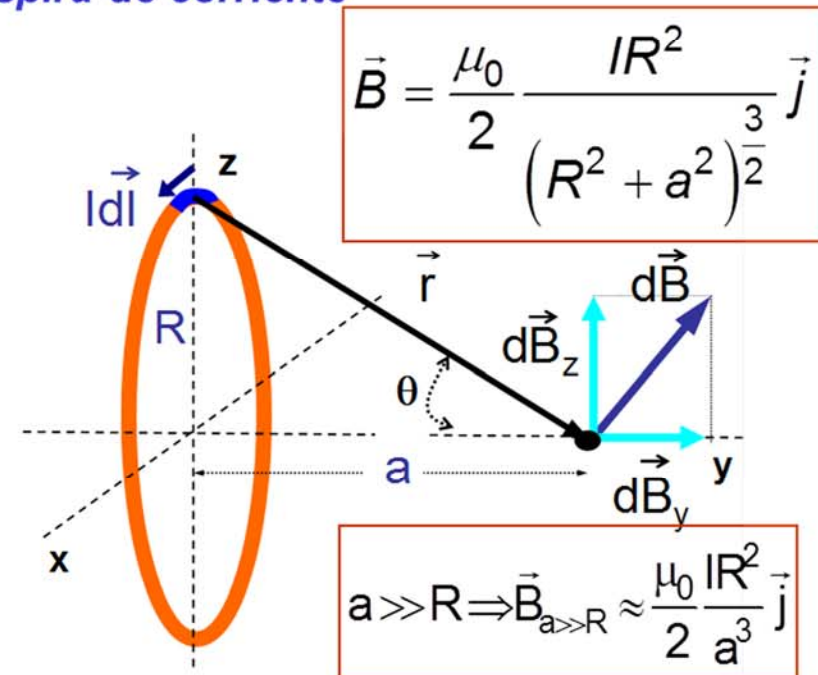
Ley de Biot y Savart

$$d\vec{B} = K_m \frac{Id\vec{\ell} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

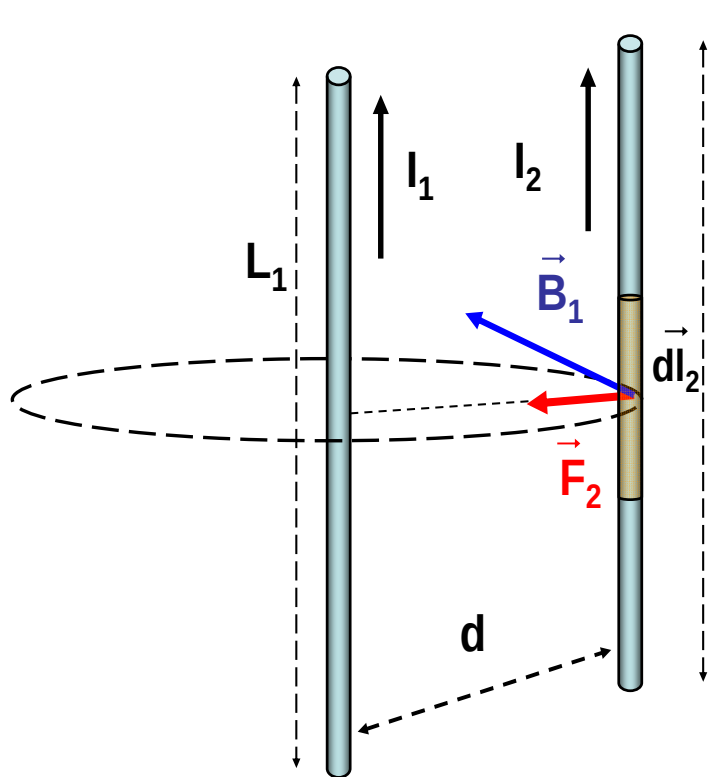
$$K_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

μ_0 permeabilidad magnética del vacío

☒ **Campo magnético CREADO por una espira de corriente**



⊗ Fuerza magnética entre corrientes paralelas



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

$$d\vec{F}_2 = I_2 d\vec{\ell}_2 \times \vec{B}_1 \Rightarrow dF_2 = I_2 d\ell_2 B_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} d\ell_2$$

$$F_2 = \int \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} d\ell_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \int d\ell_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} L_2$$

$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} L_2$$

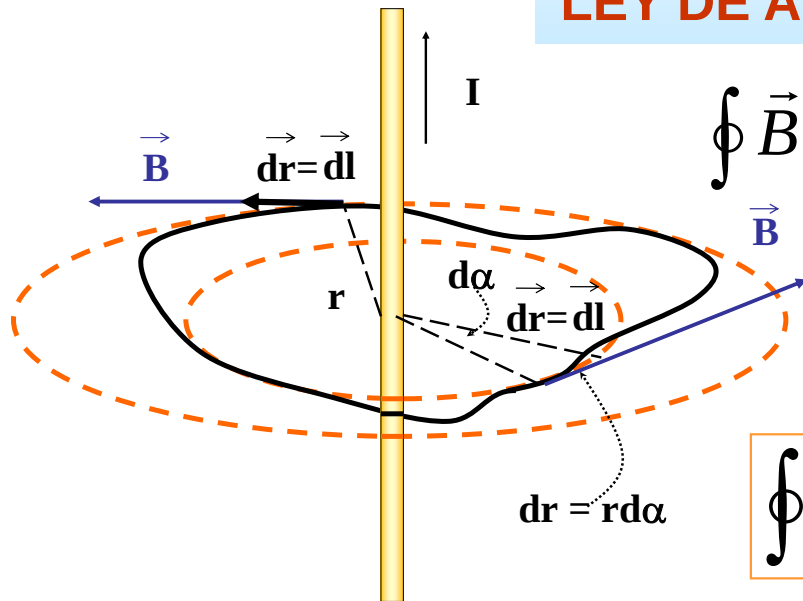
$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} L_1$$

$$\frac{F_2}{L_2} = \frac{F_1}{L_1} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

⊗ Definiciones:

- **Amperio:** Es la intensidad de corriente que circulando en un mismo sentido por dos conductores rectilíneos y paralelos, separados en el vacío una distancia de un metro, origina en cada uno de ellos una fuerza atractiva de $2 \cdot 10^{-7}$ N/m
- **Culombio:** Es la carga que atraviesa en el tiempo de un segundo la sección recta de un conductor por el que circula una corriente de un amperio

LEY DE AMPÈRE. APLICACIONES



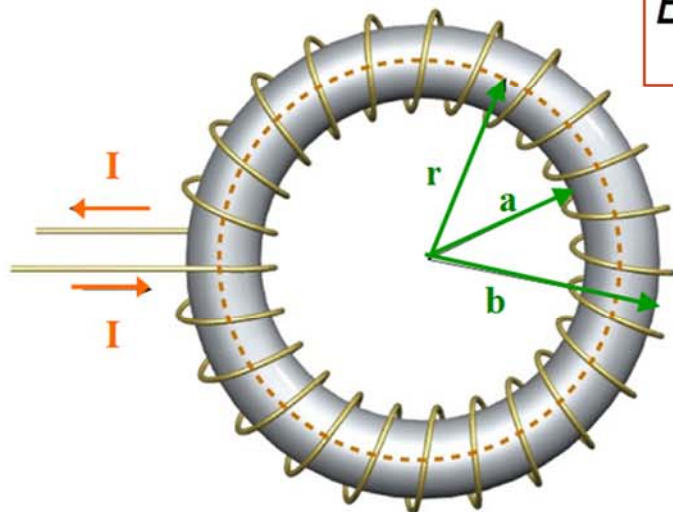
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \oint \vec{B} d\vec{r} = \frac{\mu_0}{2\pi} \oint \frac{I}{r} \vec{u}_r d\vec{r} \xrightarrow{dr = r d\alpha} = \frac{\mu_0}{2\pi} \oint \frac{I}{r} r d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} 2\pi$$

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

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

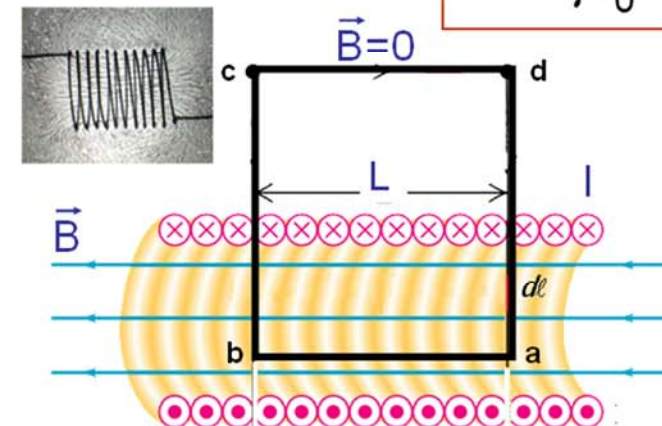
Ley de Ampère: La circulación del campo magnético a lo largo de cualquier línea cerrada es proporcional a la intensidad neta de corriente que atraviesa la superficie que delimita.

☒ Campo magnético CREADO por un toroide



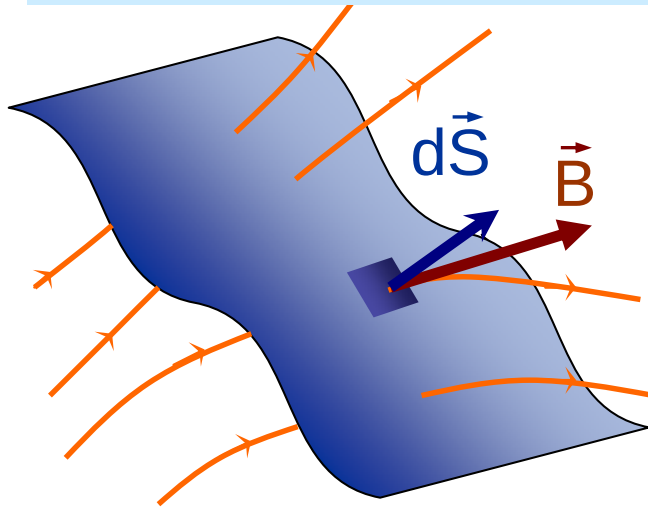
$$B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

☒ Campo magnético CREADO por un solenoide



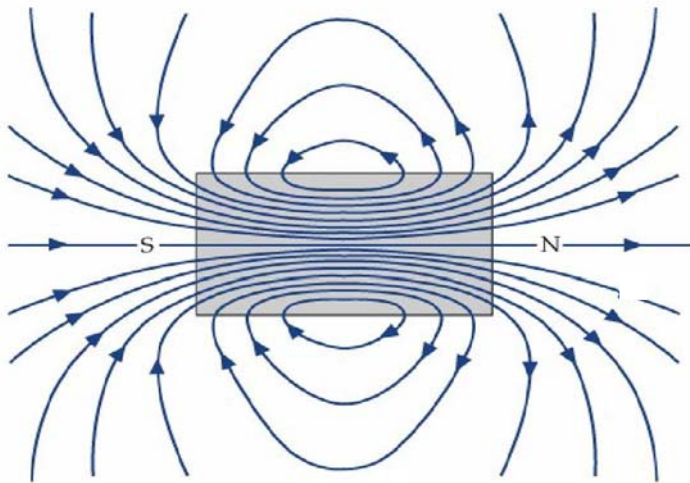
$$B = \mu_0 n I$$

FLUJO MAGNÉTICO. LEY DE GAUSS PARA EL CAMPO MAGNÉTICO

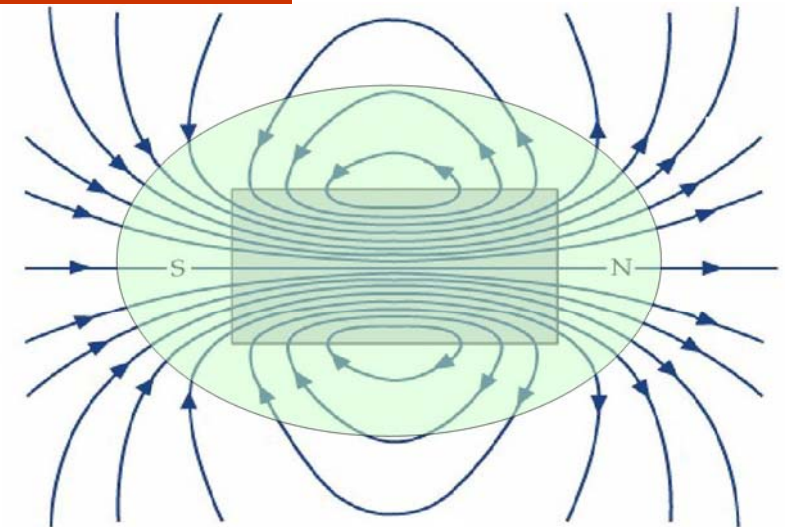


$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Ley de Gauss para el campo magnético

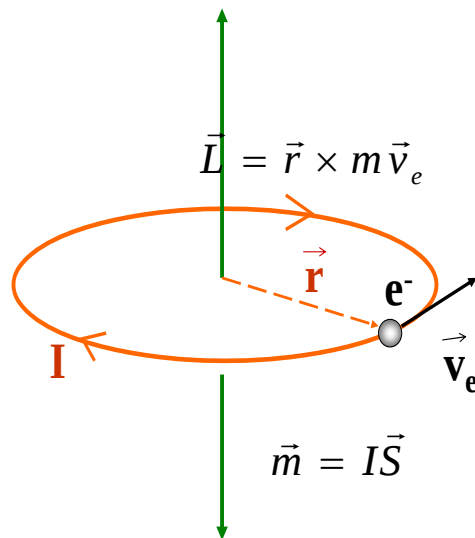


$$\oiint \vec{B} d\vec{S} = 0$$



El flujo magnético a través de una superficie cerrada cualquiera es cero

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA



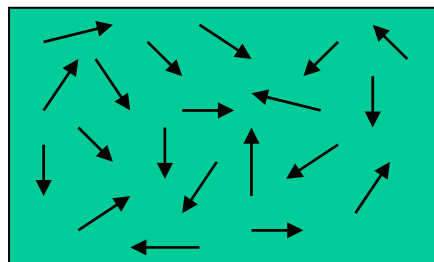
Las corrientes debidas a los movimientos de los electrones a escala atómica son la causa de sus propiedades magnéticas

Momento magnético del electrón:

- Momento magnético orbital
- Momento magnético intrínseco (spin)

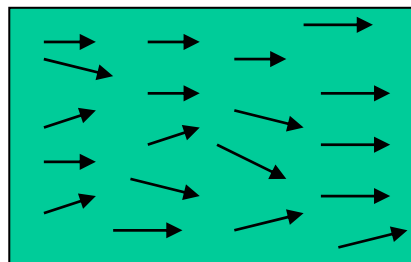
Momento magnético neto del átomo: depende de la distribución de los electrones en el átomo

Magnetización



Sustancia no magnetizada

$\vec{B}_{ext}$ Campo externo



Momento magnético neto

$$\vec{m}_{atm} = \vec{m}_{orb} + \vec{m}_{spin}$$

$$\vec{M} = \frac{\text{momento magnético}}{\text{unidad de volumen}}$$

Magnitudes Magnéticas

Intensidad de campo magnético

$$\vec{H}$$

Susceptibilidad

$$\chi_m$$

Permeabilidad

$$\mu$$

$$\vec{B}_{ext} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{B}_T = \mu \vec{H}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m$$

Clasificación de los materiales

En función del comportamiento de sus moléculas frente a un campo magnético exterior.

Campo magnético total

$$\vec{B}_T = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$$

Tipo de material	Se cumple	Susceptibilidad	Permeabilidad
Diamagnético	$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$	$\chi_m < 0$	$\mu < \mu_0$
Paramagnético	$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$	$0 < \chi_m \ll 1$	$\mu \geq \mu_0$
Ferromagnético	$\vec{M} \neq \chi_m \vec{H}$	$\chi_m \gg 0$	$\mu \gg \mu_0$



Diamagnéticos

$$\chi_m < 0$$

$$\mu < \mu_0$$

M y B_{ext} tienen
sentidos opuestos

- Materiales con moléculas individuales **sin momento dipolar magnético**.
- En presencia de un campo externo se induce un pequeño momento dipolar magnético.
- El momento magnético inducido se opone al campo externo.
- La magnetización es, generalmente, proporcional al campo (materiales lineales).
- El efecto **diamagnético es muy débil**.
- Las propiedades diamagnéticas son esencialmente independientes de la temperatura.
- Bi, Cu, Ag, Au, Pb,...



Paramagnéticos

$$0 < \chi_m \ll 1$$

$$\mu > \mu_0$$

M y B_0 tienen
sentidos iguales

- Materiales con átomos que presentan **momento dipolar magnético permanente**.
- Dipolos magnéticos orientados aleatoriamente en ausencia de campo externo.
- Orientación de los dipolos magnéticos con el campo externo.
- La temperatura dificulta la orientación.
- La magnetización es **proporcional al campo aplicado** e inversamente proporcional a la temperatura.
- Al, Ca, Cr, Li, Mg,...

$$M = C \frac{B}{T}$$



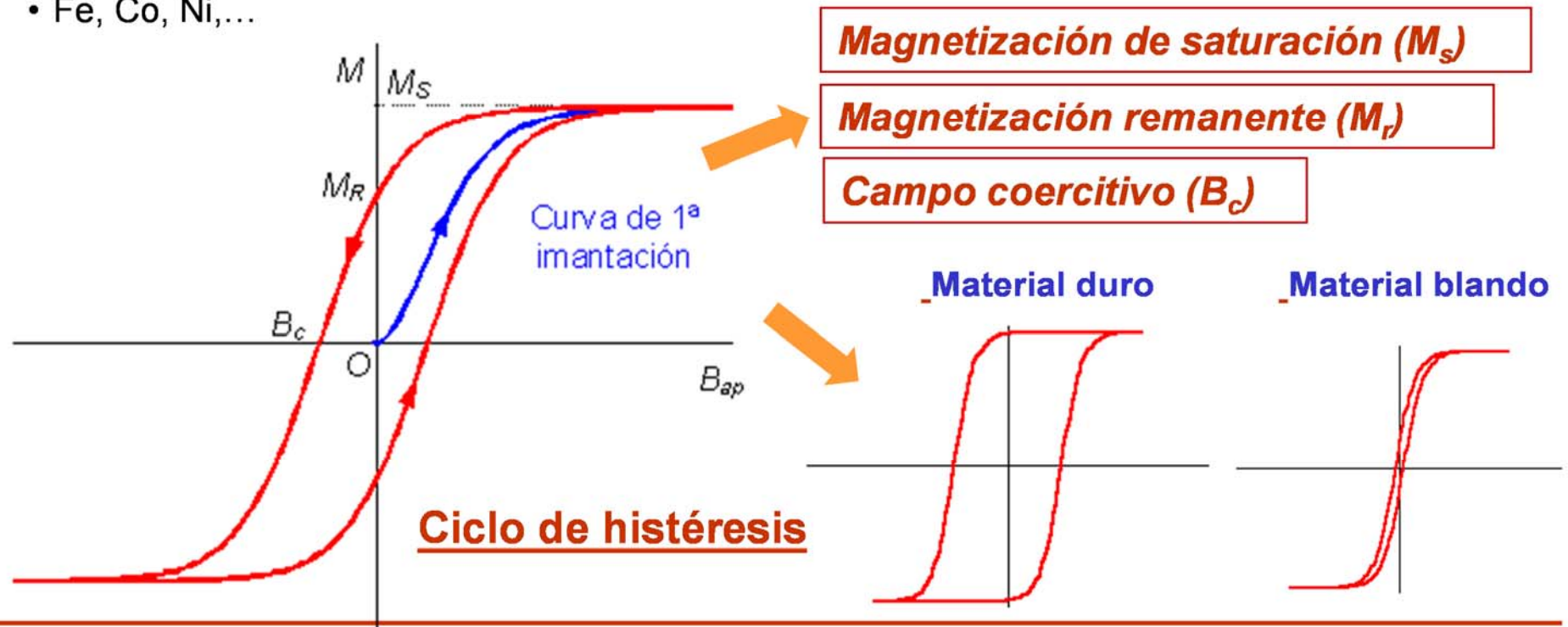
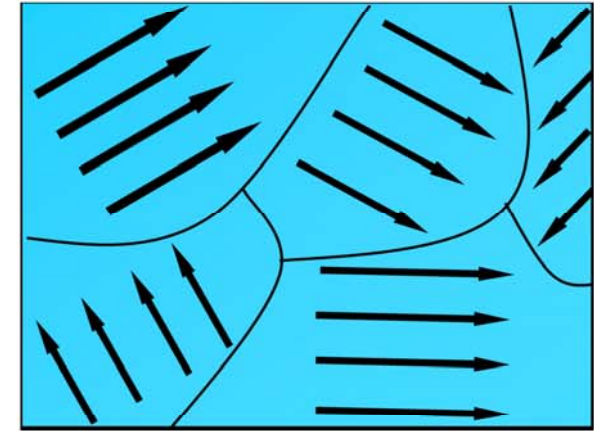
Ferromagnéticos:

$$\chi_m = f(\vec{B}_{ext})$$

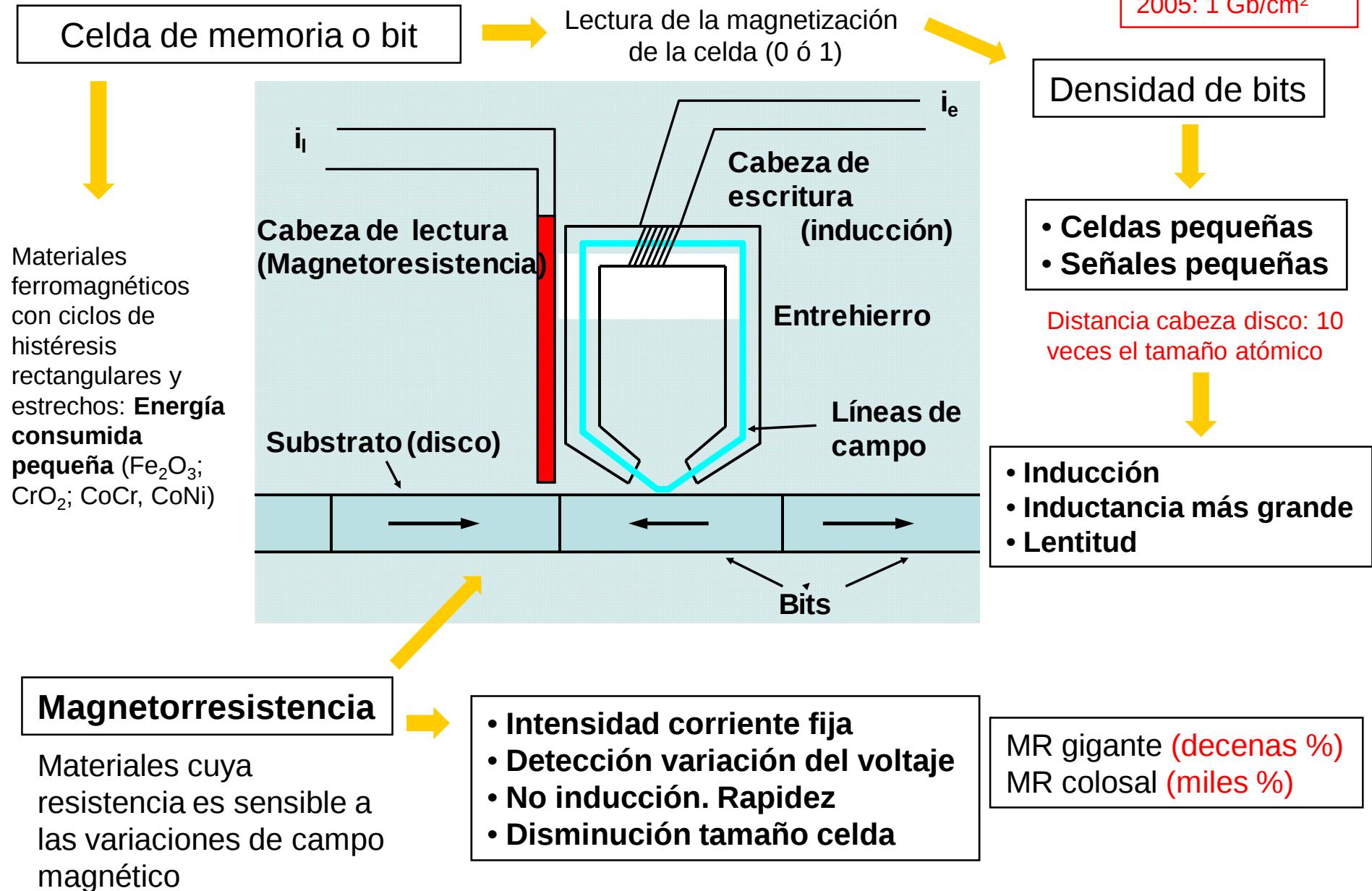
$$\mu \gg \mu_0$$

- Alineación fácil de los momentos magnéticos atómicos en presencia de un campo externo.
- Fuerte acoplamiento de los momentos magnéticos cercanos (**Dominios magnéticos**).
- La magnetización persiste cuando se retira el campo externo (**Imán permanente**).
- Temperaturas altas contrarrestan el acoplamiento (**Temperatura crítica**).
- **Tiempo de relajación**: Pérdida de la magnetización
- Fe, Co, Ni,...

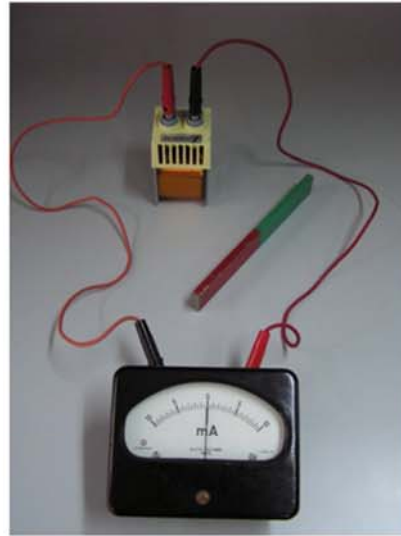
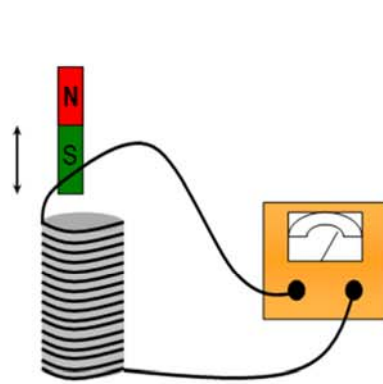
Dominios magnéticos



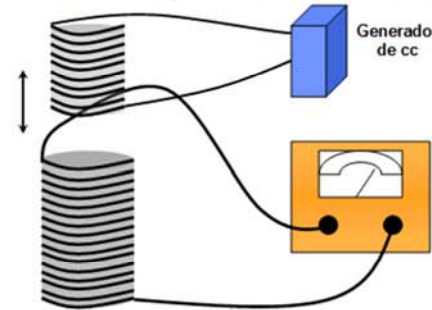
Almacenamiento magnético



FENÓMENOS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA. LEY DE FARADAY Y LENZ



Se establece una corriente en un circuito siempre que haya un movimiento relativo entre el imán y la espira, o entre las dos espira (en una de ellas hay establecida una corriente)



El elemento común en estas experiencias es **un flujo magnético cambiante** a través de la bobina donde se induce la fuerza electromotriz

Ley de Faraday: La magnitud de la fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la tasa de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_m}{dt} = \frac{d}{dt} \iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Ley de Lenz: La fem inducida en un circuito tiene un sentido tal que se opone a las causas que la ocasionan.

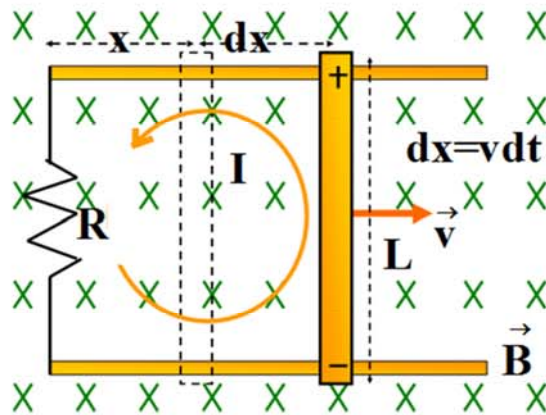
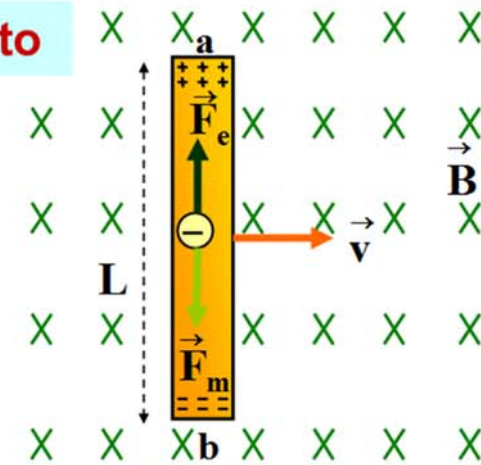
$$\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Fuerza electromotriz debida al movimiento

(A) Varilla conductora móvil en un campo magnético

- La fuerza magnética desplaza los electrones
- Equilibrio entre la fuerza magnética y la fuerza eléctrica
- La diferencia de potencial entre los extremos de la varilla coincide con la fem inducida

$$V_{ab} = [\varepsilon] = vBL$$



(B) Varilla conductora móvil que forma un circuito

- Se induce una corriente en el sentido antihorario alrededor del circuito
- La varilla en movimiento se encuentra en “equilibrio dinámico” y se convierte en una fuente de fem, con la carga desplazándose de menor a mayor potencial dentro de ella

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_m}{dt} = vBL$$

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = vBL$$

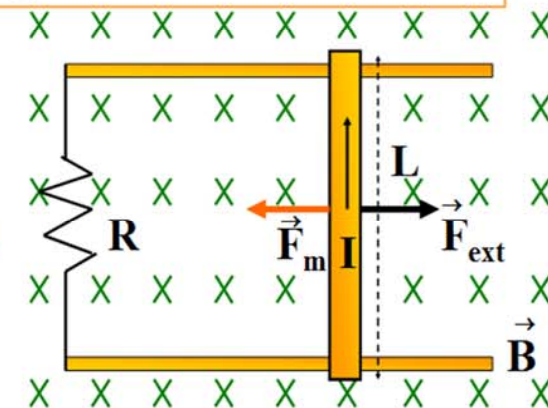
(C) Trabajo y energía del proceso: Estudio energético

Potencia entregada

$$P = \vec{F}_{ext} \cdot \vec{v} = ILBv = \frac{vBL}{R} LBv = \frac{(vBL)^2}{R}$$

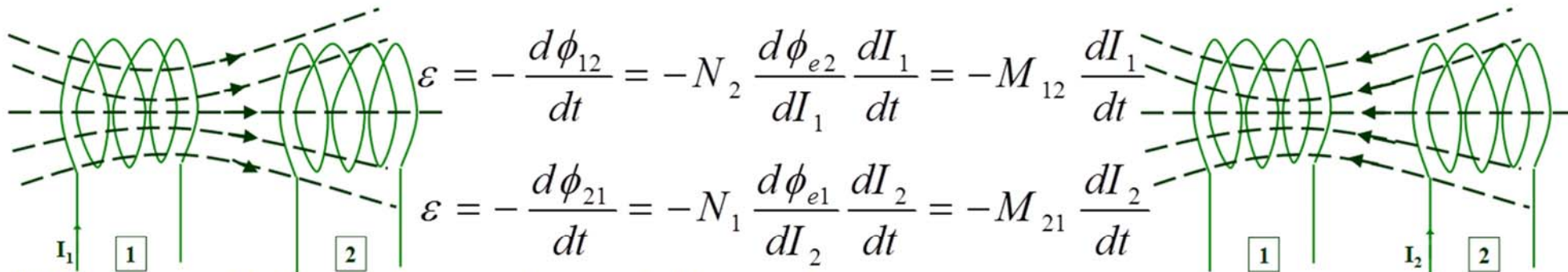
Potencia disipada en R

$$P_R = I^2 R = \left(\frac{vBL}{R} \right)^2 R = \frac{(vBL)^2}{R}$$



Inducción mutua

📁 Cuando la corriente que circula por la bobina 1 cambia, también cambia el campo que produce esta bobina, lo que provoca una variación del flujo magnético que atraviesa la bobina 2. Así se induce una fem en la bobina 2



$$\varepsilon = -\frac{d\phi_{12}}{dt} = -N_2 \frac{d\phi_{e2}}{dI_1} \frac{dI_1}{dt} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_{21}}{dt} = -N_1 \frac{d\phi_{e1}}{dI_2} \frac{dI_2}{dt} = -M_{21} \frac{dI_2}{dt}$$

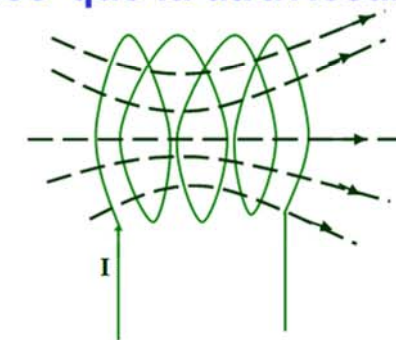
📁 En un medio lineal, homogéneo e isótropo, la inducción mutua, M , es la constante de proporcionalidad entre el flujo magnético y la intensidad de corriente que lo crea

$$M_{12} = M_{21} = N_2 \frac{d\phi_{e2}}{dI_1} = N_1 \frac{d\phi_{e1}}{dI_2}$$

Autoinducción

📁 Cuando la corriente que circula por la bobina cambia, también cambia el campo que produce esta bobina, lo que provoca una variación del flujo magnético que la atraviesa. Así se induce una fem en la bobina

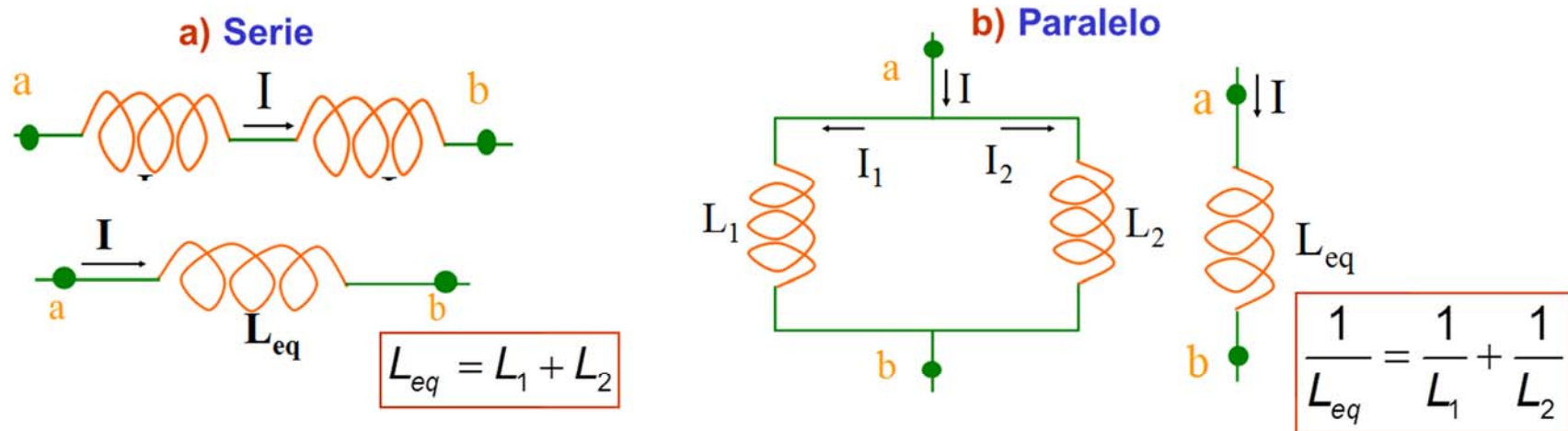
$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d\phi_e}{dI} \frac{dI}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$



📁 La constante de proporcionalidad es L

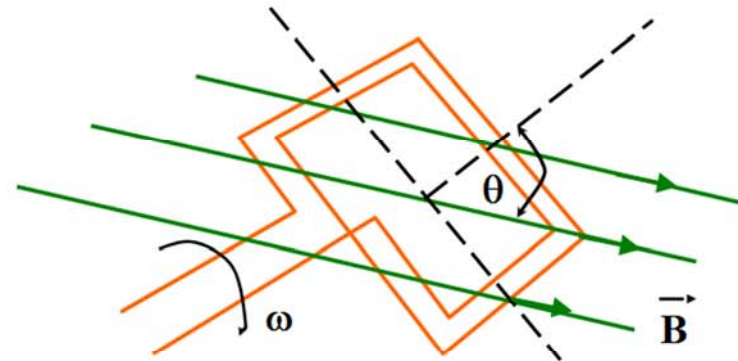
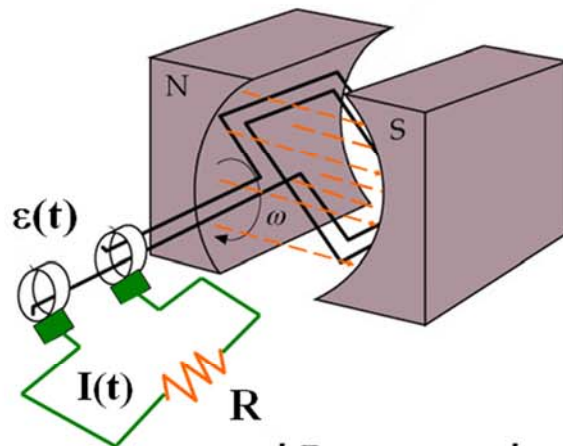
$$L = N \frac{d\phi_e}{dI}$$

Asociación de autoinducciones

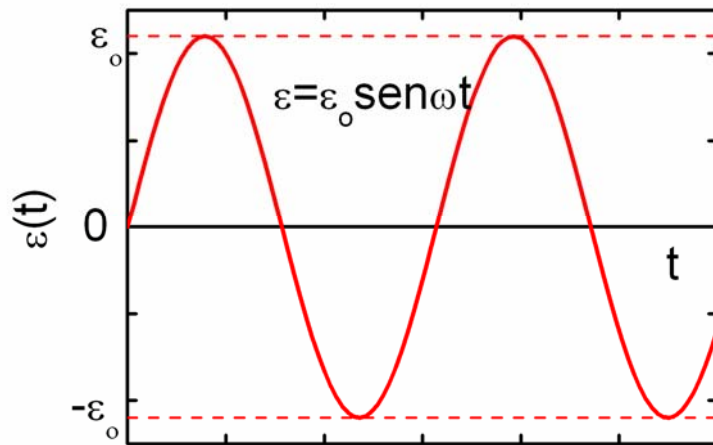


Generador de fem sinusoidal

Corriente Alterna (ca): Corriente I que varía periódicamente con el tiempo.

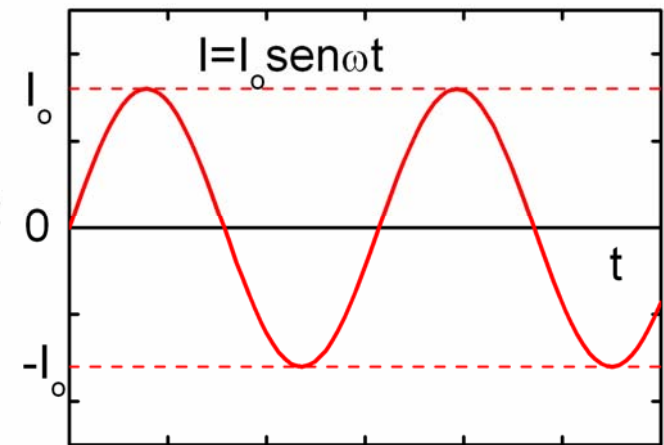


$$\varepsilon(t) = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}[NBS \cos \omega t] = NBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_0 \sin \omega t$$



$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \text{sen} \omega t$$

$$I(t) = I_0 \text{sen} \omega t; \quad I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}$$



DENSIDAD DE ENERGÍA DEL CAMPO MAGNÉTICO

Energía almacenada en un inductor: Densidad de energía del campo magnético

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \xrightarrow{\text{solenoide}} \left\{ \begin{array}{l} L = \mu_0 \frac{N^2}{L_s} S \\ B = \mu_0 \frac{N}{L_s} I \end{array} \right\} \rightarrow U = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} S L_s \rightarrow \eta_B = \frac{U}{V_s} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

B, Campo magnético en el interior del solenoide: $B = \mu_0 \frac{N}{L_s} I$

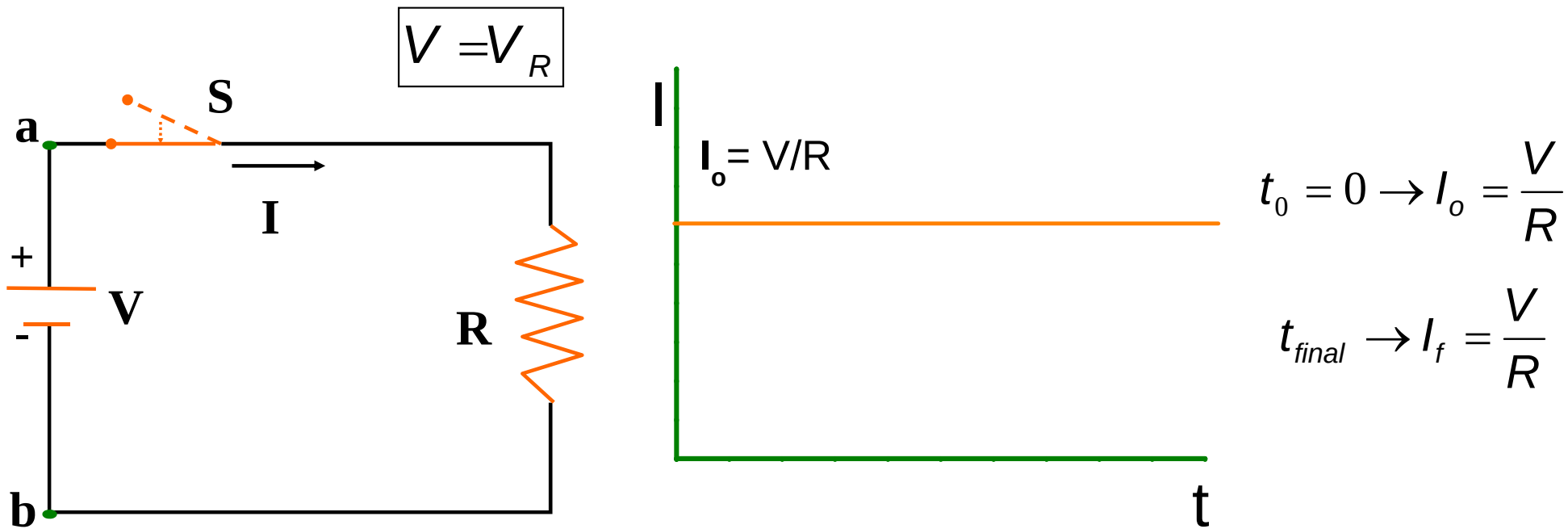
L, autoinducción del solenoide: $L = \frac{d\phi_m}{dI}; \quad \phi_m = N \iint_S \vec{B} d\vec{S} = N \mu_0 \frac{N}{L_s} I S; \quad L = \mu_0 \frac{N^2}{L_s} S$

DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS EN CIRCUITOS

Circuitos de corriente continua

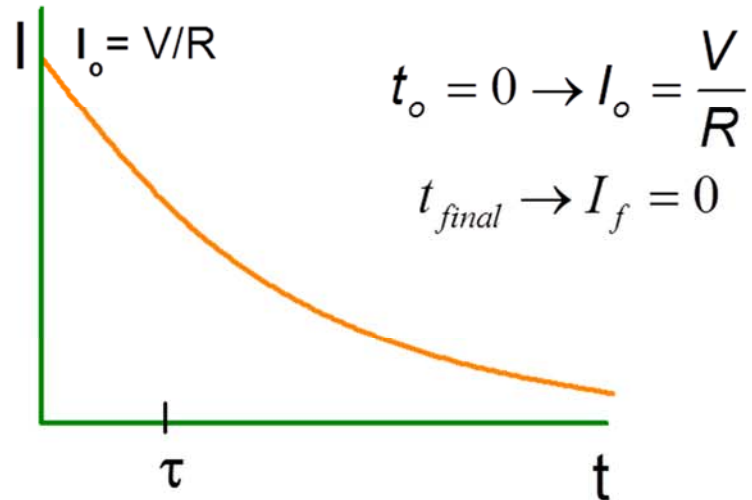
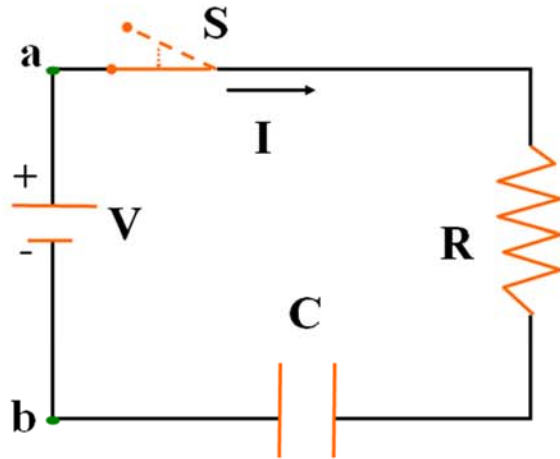
- Comportamiento de los tres dispositivos básicos: resistencia, condensador, autoinducción
- Estado transitorio y estado estacionario
- Intensidad de corriente en el estado estacionario

Resistencia en un circuito de corriente continua



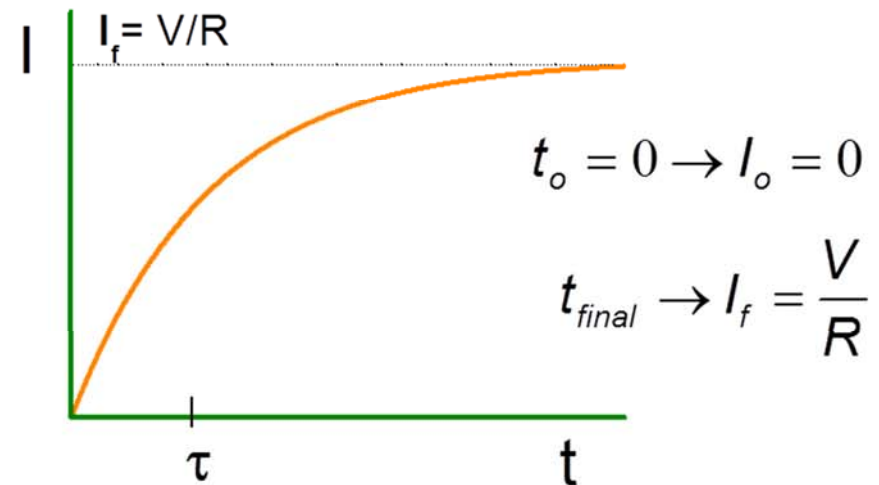
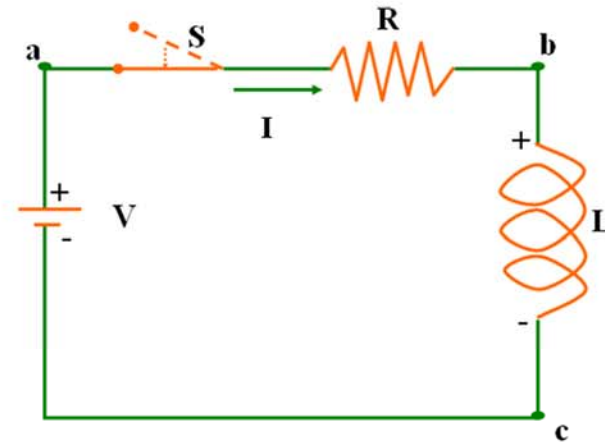
Condensador en un circuito de corriente continua: Transitorio RC

$$V = V_R(t) + V_C(t)$$



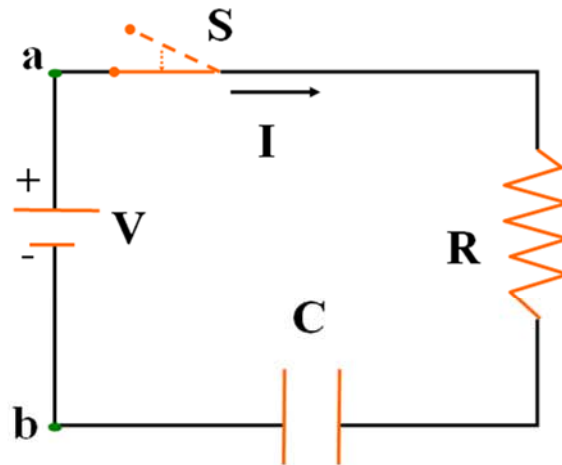
Autoinducción en un circuito de corriente continua: Transitorio RL

$$V = V_R(t) + V_L(t)$$



Transitorio RC

a. Carga de un condensador



$$t = 0 \rightarrow Q_0 = 0; V_{C0} = 0$$

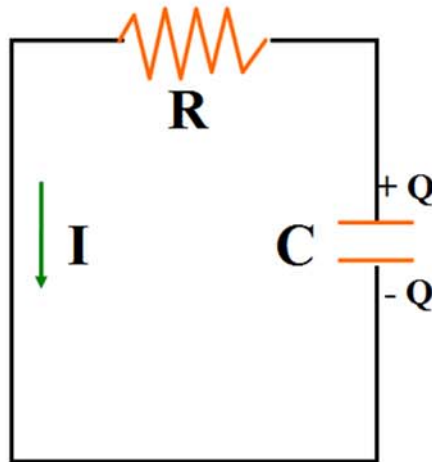
$$V = I(t)R + \frac{Q(t)}{C}$$

$$\tau = RC, \text{ Constante de tiempo}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$Q(t) = Q_{\max} (1 - e^{-t/RC})$$

b. Descarga de un condensador



$$V_R(t) = V_C(t)$$

$$I(t)R = \frac{Q(t)}{C}$$

$$\tau = RC, \text{ Constante de tiempo}$$

$$t = 0 \rightarrow Q(0) = Q_0; V_{C0} = \frac{Q_0}{C}$$

$$I(0) = I_0 = \frac{V_{C0}}{R} = \frac{Q_0}{RC}$$

$$t_{\text{final}} \rightarrow Q_f = 0; V_{Cf} = 0$$

$$I_f = 0; V_{Rf} = 0$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

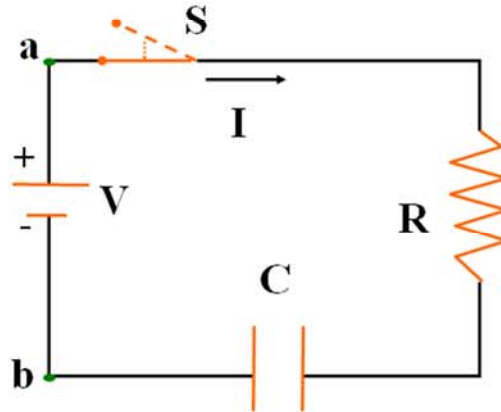
$$V_R(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

Transitorio RC

a. Carga de un condensador

$$V = V_R(t) + V_C(t)$$



$$t = 0 \rightarrow Q_0 = 0; V_{C0} = 0$$

$$V_{R0} = V; I_0 = \frac{V}{R}$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0; Q_f = Q_{max} = \varepsilon_0 C$$

$$V_{Rf} = 0; V_{Cf} = V$$

$$\tau = RC$$

Constante de tiempo

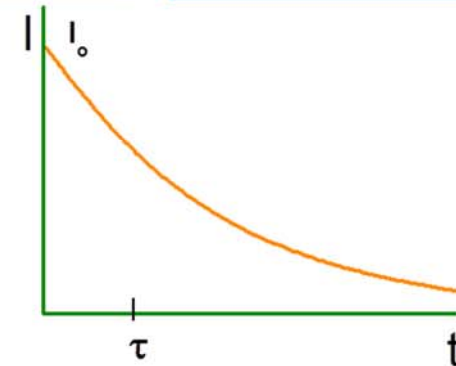
$$V = I(t)R + \frac{Q(t)}{C}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$Q(t) = Q_{max}(1 - e^{-t/RC})$$

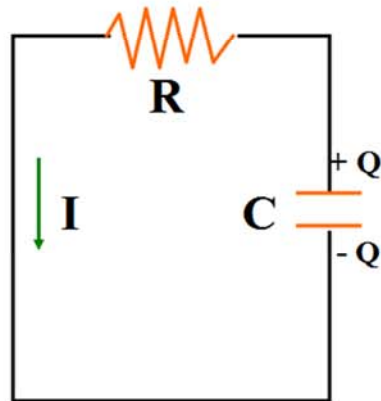
$$V_R(t) = V e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V(1 - e^{-t/RC})$$



b. Descarga de un condensador

$$V_R(t) = V_C(t)$$



$$t = 0 \rightarrow Q(0) = Q_0; V_{C0} = \frac{Q_0}{C}$$

$$I(0) = I_0 = \frac{V_{C0}}{R} = \frac{Q_0}{RC}$$

$$t_{final} \rightarrow Q_f = 0; V_{Cf} = 0$$

$$I_f = 0; V_{Rf} = 0$$

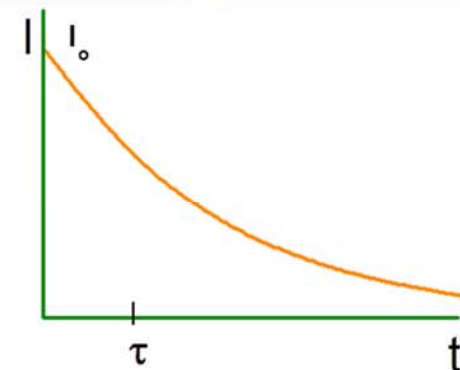
$$I(t)R = \frac{Q(t)}{C}$$

$$I(t) = I_0 e^{-t/RC}$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-t/RC}$$

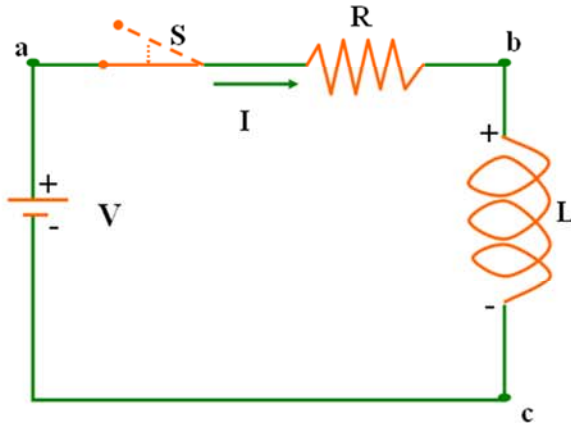
$$V_R(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = V_{C0} e^{-t/RC}$$



Transitorio RL

$$V = V_R(t) + V_L(t)$$

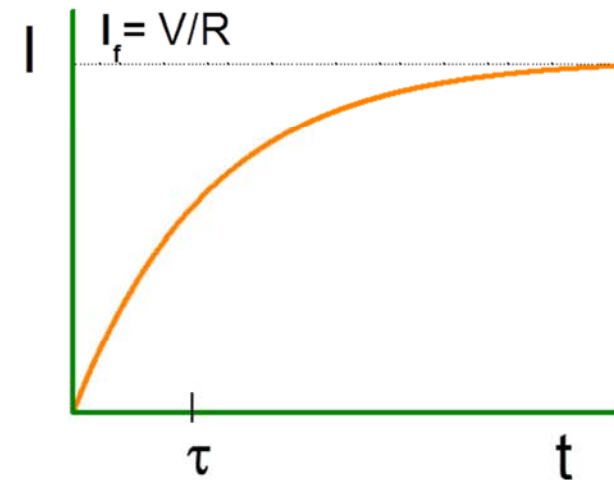


$$V = I(t)R + L \frac{dI(t)}{dt}$$

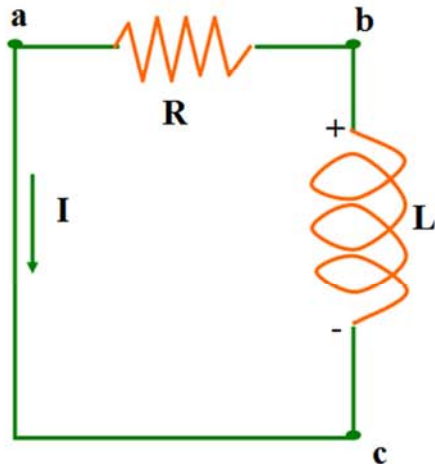
$$t_o = 0 \rightarrow I_o = 0; V_{L0} = V$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = \frac{V}{R}$$

$$I(t) = \frac{V}{R} (1 - e^{-Rt/L})$$



$$0 = V_R(t) + V_L(t)$$



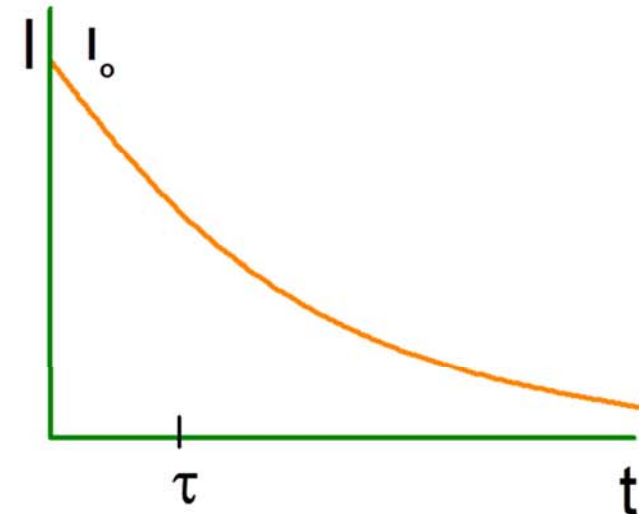
$\tau = L/R$,
Constante de tiempo

$$I(t)R = -L \frac{dI(t)}{dt}$$

$$t_o = 0 \rightarrow I_o$$

$$t_{final} \rightarrow I_f = 0$$

$$I(t) = I_o e^{-Rt/L}$$



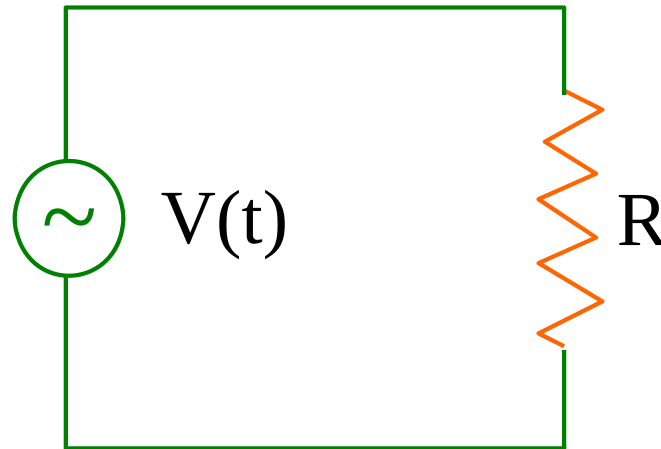
Circuitos de corriente alterna

Resistencia en un circuito de corriente alterna

$$V(t) = V_o \sen \omega t$$

$$I(t) = I_o \sen \omega t$$

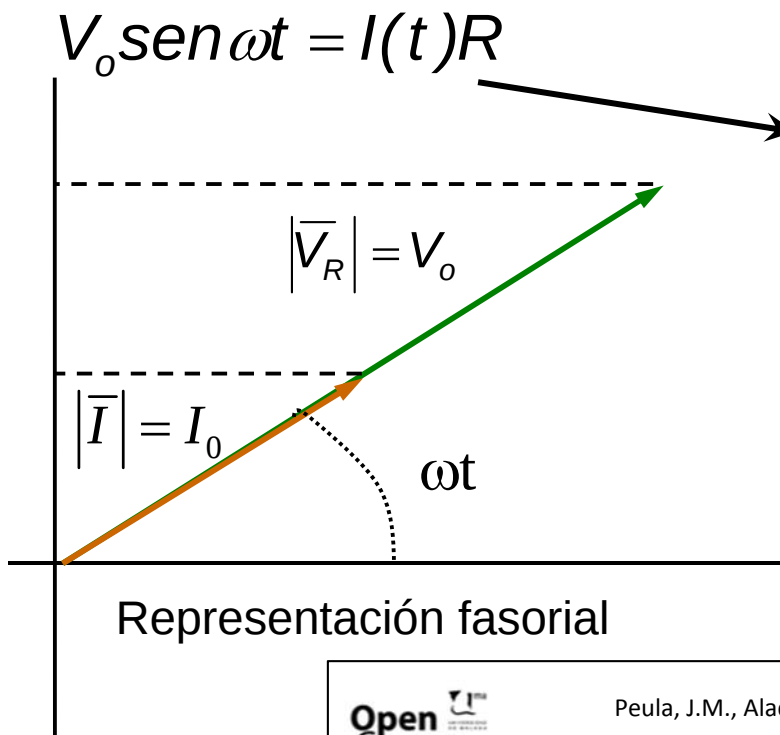
$$V(t) = V_R(t) = I(t)R$$



$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$I(t) = \frac{V_o}{R} \sen \omega t$$

En una resistencia la tensión y la corriente están en fase



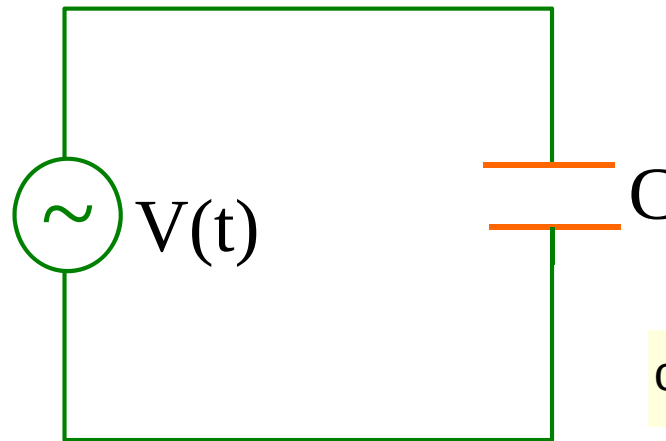
Representación fasorial

Condensador en un circuito de corriente alterna

$$V(t) = V_o \sin \omega t$$

$$V(t) = V_C(t) = \frac{Q(t)}{C}$$

$$V_o \sin \omega t = \frac{Q(t)}{C}$$



$$Q(t) = CV_o \sin \omega t$$

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C\omega V_o \cos \omega t$$

$$\cos \omega t = \sin(\omega t + \pi/2)$$

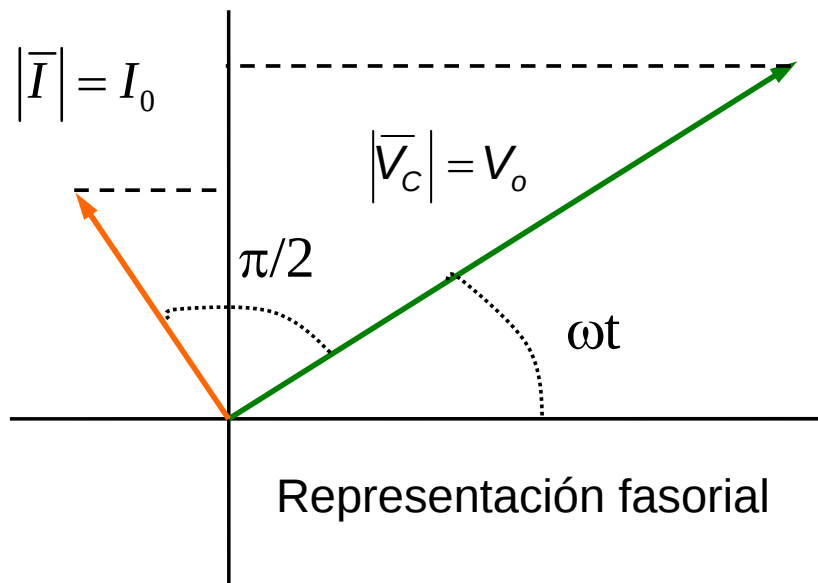
$$X_C = \frac{1}{C\omega}$$

Reactancia capacitiva
o Capacitancia

$$I(t) = \frac{V_o}{X_C} \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$I_o = \frac{V_o}{X_C}$$

$$I(t) = I_o \sin(\omega t + \pi/2)$$



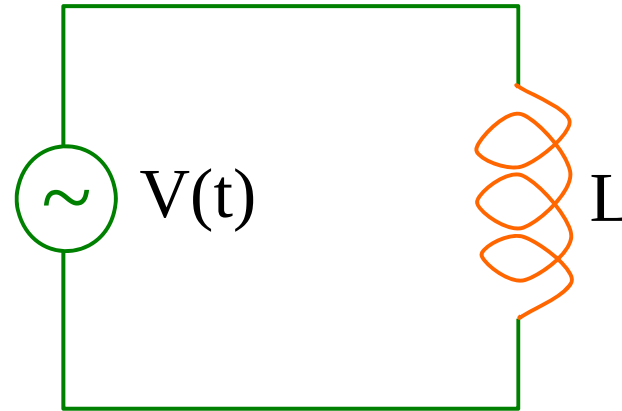
En un condensador la tensión se retrasa $\pi/2$ rad con respecto a la corriente

Autoinducción en un circuito de corriente alterna

$$V(t) = V_o \text{sen } \omega t$$

$$V(t) = V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$$

$$V_o \text{sen } \omega t = L \frac{dI(t)}{dt}$$



Reactancia inductiva
o Inductancia

$$I(t) = \frac{V_o}{L} \int \text{sen } \omega t dt = -\frac{V_o}{L\omega} \cos \omega t$$

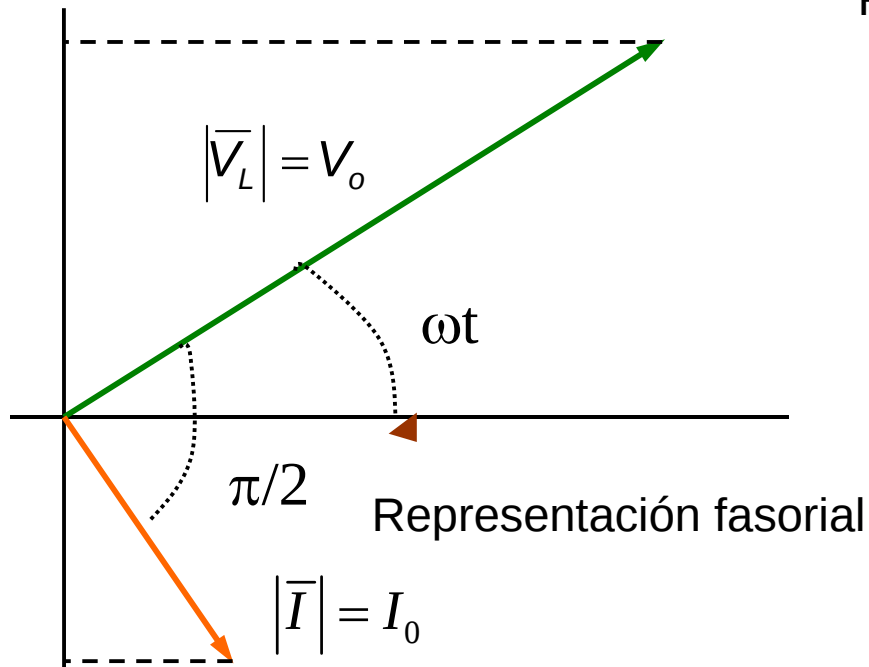
$$-\cos \omega t = \text{sen}(\omega t - \pi/2)$$

$$X_L = L\omega$$

$$I(t) = \frac{V_o}{X_L} \text{sen}(\omega t - \pi/2)$$

$$I_o = \frac{V_o}{X_L}$$

$$I(t) = I_o \text{sen}(\omega t - \pi/2)$$



En una autoinducción la tensión se adelanta $\pi/2$ rad con respecto a la corriente