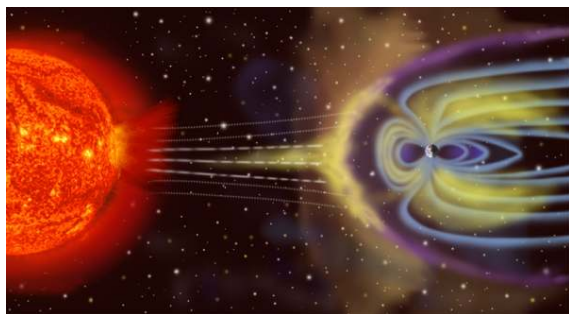


## INTERACCIÓN MAGNÉTICA

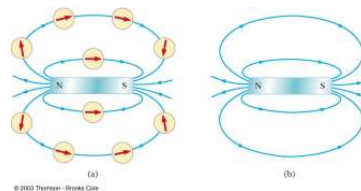


## Introducción

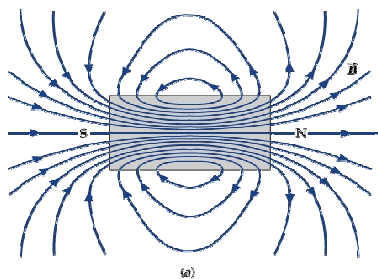
- Los griegos sabían que la magnetita tenía la propiedad de atraer piezas de hierro
- En el siglo XII se utilizaban los imanes para la navegación
- 1269: Maricourt descubre que una aguja en libertad en un imán esférico se orienta a lo largo de líneas que pasan por puntos extremos (**polos del imán**)
- 1600: Gilbert descubre que la Tierra es un imán natural
- 1750: Michell demuestra que la fuerza ejercida por un polo sobre otro es inversamente proporcional a  $r^2$ .
- 1820: Oersted observa una relación entre electricidad y magnetismo consistente en que cuando colocaba la aguja de una brújula cerca de un alambre por el que circulaba corriente, ésta experimentaba una desviación. Así nació el **Electromagnetismo**.

- Siglo XIX: Ampère propone un modelo teórico del magnetismo y define como fuente fundamental la corriente eléctrica.
- 1830: Faraday y Henry establecen que un campo magnético variable produce un campo eléctrico.
- 1860: Maxwell establece las **Leyes del Electromagnetismo**, en las cuales un campo eléctrico variable produce un campo magnético

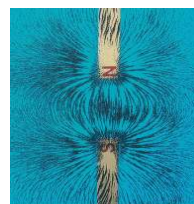
## Líneas de campo magnético



## Líneas de campo magnético dentro y fuera de un imán

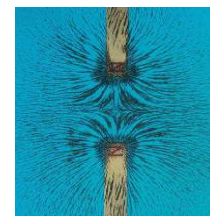


## Interacción entre imanes



Polos opuestos se atraen

Polos iguales se repelen

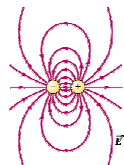


### Diferencias entre las líneas de campo eléctrico y las líneas de campo magnético

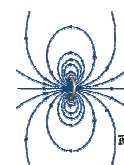
Las líneas de campo eléctrico tienen la misma dirección que la fuerza eléctrica sobre una carga positiva, mientras que las del campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética sobre una carga móvil.

Las líneas de campo eléctrico empiezan en las cargas positivas y acaban en las negativas, mientras que las del campo magnético son líneas cerradas

### Diferencia entre líneas de campo eléctrico y líneas de campo magnético



Las primeras comienzan y terminan en las cargas, mientras que las segundas son líneas cerradas.

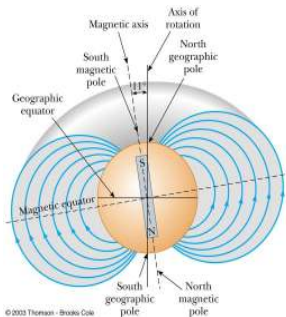


No existen puntos a partir de los cuales las líneas de campo convergen o divergen

No existe el monopolio magnético

### Líneas de campo magnético de la tierra

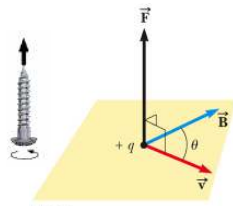
El campo magnético de la tierra es como una pequeña pero poderosa barra magnética ubicada cerca del centro de la tierra y inclinada  $11^\circ$  con respecto al eje de rotación de la tierra. El magnetismo en la tierra lo podemos visualizar como líneas de fuerza del campo magnético que indican la presencia de una fuerza magnética en cualquier punto del espacio. La brújula está influida por este campo ya que su aguja rota y se detiene cuando está paralela a las líneas de fuerza en dirección Norte-Sur.



Información extraídas de [www.cipres.cec.uchile.cl](http://www.cipres.cec.uchile.cl).

### Fuerza magnética

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow \text{Fuerza de Lorentz}$$



Magnitud del campo magnético

$$|F| = qvB \sin \theta$$

### FUERZA MAGNÉTICA

- La fuerza magnética  $F_B$  es proporcional a la carga  $q$ , como a la velocidad de la misma
- La magnitud dirección y sentido de la fuerza magnética que actúa sobre la carga, depende de la dirección relativa entre la partícula y el campo magnético
- Si la velocidad de la partícula es paralela a la dirección del campo magnético, el campo no ejerce fuerza.
- La fuerza magnética es perpendicular al plano formado por la velocidad de la partícula y el campo magnético

### CAMPO MAGNÉTICO $\vec{B}$

#### DEFINICIÓN:

Indica la fuerza aplicada sobre una carga eléctrica en movimiento o bien fuerza magnética aplicada por cada unidad de carga en movimiento.

#### DEFINICIÓN OPERACIONAL

A partir de la definición anterior se deduce que la expresión general para el campo magnético es:

$$B = \frac{F}{qv \sin \theta}$$

## CAMPO MAGNÉTICO

### unidades de medida

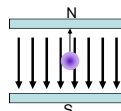
- A partir de la expresión anterior, se tiene que:

$$B = \frac{F}{qv \text{sen} \theta} \left. \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{N}} \\ \xrightarrow{\text{C m/s}} \end{array} \right\} 1 \text{ N/A m} = 1 \text{ Tesla (T)}$$

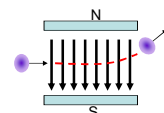
1 Weber/m<sup>2</sup> = 1 (T)  
 1 Vb/ m<sup>2</sup>= 1 (T)  
 1T = 1 · 10<sup>4</sup> Gauss (G)

•Magnitud: La magnitud del campo magnético, es llamada también **Inducción Magnética**.

### Movimiento de cargas en el seno de un campo magnético

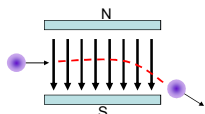


La partícula q positiva no desvía debido a que lleva una dirección paralela al campo magnético



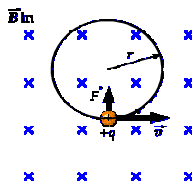
La partícula experimenta una desviación Como indica la figura. Desde la mecánica se determina que la dirección del cambio de la velocidad, y por ende de la aceleración, corresponde a la fuerza resultante aplicada. En este caso la fuerza apunta hacia adentro del plano donde se encuentran el campo y la velocidad de la partícula. Se puede encontrar a través de la regla de la mano derecha. Un campo entrante se designa por el símbolo X. Representa la cola de una flecha

- Si la carga que se desplaza por el interior del campo magnético es negativa la fuerza que experimenta es inversa a la que experimentaría una positiva en las mismas condiciones. En este caso la fuerza apunta saliendo de la pantalla. Una fuerza saliente se designa por un punto que representa la punta de una flecha. el símbolo es: ●



### Movimiento de cargas en el seno de un campo magnético

Partícula cargada que incide en dirección perpendicular al campo magnético.



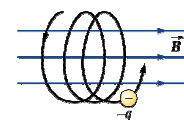
$$F = qvB \text{sen } 90^\circ = qvB$$

$$F = ma_c = m \frac{v^2}{r}$$

Frecuencia de ciclotrón

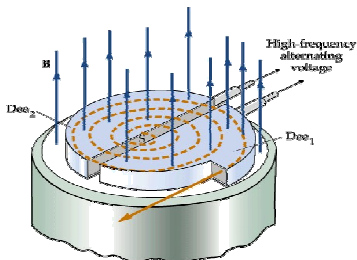
$$\omega = \frac{q B}{m}$$

Si la partícula cargada que posee una componente de la velocidad paralela al campo magnético y otra perpendicular.



Trayectoria helicoidal

### El ciclotrón



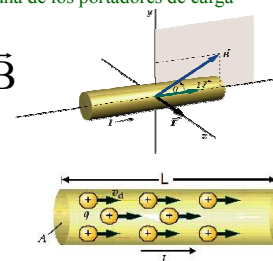
Las partículas cargadas procedentes de la fuente S son aceleradas por la diferencia de potencial existente entre las dos "des". Cuando llegan de nuevo al hueco, la diferencia de potencial ha cambiado de signo y vuelven a acelerarse describiendo un círculo mayor. Esta diferencia de potencial alterna su signo con el periodo de ciclotrón de la partícula, que es independiente del radio de la circunferencia descrita.

### Fuerza magnética sobre un conductor eléctrico

Supongamos un alambre situado en el interior de un campo magnético por el cual circula una corriente eléctrica I, el campo magnético interactúa con cada una de los portadores de carga

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

$$|F| = I L B \text{sen } \theta$$



En el caso a) cuando no circula corriente el conductor no se flexiona, b) cuando la corriente circula de abajo hacia arriba la fuerza ira de derecha hacia izquierda

### Campo magnético cerca de un conductor largo y recto con corriente

A una distancia perpendicular R desde un conductor largo y recto con corriente I la magnitud del campo magnético  $B$  esta determinada por:

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi R}$$

Constante de proporcionalidad  
 $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$  Permeabilidad del vacío

Los materiales magnéticos se clasifican de acuerdo a su permeabilidad, comparadas con la que corresponde al del vacío.  
 La permeabilidad relatividad esta dado de la siguiente forma:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

### Campo Magnético creado por un conductor

El sentido y dirección se determina aplicando la regla de la mano derecha

a) Cuando  $R > r$  fuera del conductor

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi R}$$

### Campo magnético en una espira circular

El campo magnético producido en el centro de un cable conductor, por el que circula una corriente I, y que ha sido enrollado formando un anillo, como indica la figura.

Centro de la espira

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

Líneas de campo magnético en una espira

### Campo magnético creado por un solenoide

Un solenoide es un alambre enrollado en forma de hélice con espiras muy próximas entre sí. Se puede considerar como una serie de espiras circulares situadas paralelamente que transportan la misma corriente.

Para N espiras En el Centro de una bobina

$$B = \frac{\mu_o N I}{L}$$

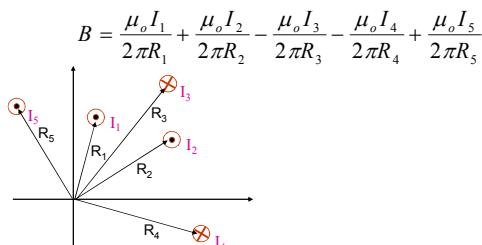
### Líneas de campo magnético debido a un solenoide

$$B = \frac{\mu_o N I}{L}$$

En el centro del solenoide se forma un campo magnético uniforme

### Campo magnético creadas por varios conductores

En el caso que se tenga varios conductores por donde circula corriente, el signo de cada una de ellas viene dado por la regla de la mano derecha: *curvando los dedos de la mano derecha en el sentido de la del campo a su alrededor, el pulgar indica el sentido de la corriente que contribuye de forma positiva.*

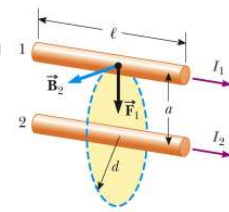


### Fuerza entre corrientes paralelas

El conductor por el que circula una corriente  $I_2$  genera un campo magnético, dentro del cual se encuentra el otro conductor. Por eso este conductor experimenta una fuerza igual a  $I_1 L B_2 \sin \theta$ . Como  $l$  es perpendicular al campo  $B_2 \sin 90=1$ . La expresión se transforma en  $I_1 I_2 B_2$ . Además  $B_2 = \mu_0 I_2 / 2\pi a$ .

Tomando el sistema de referencia habitual

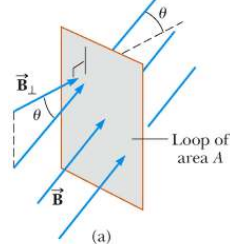
$$\left. \begin{aligned} \vec{B}_1 &= \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a} (-\vec{i}) \\ \vec{B}_2 &= \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} (\vec{j}) \end{aligned} \right\} F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$



Dos corrientes paralelas por las que circula una corriente se atraerán si las corrientes circulan en el mismo sentido, mientras que si las corrientes circulan en sentidos opuestos se repelen.

### Flujo magnético

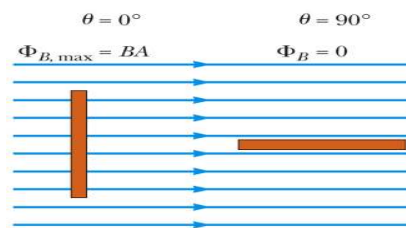
- Podemos definir como flujo magnético es proporcional al número de líneas de campo magnético que atraviesa un determinado área



$$\Phi_B = B \cdot A \cos \theta$$

La unidad del flujo magnético en el SI es tesla-metro ( $T \cdot m^2$ ), llamado también Weber (Wb)

- Cuando el campo es perpendicular al plano de la espira esto es,  $\theta = 0$  and  $\Phi_B = \Phi_{B, \max} = BA$  (caso a)
- Cuando el campo es paralelo al plano de la espira, esto es,  $\theta = 90^\circ$  and  $\Phi_B = 0$  (caso b)
  - El flujo puede ser negativo por ejemplo si  $\theta = 180^\circ$



### Momento de torsión generado por un campo magnético sobre una espira por donde circula una corriente I

Recordemos que el torque llamado también momento de torsión esta dado por:

$$\tau = r \times F$$

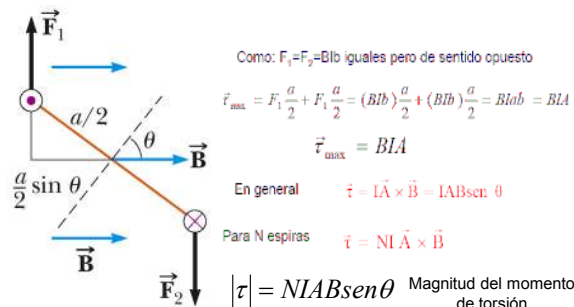
Su magnitud sera:  $|\tau| = r F \sin \theta$

Vamos a estudiar el momento de fuerzas que ejerce un campo magnético sobre una espira plana de alambre por la que circula una corriente I



Se Halla primero la fuerza de interacción entre las 4 tramos de cable que conforma la espira cuadrada y el campo magnético

$$F = Il \times B = IlB \sin 90^\circ = IbB$$



$$\tau = NI\vec{A} \times \vec{B}$$

De la ultima expresi3n anterior NIA se le llama momento magn3tico y lo denotamos como :

$$\vec{m} = NIA$$

El vector  $\vec{m}$  es siempre perpendicular al 3rea de la(s) espiras de 3rea A

El momento de torsi3n quedara entonces:

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$$

### Motor el3ctrico

- Un motor el3ctrico, es un dispositivo que convierte energ3a el3ctrica en energ3a mec3nica.
- La energ3a mec3nica esta en forma de energ3a rotacional mec3nica.
- Esta construida por una estructura externa r3gida hecha de imanes, por dentro de este rota una espira(s) por donde atraviesan las lineas de campo.

### Galvan3metro

El galvan3metros es un instrumento que se usa para la detecci3n y medici3n de la corriente. Se basan en las interacciones entre una corriente el3ctrica y un im3n. El mecanismo del galvan3metro est3 dise1ado de forma que un im3n permanente o un electroim3n produce un campo magn3tico, lo que genera una fuerza cuando hay un flujo de corriente en una bobina cercana al im3n.

Quando fluye corriente por las espiras de la bobina, los lados X e Y experimentan fuerzas magn3ticas que act3an de manera que hacen girar la bobina. Este movimiento estira un resorte, que es necesario para regresar la bobina a su posici3n original cuando no hay corriente. La cantidad de estiramiento del resorte es proporcional a la fuerza y por consiguiente a la corriente que circula por la bobina. Como consecuencia de lo anterior, la desviaci3n de la aguja del galvan3metro (que est3 unido a un eje en el centro de la bobina cuadrada) es proporcional a la cantidad de corriente que pasa por ella.

### El volt3metro

Un galvan3metro que se dise1a para medir voltajes en una escala de cero a un valor m3ximo el cual viene dado por:

$$V_g = I_g R_g$$

$V_g$ : Voltaje del galvan3metro (bater3a que tiene el galvan3metro)

$$V_B = I_g R_g + I_g R_m$$

$V_B$ : Voltaje que se quiere medir con el galvan3metro

Despejando  $R_m$  se obtiene:

$$R_m = \frac{V_B}{I_g} - R_g$$

$R_m$ : Resistencia que se a1ade al galvan3metro para convertirlo en volt3metro

$R_g$ : resistencia interna del galvan3metro.

$I_g$ : corriente del galvan3metro

### El Amper3metro

Del grafico se aprecia que  $R_1$  y  $R_2$  est3n en paralelo entonces el voltaje Ir a trav3s de las resistencias debe ser id3nticas

$$I_1 R_1 = I_g R_g \quad \text{Del grafico se tiene} \quad (I - I_g) R_2 = I_g R_g$$

Donde:

- $R_g$ : resistencia interna del galvan3metro.
- $I_g$ : corriente del galvan3metro
- $R_1$ : resistencia que se pone al galvan3metro para poder medir una corriente m3xima I.
- $I_1$ : corriente que pasa por la resistencia  $R_1$
- I: corriente m3xima que puede medir el galvan3metro convertido en amper3metro.

Despejando la resistencia  $R_1$  de la ecuaci3n anterior se obtiene:

$$R_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

### LEYES DE LA INDUCCION ELECTROMAGNETICA

#### Ley de Faraday-Henry

A principios de la d3cada de 1830, Faraday en Inglaterra y J. Henry en U.S.A., descubrieron de forma independiente, que un campo magn3tico induce una corriente en un conductor, siempre que el campo magn3tico sea variable. Las fuerzas electromotrices y las corrientes causadas por los campos magn3ticos, se llaman **fem inducidas** y **corrientes inducidas**. Al proceso se le denomina **inducci3n magn3tica**.

Variaci3n de flujo magn3tico  $\Rightarrow$  inducci3n

### Enunciado de la ley de Faraday-Henry

Un flujo variable produce una fem inducida en una espira.

el voltaje inducido en la espira es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa la superficie de dicha espira una superficie

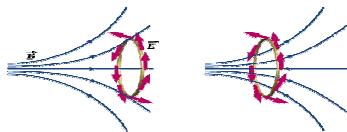
$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

Donde:

$\mathcal{E}$  = fem media inducida

$\Delta \Phi$  = Cambio de flujo magnético durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \quad \text{Para N espiras}$$



La fem inducida en un circuito es proporcional a la variación temporal del flujo magnético que lo atraviesa.

El flujo que pasa a través de una espira de área A esta dada por:

$$\Phi_B = BA$$

Un cambio de flujo  $\Delta \Phi_B$  Puede representarse de dos formas:

Puede variar la cantidad de líneas de campo que atraviesa la superficie A (por ejemplo al acercar y alejar un imán de la superficie A)

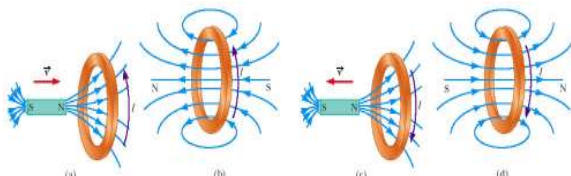
$$\Delta \Phi_B = (\Delta B)A$$

Puede variar el área A en un campo magnético B uniforme (por ejemplo cuando aseamos rotar el dicha área A)

$$\Delta \Phi_B = B(\Delta A)$$

### Ley de Lenz

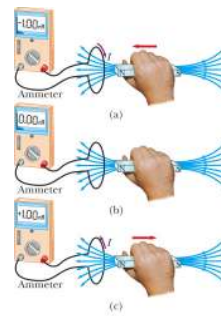
La fem y la corriente inducida en un circuito poseen una dirección y sentido tal que tienden a oponerse a la variación que los produce.



© 2000 Brooks/Cole - Thomson

La corriente inducida se debe al movimiento relativo entre el imán y la espira.

### Un experimento de inducción electromagnética

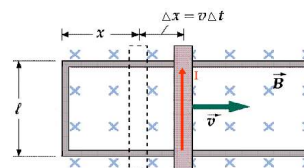


© 2000 Brooks/Cole - Thomson

- ❖ Es evidente que el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético induce una fem y una corriente
- ❖ La dirección de la fem depende de la dirección del movimiento del conductor con respecto al campo
- ❖ La magnitud de la fem es directamente proporcional a la rapidez con la que el conductor corta líneas de flujo magnético
- ❖ La magnitud de la fem es directamente proporcional al número de espiras del conductor que cruza las líneas de flujo

### Fem inducida por un conductor en movimiento

Supongamos una varilla conductora que se desliza a lo largo de un conductor en forma de u.



El flujo magnético varía porque el área que encierra la varilla con el conductor también lo hace.

$$\Phi = B \cdot A = B l x$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = Blv \quad \text{Como} \quad \mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$$

El módulo de la fem inducida será:


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

Si la velocidad V del alambre en movimiento tiene una dirección que forma un Angulo  $\theta$  con el campo B es necesaria una forma mas general para la ecuación anterior

$$\mathcal{E} = Blv \sin\theta$$

¿Cuál es el efecto de la aparición de esta corriente inducida?

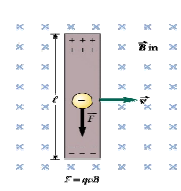
El campo magnético ejerce una fuerza magnética sobre la varilla que se opone al movimiento



El resultado es que si impulsamos la varilla con una cierta velocidad hacia la derecha y luego se deja en libertad, la fuerza magnética que aparece sobre la varilla tiende a frenarla hasta detenerla. Para mantener la velocidad constante de la varilla, un agente externo debe ejercer una fuerza igual y opuesta a la fuerza magnética.

### Fem de movimiento para una Varilla aislada

La fem se induce en una barra o un alambre conductor que se mueve en el seno de un campo magnético



Equilibrio  $\implies F_m = F_e \implies vB = E$

La diferencia de potencial a través de la barra será

$$\Delta V = El = Blv \quad |\mathcal{E}| = Blv$$

### Diferencias entre el campo eléctrico electrostático y el campo eléctrico inducido

Los  $\vec{E}$  inducidos no están asociados a cargas, sino a variaciones temporales del flujo magnético.



Las líneas del  $\vec{E}$  inducido forman líneas cerradas, mientras que las líneas de campo que representan al  $\vec{E}$  electrostático nacen en las cargas positivas y mueren en las negativas.

La diferencia de potencial entre dos puntos asociada a un campo electrostático  $\vec{E}$  es independiente del camino recorrido (es un campo conservativo)

Los campos eléctricos  $\vec{E}$  creados por inducción no es un campo conservativo, ya que la fem inducida es distinta de cero cuando varía el flujo magnético.

## Transformador

El transformador es un dispositivo que aumenta o disminuye el voltaje de un circuito sin pérdida apreciable de potencia. Consta de dos bobinas arrolladas sobre un núcleo de hierro.

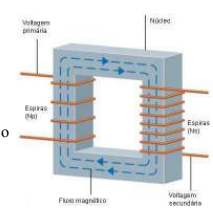
Se establece un flujo magnético que cambia constantemente en el núcleo del transformador pasa a través de las bobinas primarias y secundarias.

La fem  $\mathcal{E}_p$  inducida en la bobina primaria se obtiene por medio de:

$$\mathcal{E}_p = -N_p \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$  = Rapidez con que cambia el flujo magnético

$N_p$  = numero de espiras primarias



En forma similar la fem  $\mathcal{E}_s$  inducida en la bobina secundaria será

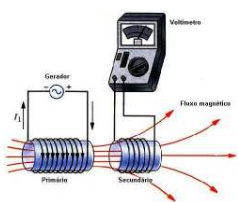
$$\mathcal{E}_s = -N_s \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



Puesto que el mismo flujo cambia con la misma rapidez en cada una de las bobinas se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

El flujo que atraviesa cada espira en ambos arrollamientos es el mismo, luego la tensión que aparece en el secundario es



Comparando las dos ecuaciones  $\epsilon_2 = \frac{N_2}{N_1} \epsilon_1$

- Transformador Elevador  $N_2 > N_1 \Rightarrow \epsilon_2 > \epsilon_1$
- Transformador Reductor  $N_2 < N_1 \Rightarrow \epsilon_2 < \epsilon_1$

El rendimiento del transformador se define como la razón de las potencias de salida con respecto a la de entrada

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia en el secundario}}{\text{Potencia en el primario}} = \frac{\epsilon_s I_s}{\epsilon_p I_p}$$

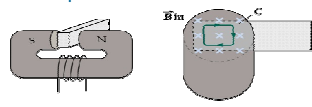
Si suponemos que el rendimiento es el 100% entonces Eficiencia=1, con lo cual obtenemos la relación siguiente

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_p}$$

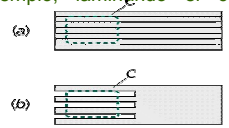
Uso de los transformadores  $\Rightarrow$  Transporte de energía eléctrica con pérdidas mínimas de energía por efecto Joule utilizando alto voltaje y baja corriente.

### Corrientes de Foucault

En el núcleo de un transformador, los flujos variables producen corrientes en el metal. El calor producido por estas corrientes da lugar a pérdidas de potencia en el transformador.



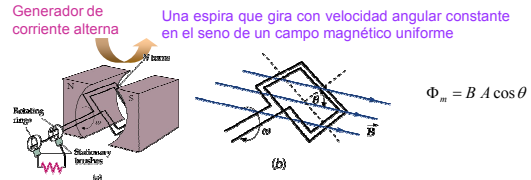
La pérdida de potencia se puede reducir aumentando la resistencia de los posibles caminos que siguen las corrientes de Foucault (por ejemplo, laminando el conductor o recortando el metal).



### Producción de fem alternas sinusoidales

Se dice que una corriente es alterna si cambia de sentido periódicamente.

Generador de corriente alterna: Una espira que gira con velocidad angular constante en el seno de un campo magnético uniforme



Como  $\theta = \omega t$  entonces  $\Phi_m = B A \cos(\omega t)$

$$\epsilon = -\frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t} = -\frac{d}{dt}(B A \cos(\omega t)) = B A \omega \sin \omega t$$

Para N espiras  $\epsilon = N B A \omega \sin \omega t \quad \epsilon = \epsilon_0 \sin \omega t$

$\epsilon_0 = N B A \omega$  fem inducida máxima


### Inductancia

Tal como la variación del flujo magnético produce una tensión existe una relación entre la corriente eléctrica y el flujo magnético. Se denomina **inductancia L**, a la relación entre el flujo magnético, y la intensidad de corriente eléctrica I:

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad \text{Unidad en S.I.: Henrio (H)}$$

$$1\text{H} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{Tm}^2}{\text{A}}$$

Se simboliza en los esquemas de circuitos:



$$\left. \begin{aligned} \Phi &= IL \\ \epsilon &= -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \epsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

### inductancia de una bobina

Este depende de la forma geométrica de la bobina y del material del núcleo que esta dentro de la bobina depende de la geometría de la bobina.

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad del núcleo de la bobina, N es el número de espiras, A es el área de la sección transversal del bobinado y l la longitud de la bobina

Los materiales magnéticos se clasifican de acuerdo a su permeabilidad, comparadas con la que corresponde al del vacío. La permeabilidad relativa esta dado de la siguiente forma:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

### Ejercicios de inductancia

1. Un alambre de cobre se enrolla en forma de solenoide sobre un núcleo de hierro de 5 cm de diámetro y 25 cm de largo. Si la bobina tiene 220 vueltas y la permeabilidad magnética del hierro es de  $1.8 \times 10^{-3}$  T m/A. Calcular la inductancia de la bobina
2. Una bobina de 500 espiras tiene un núcleo de 20 cm de largo y un área de sección transversal de  $15 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>. Si el núcleo de la bobina es aire ( $\mu_0$ ).
3. Una bobina de 25 cm de largo tiene 1500 espiras de alambre que rodean a un núcleo de hierro con un área de sección transversal de 2 cm<sup>2</sup>. Si la permeabilidad magnética del hierro es  $\mu=0.001$  T m/A. Calcular cual es la autoinducción o inductancia de la bobina.

### Tipos de Inductancia

Podemos estudiar básicamente dos tipos de inductancias generados por corrientes variables como el caso de la corriente alterna

• **Autoinductancia o inducción propia** (Generados por un circuito sobre sí mismo)

• Los autotransformadores usan este tipo de inducción

• **Inductancia mutua** (producidos por la proximidad de dos circuitos llamados de inductancia mútua.)

• Los transformadores con dos arrollamientos usan este tipo de inducción

### Intensidad de campo magnético H

la **intensidad del campo magnético**, H, es la causa de la inducción magnética, y nos indica lo intenso que es el campo magnético.

En una bobina, su valor depende de la fuerza magnética, producto del número de espiras por la intensidad que circula por la misma

$$H = \frac{NI}{l}$$

Donde:

- H: intensidad del campo en amperio/metro (A/m)  
 N: número de espiras de la bobina  
 I: intensidad de la corriente en amperios (A)  
 l: longitud de la bobina en metros (m)

La diferencia entre B y H es que H describe cuan intenso es el campo magnético en la región que afecta, mientras que B es la cantidad de **flujo magnético** por unidad de área que aparece en esa misma región. B y H se relacionan de la siguiente manera:

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

Donde  $\mu_0$  es la permeabilidad en el vacío:

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

Los materiales magnéticos se clasifican de acuerdo a su permeabilidad ( $\mu$ ), comparadas con la que corresponde al del vacío. La permeabilidad relativa esta dado de la siguiente forma:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \leftarrow \text{Mide el grado con el que el material puede ser magnetizado}$$

### Propiedades magnéticas de la materia

#### Origen del magnetismo

Cada electrón es, por su naturaleza, un pequeño imán. Ordinariamente, innumerables electrones de un material están orientados aleatoriamente en diferentes direcciones, pero en un imán casi todos los electrones tienden a orientarse en la misma dirección, creando una fuerza magnética grande o pequeña dependiendo del número de electrones que estén orientados.

El magnetismo en la materia esta producido por el movimiento de electrones en la material el cual produce un campo al rededor del material con efectos magnéticos.

El comportamiento magnético de un material puede variar enormemente, dependiendo de la estructura del material, y particularmente de la configuración electrónica.

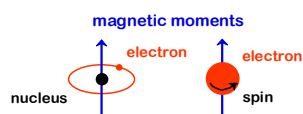
### Dipolos magnéticos atómicos

La causa física del magnetismo en los cuerpos, distinto a la **corriente eléctrica**, es por los **momentos magnéticos**, en escala atómica resultan de dos tipos diferentes del movimiento de electrones.

El primero es el movimiento orbital del electrón sobre su **núcleo atómico**:

La segunda, más fuerte, fuente de momento electrónico magnético es debido momento de **spin** del dipolo magnético.

El momento magnético general de un átomo es la suma neta de todos los momentos magnéticos de los electrones individuales.



Con ninguna influencia externa, la alineación del momento magnético del átomo el cual siempre tiende al estado de menor energía cancela cada uno de los momentos magnéticos pero en ciertos materiales esto no es así.

El momento magnético atómico es prácticamente el resultado de las orbitas de los electrones. Y esto varía con la temperatura.

La diferencia en la configuración de los electrones en varios elementos determina la naturaleza y magnitud de los momentos atómicos magnéticos, lo que a su vez determina la diferencia entre las propiedades magnéticas de varios materiales.

Existen muchas formas de comportamiento magnético o tipos de magnetismo: El diamagnetismo y el paramagnetismo ferromagnetismo,

#### Diamagnetismo

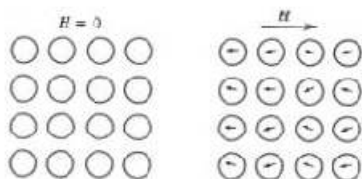
Es una forma muy débil de magnetismo que es no permanente y persiste solo mientras se aplique un campo externo.

Es inducido por un cambio en el movimiento orbital de los electrones debido a un campo magnético aplicado.

La magnitud del momento magnético inducido es extremadamente pequeña y en dirección opuesta al campo aplicado.

Son repelidas débilmente por un imán (ejem. Cu, Ag, Pb...).

$$\mu \leq 1$$



La figura ilustra esquemáticamente la configuración del dipolo magnético atómico para un material diamagnético con y sin campo externo; aquí las flechas representan momentos dipolares atómicos.

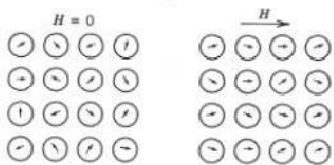
El diamagnetismo se encuentra en todos los materiales pero solo puede observarse cuando otros tipos de magnetismo están totalmente ausentes. Esta forma de magnetismo no tiene importancia práctica.

#### paramagnetismo

Para algunos materiales sólidos cada átomo posee un momento dipolar permanente en virtud de la cancelación incompleta del spin electrónico y/o de los momentos magnéticos orbitales. En ausencia de un campo magnético externo, las orientaciones de esos momentos magnéticos son al azar, tal que una pieza del material no posee magnetización macroscópica neta. Esos dipolos atómicos son libres para rotar y resulta el paramagnetismo, cuando ellos se alinean en una dirección preferencial, por rotación cuando se le aplica un campo externo.

Son atraídas débilmente por un imán y apenas se imantan. La orientación de sus dipolos atómicos es débil. (ejemp. Al)

$$\mu < 1$$



El efecto del paramagnetismo desaparece cuando se elimina el campo magnético aplicado.

#### ferromagnetismo

Ciertos materiales poseen un momento magnético permanente en ausencia de un campo externo y manifiestan magnetizaciones muy largas y permanentes.

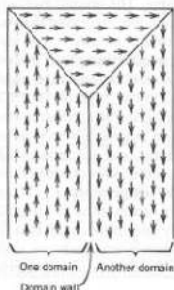
Estas son las características del ferromagnetismo y este es mostrado por algunos metales de transición Fe, Co y Ni y algunos elementos de tierras raras tales como el gadolinio (Gd).

En una muestra sólida de Fe, Co ó Ni, a temperatura ambiente los espines de los electrones 3d de átomos adyacentes se alinean, en una dirección paralela por un fenómeno denominado imanación espontánea. Esta alineación paralela de dipolos magnéticos atómicos ocurre solo en regiones microscópicas llamadas Dominios Magnéticos.

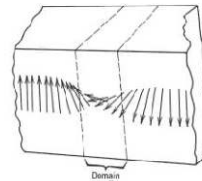
Son fuertemente atraídas por un imán y fácilmente imantables. Pueden formarse imanes temporales e imanes permanentes, por ejemplo con el acero. (ejem. Fe, Co, Ni, acero...)

$$\mu \gg 1$$

Esquema de los dominios magnéticos en un material ferromagnético Si los dominios están aleatoriamente orientados entonces no se genera imantación neta en una muestra. En una muestra ferromagnética, los dominios adyacentes están separados por bordes de dominios ó paredes a través de las cuales cambia gradualmente la dirección de la magnetización.



En una muestra ferromagnética, los dominios adyacentes están separados por bordes de dominios ó paredes a través de las cuales cambia gradualmente la dirección de la magnetización.



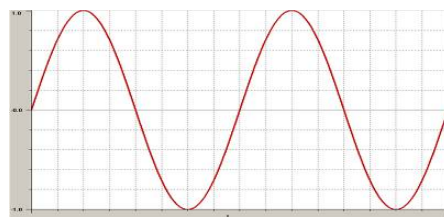
Forma como varían de dirección los dominios en un material ferromagnético en sus límites o paredes

### Tres tipos de momento magnético

	No Applied Magnetic Field (H = 0)	Applied Magnetic Field (H)	
(1) diamagnetic	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ none	⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ opposing	$\mu \leq 1$
(2) paramagnetic	⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ random	⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ aligned	$\mu \geq 1$
(3) ferromagnetic ferrimagnetic	⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ aligned	⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ aligned	$\mu \gg 1$

### Corriente Alterna

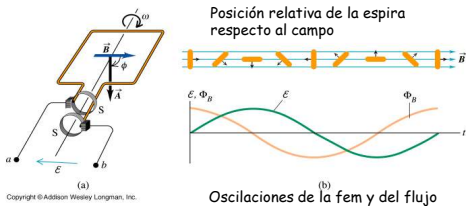
Se denomina **corriente alterna** (abreviada **CA** en español y **AC** en inglés) a la **corriente eléctrica** en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda **sinoidal**.



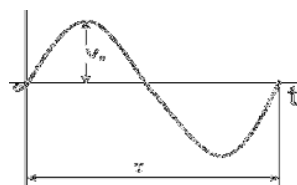
Grafica de la función seno

### Corriente alterna. Generadores

- Una bobina girando en el seno de un campo magnético constante puede generar una corriente alterna.



$$\Phi = AB \cos \omega t \quad \mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t$$



$$V = V_0 \sin(2\pi f t)$$

$V_0$  : voltaje máximo llamado también voltaje pico ( $V_p$ )  
 $f$  : frecuencia de oscilación del voltaje alterno

Símbolo de un generador de corriente alterna

### Valores eficaces de la corriente alterna

En una corriente alterna, tanto la intensidad como la tensión varían a lo largo del tiempo. La intensidad y la tensión en cada instante se llaman **intensidad instantánea** y **tensión instantánea** y los valores máximos **intensidad máxima** y **tensión máxima**.

**Corriente eficaz** Es igual a la intensidad que debería tener una corriente continua para desarrollar el mismo calor que la corriente alterna, pasando por la misma resistencia en igual tiempo.

**La Voltaje eficaz** de una corriente alterna es igual a la tensión que debería tener una corriente continua para producir los mismos efectos térmicos que la corriente alterna, pasando por la misma resistencia el mismo tiempo.

### Valores eficaces

Caracterización de las corrientes alternas utilizando valores eficaces

$$V = V_0 \text{sen}(2\pi ft)$$

$$V_{ef} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

Los voltímetros y amperímetros están diseñados para medir valores eficaces de la corriente o el voltaje