

ELECTROMAGNETISMO

1-ORIGEN DEL FENÓMENO MAGNÉTICO. DESCRIPCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

2-FUERZA QUE EJERCE EL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE CARGAS EN MOVIMIENTO

3-GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS A PARTIR DE CORRIENTES ELÉCTRICAS

4-FUERZA ENTRE CORRIENTES PARALELAS. DEFINICIÓN DE AMPERIO

5-INDUCCIÓN MAGNÉTICA. LEY DE FARADAY Y LENZ

6-GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA.

1-ORIGEN DEL FENÓMENO MAGNÉTICO. DESCRIPCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

Todo cuerpo con propiedades magnéticas, un imán, es capaz de atraer trozos de hierro y a otros imanes, por tratarse **de fuerzas que actúan a distancia cada cuerpo con propiedades magnéticas origina a su alrededor un campo magnético que disminuye con la distancia.**

Pero a diferencia del campo gravitatorio y electrostático **sus líneas de fuerza son cerradas**, ya que **no existen polos magnéticos aislados**. Las líneas de fuerza que definen un campo magnético **salen siempre del polo norte y entran por el polo sur** (como ocurre en un dipolo eléctrico, es fácil la comparación si se relaciona el polo norte magnético con una carga positiva unida a una negativa que sería el polo sur)



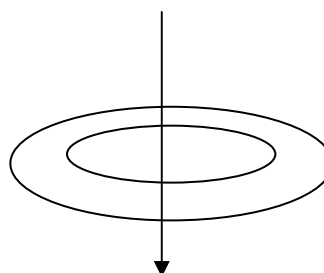
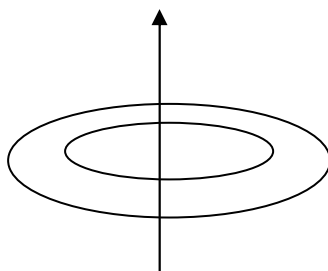
La fuerza de atracción magnética igual que ocurre con la electrostática se observó que **podía ser atractiva (polos distintos) o repulsiva (polos iguales) y que dependía del medio en que se encontraban los cuerpos con propiedades magnéticas.** También disminuye con la distancia aunque las fórmulas que determinan el campo magnético varían según el cuerpo que genera dicho campo.

En el siglo XIX se descubrió casualmente la relación que existía entre el magnetismo y la electricidad. Oersted descubrió que un imán se orienta si se coloca cerca de una corriente eléctrica. Colocando una aguja imantada (brújula) en las proximidades de un hilo conductor y haciendo circular corriente eléctrica continua por el hilo, la aguja siempre se orienta perpendicularmente a la corriente, pero cuando cesa la corriente la aguja vuelve a su posición original (apuntando hacia el norte y sur terrestres). En este experimento se pone de manifiesto que las corrientes eléctricas (en general cualquier carga eléctrica en movimiento) producen sobre una aguja imantada los mismos efectos que se observarían al acercarse un imán.

LAS CARGAS ELÉCTRICAS EN MOVIMIENTO CREAN CAMPOS MAGNÉTICOS

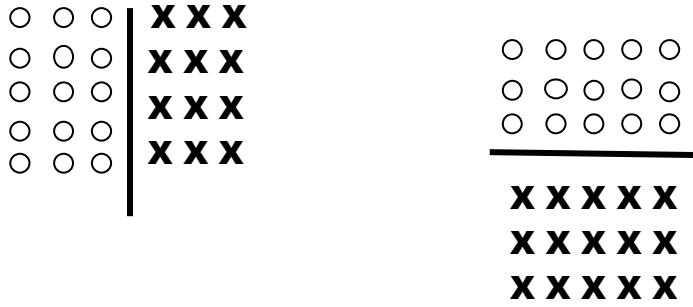
Con un hilo conductor es fácil dibujar las líneas de campo que crea ya que basta con colocar un imán en distintos puntos en torno al cable o bien echar limaduras de hierro en torno a él. se observa que las líneas de campo creadas por una corriente rectilínea son circunferencias concéntricas cuyo sentido de giro depende del sentido de la corriente .

Si la corriente va hacia arriba las líneas de fuerza giran en el sentido contrario a las agujas del reloj .
Si la corriente va hacia abajo las líneas de fuerza giran en el mismo sentido que las agujas del reloj .



Cuando se utiliza como plano de referencia la hoja sobre la que se escribe para indicar que las líneas del campo son perpendiculares al papel y hacia fuera se indica \bigcirc y si van hacia dentro se indican como **X**

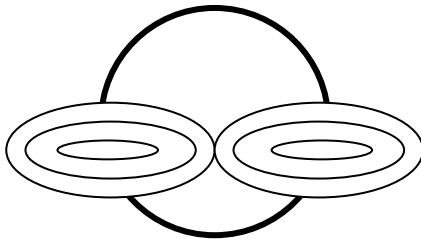
Ejemplo: indica el sentido que debe tener la corriente en cada caso:



El campo magnético que genera un conductor es más intenso si en lugar de un conductor rectilíneo tenemos un conductor muy largo y enrollado en forma espiral donde cada bucle se llama **ESPIRA**. El campo que se obtiene es directamente proporcional al número de espiras. Todo este conjunto de espiras unidas se llama **SOLENOIDE o bobina** y si en su interior se coloca un núcleo de hierro dulce (hierro muy puro que se imanta con la corriente y aumenta mucho el campo magnético generado) entonces hemos construido un **ELECTROIMÁN**.

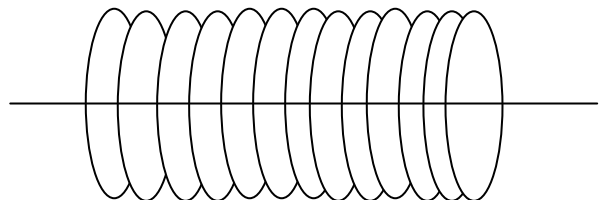
Esto es fácil de comprobar porque si se coloca una espira de forma que pueda girar libremente se orienta igual que lo haría un imán, con su cara norte hacia el norte terrestre y su cara sur hacia el sur, además si se observa las líneas de fuerza del campo que genera un solenoide son exactamente iguales que las de un imán.

Según el sentido de la corriente y como se orienta según la Tierra el campo magnético que se observa es:



Si la espira se mira por una cara las líneas de campo entran, pero si se mira por la otra las líneas de campo salen. Si colgamos la espira la cara que se orienta al Norte Terrestre es por donde las líneas de campo salen y la que queda hacia el Sur por donde entran.

CARA NORTE O POLO NORTE	CARA SUR O POLO SUR
Todas las líneas salen (sentido de giro contrario a las agujas del reloj)	Todas las líneas entran (el mismo sentido que las agujas del reloj)



LAS LÍNEAS DE CAMPO DE UN SOLENOIDE SON IGUALES QUE LAS DE UN IMÁN

Puesto que el campo magnético que genera un solenoide es idéntico al que genera un imán este es el origen del fenómeno magnético que se observa en los imanes. Ahora ya sabemos el origen del magnetismo y porque algunas sustancias presentan propiedades magnéticas y otras no. Como una corriente eléctrica produce un campo magnético y una carga eléctrica en movimiento (por ejemplo un electrón) es ya una corriente eléctrica y dado que en los átomos y moléculas que forman las diferentes sustancias hay electrones moviéndose deben generarse campos magnéticos. Preferentemente en los metales ya que la movilidad electrónica es mayor y de hecho es cierto que los metales presentan con más facilidad propiedades magnéticas.

Para que una sustancia sea magnética es necesario que sus electrones (al menos una buena parte de ellos) se muevan ordenadamente, girando todos en el mismo sentido, como la corriente eléctrica en el cable de un solenoide, de esta manera dentro de esa sustancia se generan pequeñas corrientes que son el origen de las propiedades magnéticas.

Las sustancias que no presentan propiedades magnéticas es porque sus electrones giran desordenadamente y en sentidos distintos por lo que el campo que genera uno se anula con el que genera otro al contrario y no se detecta campo magnético ninguno. Por ejemplo se puede conseguir que una sustancia magnética deje de serlo calentándola ya que con el calor aumenta el desorden y el movimiento se hace caótico desapareciendo así el campo magnético que había. Por el contrario se puede magnetizar un metal poniéndolo durante un tiempo cerca de un imán ya que el campo magnético del imán influye sobre los electrones del metal y tiende a ordenar su movimiento induciendo así en el metal un campo magnético que no tenía, de esta manera el metal que no era magnético se imana, pasa a ser un imán. Las sustancias imanadas (o también se puede decir imantadas) que no tienen estructura favorable para este movimiento ordenado de electrones al cabo de un tiempo alejados de imán que les imanó acaban por perder sus propiedades magnéticas y vuelven a su desorden original.

Cuando una carga eléctrica está en reposo genera un campo eléctrico (electrostático=carga en reposo) pero si la carga se mueve genera a la vez un campo eléctrico y uno magnético con lo que podemos decir que los campos magnéticos son una parte de los campos eléctricos que aparecen cuando las cargas se mueven.

Es curioso observar que teniendo esto en cuenta se puede entender por qué, cuando se produce, el fenómeno magnético es tan intenso y fácil de observar mientras que la atracción entre cargas eléctricas es comparativamente más débil. Para que exista atracción eléctrica debe existir carga neta positiva o negativa en los cuerpos que interactúan (un desequilibrio de carga) pero la materia es normalmente neutra por lo que los desequilibrios que permiten considerar que existe carga suelen ser pequeños, por eso solemos trabajar con cargas pequeñas del orden de microcoulombios. Como la fuerza según la ley de Coulomb es proporcional a la cantidad de carga, aunque la constante electrostática es grande $9 \cdot 10^9$ suelen resultar fuerzas pequeñas si se comparan con las magnéticas.

Para que existan fenómenos magnéticos basta con que los electrones que forman la materia se muevan ordenadamente aunque el cuerpo sea totalmente neutro, el conjunto de todas las cargas en movimiento en un cuerpo puede generar campos magnéticos intensos. Por ejemplo un conductor por el que circula una corriente puede ser en conjunto neutro pero generar un campo magnético apreciable.

Hay que tener en cuenta también que si colgamos una espira de manera que pueda girar libremente su cara Norte apunta hacia el Norte Terrestre, por eso en un principio se le dio ese nombre al igual que se hizo con los polos de los imanes. Pero se tienen en cuenta que polos iguales se repelen y son los polos distintos los que se atraen, entonces el polo Norte geográfico terrestre es un polo Sur magnético de igual forma que el polo Sur geográfico terrestre es un polo Norte magnético.

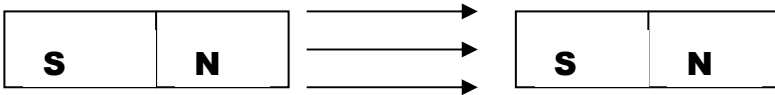
Debido sobre todo a la rápida velocidad de rotación de la Tierra y a la naturaleza metálica de su núcleo se genera un campo magnético muy importante cuyas líneas de fuerza están dispuestas en dirección Norte-Sur magnético. Los polos geográficos y magnéticos están por lo tanto al revés y el eje magnético no coincide exactamente con el eje terrestre, la pequeña desviación existente se denomina ángulo de declinación y ha sufrido pequeños cambios a lo largo de los siglos.

2-FUERZA QUE EJERCE EL CAMPO MAGNÉTICO SOBRE CARGAS EN MOVIMIENTO

Al no existir cargas magnéticas aisladas es difícil obtener una fórmula concreta que mida la fuerza magnética en cada punto del campo (todo circuito eléctrico va a presentar si se mira por un lado cara norte y si se mira por otro cara sur, de hecho si un imán se corta en trozos cada uno tendrá su polo norte y su polo sur unidos).

Tampoco resulta fácil definir intensidad de campo magnético como la fuerza por unidad de polo magnético si tal unidad independiente no existe. Así que lo que se hace es calcular indirectamente la fuerza que actúa sobre corrientes eléctricas introducidas en campos magnéticos uniformes (el caso más sencillo) y determinar experimentalmente que qué depende dicha fuerza en cada caso, obteniendo así distintas relaciones, vamos a ver las más importantes.

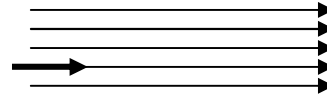
Para obtener un campo magnético uniforme basta con colocar dos polos magnéticos distintos uno frente a otro.



Si introducimos una carga eléctrica en este campo observamos lo siguiente:

- Si la carga no se mueve ninguna fuerza actúa sobre ella.
- Si se mueve actúa sobre ella una fuerza distinta de la gravitatoria y la electrostática que es la fuerza magnética.
- Dicha fuerza es directamente proporcional a la carga (a más carga se detecta más fuerza sobre ella)
- Se observa que cambia de sentido si se cambia el signo de la carga .
- La fuerza es directamente proporcional a la velocidad que lleva la carga al entrar en el campo.
- Como es lógico también es directamente proporcional a la intensidad del campo magnético en el que se ha introducido la carga, aumenta si aumentamos la intensidad del campo creado.
- La fuerza magnética depende también del ángulo entre las líneas de campo magnético y la trayectoria que sigue la carga al entrar en el campo, ocurre lo siguiente:**

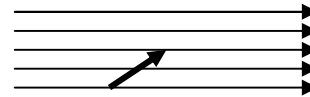
1. Si la carga entra paralela al campo no se detecta fuerza $F=0$



2. Si la carga entra perpendicular al campo se detecta la fuerza máxima $F=q.v.B$ donde q =carga eléctrica, v =la velocidad que lleva y B =intensidad de campo magnético



3. Si la carga entra con un ángulo cualquiera α la fuerza que se detecta sale si se multiplican $F=q.v.B.\text{sen}\alpha$



De esta dependencia se deduce que la fórmula general debe ser un producto vectorial y como la carga eléctrica es un escalar, está claro que es un producto entre la velocidad y la intensidad de campo magnético.

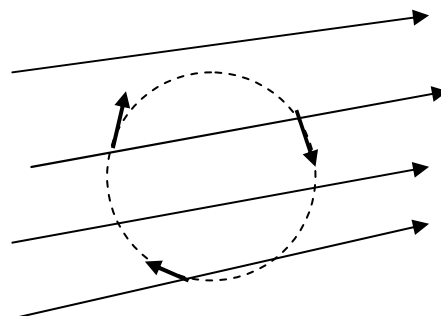
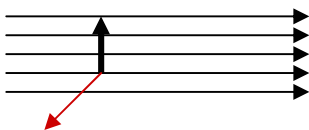
LEY DE LORENTZ. la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento introducida en un campo magnético depende de dicha carga y del producto vectorial entre su velocidad y el campo magnético presente.

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

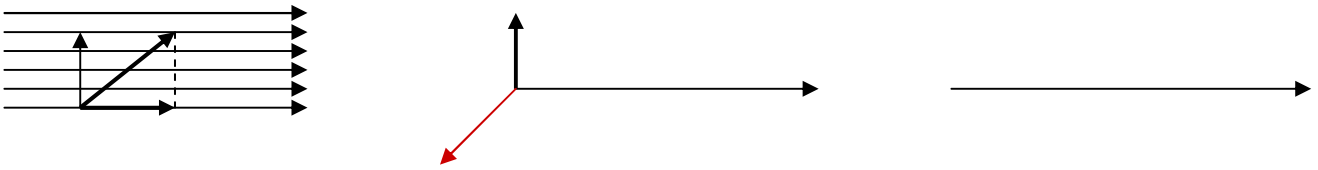
Teniendo en cuenta que se trata de un producto vectorial la fuerza saldrá en un plano perpendicular a la velocidad y a la intensidad de campo siendo por lo tanto perpendicular a la trayectoria que lleva la carga y originando por lo tanto una aceleración normal, desviando la trayectoria y haciendo que la carga gire.

Si la carga se introduce perpendicular al campo magnético y es un campo magnético uniforme la carga quedará atrapada dentro del campo siguiendo una trayectoria circular y uniforme

Por la segunda ley de Newton $F=m.a$ y en este caso que es aceleración normal y como el $\text{sen}90^\circ=1$ queda $q.v.B = m \frac{v^2}{R}$



Si la carga es lanzada dentro del campo con un cierto ángulo la velocidad tendrá una componente perpendicular al campo que sufrirá la fuerza magnética que le hará girar y otra paralela al campo que no sentirá fuerza ninguna y originará un movimiento de avance rectilíneo y uniforme, el resultado será un movimiento helicoidal.



Las fuerzas magnéticas no producen trabajo al ser perpendiculares a la dirección de movimiento por lo que no modifican la energía cinética de la partícula en movimiento, el módulo de la velocidad permanece constante pero varía su dirección por lo que hay aceleración normal. Al no realizar trabajo no se puede definir tampoco energía potencial para este campo por lo que se puede afirmar que el CAMPO DE FUERZAS MAGNÉTICO ES NO CONSERVATIVO.

Se puede calcular el radio de giro que experimenta una partícula al atravesar un campo magnético, esta es la base del CICLOTRÓN que es un acelerador de partículas sometiéndolas a campos eléctricos y magnéticos y del ESPECTRÓMETRO DE MASAS que separa las sustancias cargadas eléctricamente según su masa ya que cuanto mayor es su masa al atravesar el campo magnético menor es su desviación (mayor es su radio de curvatura)

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha \text{ luego como } F = m \cdot a \text{ queda } q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = m \frac{v^2}{R} \text{ despejando } r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B \cdot \sin \alpha}$$

Si una carga está sometida a la vez a un campo magnético \vec{B} y uno eléctrico \vec{E} de valores conocidos la fuerza total será la resultante de ambas. Se llegará al equilibrio cuando ambas fuerzas se igualen

$$\text{Recordar que: } \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ luego } \vec{F} = q \cdot \vec{E} \text{ entonces la fuerza total es } \vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

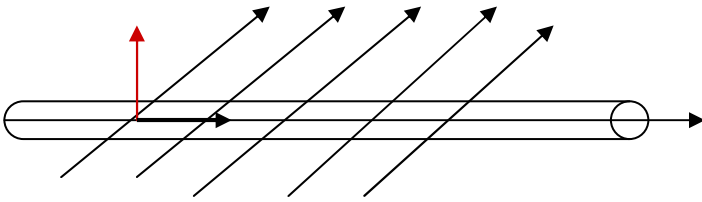
Si hay equilibrio ambas fuerzas son iguales y queda: $q \cdot \vec{E} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ entonces para una carga en equilibrio entre dos campos uno eléctrico y otro magnético: $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$ con lo que resulta que el campo eléctrico y el magnético deben ser perpendiculares entre sí.

La unidad de campo magnético en el sistema internacional es el TESLA (T) en honor a Nikola Tesla ingeniero electrotécnico yugoslavo

Ejemplo: Determina la fuerza que actúa sobre un electrón y el radio de giro dentro del campo cuando se introduce perpendicularmente en un campo magnético $B = 2 \cdot 10^{-2} T$ cuando su velocidad es $v = 2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Ejemplo: Un electrón penetra en un campo magnético uniforme $\vec{E} = 100\vec{i} \text{ (V/m)}$ con una velocidad $\vec{v} = 2 \cdot 10^6 \vec{j} \text{ m/s}$ se desea calcular la inducción magnética (que es lo mismo que la intensidad de campo magnético \vec{B}) de un campo magnético que superpuesto al eléctrico permite al electrón mantener su dirección y sentido de movimiento.

Si lo que introducimos dentro del campo magnético no es una carga independiente sino un cable por el que circula corriente eléctrica (millones de electrones en movimiento) ¿cuál sería la fuerza que actuaría sobre el cable?



Sentido de la corriente definido como vector \vec{L} donde el módulo es la longitud del cable

Teniendo en cuenta la ley de Lorentz $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \alpha$

Si llamamos Q a la carga total que circula por el conductor y q a la carga de cada electrón que circula $Q = N \cdot q$ donde N es el número total de electrones que circulan, despejando $\frac{Q}{N} = q$

Definimos la densidad de carga en el conductor como número de cargas que circulan por unidad de volumen $d = \frac{N}{V}$ por lo que despejando $d \cdot V = N$

En un conductor la intensidad de corriente se define como la carga total que circula por el conductor por unidad de tiempo :

$I = \frac{Q}{t}$ se mide en C/s que recibe el nombre de AMPERIO y lógicamente es un escalar . Despejando $I \cdot t = Q$

Introduciendo estas tres relaciones en la ley de Lorentz queda: $F = \frac{Q}{N} \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$, luego $F = \frac{I \cdot t}{N} \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ y

utilizando la densidad de carga queda: $F = \frac{I \cdot t}{d \cdot V} \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

El volumen del conductor sería su longitud por su sección es decir $V = S \cdot L$ sustituyendo $F = \frac{I \cdot t}{d \cdot S \cdot L} \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

La velocidad con que circula cada carga por el conductor es uniforme y corresponde al espacio recorrido (longitud del conductor) respecto al tiempo que tarda en recorrerlo $v = \frac{L}{t}$ sustituyendo $F = \frac{I \cdot t}{d \cdot S \cdot L} \cdot \frac{L}{t} \cdot B \cdot \sin \alpha$ luego $F = \frac{I}{d \cdot S} \cdot B \cdot \sin \alpha$ esta

sería la fuerza que actuaría sobre cada carga del conductor pero la fuerza total sería es por el número total de cargas que atraviesa que hemos llamado N luego: $F = N \cdot \frac{I}{d \cdot S} \cdot B \cdot \sin \alpha$ sustituyendo N queda: $F = d \cdot V \cdot \frac{I}{d \cdot S} \cdot B \cdot \sin \alpha$ y sustituyendo el

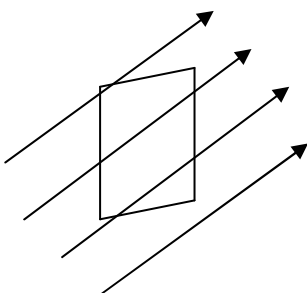
volumen como antes $F = S \cdot L \cdot \frac{I}{S} \cdot B \cdot \sin \alpha$ ordenándolo queda : $\mathbf{F} = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \alpha$

LEY DE LAPLACE: La fuerza que actúa sobre un conductor eléctrico por el que circula corriente introducido en un campo magnético es directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula, a la longitud del conductor dentro del campo y por su puesto a la intensidad del campo magnético

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$$

Si lo que se introduce en el campo es una espira la fuerza que actúa sobre los lados del circuito le hacen girar ya que generan un PAR DE FUERZAS (fuerzas paralelas y en sentidos contrarios) de manera que puesto que se origina un giro hablaremos de

momento de la fuerza : $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ aplicando a ley de Laplace a cada lado de la espira queda $\vec{M} = I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$ donde S es un vector perpendicular a la espira, definido según el sentido de la corriente (si es en el sentido de las agujas del reloj hacia dentro y si es en contra hacia fuera) y cuyo módulo es la superficie (el área) de la espira.

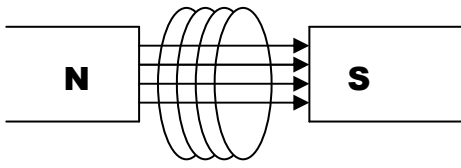


Ejemplo: Dibuja la fuerza que actúa sobre cada lado de la espira y el vector superficie correspondiente a esta corriente eléctrica

Si se trata de un solenoide es decir un conjunto de espiras también se produce giro y el efecto no depende de la forma de las espiras sino de su orientación con respecto al campo, el sentido de la corriente, su área y el número de espiras

$$\vec{M} = n \cdot I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$$

donde n=número de espiras, I=intensidad de corriente que circula, S=área de las espiras y B=intensidad de campo magnético



Muchos aparatos eléctricos están contruidos con solenoides, por ejemplo el GALVANÓMETRO que sirve para determinar si pasa o no corriente por un circuito: si no pasa corriente por el circuito no se genera campo magnético y la espira no gira mientras que si pasa corriente la espira gira. La espira suele ir unida a una aguja de manera que si la aguja se mueve es que pasa corriente y sino es que no pasa.

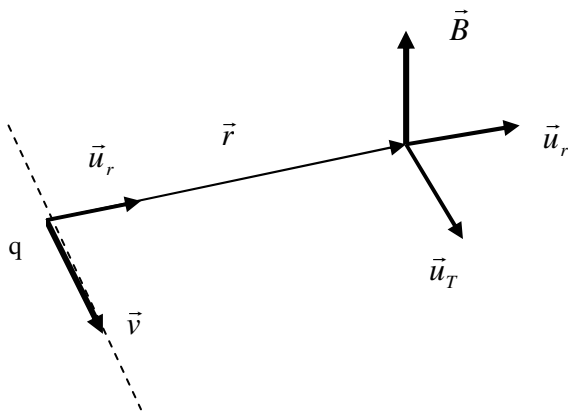
3-GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS A PARTIR DE CORRIENTES ELÉCTRICAS

Igual que se definía para el campo gravitatorio y el electrostático, a la región del espacio en la cual se ejerce una fuerza de carácter magnético se le llama campo magnético y la intensidad de dicho campo en cada punto es un vector tangente a las líneas de campo en cada punto que se representa por \vec{B} llamado intensidad de campo magnético o más frecuentemente inducción magnética.

Pero es muy problemático determinar el campo magnético como se hacía con el gravitatorio o con el electrostático al no existir una unidad magnética independiente (mientras que existen masas y cargas independientes que permiten definir el campo electrostático y el gravitatorio como la fuerza por unidad de carga o de masa)

Los trabajos de Ampere y Laplace permitieron definir el campo magnético que crea una carga q que se mueve con una velocidad \vec{v} (hay que recordar que para que una carga eléctrica origine un campo magnético debe estar en movimiento) en un punto situado a una distancia \vec{r} de ella.

Mediante medidas de carácter experimental y cálculos integrales obtuvieron:



La dirección y sentido del campo se obtiene multiplicando vectorialmente los vectores unitarios en la dirección del movimiento y en la línea que une la carga con el punto en que queremos medir el campo $\vec{u}_T \times \vec{u}_r$.

$$\vec{u}_T = \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \quad \vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

El valor del campo magnético depende de la posición y velocidad de la carga así como de una constante llamada **PERMEABILIDAD MAGNÉTICA** μ que depende del medio, en el vacío $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{T.m.s/c}$

Ecuación de Ampere y Laplace:

$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot q \cdot v}{4\pi \cdot r^2} (\vec{u}_T \times \vec{u}_r) \text{ TESLA en el vacío queda: } \vec{B} = 10^{-7} \cdot \frac{q \cdot v}{r^2} (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$$

La primera conclusión que se deduce de la fórmula es que el campo creado por una carga en movimiento en un punto es perpendicular al plano definido por la carga en movimiento y el punto en el que se quiere calcular el campo. va hacia arriba o hacia abajo según el producto vectorial entre la dirección que sigue la carga en movimiento y la de la línea que une la carga con el punto, esto indica que la dirección y sentido del campo magnético depende de la orientación respectiva entre la carga que genera el campo según su movimiento y la situación del punto en el que se estudia el campo.

Es interesante observar que el campo magnético, igual que ocurría con el eléctrico depende del medio y esta dependencia se manifiesta por los diferentes valores que toma la constante magnética según el

medio. También se puede definir una constante magnética $K_m = \frac{\mu}{4\pi}$ en el vacío $K_m = 10^{-7}$

Igual que ocurría con el campo gravitatorio y el eléctrico, el campo magnético disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente que genera el campo (en este caso una carga en movimiento) en

módulo la intensidad de campo queda : $B = K_m \frac{q \cdot v}{r^2}$

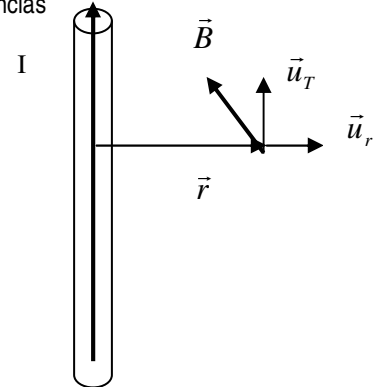
Cualquier conjunto de cargas en movimiento generará un campo magnético, así una corriente eléctrica genera un campo magnético (ya sea un cable rectilíneo, una espira o un solenoide). Experimentalmente se puede obtener una ecuación general llamada **LEY DE BIOT-SABART**:

$d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi r^2} \cdot dl \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$ a partir de esta fórmula diferencial que indica el valor de un diferencial de campo,

mediante integración se obtienen los campos magnéticos generados por diferentes elementos de corriente, los principales son:

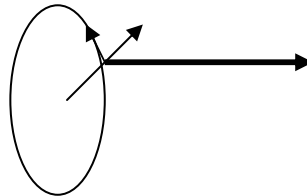
-Campo generado por una corriente rectilínea : las líneas de campo son circunferencias concéntricas lo que se justifica observando la fórmula y haciendo el producto vectorial:

$$\vec{B} = \frac{\mu}{2\pi r} \cdot I \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$$



-Campo creado por una espira circular a cierta distancia de su centro:

$$\vec{B} = \frac{I}{2.R} \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$$



donde R=radio de la espira

El campo magnético generado por un circuito circular es un vector perpendicular al plano del circuito, hacia fuera si la corriente va en contra de las agujas del reloj (cara Norte) y hacia dentro si van a favor (cara Sur).

-Campo creado por un solenoide o bobina: si tenemos varias espiras unidas el resultado es un solenoide, sus líneas de campo son iguales a las de un imán, líneas cerrada que salen del polo Norte y entran por el polo Sur. El campo generado depende

del número de espiras (N) y de la longitud del solenoide (L) : $\vec{B} = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{L} \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$

Ejemplo: Un cable recto e indefinido por el que circula una corriente de 20A está situado en el eje x en el vacío y la corriente va en el sentido positivo de las x, para los puntos (2,2,0) ,(0,0,5) y (3,0,3) suponiendo las distancias en metros, calcula el valor del campo en cada punto.

TABLA RESUMEN:

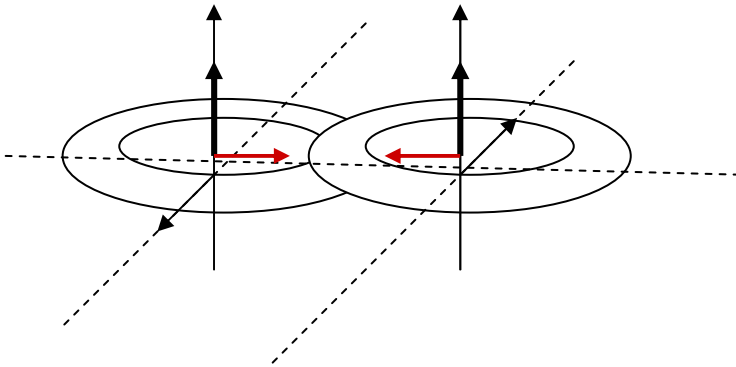
$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ permeabilidad magnética en el vacío	Carga en movimiento	Hilo conductor	Espira	Solenoide
Campo magnético \vec{B} Tesla dirección y sentido $\vec{u}_T \times \vec{u}_r$	$\vec{B} = \frac{\mu \cdot q \cdot v}{4\pi \cdot r^2} (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$	$\vec{B} = \frac{\mu}{2\pi r} \cdot I \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$	$\vec{B} = \frac{I}{2.R} \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$	$\vec{B} = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{L} \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r)$
Fuerza que actúa cuando se introducen en un campo magnético	$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$	$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$	$\vec{M} = I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$	$\vec{M} = n \cdot I \cdot (\vec{S} \times \vec{B})$

4-FUERZA ENTRE CORRIENTES PARALELAS. DEFINICIÓN DE AMPERIO.

Hemos trabajado con cuatro elementos de corriente: carga en movimiento, corriente rectilínea, espira y solenoide, sabemos que todos ellos generan diferentes campos magnéticos. Pero ¿qué ocurre si colocamos uno cerca de otro?. Lógicamente cada uno genera un campo y resulta cada uno dentro del campo del otro y por lo tanto cada uno sufre una fuerza magnética como resultado del campo que genera el otro, dicha fuerza puede ser atractiva o repulsiva según como circule la corriente en cada uno.

Vamos a ver el caso más común de dos corrientes rectilíneas colocadas paralelas una frente a la otra:

a) La corriente va en el mismo sentido en los dos cables paralelos:



Considerando el campo que genera cada conductor :

$$\vec{B} = \frac{\mu}{2\pi r} \cdot (\vec{u}_T \times \vec{u}_r) \text{ llamando } d \text{ a la distancia entre los dos conductores queda:}$$

En módulo: $\vec{B}_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d}$

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d}$$

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d}$$

La fuerza que recibe cada conductor por el hecho de estar sumergido en el campo que genera el otro:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B}) \text{ Teniendo en cuenta que al colocar los cables paralelos entre sí el vector longitud y el vector campo salen perpendiculares y } \sin 90^\circ = 1 \text{ en módulo la fuerza sobre cada uno queda:}$$

$F_1 = I_1 \cdot L \cdot B_2$

$$F_2 = I_2 \cdot L \cdot B_1$$

$$F_2 = I_2 \cdot L \cdot B_1$$

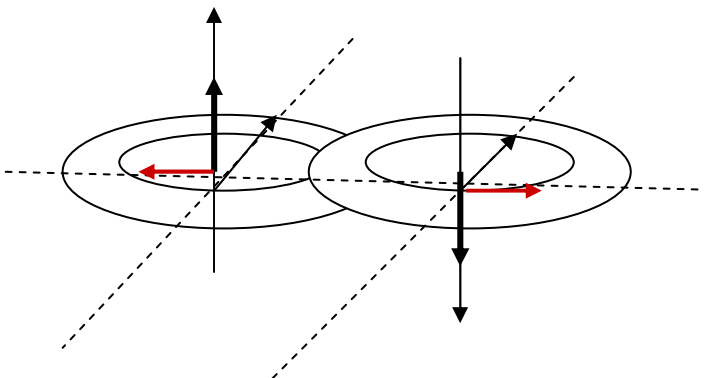
Sustituyendo en cada caso el campo por su valor:

$$F_1 = I_1 \cdot L \cdot \frac{\mu I_2}{2\pi d}$$

$$F_2 = I_2 \cdot L \cdot \frac{\mu I_1}{2\pi d}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = I_1 \cdot L \cdot \frac{\mu I_2}{2\pi d} \\ F_2 = I_2 \cdot L \cdot \frac{\mu I_1}{2\pi d} \end{array} \right\} F_1 = F_2 = L \cdot \frac{\mu I_1 \cdot I_2}{2\pi d}$$

b) La corriente circula en sentidos opuestos en los cables paralelos



Corrientes paralelas en el mismo sentido se atraen y corrientes paralelas que circulan en sentidos contrarios se repelen.

Se cumple la ley de acción y reacción :la fuerza que ejerce el cable 1 sobre el cable 2 es igual y en sentido contrario a la que hace el cable 2 sobre el 1.

Definición de amperio: Si por dos conductores rectilíneos por los que circulan corrientes de igual intensidad están separados 1 m y experimentan una fuerza de $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ por metro de conductor en el vacío, la intensidad de corriente que circula por cada uno de ellos es de un AMPERIO (A).

5-INDUCCIÓN MAGNÉTICA. LEY DE FARADAY Y LENZ

Faraday observó que si construimos un circuito formado por un conductor y un galvanómetro para ver si circula o no corriente, y no le conectamos ningún generador o pila, lógicamente no circula corriente. Pero si movemos un imán cerca del circuito acercándolo o alejándolo del mismo se produce corriente en el circuito. De igual forma si es el circuito el que se mueve cerca del imán también se genera corriente.

Igual que una corriente eléctrica genera un campo magnético, un campo magnético variable es capaz de generar corriente eléctrica

Observó Faraday en sus experimentos que si el imán se aleja del circuito se genera una corriente en sentido contrario a la que se genera cuando el imán se acerca.

Moviendo un circuito por el que pasa corriente cerca de otro que no está conectado a ningún generador se genera corriente inducida en el que no está conectado, no hay que olvidar que las corrientes eléctricas generan campos magnéticos igual que lo imanes.

Abriendo y cerrando el interruptor de un circuito unido a un generador cerca de otro que no lleva corriente se genera corriente en este último.

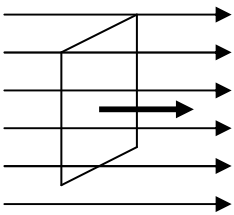
En cualquiera de estos casos si el imán o los circuitos no se mueven o no se abre y se cierra el interruptor, es decir, si el campo magnético no va cambiando no se genera corriente eléctrica.

Es posible generar corriente eléctrica a partir de un campo magnético si este es variable.

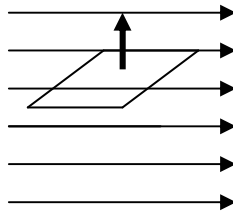
Es posible explicar estos fenómenos definiendo un nuevo concepto:

FLUJO MAGNÉTICO ϕ : representa el número de líneas de fuerza del campo magnético que atraviesan una determinada superficie introducida en dicho campo. es directamente proporcional a la intensidad del campo y a la superficie introducida en él. Es el producto escalar entre la intensidad de campo y el vector que determina la superficie:

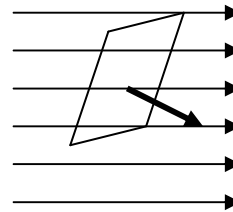
$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \text{ es decir } \phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \text{ sus unidades son Tesla} \cdot \text{m}^2 = \text{Weber (Wb)}$$



El flujo es máximo cuando la superficie es perpendicular al campo ya que el vector superficie queda paralelo al campo y $\cos 0^\circ = 1$: $\phi = B \cdot S$



El flujo es cero cuando la superficie es paralela al campo, ya que el vector superficie resulta perpendicular al campo y $\cos 90^\circ = 0$



Para un ángulo cualquiera el flujo se calcula:

$$\phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Ejemplo :Una espira cuadrada de 10 cm de lado puede girar alrededor del eje de coordenadas dentro de un campo magnético uniforme de 0,1 T dirigido en el sentido positivo del eje de abscisas calcula el valor del flujo si forma un ángulo de 30° , 90° y 180° y si la espira gira a razón de $\pi \text{ rad/s}$ escribe el flujo en función del tiempo.

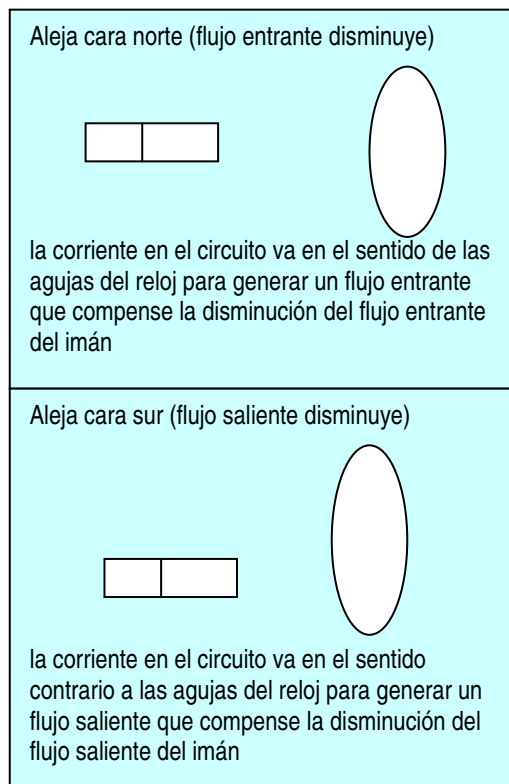
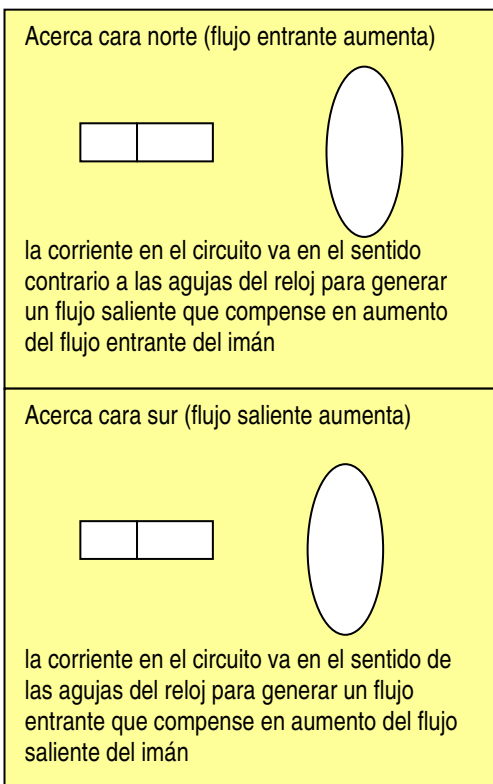
Entonces según lo observado por Faraday es posible obtener corriente eléctrica a partir de un campo magnético si movemos al que genera el campo magnético (imán o corriente eléctrica)(**INDUCTOR ES EL QUE GENERA EL CAMPO MAGNÉTICO QUE ORIGINA CORRIENTE ELÉCTRICA EN OTRO**), o lo que es lo mismo si movemos aquel sobre el que queremos producir la corriente (**INDUCIDO, CIRCUITO POR EL QUE CIRCULA CORRIENTE DEBIDO A UN CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE EXTERNO**)

LEY DE FARADAY: si varía el flujo magnético a través de un conductor se genera en él una corriente eléctrica llamada corriente inducida cuya fuerza electromotriz es directamente proporcional a la variación del campo magnético

LEY DE LENZ: el sentido de la corriente inducida se opone a la causa que lo produce.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi}{dt} \text{ la fuerza electromotriz}(\mathcal{E}) \text{ es el voltaje(diferencia de potencial) que hace}$$

funcionar el circuito se mide en VOLTIOS

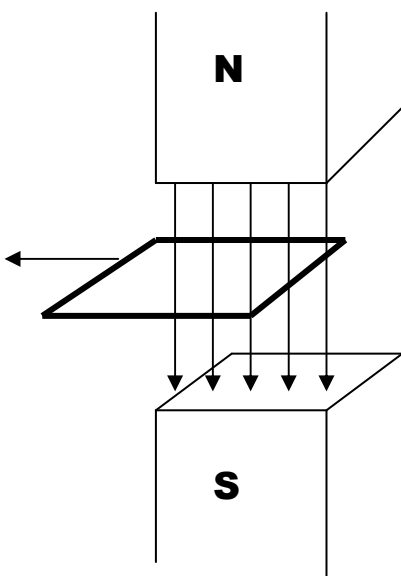


En la espira inducida se crea un nuevo campo magnético que contrarresta siempre el efecto del campo magnético inductor. En realidad **la ley de Lenz no es más que otra forma de aplicar el Principio de conservación de la energía.**

Si no fuera así, si a un imán con cara norte que se aproxima, por ejemplo, se le opusiera una cara sur en la espira atrayendo el imán que se acerca, a la vez que se origina corriente eléctrica se originaría trabajo de atracción y se crearía trabajo de la nada, lo cual no es posible.

En realidad lo que ocurre es que al acercar el imán la espira se opone y para acercarse debe realizar un trabajo ya que es repelido, este trabajo contra el campo se gasta al irse acercando y se va transformando en energía eléctrica. Cuanto mayor es el trabajo que realizamos mayor será la energía eléctrica por unidad de carga (diferencia de potencial o fuerza electromotriz) que consigamos, logrando así una mayor intensidad de corriente por el circuito.

Se puede conseguir el mismo efecto si el campo magnético es fijo y lo que se mueve es el circuito dentro del campo (de hecho es lo más típico ya que los campos se generan a partir de grandes imanes que difícilmente se podrían mover).



Si vamos sacando la espira el flujo disminuye, como se trata de un flujo entrante, la corriente inducida en la espira irá en el sentido de las agujas del reloj para generar otro flujo entrante que compense la disminución.

Llamamos x al espacio recorrido por la espira dentro del campo, es por lo tanto la porción de espira dentro del campo en cada momento.

L es la longitud de cada lado de la espira y vectorialmente \vec{L} va en el sentido de la corriente.

Como ya sabemos la fuerza que sufre un cable eléctrico sumergido en un campo

magnético es: $\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$ como el $\text{sen} 90^\circ = 1$ queda $F = I \cdot L \cdot B$.

La superficie de espira sumergida en el campo va cambiando a medida que la movemos pero sería: $S = L \cdot x$

Empleando la definición de flujo magnético: $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$ como $\text{cos} 0^\circ = 1$ queda

$$\phi = B \cdot S = B \cdot L \cdot x \text{ y aplicando la ley de Faraday:}$$

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{dB \cdot L \cdot x}{dt} \text{ como tanto el campo como la longitud de la espira}$$

$$\text{son constantes: } \varepsilon = B \cdot L \cdot \frac{dx}{dt} = B \cdot L \cdot v \quad \boxed{\varepsilon = B \cdot L \cdot v}$$

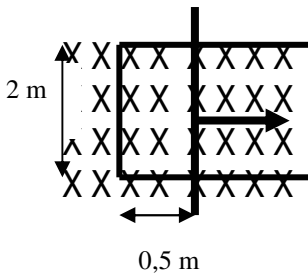
La fuerza electromotriz que hace circular la corriente por la espira es directamente proporcional al campo magnético, a la longitud de la espira y a la velocidad con que esta se mueve dentro del campo.

Como estamos trabajando con corrientes eléctricas es conveniente recordar que la ley fundamental de las corrientes eléctricas es :

Ley de Ohm : la intensidad que circula por un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial del mismo (fuerza electromotriz) e inversamente proporcional a la resistencia que ofrece el circuito al paso de la corriente. $V= I.R$

o lo que es lo mismo $I = \frac{V}{R}$ $V= \epsilon$ se mide en voltios (v), la intensidad se mide en amperios(A) y la resistencia en ohmios (Ω)

Ejemplo: una espira rectangular posee un lado móvil que se desplaza por el interior de un campo magnético uniforme de 1,5 T como el de la figura, con una velocidad constante de 3m/s debido a un agente externo. Calcula la f.e.m. (fuerza electromotriz) inducida, la intensidad que circula si $R=0,5$ ohmios , el sentido de la corriente y la fuerza que debe realizar el agente externo para que se mueva con esa velocidad constante.

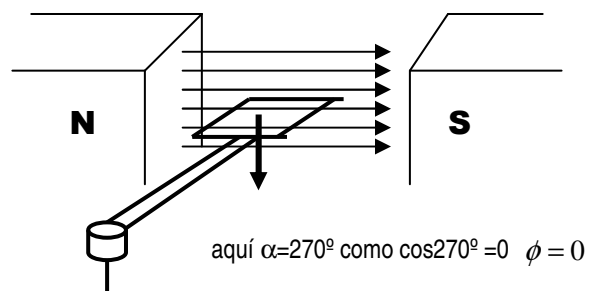
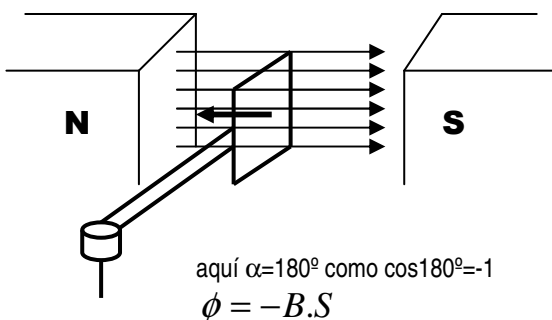
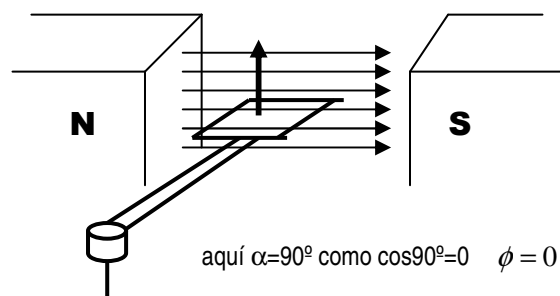
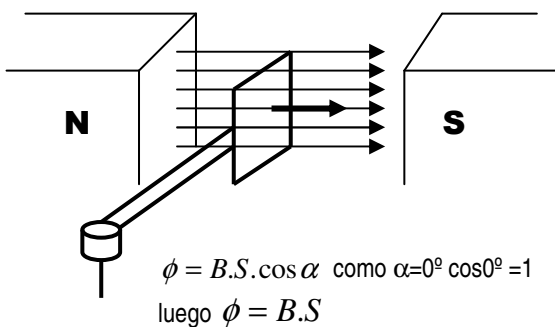


6-GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA. ALTERNADORES Y TRANSFORMADORES.

A) ALTERNADORES:

Una importante aplicación del fenómeno de inducción magnética es la producción de corriente alterna, de una manera muy simple es posible conseguir generadores de corriente alterna de gran potencia llamados ALTERNADORES.

Constan de una bobina con un elevado número de espiras enrolladas que por acción de un motor giran con velocidad constante dentro de un campo magnético uniforme. En la bobina se genera una fuerza electromotriz inducida debida a la variación periódica del flujo que la atraviesa. Los extremos de la bobina del alternador se unen a dos anillos metálicos que giran con ella sobre el mismo eje. Los anillos se conectan al circuito exterior a donde transmite la corriente por medio de unas piezas metálicas llamadas escobillas.



La espira gira con velocidad constante por lo que el ángulo descrito será: $\alpha = \omega \cdot t$ de modo que el flujo se puede expresar como: $\phi = B \cdot S \cdot \cos \omega \cdot t$ (Weber) aplicando la ecuación de Faraday :

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{dB \cdot S \cdot \cos \omega \cdot t}{dt} = -B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin \omega \cdot t \quad (\text{voltios})$$

se origina una fuerza electromotriz variable cuyo valor

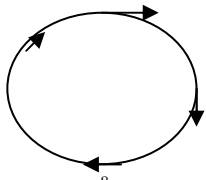
$$\text{máximo } \varepsilon_0 = B \cdot S \cdot \omega = B \cdot S \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} = B \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{voltios}$$

El valor de la fuerza electromotriz variará periódicamente con el tiempo y es proporcional a la velocidad angular de giro de la bobina. Pasa por valores máximos y cero alternativamente. La fuerza electromotriz y por tanto la intensidad de corriente cambian dos veces de signo con el tiempo en cada vuelta completa, es decir cambia de sentido la corriente inducida 2f veces (donde f es la frecuencia de giro y la frecuencia de cambio de la corriente) .

Una corriente eléctrica que cambia de sentido con el tiempo de forma periódica es una corriente alterna.

La frecuencia de corriente en España es de 50Hz.

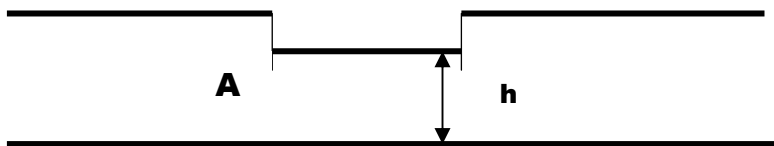
PROBLEMAS DE ELECTROMAGNETISMO 2º Bachillerato.

- Una partícula tiene una carga de $2 \cdot 10^9 \text{C}$ cuando se mueve con una velocidad $\vec{V} = 10^4 \vec{j} + 10^4 \vec{k}$ m/s y un campo magnético uniforme ejerce sobre ella una fuerza $\vec{F}_1 = -F_x \vec{i}$ N y cuando la partícula se mueve con una velocidad $\vec{V}_2 = 2 \cdot 10^4 \vec{i}$ m/s sufre una fuerza debida a ese mismo campo magnético que es $\vec{F}_2 = 4 \cdot 10^{-5} \vec{j}$ N calcula el valor de la inducción magnético o intensidad de campo magnético.
- Una partícula con carga eléctrica se mueve en un campo magnético uniforme según la trayectoria del dibujo, indica la dirección y sentido del campo magnético en el que se encuentra. Si varía el campo magnético de manera que el radio de giro es mayor ¿a aumentado o disminuido el campo? 
- Un electrón penetra perpendicularmente a las líneas de fuerza de un campo magnético de $6 \cdot 10^{-8} \text{T}$ con una velocidad de $1,5 \cdot 10^3$ m/s calcular el radio de la trayectoria, siendo la masa del electrón $9,1 \cdot 10^{-31} \text{Kg}$ y su carga $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- Un electrón penetra normalmente en un campo uniforme de $15 \cdot 10^{-4} \text{T}$, si su velocidad es de $2 \cdot 10^6 \text{m/s}$ calcular la fuerza que actúa sobre el electrón, el radio de la órbita que describe y el tiempo que tarda en recorrer dicha órbita, siendo la masa del electrón $9,1 \cdot 10^{-31} \text{Kg}$ y su carga $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- En una región del espacio existe un campo eléctrico uniforme de valor $0,5 \cdot 10^4 \text{v/m}$ y un campo magnético uniforme de valor $0,3 \text{T}$ siendo sus direcciones perpendiculares entre si. a)¿Cuál deberá ser la velocidad de una partícula cargada que penetra en esa región en dirección perpendicular a ambos campos para que pase a través de la misma sin ser desviada? ¿si la partícula es un protón de masa $1,672 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$ ¿cuál debe ser su energía cinética para no ser desviado?
- Un electrón se mueve con una velocidad constante v y penetra en un campo magnético uniforme B de tal modo que describe una trayectoria circular de radio R. Si la intensidad de campo magnético disminuye a la mitad y la velocidad aumenta al doble determinar como varía el radio de la órbita y la velocidad angular.
- Un protón y un electrón se mueven perpendicularmente a un campo magnético uniforme con igual velocidad ¿qué tipo de trayectoria realiza cada uno de ellos? ¿como es la trayectoria que realiza el protón en relación con la que realiza el electrón?. Razona tu respuesta. Se considera que la masa del protón es 1836 veces la masa del electrón.
- Un protón y una partícula alfa cuya carga es la de dos protones y cuya masa es 4 veces la del protón se mueven en un campo magnético uniforme según circunferencias de igual radio. Compara los valores de : a)sus velocidades b)sus energías cinéticas c)sus momentos angulares.
- En un determinado instante una carga de $2 \mu\text{C}$ posee una velocidad de $\vec{V} = 2\vec{i} - 3\vec{j} + 2\vec{k}$ m/s en una región en que existe un campo eléctrico $\vec{E} = \vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}$ V/m y un campo magnético $\vec{B} = 3\vec{i} - 2\vec{j} + \vec{k}$ T calcular la fuerza ejercida sobre la carga en ese momento.
- Un protón con una energía cinética de 1 MeV se mueve perpendicularmente a un campo magnético de 1,5T. Calcúlese la fuerza que actúa sobre esta partícula sabiendo que su masa es de $1,67 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$ y su carga $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. $1 \text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$
- Un protón incide perpendicularmente a un campo magnético uniforme a la velocidad de $2 \cdot 10^6 \text{m/s}$. Calcula el valor de la inducción del campo y la aceleración si el protón está sometido a una fuerza de $2 \cdot 10^{-11} \text{N}$ sabiendo que su masa es de $1,67 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$ y su carga $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

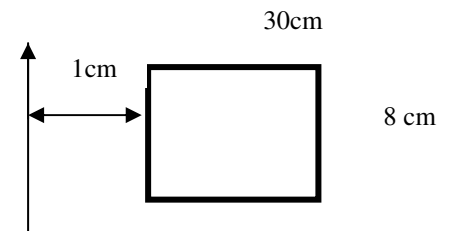
12. Un electrón se mueve en una región en la que están superpuestos un campo eléctrico $\vec{E} = 2\vec{i} + 4\vec{j}$ V/m y un campo magnético $\vec{B} = 0,4\vec{k}$ T. Determina para cuando la velocidad del electrón es $\vec{V} = 20\vec{i}$ m/s: las fuerzas que actúan sobre el electrón debidas al campo eléctrico y al magnético y la aceleración que adquiere el electrón siendo la masa del electrón $9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg y su carga $1,6 \cdot 10^{-19}$ C
13. Una partícula de masa 0,1 Kg y carga 10^{-6} C se mueve con una velocidad de 10^6 m/s. Calcular el campo magnético, electrostático y gravitatorio que crea en un instante dado en un punto situado a 10 m de distancia.
14. Por un alambre recto y largo circula una corriente de 3A. Un electrón viaja con una velocidad de $6 \cdot 10^6$ m/s paralelamente al alambre y en el mismo sentido de la corriente a 0,05 m del alambre ¿qué fuerza ejerce el campo magnético sobre el electrón en su movimiento?
15. Un alambre recto homogéneo de 50 cm de longitud y 20 g de masa por el que circula una cierta intensidad de corriente I se encuentra sumergido en un campo magnético de 0,7 T como el del dibujo (hacia dentro) determina el valor y el sentido de la intensidad que circula para que se mantenga en equilibrio.



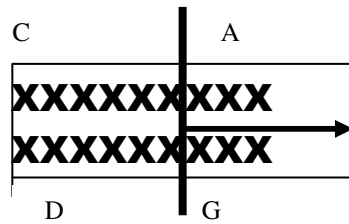
16. Un solenoide con un núcleo de aire de 5 cm de largo tiene 4000 vueltas enrolladas en él, calcula el campo magnético en su interior cuando circula una corriente de 0,25A.
17. Un alambre de 1m de largo lleva una corriente de 10 A y forma un ángulo de 30° con un campo magnético de 1,5 T calcular la magnitud y dirección de la fuerza que actúa sobre el conductor.
18. Dos conductores rectilíneos y paralelos, de gran longitud A y C se colocan verticalmente y a una distancia de 8 cm. Por el conductor A circula una corriente de 30A de intensidad y por el C otra de 20A, ambas hacia arriba. Un tercer conductor de gran longitud D, se sitúa paralelamente entre los otros dos, a 3 cm de A y a 5 cm de C, por el circulan 10 A de intensidad hacia abajo. Hallar la fuerza aplicada sobre el conductor D en 25 cm de longitud.
19. Dos alambres A y B rectos y paralelos están separados 20 cm y cada uno lleva una corriente del mismo sentido y de valor 100 A. Encontrar la inducción magnética en un punto de cada alambre originada por el otro, la fuerza ejercida sobre un trozo de 4,2 m de largo en cada uno.
20. Por dos conductores rectos y paralelos circulan intensidades de corriente doble por uno que por otro. Las cargas circulan por ellos en sentidos opuestos. La distancia entre ambos es D. Razonar la posición de los puntos en los que el campo magnético es nulo.
21. Dos conductores muy largos, paralelos y horizontales, separados por una distancia de $1,1 \cdot 10^{-3}$ m están situados en un plano vertical tal y como se ve en el dibujo. El tramo AB es un hilo rígido de 1 m de longitud y de densidad 0,05g/cm que cierra el conducto superior y que puede deslizarse verticalmente mediante contactos móviles. Por los dos conductores circula una corriente de 50 A ¿a qué altura se mantendrá en reposo el conductor móvil respecto al conductor inferior? ¿Cuál deberá ser el sentido de las corrientes?



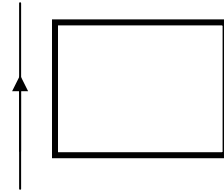
22. El alambre rectilíneo e indefinido del dibujo lleva una corriente $I_1=30$ A. La espira rectangular lleva una corriente $I_2=20$ A calcula la fuerza resultante sobre la espira debida al alambre
23. Calcula el valor de la inducción de un campo magnético uniforme que formando un ángulo de 30° con una espira rectangular de 5×25 cm² produce un flujo de $2 \cdot 10^{-5}$ Weber.



24. Un anillo conductor de resistencia 20Ω y área 300 cm^2 se somete a un campo magnético perpendicular al plano del anillo y de módulo variable con el tiempo de la forma $B=a \cdot t^2$ donde $a=0,01 \text{ T/s}$. Calcula la potencia disipada en el instante $t=5$ s
25. Una varilla conductora AG de 0,5m de longitud se apoya sobre dos railes CA y DG. El conjunto está situado en un campo magnético uniforme de 0,5 T perpendicular al plano de la figura y hacia dentro. Calcula la fem inducida en la varilla si se desplaza a una velocidad de 4m/s. Suponiendo la resistencia del circuito constante $0,2 \Omega$ calcula la fuerza que hay que aplicar sobre la varilla para que se mueva con esa velocidad constante. Calcula el trabajo realizado en la unidad de tiempo por dicha fuerza y calcula la cantidad de calor desprendida por unidad de tiempo en el circuito.



26. Se deja caer una barra de 50 cm libremente dentro de un campo horizontal y hacia dentro, si $B=2 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}$ determinar la expresión de cómo varía la fem. inducida en función del tiempo.
27. Una espira cuadrada de alambre conductor está cerca de un cable recto e indefinido recorrido por una corriente I como se observa en el dibujo, indica razonadamente en qué sentido circulará la corriente inducida en la espira si: a) Si aumenta la intensidad de corriente I . b) Si dejando la intensidad constante se desplaza la espira hacia la derecha manteniéndose en el mismo plano.



28. Una bobina de 100 espiras tarda 0,05 s en pasar desde un punto en donde el flujo magnético vale $20 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ a otro punto donde el flujo vale $5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$. Hallar la fem. inducida.
29. Un alambre de cobre de 10 cm de longitud perpendicular a un campo magnético de 0,8 T se mueve perpendicularmente con una velocidad de 2m/s. Hallar la fem. inducida en el alambre.
30. Una bobina de 50 espiras de 200 cm^2 cada una gira alrededor de un eje contenido en un plano con una velocidad constante de 300rpm perpendicularmente a un campo magnético uniforme de 0,5T hallar la fem inducida.