Métodos Experimentales FI2003

Profesor: Rafael Pujada
Departamento de Ciencia de los Materiales (DCM)
Oficina y Laboratorio: 2do piso DCM
brpujada@ing.uchile.cl

Semestre: Primavera 2010
Cátedras: Miércoles 16:15 – 17:45 (Sala F20)
Laboratorio sección 6: Martes 14:30 – 17:45
Laboratorio sección 5: Viernes 08:30 – 11:45
Control: Jueves 18:00 – 21:00

Métodos Experimentales FI2003

Nuevo sistema de Pulverización Catódica (*Magnetron Sputtering*) para la deposición de películas delgadas de dimensiones nanométricas (DCM).

Unidad 2: Corriente alterna

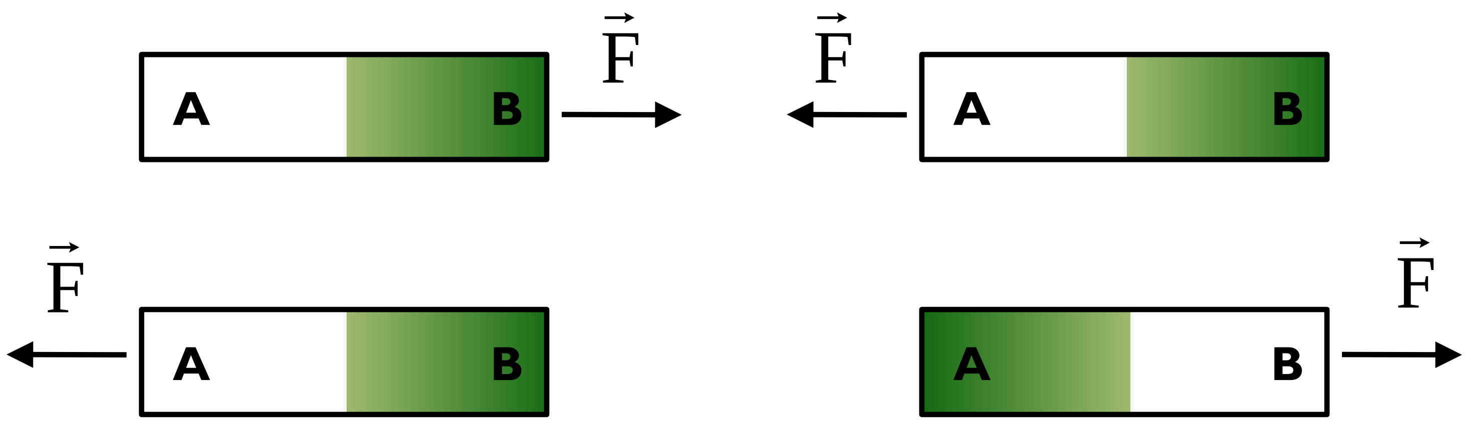
Temas a ser estudiados:

1. Campo magnético: observaciones experimentales
2. Ley de Faraday
3. Ley de Lenz
4. Inductancia Mutua
5. Auto-inductancia
6. Circuitos RL
7. Corriente alterna
8. Corriente alterna con un resistor, capacitor e inductor
9. Laboratorio 3

Campo magnético

En el siglo V a.c., los griegos ya conocían la existencia de un cierto tipo de roca que atraía pequeñas cantidades de fierro (la magnetita). Fue en la ciudad de Magnesia donde se encontraron la mayor concentración de estas rocas. De allí la palabra magnetismo.

Observaciones posteriores mostraron que estos materiales presentan un comportamiento muy similar al de las cargas eléctricas: Atracción y repulsión entre ellas.

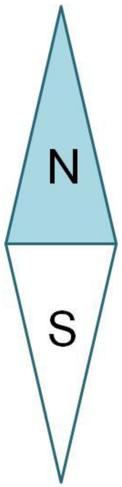


A diferencia de las cargas eléctricas, la polaridad o polos de estos materiales siempre se presentan en pares pero opuestos. Nunca se observo la existencia de un polo magnético aislado (el llamado monopolo magnético).

Campo magnético

La denominación de polo norte y sur en un material magnético viene de la observación experimental de que un lado de una aguja magnética siempre apunta hacia el norte geográfico terrestre. A ese lado se le dio el nombre de polo norte magnético de la aguja.

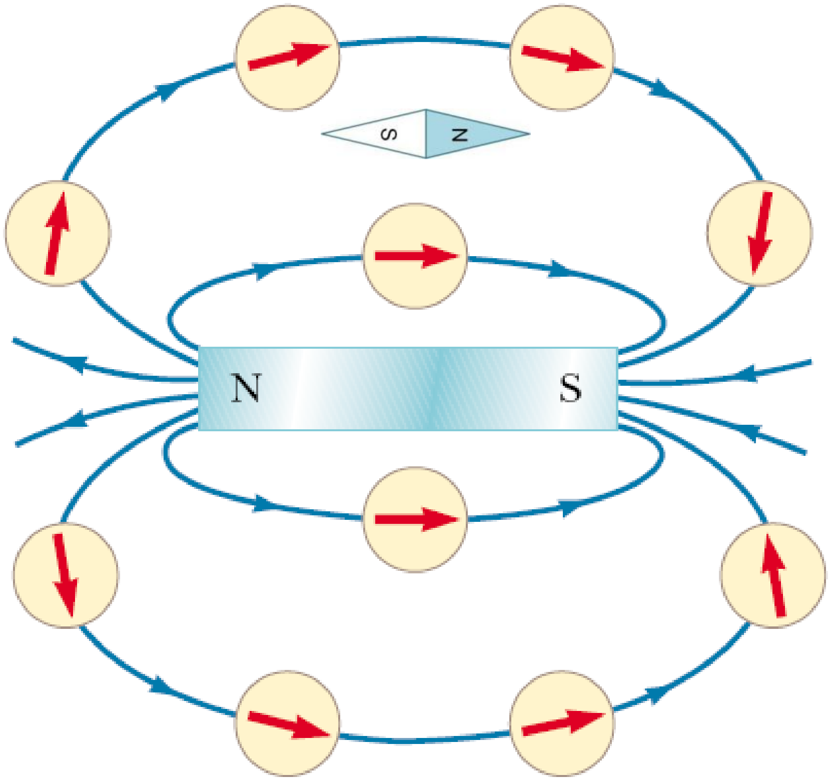
Aguja magnética



Pregunta: Porque apunta hacia el norte?

Campo magnético

Así como los objetos cargados producen un campo eléctrico **E** en todos los puntos del espacio, de manera similar un material magnético es una fuente de un campo magnético **B**.

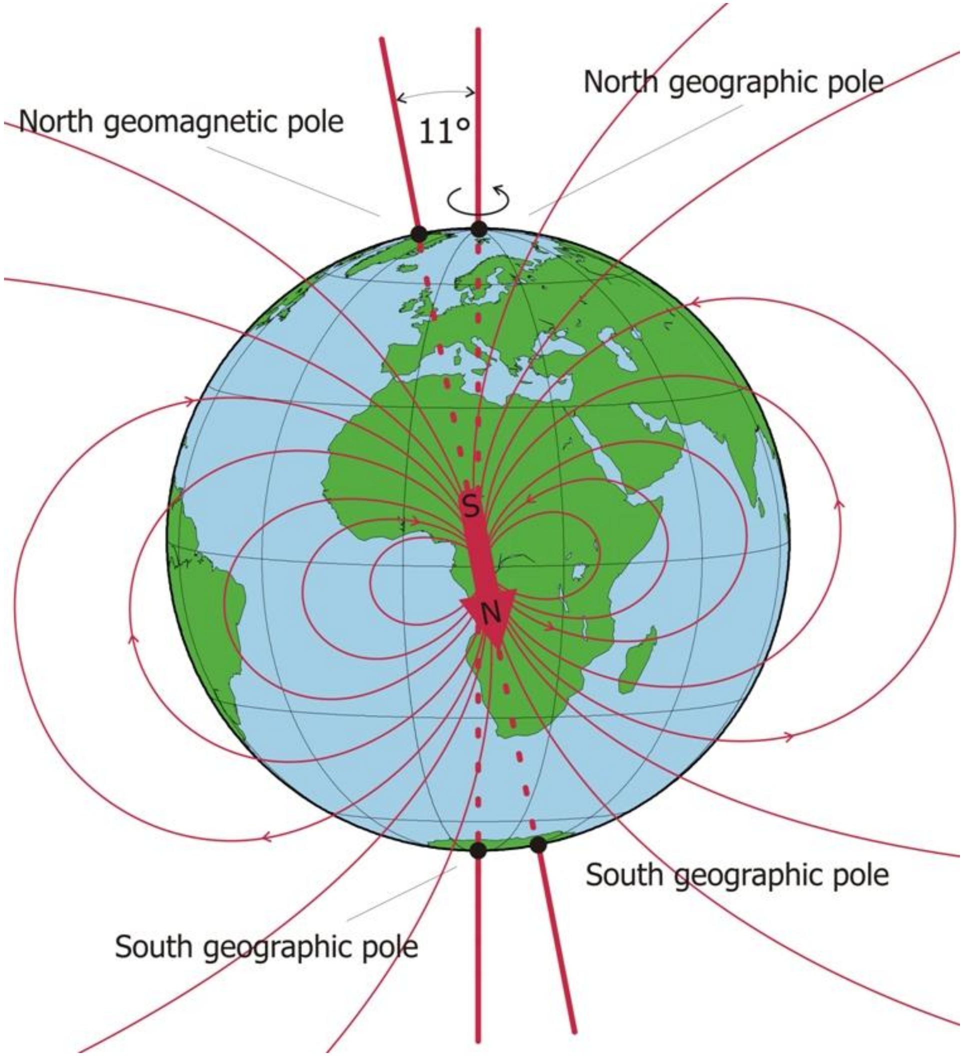


La líneas del campo magnético salen del polo norte y van hacia el polo sur, por tanto una aguja magnética tendera a alinearse con el campo con su polo norte apuntado hacia el polo sur del imán.

Campo magnético

Si el polo norte de aguja magnética (o brújula) apunta hacia el norte geográfico terrestre entonces la tierra se debe de comportar como un imán con su polo sur magnético en el norte geográfico terrestre.

Brújula:

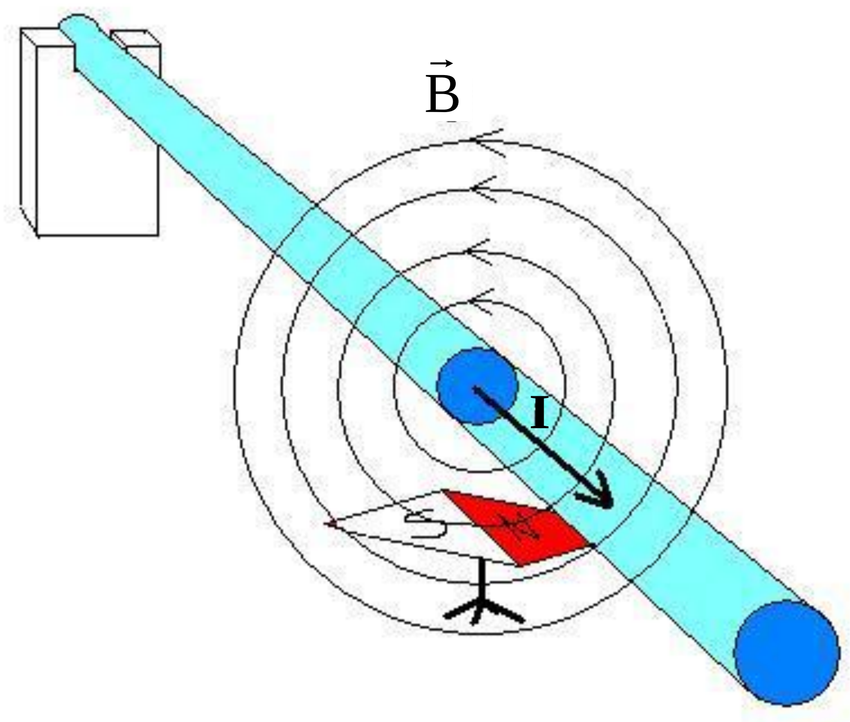


Campo magnético

El campo eléctrico es definido como la fuerza por unidad de carga: $$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

Como se define el campo magnético?

En 1819 el físico Dinamarqués Hans Christian Oersted descubrió que una corriente eléctrica constante produce un campo magnético constante, conectando de esta forma la electricidad con el magnetismo.

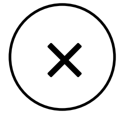


Luego, cuando una ajuga magnética es colocada cerca del conductor, esta siente una fuerza debido al campo magnético generado por la corriente, pero el conductor también siente una fuerza debido al campo de la aguja magnética.

Campo magnético

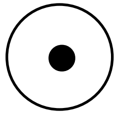
Simbología:

Circulo con una X



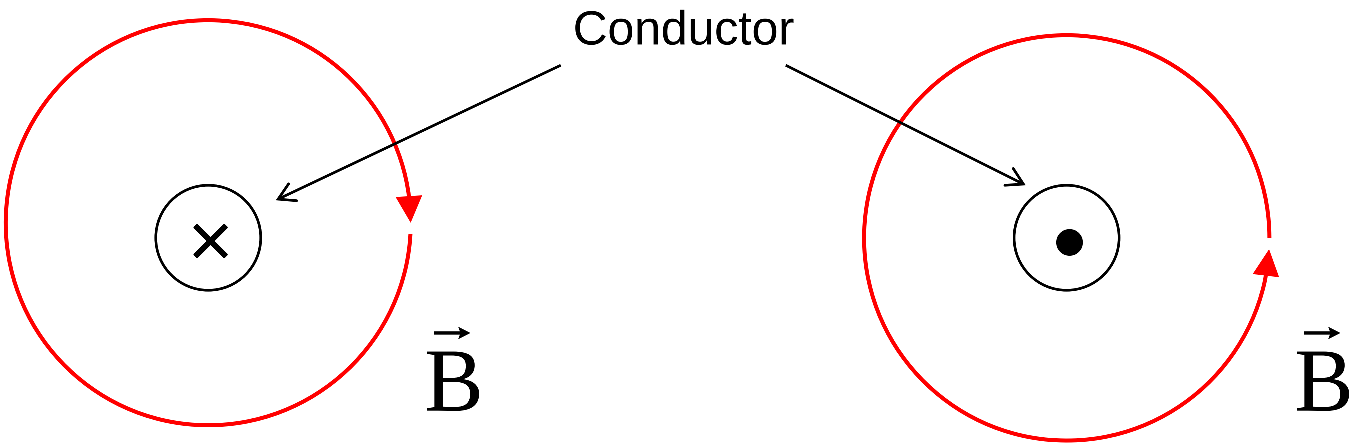
La dirección de la corriente o del campo B es hacia adentro

Circulo con un punto

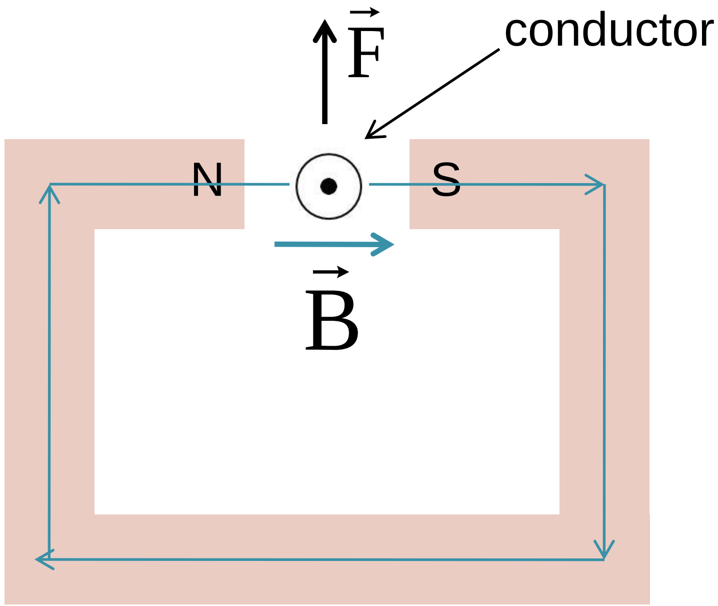


La dirección de la corriente o del campo B es hacia afuera

Entonces:



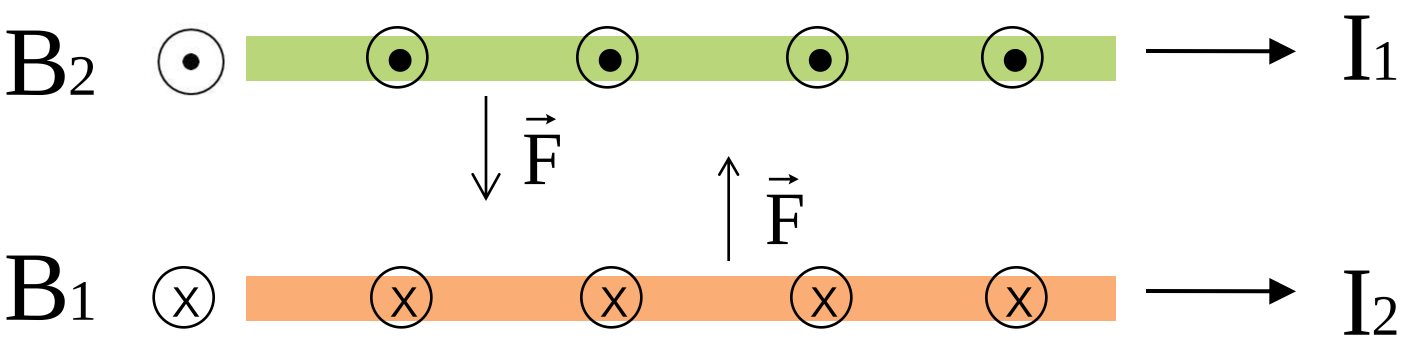
Campo magnético



Si tenemos un campo magnético constante y un conductor con una corriente I constante, experimentalmente se observa que la dirección de la fuerza que se ejerce sobre el conductor debido a **B** es perpendicular a la dirección de la corriente y al campo magnético aplicado:

$$\hat{F} = \hat{I} \times \hat{B}$$

Si tenemos dos conductores en paralelo entonces habrá una atracción entre ellas si las corrientes van en el mismo sentido y una repulsión cuando las corrientes van en sentidos opuestas.

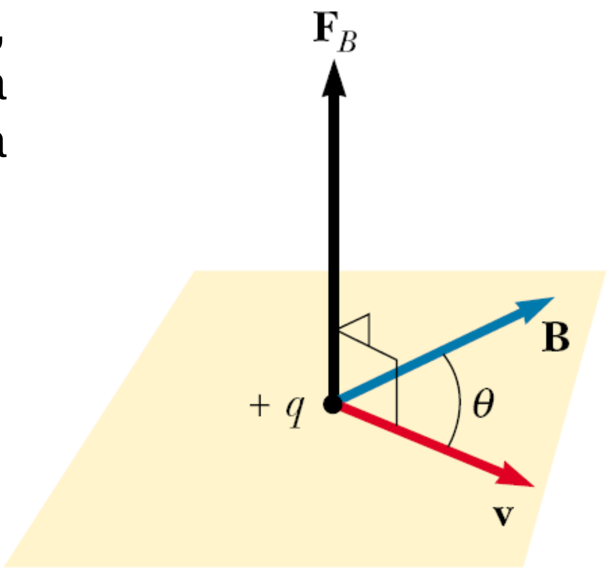


Donde B_1 (B_2) es el campo creado por el conductor 1 (2).

Campo magnético

Si tenemos una partícula cargada a una velocidad υ, experimentalmente se observa que la fuerza magnética ejercida sobre ella es siempre perpendicular a la dirección de υ :

$$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{B}} \perp \vec{v}$$



Además cuando mayor es la velocidad y la carga eléctrica, **F** también aumenta:

$$\mathrm{F}_{\mathrm{B}} \propto v \qquad \mathrm{F}_{\mathrm{B}} \propto q$$

Se define el campo magnético B como:

$$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{B}} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$ Fuerza de Lorentz

$$\frac{N.s}{C.m^2} = 1T$$ (Tesla, en el S.I.)

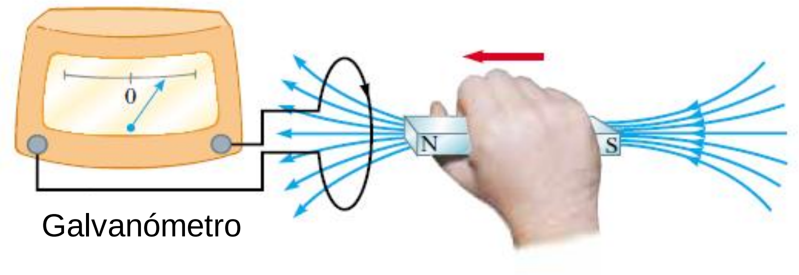
Si además tenemos un campo eléctrico **E**, entonces la fuerza total sobre la carga q será:

$$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{total}} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right)$$

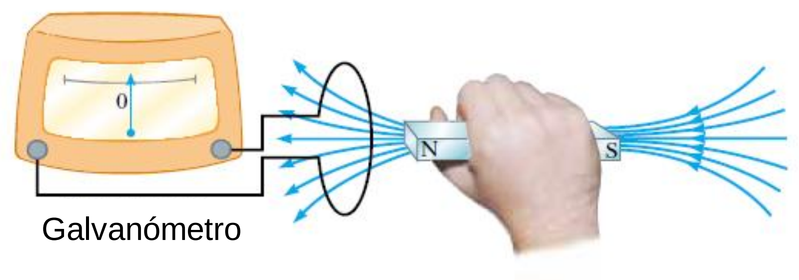
Ley de Inducción de Faraday

En 1831 Michael Faraday descubrió que variando el campo magnético con el tiempo, un campo eléctrico puede ser generado. Este fenómeno es conocido como inducción electromagnética.

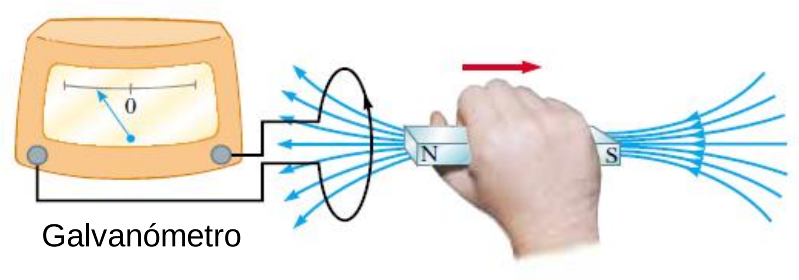
Cuanto el imán se mueve hacia la izquierda, se induce una corriente sobre el galvanómetro.



Cuando el imán no se mueve la corriente inducida es nula.



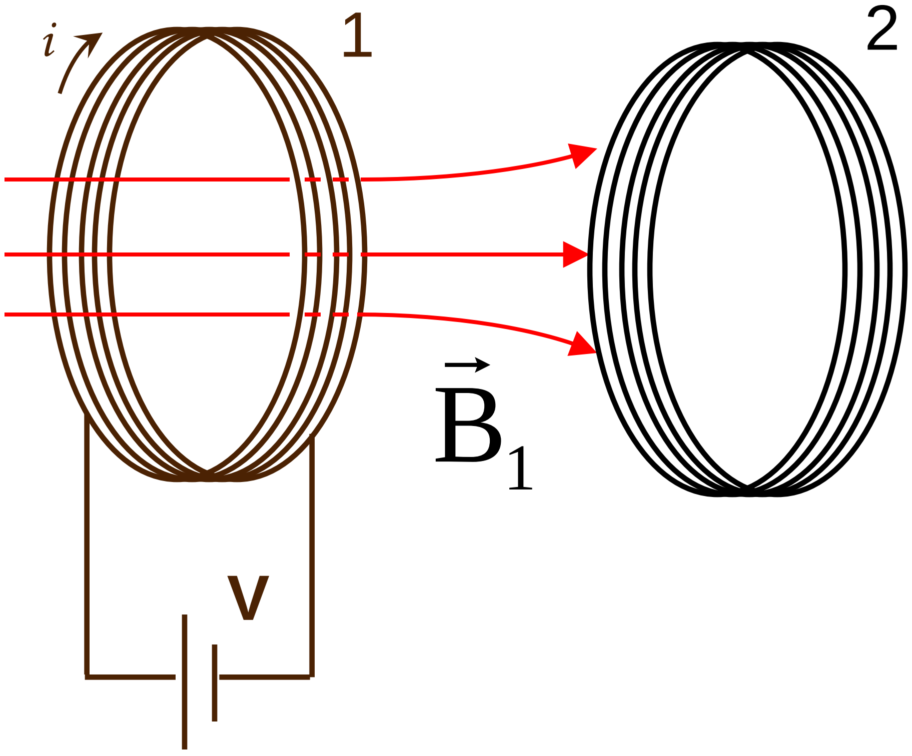
Cuando el imán se mueve hacia la derecha la corriente inducida cambia de sentido.



Porque la corriente en el galvanómetro cambia de sentido cuando se invierte la dirección de movimiento del imán?

Ley de Inducción de Faraday

El hecho de que una corriente eléctrica puede ser inducida sobre un circuito es similar a como si el circuito estuviese conectado a una fuente de poder o fuerza electromotriz ε (o FEM).



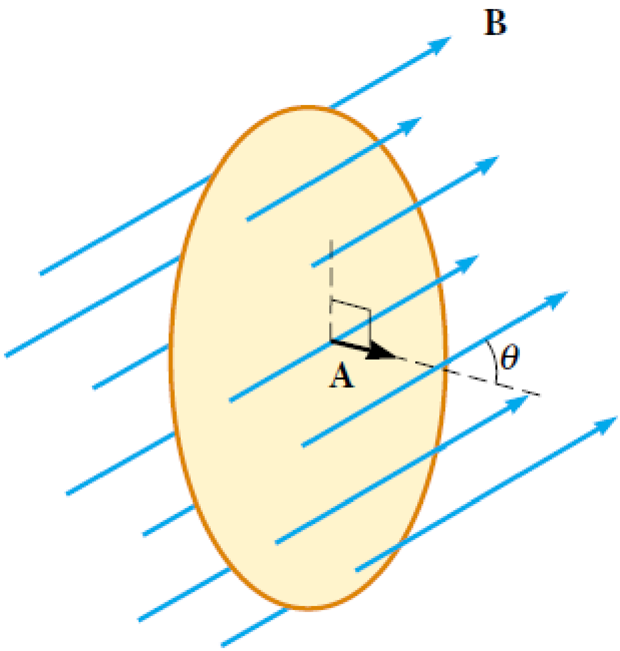
Faraday observo experimentalmente que la FEM (ε) inducida en 2 es proporcional a la variación del campo B con respecto al tiempo, y al área del conductor:

$$\varepsilon_2 \propto \frac{dB_1}{dt} \qquad \varepsilon_2 \propto A_2$$

$$\Rightarrow \varepsilon_2 \propto \frac{dB_1}{dt} \cdot A_2 = \frac{\mathrm{d}(\mathrm{B.A_2})}{\mathrm{dt}}$$

Por tanto ε_2 puede ser entendida como el cambio del flujo magnético sobre la superficie del espiral 2.

Ley de Inducción de Faraday



El flujo magnético a través de la superficie A viene dado por:

$$\Phi_B = \iint \vec{\mathrm{B}} \bullet d\vec{A}$$

Si B es uniforme entonces

$$\Phi_B = \iint \vec{\mathrm{B}} \bullet d\vec{A} = BA\cos\theta$$

$$[\Phi_B] = [T][m^2] = [Wb]$$ (Weber en el S.I.)

La ley de inducción de Faraday establece que la FEM inducida ε en un circuito es proporcional al negativo de la razón de cambio del flujo magnético:

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

Ley de Inducción de Faraday

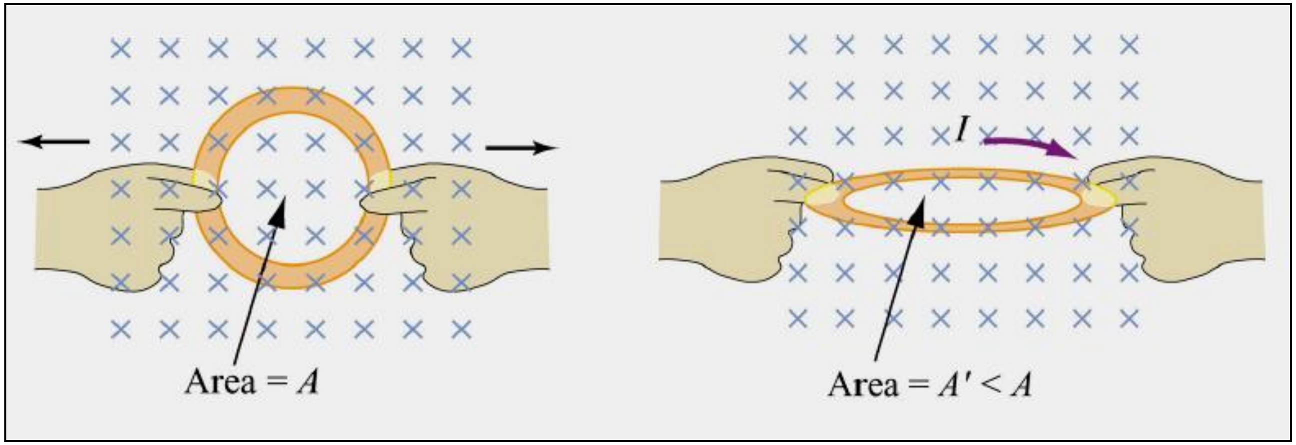
Consideremos el caso de un alambre compuesto de N vueltas: $\varepsilon = -N\dfrac{d\Phi_B}{dt}$

$$\Rightarrow \quad \varepsilon = -N\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) = -\left(\frac{dB}{dt}\right)A\cos\theta - B\left(\frac{dA}{dt}\right)\cos\theta + BAsen\,\theta\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$$

Entonces podemos ver que la FEM puede ser inducida tanto por la variación del campo magnético B, el área A así como del ángulo θ con el tiempo.

Podemos inducir una FEM variando la magnitud del campo magnético con el tiempo

Ley de Inducción de Faraday



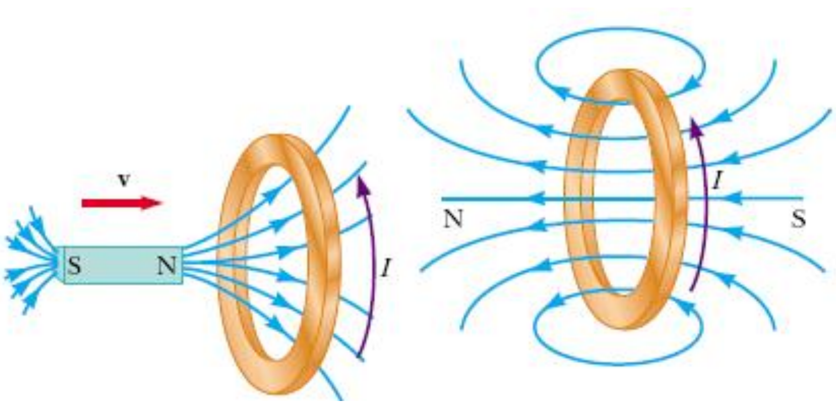
Podemos inducir una FEM variando la magnitud del área que cierra el circuito con el tiempo.

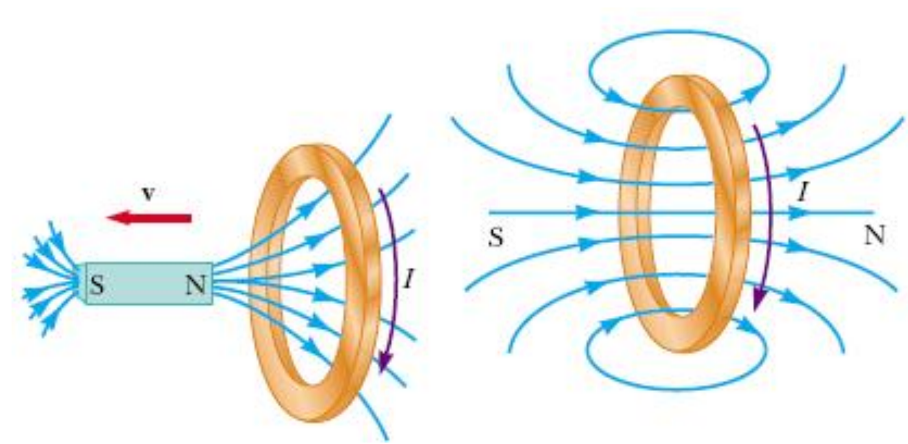
Podemos inducir una FEM variando el ángulo entre el campo y el vector área, con el tiempo.

Ley de Lenz

La dirección de la corriente inducida es determinado por la ley de Lenz:

La corriente inducida produce un campo magnético el cual tiende a oponerse al cambio en flujo magnético que induce tal corriente.

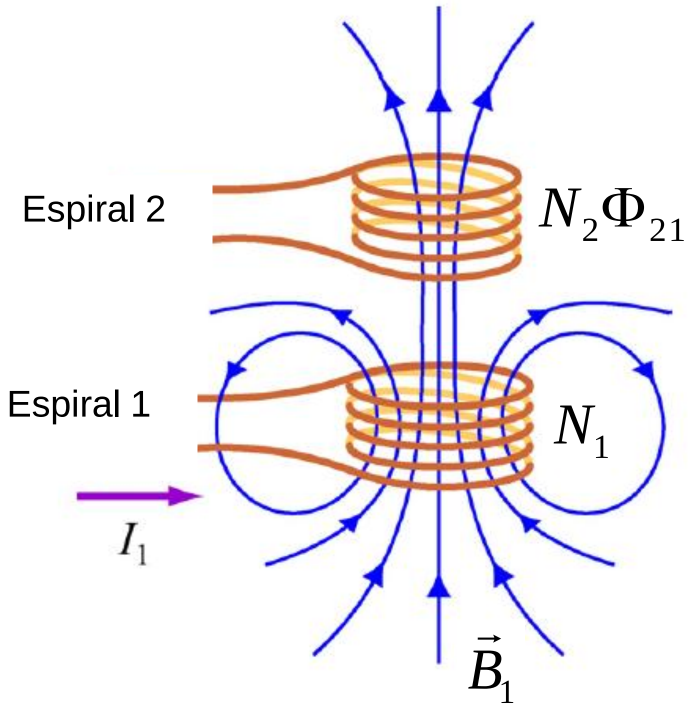




Al mover el imán hacia la derecha inducimos una corriente sobre el conductor en sentido anti-horario. El campo magnético producido en el conductor debido al I inducido, se opone al aumento de **B** del imán.

Al mover el imán hacia la izquierda inducimos una corriente sobre el conductor en sentido horario. El campo magnético producido en el conductor debido al I inducido, se opone a la disminución de **B** del imán.

Inductancia Mutua



Si tenemos dos espirales tal que en una de ellas circula una corriente I creando un campo magnético B_1, la FEM inducida en el segundo espiral viene dada por:

$$\varepsilon_{21} = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_{espiral2} \vec{B}_1 . d\vec{A}_2$$

El flujo en 2 es proporcional a la corriente en 1:

$$\Phi_{21} \propto I_1 \qquad \Rightarrow N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = M_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

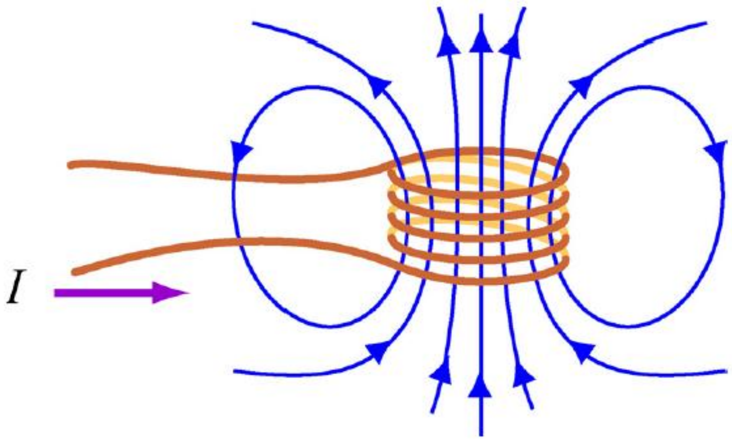
$$\boxed{M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}}$$

M_{12} es llamada de inductancia mutua y su unidad en el S.I. es el Henry (H)

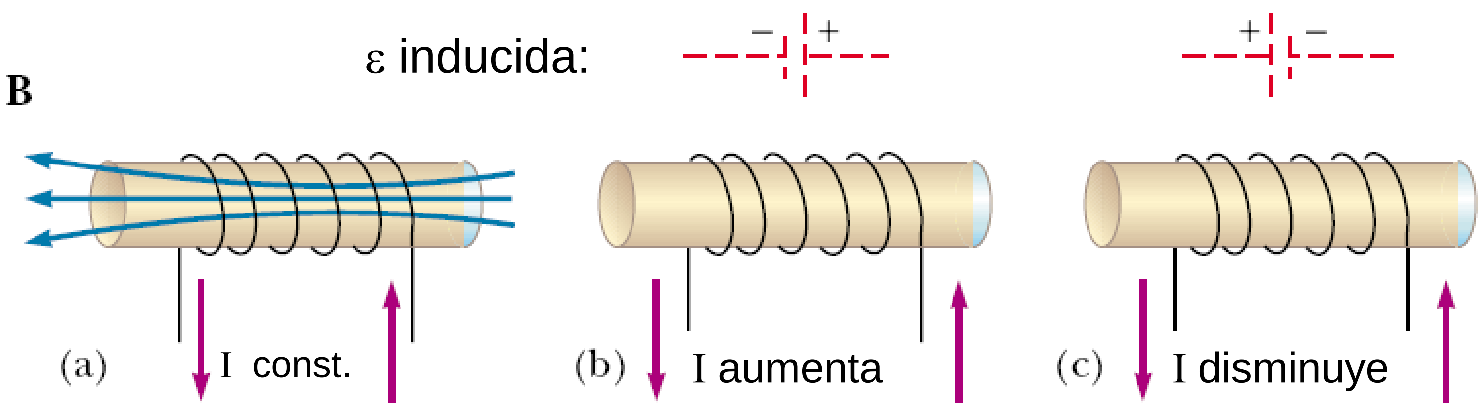
I Henry = 1H =1 T.m^2/A

Auto-Inductancia

Consideremos un espiral de N vueltas y donde una corriente I la cual cambia con el tiempo, circula por ella como tal es mostrada:



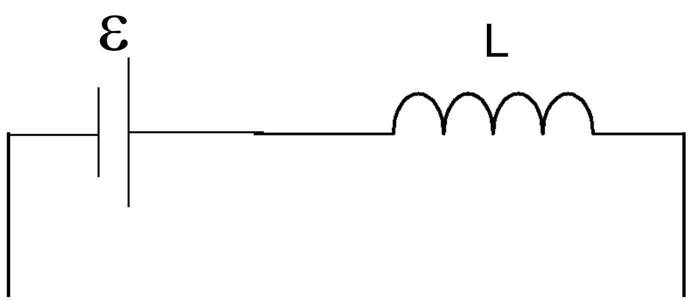
Según la ley de Faraday, una FEM inducida y opuesta al cambio deberá aparecer. La propiedad de la espiral en la cual su propio campo magnético se opone a cualquier cambio en la corriente es llamada de auto-inductancia.



Cuando I es constante, la fem inducida es cero (a). Cuando I aumenta se induce una fem contraria al aumento de **B** (b). Cuando I disminuye se induce una fem contraria a la disminución de **B** (c).

Auto-Inductancia

Consideremos el siguiente circuito compuesto de un inductor y una fem:



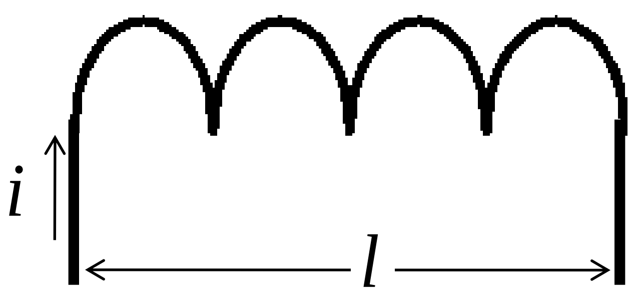
$$\Phi_B \propto I \qquad \Rightarrow \Phi_B = LI$$

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\boxed{\varepsilon_{ind} = -L\frac{dI}{dt}}$$

donde L es la inductancia del inductor.

Para una espiral de N vueltas y radio r:



De la ley de Ampere: $B = \mu_o I \dfrac{N}{l}$

$$\Phi_B = \iint \vec{B} \bullet d\vec{A} = \pi r^2 NB = \pi r^2 N^2 \mu_o \frac{I}{l} = LI$$

$$\boxed{L = \pi r^2 \mu_o \frac{N^2}{l}}$$

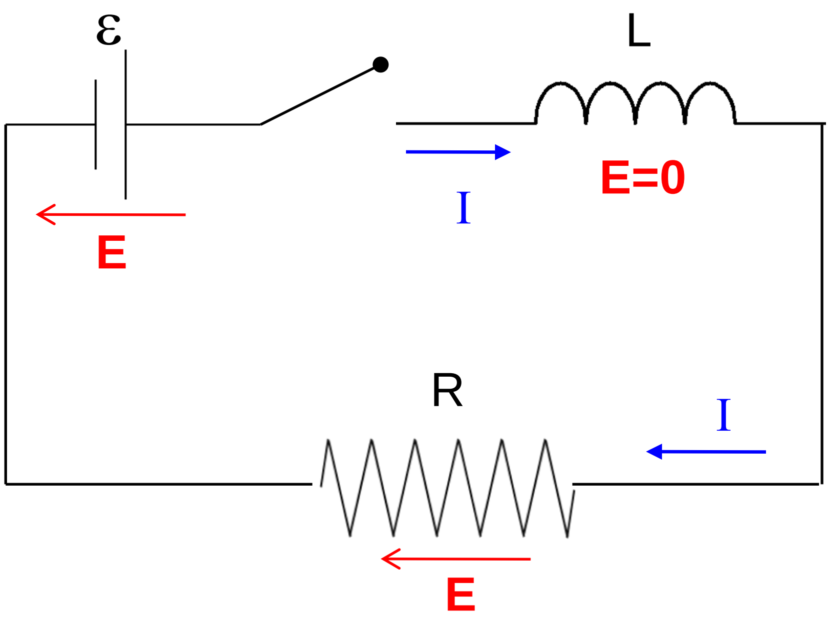
L depende solo de la geometría!

Circuito RL

En el siguiente circuito RL, en t=0, I=0

De la ley de Faraday:

$$\Delta V = \oint \vec{E} \bullet d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$



Cuando el circuito se cierra la corriente aumenta pero la auto-inductancia se opone a la corriente que pasa a través de ella. Usando la ecuación anterior en todo circuito (y no la segunda regla de Kirchhoff la cual no se aplica en un inductor!)

$$\oint \vec{E} \bullet d\vec{l} = -\varepsilon + 0 + IR = -L\frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow L\frac{dI}{dt} + IR - \varepsilon = 0$$

$$I = I_{max}\left(1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right)$$

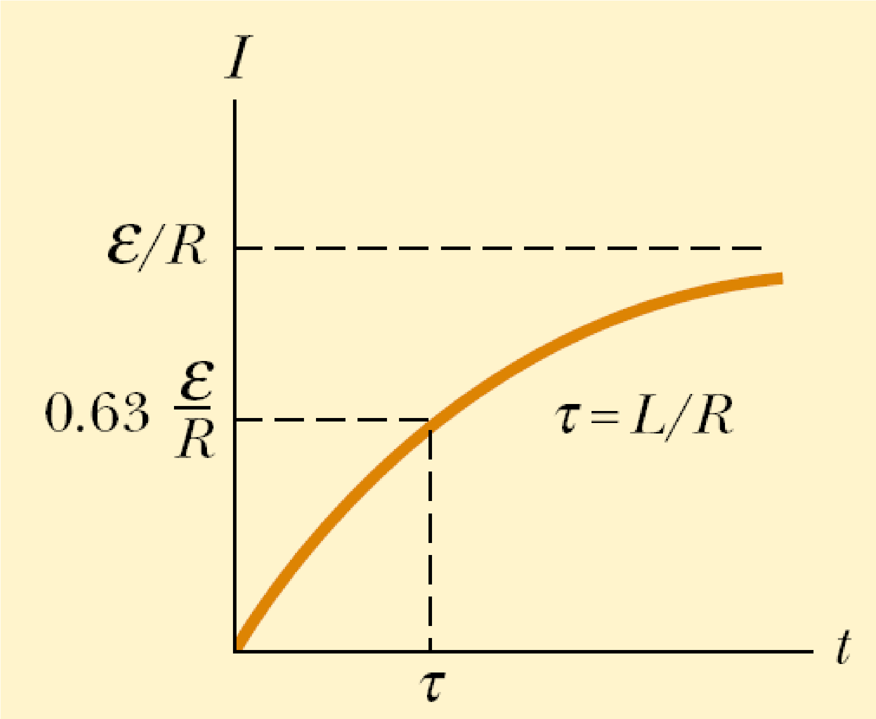
$$I_{max} = \frac{\varepsilon}{R}$$

Circuito RL

Para: $\tau_L = \dfrac{L}{R}$

$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R}\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau_L}}\right)$$

τ_L:constante de tiempo



La diferencia de potencial en el resistor es:

$$V_R = RI = \varepsilon\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau_L}}\right)$$

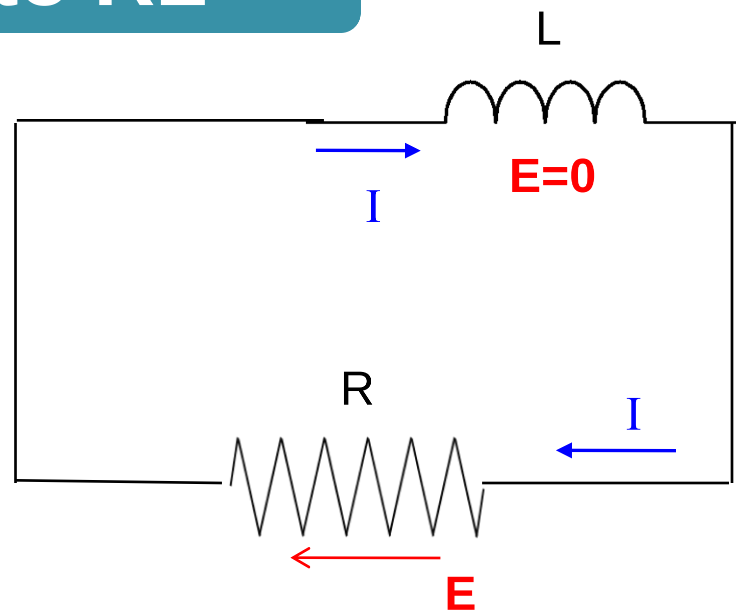
La diferencia de potencial en el inductor es:

$$V_L = L\frac{dI}{dt} = \varepsilon e^{\frac{-t}{\tau_L}}$$

Circuito RL

$$L\frac{dI}{dt} + IR = 0$$

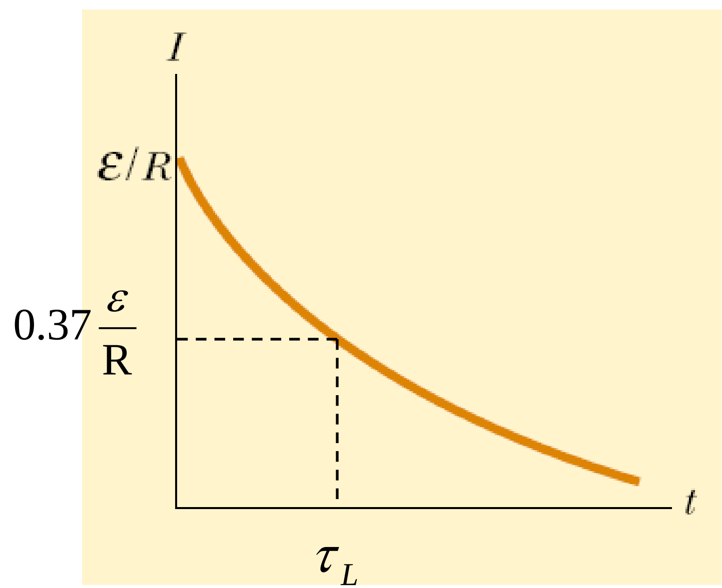
$$I = \mathrm{I}_{max}\, e^{\frac{-R}{L}t}$$



Donde en t=0: $\mathrm{I}_{max} = \dfrac{\varepsilon}{\mathrm{R}}$

Para: $\tau_L = \dfrac{L}{R}$

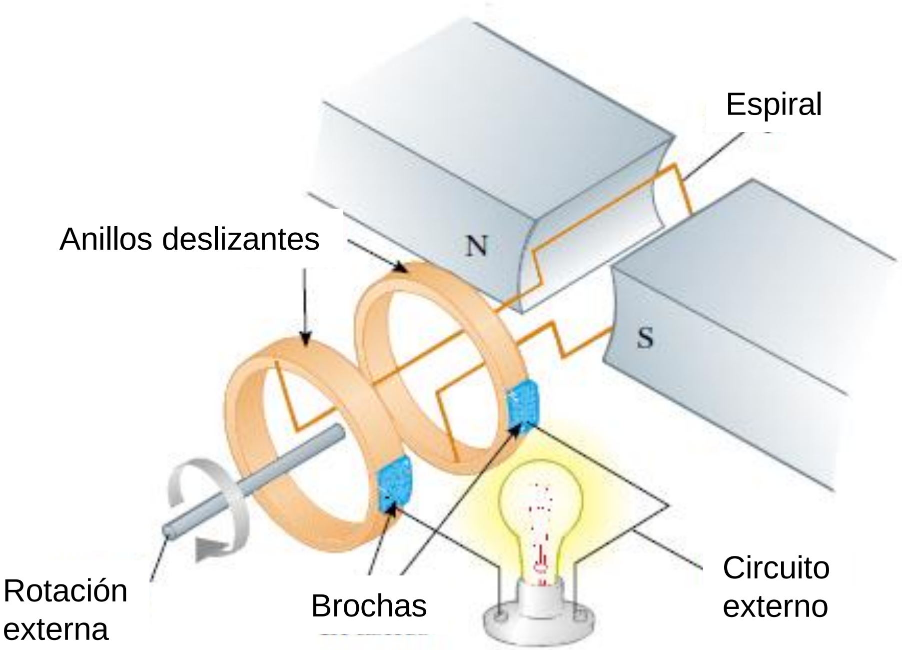
$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R}\, e^{\frac{-t}{\tau_L}}$$

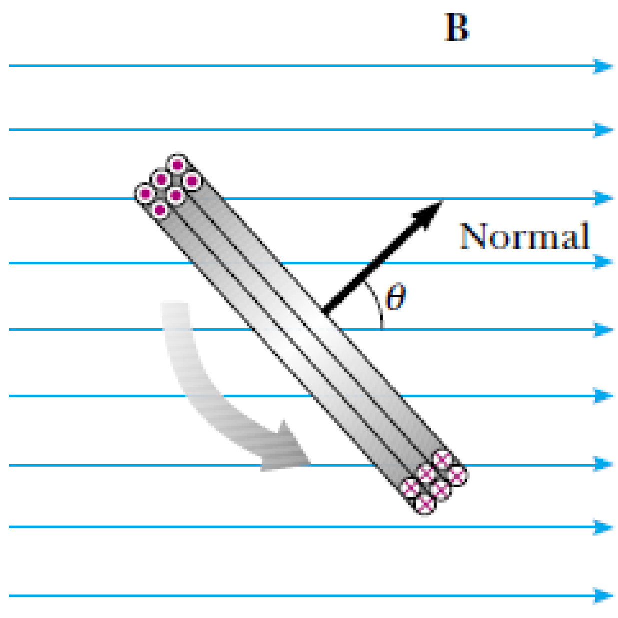


Corriente alterna

En una corriente continua (DC) todos los electrones fluyen en la misma dirección y a la misma razón.

En una corriente alterna (AC) el flujo de electrones varia en amplitud y dirección con el tiempo.

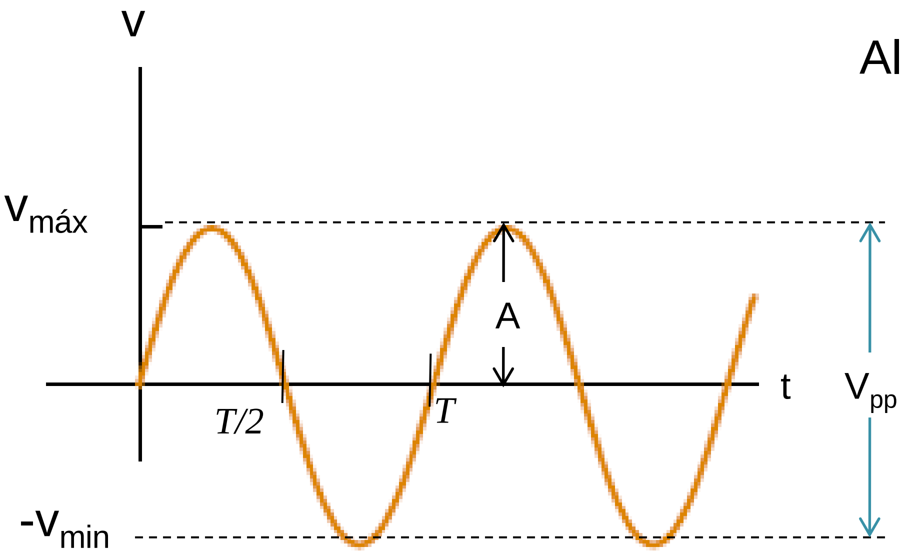




Podemos crear una fem alterna mediante la rotación de una bobina a una velocidad angular constante dentro de un campo magnético uniforme.

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

Corriente alterna



Algunas propiedades de una onda senoidal:

A = Amplitud de la onda (V_p)
T = periodo (s)
ω = frecuencia angular (rad/s)
$\omega = 2\pi/T$
V_{pp} = diferencia entre el máx y mín
$V_{pp} = 2A$

$$T = \frac{1}{f}$$

f es la frecuencia en Hertz (Hz)

$$\Rightarrow \omega = 2\pi f$$

En una corriente alterna, la corriente y tensión pueden ser expresados como:

$$V(t) = Asen(2\pi ft)$$

$$i(t) = Asen(2\pi ft)$$

Corriente alterna

El valor eficaz o valor cuadrático medio (*root mean square*) de la corriente y voltaje AC es el valor equivalente de ambos pero en DC tal que producen la misma perdida de calor. Su definición viene dada por:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2 dt} \Rightarrow V_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}} \qquad i_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

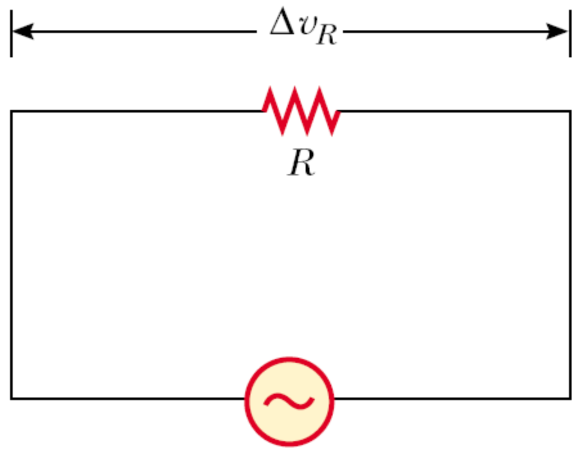
Mostrar que para una onda cuadrada y triangular, el valor de V_{rms} viene expresado por:

$$V_{rms} = A \quad \text{(cuadrada)} \qquad V_{rms} = \frac{A}{\sqrt{3}} \quad \text{(triangular)}$$

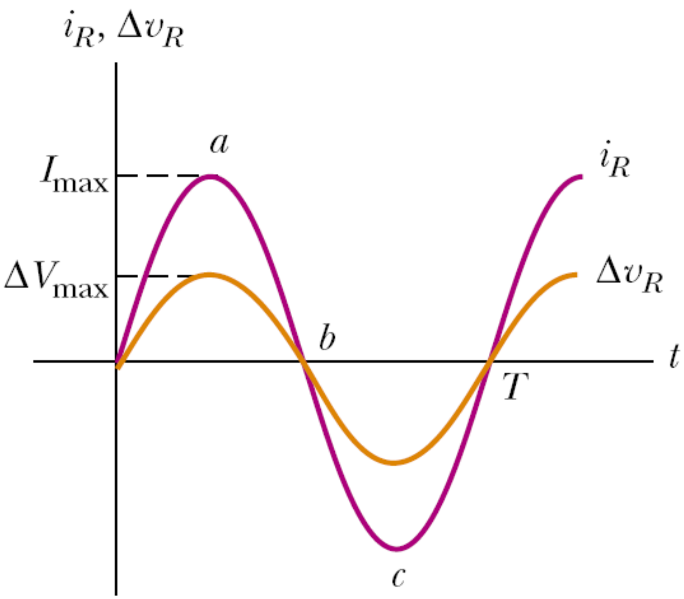
La potencia eficaz viene dada por: $$\overline{P(t)} = i^2{}_{rms} R$$

Una corriente alterna de magnitud I_{rms} tiene el "efecto" de una corriente continua de la misma magnitud en el sentido de que la potencia disipada promedio es la misma para ambas.

Corriente alterna en resistor



$$\Delta v = \Delta V_{máx} sen(\omega t)$$



$$\Delta v = \Delta v_R = \Delta V_{máx} sen(\omega t)$$

$$i_R = \frac{\Delta v_R}{R} = \frac{\Delta V_{máx}}{R} sen(\omega t) = I_{máx} sen(\omega t)$$

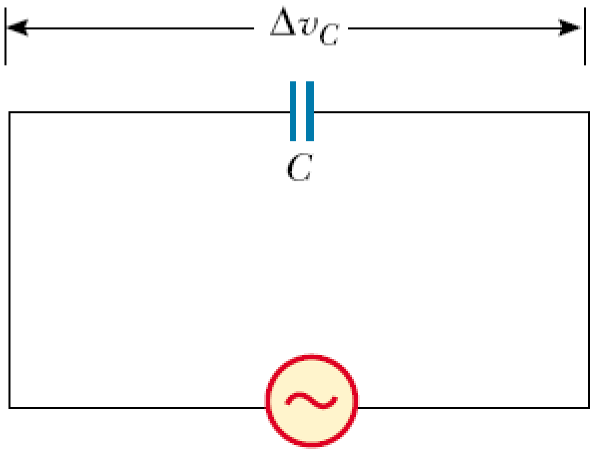
$$i_R = I_{máx} sen(\omega t)$$

donde:

$$I_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{R}$$

Para un voltaje senoidal aplicado, la corriente en el resistor esta en fase con el voltaje aplicado (los máximos y mínimos de la corriente y el voltaje coinciden en el tiempo).

Corriente alterna en un capacitor



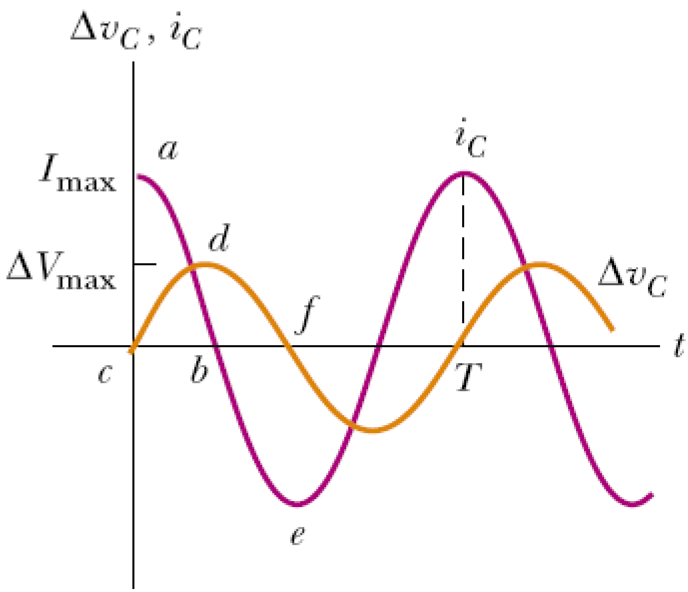
$$\Delta v = \Delta V_{máx} sen(\omega t)$$

$$\Delta v = \Delta v_C = \Delta V_{máx} sen(\omega t)$$

$$q = C\Delta v_C = C\Delta V_{máx} sen(\omega t)$$

$$\Rightarrow i_C = \frac{dq}{dt} = \omega C \Delta V_{máx} \cos(\omega t)$$

$$i_C = \omega C \Delta V_{máx} sen(\omega t + \frac{\pi}{2})$$



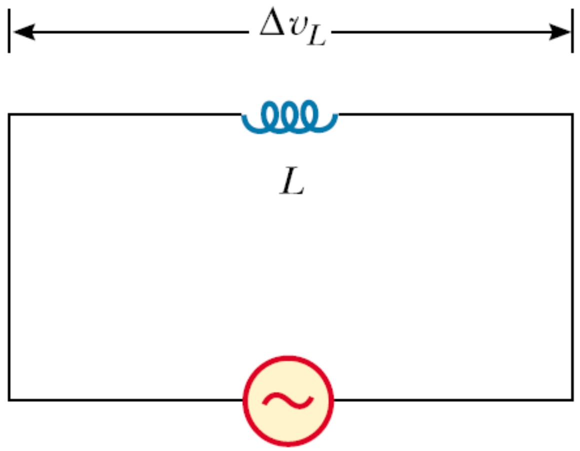
Para un voltaje senoidal aplicado, la corriente en el condensador esta desfasada en +90º (adelantada) con respecto al voltaje aplicado.

i_C es máximo cuando cos(ωt)=1

$$\Rightarrow i_C = \omega C \Delta V_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{X_C}$$

Donde X_L es la reactancia capacitiva.

Corriente alterna en un inductor



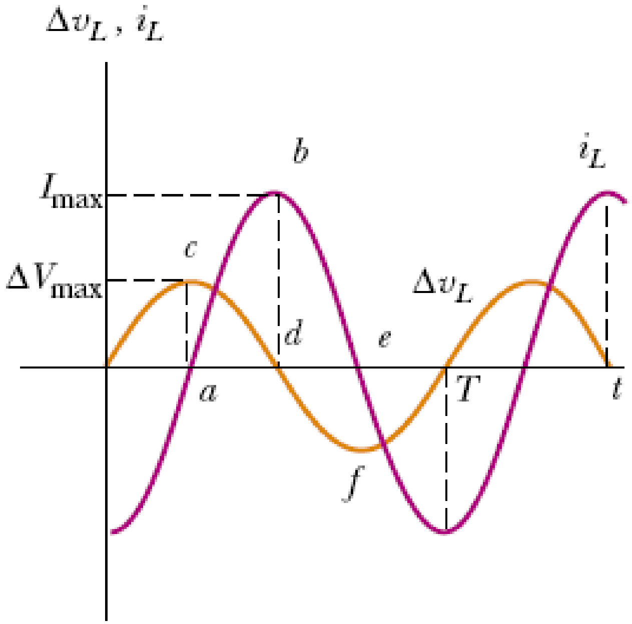
$$\Delta v = \Delta V_{máx} sen(\omega t)$$

$$\Delta v + \Delta v_L = \Delta v - L\frac{dI}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow i_L = \frac{\Delta V_{máx}}{L}\int sen(\omega t)dt = -\frac{\Delta V_{máx}}{L}\cos(\omega t)$$

$$\boxed{i_L = \frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} sen(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

Para un voltaje senoidal aplicado, la corriente en el inductor esta desfasada en -90º (atrasada) con respecto al voltaje aplicado.



i_L es máximo cuando $\cos(\omega t)$=-1

$$\Rightarrow i_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} = \frac{\Delta V_{máx}}{X_L}$$

Donde X_L es la reactancia inductiva.

Laboratorio 3

Práctica con osciloscopio y generador de funciones.

Rango de validez del multímetro.

Carga y descarga de un condensador.

Carga y descarga de una inductancia.