Tema IV : ELECTROMAGNETISMO

A. CAMPO ELÉCTRICO

1. Carga eléctrica

Bajo ciertos procedimientos experimentales los cuerpos adquieren una propiedad llamada carga, que da lugar a interacciones (fuerzas). Estos procedimientos son :
- Frotamiento.
- Inducción : acercar un cuerpo cargado a uno neutro sin llegar a contactar, conectando el neutro a tierra[1], y al desconectarlo de tierra el neutro queda cargado.

La carga eléctrica radica en las partículas constituyentes del átomo (protones y electrones).
Hay dos tipos de carga : negativa (electrones) y positiva (protones), dado que hay fuerzas atractivas y repulsivas.
Normalmente los cuerpos son neutros, tienen el mismo número de protones y de electrones. Se cargan cuando ganan o pierden electrones, las únicas partículas móviles.
La carga eléctrica se mide en **culombios** (S.I.). En el sistema electrostático la unidad de carga es la **unidad electrostática de carga** (u.e.e.).

2. Ley de Coulomb

Consideremos dos cargas eléctricas puntuales separadas una cierta distancia : "Estas cargas se ejercen entre sí fuerzas que son directamente proporcionales al producto de las cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia".

$$\boxed{F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}}$$

Las fuerzas son atractivas si las cargas tienen distinto signo y si tienen el mismo repulsivas.
Las dos cargas ejercen fuerzas.

- Semejanzas con las fuerzas gravitatorias : la estructura matemática.
- Diferencias con las fuerzas gravitatorias :

- La constante de proporcionalidad. K depende del medio. K (vacío) = $K_0 = 9 \cdot 10^9$ N·m^2/C^2.
- Las fuerzas eléctricas pueden ser tanto atractivas como repulsivas porque hay dos tipos de cargas.
- La intensidad : las eléctricas son mucho más intensas entre partículas que las gravitatorias.

3. Intensidad de campo eléctrico

Consideremos una carga Q en el origen de coordenadas y otra carga q que viene dada por el vector $\vec{r}$. $\vec{u}$ = vector unitario ; marca la dirección $|\vec{r}| = r$
Fuerza ejercida por cualquier carga sobre otra de 1 C positivo situada en el punto del espacio donde se halle el campo :

$$\boxed{\vec{F}Q \rightarrow q = K \frac{Qq}{r^2} \vec{u}}$$

Intensidad de campo eléctrico : es la fuerza ejercida por unidad de carga.

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{KQ}{r^2} \vec{u}} \text{ (N/C)}$$

Tiene simetría radial esférica hacia fuera si la carga es positiva y hacia dentro si es negativa.

[1] Tierra : cualquier cuerpo que puede absorber cargas.

Si hay varias cargas puntuales que ejercen campo distribuidas en el espacio, el campo eléctrico de un punto es la <u>suma vectorial</u> de los campos creados individualmente.

Culombio : carga que, situada a un metro de otra idéntica, produce fuerzas iguales a $9 \cdot 10^9$ N en el vacío. $K_0 = 9 \cdot 10^9$ S.I.
u. e. e. (unidad electrostática de carga) : carga que, situada a 1 cm de otra idéntica, produce fuerzas de 1 dina. $K_0 = 1$ sistema electrostático $\quad$ 1 N = 10^5 dinas

4. Potencial eléctrico : voltaje

El campo eléctrico es conservativo, por lo que lleva asociada una energía potencial cuya ecuación vamos a deducir. Si no actúan otras fuerzas se conservará la energía mecánica.
$\vec{r}$ = posición inicial $\qquad$ x = distancia variable de la carga al origen $\qquad |\vec{r}| \le x \le \infty$

$\Delta W = E_{PA} - E_{PB}$ $\qquad$ POR SER CONSERVATIVA

$$E_{Pa} - E_{Pb} = \int_A^A \vec{F} \cdot d\vec{r} \qquad \left|\vec{F}\right| = K\frac{Qq}{x^2} \qquad |\vec{r}| = x$$

$$E_{PA} - E_{PB} = \int_r^\infty K\frac{Qq}{x^2} \cdot dx = KQq \cdot \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = KQq\left[-\frac{1}{x}\right]_r^\infty = -KQq\left[\frac{1}{x}\right]_r^\infty = -KQq\left[\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r}\right]$$

$$E_P(\vec{r}) - E_P(\infty) = \frac{KQq}{r} \qquad E_P(\infty) = 0 \text{ por convenio} \qquad \boxed{E_P(\vec{r}) = \frac{KQq}{r}}$$

Voltaje : $\boxed{V = \frac{E_P}{q} = \frac{KQ}{r}}$ (voltios)

En caso de que haya varias cargas el voltaje total es la suma aritmética de los voltajes parciales.

- **Trabajo para desplazar una carga de un punto a otro**

$\Delta W = E_{PA} - E_{PB} \qquad E_P = q \cdot V$

$\Delta W = qV_A - qV_B \qquad \boxed{\Delta W = q(V_A - V_B)}$ trabajo realizado por el campo

$\boxed{\Delta W = q(V_B - V_A)}$ trabajo que se realiza contra el campo

<u>Conductores y condensadores</u>

<u>**Conductor**</u> : material que tiene cargas libres, es decir, que pueden desplazarse por dicho medio (como los metales). Alcanza espontáneamente un estado de equilibrio, esto es, la fuerza que se ejerce sobre cualquier carga en su interior es 0, luego el campo eléctrico también es 0 (E = F/q = 0). Si el conductor tiene carga neta (que no es cero) se puede demostrar que el exceso de carga se acumula en la superficie, porque si no el campo en el interior no podría ser cero. Al ser cero el campo en el interior todos los puntos están al mismo voltaje.

$\Delta W = q(V_A - V_B) = 0 \qquad V_A - V_B = 0 \qquad V_A = V_B$

Capacidad del conductor: $\boxed{C = \frac{Q}{V}}$ (faradios)

<u>**Condensador**</u> : sistema formado por dos conductores que se cargan con cargas del mismo valor y de signo contrario, cuya distribución geométrica debe ser de forma que el campo eléctrico quede delimitado al espacio comprendido entre un conductor y otro. El condensador más común son dos placas planas paralelas.
E = intensidad de campo (constante) $\qquad V_A - V_B = E \cdot D$

Capacidad del condensador : $\boxed{C = \dfrac{Q}{V_A - V_B}}$ (faradios) → condensadores en general

$\boxed{C = \dfrac{1}{4\pi K} \cdot \dfrac{S}{D}}$ → condensadores con placas planas

El condensador almacena una energía y para cargarlo hay que conectarlo a una batería.

$\boxed{\Delta W = E = \dfrac{1}{2} C \left(V_A - V_B\right)^2}$ E = energía.

5. Circuitos simples : Ley de Ohm

Corriente eléctrica : movimiento de portadores cargados (electrones) a través de un conductor.

- **Diferencia de voltaje** (ΔV) : es la causante de la corriente pues al crear un campo eléctrico hay fuerzas y éstas producen movimiento. ΔV → E → F
- **Intensidad** : cantidad de carga que atraviesa la sección de un conductor por unidad de tiempo.

$$\boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}} \text{ (amperios)}$$

Supongamos un cable de sección S por el que discurre un número n de partículas cargadas por unidad de volumen, con q por carga de cada una y velocidad media v. El volumen que ocupan es un cilindro con base S y altura v · Δt. Por lo tanto, el número total de partículas contenidas en el cilindro es N = n · V = n · s · v · Δt.

Como ΔQ = N · q = n · q · s · v · Δt, y como n · q · s = J = densidad de corriente, entonces ΔQ = J · s · Δt.

En consecuencia : $I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \dfrac{J \cdot s \cdot \Delta t}{\Delta t}$ → $\boxed{I = J \cdot s}$

- **Resistencia**

Ley de Ohm : $\boxed{J = \sigma \cdot E}$ σ = constante de conductividad del medio

Supongamos un trozo de cable conductor cuya distancia entre los extremos A y B es L y cuya sección es S.

$V_A - V_B = \Delta W(1C)$

$\Delta W(1C) = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_A^B E \cdot dr = E \cdot \int_A^B dr = E \cdot L$ → se puede operar con módulos ya que el vector que marca la distancia entre A y B y el campo creado son paralelos.

$V_A - V_B = E \cdot L = \dfrac{J}{\sigma} \cdot L = \dfrac{I / S}{\sigma} \cdot L = \dfrac{I \cdot L}{r \cdot S}$

Resistencia : $R = \dfrac{1}{r} \cdot \dfrac{L}{S}$ $\boxed{V_A - V_B = I \cdot R}$

- **Energía disipada en un cable**

$\Delta W = q\left(V_A - V_B\right) = q \cdot I \cdot R$ $I = \dfrac{q}{t}$ → $q = I \cdot t$

Energía : $\boxed{\Delta W = I^2 \cdot R \cdot t}$ Potencia : $\boxed{P = \dfrac{\Delta W}{t} = I^2 \cdot R}$

El trabajo o energía disipado en un cable se transforma en calor

- ***Circuitos simples***

Un circuito simple se compone de dos terminales eléctricos de distinto voltaje. El de voltaje mayor es el terminal positivo, y el de menor, el negativo. Si los unimos por un cable y suponemos que las cargas que se mueven son las positivas ; entonces las cargas dejarán de moverse cuando se nivelen los dos voltajes (corriente transitoria).

Para que haya una corriente permanente debe haber un dispositivo que de energía no eléctrica para llevar de nuevo las cargas del polo negativo al positivo y cerrar el ciclo. Este dispositivo se llama generador (ej. : pila). En definitiva, el generador aporta energía al circuito que finalmente se convierte en energía eléctrica.

Se llama fuerza electromotriz del generador a la energía que aporta el generador por unidad de carga que transporta. ε (f.e.m.) no es energía eléctrica.

$\varepsilon = \dfrac{\Delta W}{q}$ (voltios) $\qquad \Delta W = \varepsilon \cdot q$

En un circuito eléctrico hay al menos dos resistencias, una externa (R) provocada por los cables y demás objetos y otra interna (r) de la propia pila.

Principio de conservación de la energía aplicado a este caso : la energía que suministra el generador debe ser igual a la que se disipa en las resistencias.

ΔW (aportado por el generador) = $\varepsilon \cdot q$

ΔW (disipado en las resistencias) = $I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t$

$\varepsilon \cdot q = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t \qquad \varepsilon \cdot q = I^2 \cdot (R + r) \cdot t \qquad q = I \cdot t$

$\varepsilon \cdot I \cdot t = I^2 \cdot (R + r) \cdot t \qquad \boxed{I = \dfrac{\varepsilon}{R + r}}$ Ley de Ohm para el circuito simple

$\boxed{I = \dfrac{\Delta\varepsilon_i}{\Delta R_i + \Delta r_i}}$ Ley de Ohm generalizada a cualquier circuito

Hay que apuntar que las pilas dan corriente del polo positivo al polo negativo de forma natural. Por ese motivo se debe coger un sentido arbitrario de recorrido de cargas y unas pilas tendrán ε positiva y otras ε negativa.

B. CAMPO MAGNÉTICO

1. Magnetismo natural : imanes

Desde épocas remotas se conoce la existencia de ciertos minerales de hierro (magnetita) que tienen la propiedad de ejercer fuerzas sobre otros cuerpos similares. Las fuerzas pueden ser atractivas o repulsivas. Dicha propiedad se denominó magnetismo.

Más tarde se comprobó que cualquier trozo de hierro sometido a la presencia de magnetita se comporta de la misma manera (se magnetiza). A los minerales de magnetita que tienen esta propiedad se les llama imanes naturales. También hay imanes artificiales, trozos de hierro que han adquirido esta propiedad al someterlos a la presencia de otros imanes.

Todos los imanes tienen dos polos, el Norte (N.) y el Sur (S). Si se acercan dos imanes con polos opuestos se atraen y con polos iguales se repelen.

Los polos son las zonas del imán donde que el magnetismo es más acusado, normalmente los extremos. No se pueden producir polos magnéticos aislados partiendo un imán en dos, se obtienen dos nuevos imanes con dos polos cada uno.

Un imán y un circuito eléctrico también se atraen o repelen, lo mismo que ocurre al acercar dos circuitos eléctricos. Esto nos hace pensar que la causa del magnetismo es la corriente eléctrica y que en el imán más sencillo es un circuito eléctrico en forma circular. Los propios átomos de el imán tienen corrientes al moverse los electrones de forma coordinada.

2. Campo magnético : intensidad

Consideremos un imán o un circuito eléctrico recorrido por una corriente I_1. Este circuito va a crear un campo magnético $\vec{B}$ en todo el espacio circundante. Si este campo magnético actúa sobre otro imán o circuito eléctrico produce sobre ellos una fuerza. En esto se produce un paralelismo con las cargas eléctricas.

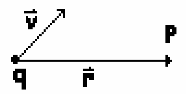
Las líneas del campo B son cerradas, salen del polo norte y entran por el polo sur. Por ello no se pueden producir polos aislados.

Las unidades de campo magnético son las teslas : T = N/A·m ($F = I \cdot L \cdot B$)

3. Campos magnéticos creados por :

a) Carga móvil

Está basado en las leyes de Laplace o Biot y Savart. Consideremos una partícula cargada que viaja con una velocidad v y que está separada de un punto P por una distancia r. El campo magnético creado en P será :

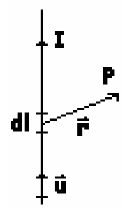


$$\boxed{\vec{B} = K' \cdot q \cdot \frac{(\vec{v} \wedge \vec{r})}{r^3}}$$

$K' = \mu/4\pi = 10^{-7}$ S.I.

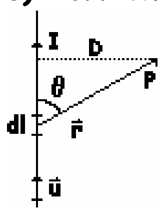
b) Elemento de corriente

También está basado en las leyes de Laplace o Biot y Savart. Consideremos un cable eléctrico recorrido por una corriente con intensidad I. De este cable cogemos un trozo de cable infinitesimal (dl). Este trozo de cable estará separado de un punto P por una distancia r. El vector unitario $\vec{u}$ marca la dirección y el sentido de dl.



$$\boxed{d\vec{B} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{(\vec{u} \wedge \vec{r})}{r^3}}$$

c) Corriente rectilínea



$$d\vec{B} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{(\vec{u} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

$d\vec{B}$ se dirige en dirección $(\vec{u} \wedge \vec{r})$.

Todos los campos magnéticos creados por esta corriente son perpendiculares al plano creado por $\vec{u}$ y $\vec{r}$ y con el mismo sentido, por lo que se pueden sumar aritméticamente sus módulos.

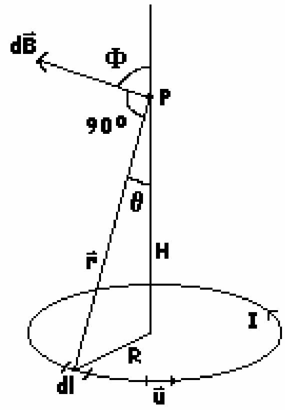
$$d\vec{B} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{|\vec{u}| \cdot |\vec{r}| \cdot \operatorname{sen}\theta}{r^3} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{r \cdot \operatorname{sen}\theta}{r^3} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{\operatorname{sen}\theta}{r^2}$$

$$\vec{B} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{K' \cdot I \cdot dl \cdot \operatorname{sen}\theta}{r^2} \qquad \boxed{B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{D}}$$

El campo magnético creado por esta corriente rectilínea en el punto P será perpendicular al plano formado entre el punto y la corriente y con el sentido del vector $\vec{u} \wedge \vec{D}$ (regla del sacacorchos).

Las líneas de campo son círculos concéntricos al cable.

d) Espira circular en un punto del eje



$$d\vec{B} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{(\vec{u} \wedge \vec{r})}{r^3} = K' \cdot I \cdot dl \cdot \frac{|\vec{u}| \cdot |\vec{r}| \cdot \operatorname{sen} 90^{\circ}}{r^3} = \frac{K' \cdot I \cdot dl}{r^2}$$

$\theta + \Phi + 90^{\circ} = 180^{\circ}$ $\qquad\qquad$ $\theta + \Phi = 90^{\circ}$

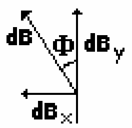
Todos los dBx se contrarrestan al girar circularmente en el cono, pero todos los dBy van dirigidos hacia arriba y se suman.

DBy = dB · cos Φ = dB · sen θ

$$dB_y = \frac{K' \cdot I \cdot \operatorname{sen}\theta \cdot dl}{r^2} \qquad\qquad B = \oint dB_y$$

$$B = \frac{K' \cdot I \cdot \operatorname{sen}\theta}{r^2} \cdot \oint dl = \frac{K' \cdot I \cdot \operatorname{sen}\theta}{r^2} \cdot 2\pi R \qquad\qquad \operatorname{sen}\theta = \frac{R}{r}$$

$$\boxed{B = \frac{2\pi \cdot K' \cdot I \cdot R^2}{r^3}}$$



La dirección de este campo será la del eje y el sentido lo indicará la regla de la mano derecha (según el sentido de giro de la intensidad).

<u>Momento magnético</u> = m = I · Superficie espira = $\pi \cdot R^2 \cdot I$ $\qquad$ $B = \dfrac{2K' m}{r^3}$

- **<u>TEOREMA DE AMPERE</u>**

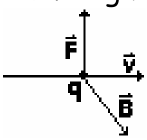
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu \cdot I \qquad\qquad K' = \frac{\mu}{4\pi}$$

I = intensidad de corriente que atraviesa toda la superficie encerrada por la línea de campo.

4. Fuerzas magnéticas

a) Ley de Lorentz

Consideremos una partícula cargada que entra en un campo magnético con una cierta velocidad. Según la ley de Lorentz dicha partícula experimenta una fuerza :



$$\boxed{\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B})}$$

Si q > 0 → mismo sentido que $(\vec{v} \wedge \vec{B})$

Si q < 0 -→ sentido contrario al de $(\vec{v} \wedge \vec{B})$

$$|\vec{F}| = F = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen}\theta$$

Si vζB → F = q · v · B

Para que la fuerza sea perpendicular a la velocidad el movimiento debe ser circular.

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{r} = q \cdot v \cdot B \rightarrow \boxed{r = \frac{mv}{qB}}$$

b) Fuerzas sobre un elemento de corriente

Supongamos un cable recorrido por una corriente con intensidad I del que seleccionamos un trozo dl. Este cable está sometido a un campo magnético B. El vector unitario u marca la dirección y el sentido de dl. La fuerza que el campo magnético ejercerá sobre el elemento de corriente será :

$$\boxed{d\vec{F} = I \cdot dl \cdot (\vec{u} \wedge \vec{B})}$$

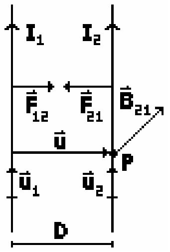
c) Fuerzas sobre una corriente recta

Sobre cualquier corriente : $\boxed{\vec{F} = I \cdot \int_0^L (\vec{u} \wedge \vec{B}) \cdot dl}$ L = longitud sobre la que se aplica

En el caso de que la corriente sea recta y el campo magnético constante : $\boxed{\vec{F} = I \cdot L \cdot (\vec{u} \wedge \vec{B})}$

F = I · L · B · sen θ

d) Fuerzas entre dos corrientes rectilíneas paralelas : definición de amperio



Consideremos dos cables rectos infinitamente largos y recorridos por intensidades I_1 e I_2.

$B_{21} = \dfrac{2K' \cdot I_1}{D}$ Como el campo es constante y la corriente recta :

$$\vec{F}_{21} = I \cdot L \cdot (\vec{u} \wedge \vec{B}) = I_2 \cdot L \cdot (\vec{u} \wedge \vec{B}_{21}) = I_2 \cdot L \cdot \vec{B}_{21} = I_2 \cdot L \cdot \frac{2K' \cdot I_1}{D}$$

$$\boxed{\frac{\vec{F}_{21}}{L} = \frac{\vec{F}_{12}}{L} = 2K' \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{D}}$$

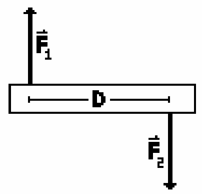
Las fuerzas son atractivas cuando las corrientes van en el mismo sentido y repulsivas cuando las corrientes tienen sentido opuesto.

- **Definición de amperio**

K' = 10^{-7} $I_1 = I_2 = 1A$ D = 1 m   F / L = 2K' = 2 · 10^{-7} N/m

Amperio : corriente que tiene que circular por dos cables rectos paralelos separados un metro para que la fuerza sea 2 · 10^{-7} N por metro de cable.

- **PAR DE FUERZAS**



Dos fuerzas paralelas con sentido contrario y separadas cierta distancia que hacen girar a un cuerpo.
Momento del par : M (par) = F · D
F = módulo de cualquiera de las dos fuerzas.

- **EL CICLOTRÓN**

El físico estadounidense Ernest O. Lawrence obtuvo el Premio Nobel de Física en 1939 por un avance en el diseño de aceleradores llevado a cabo a principios de la década de 1930. Lawrence desarrolló el ciclotrón, el primer acelerador circular. Es una especie de acelerador lineal arrollado en una espiral. En vez de tener muchos tubos, la máquina sólo tiene dos cámaras de vacío huecas, llamadas *des,* cuya forma es la de dos *D* mayúsculas opuestas entre sí. Un campo magnético producido por un potente electroimán hace que las partículas se muevan en una trayectoria curva. Las partículas cargadas se aceleran cada vez que atraviesan el hueco entre las *des.* A medida que las partículas acumulan energía, se mueven en espiral hacia el borde externo del acelerador, por donde acaban saliendo.

Cuando las partículas aceleradas en el ciclotrón alcanzan una velocidad próxima a la de la luz, su masa aumenta de modo apreciable, tal como predice la teoría de la relatividad. Esto hace que sea más difícil acelerarlas, y lleva a que los pulsos de aceleración en los huecos entre las *des* queden desfasados. En 1945, el físico soviético Vladímir Y. Veksler y el físico estadounidense Edwin M. McMillan sugirieron una solución a este problema. El aparato propuesto, el sincrociclotrón, se denomina a veces ciclotrón de frecuencia modulada. En este instrumento, el oscilador (generador de radiofrecuencias) que acelera las partículas alrededor de las *des* se ajusta automáticamente para mantenerse en fase con las partículas aceleradas; a medida que la masa de las partículas aumenta, la frecuencia de aceleración disminuye un poco para seguir su ritmo. Según aumenta la energía máxima de un sincrociclotrón, se incrementa su tamaño, porque las partículas tienen que tener más espacio donde moverse en espiral.

5. Inducción electromagnética

a) Fenómenos de inducción

Supongamos un circuito eléctrico y un imán, y un amperímetro en el circuito eléctrico. Observaciones :

1. Si el circuito y el imán están fijos no se detecta ninguna corriente.
2. Si hay movimiento del circuito, del imán, o de ambos, aparece una corriente en el circuito llamada corriente inducida.
3. Si el imán se reemplaza por un circuito recorrido por una corriente permanente se observan los mismos efectos.

- **Flujo magnético a través de la superficie que delimita un circuito**

a) Superficie plana y campo uniforme : la superficie se pude vectorizar con un vector perpendicular a ésta y módulo igual a la superficie. El campo tiene su propio vector.

$\boxed{\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}}$ Φ = flujo (T · m^2 = Weber)

b) Superficie no plana y campo variable

$d\Phi = \vec{B} \cdot d\vec{S}$ $\boxed{\Phi = \int_0^S \vec{B} \cdot d\vec{S}}$

b) Leyes de Faraday-Lenz

El movimiento del imán o del circuito provoca una alteración del flujo magnético.

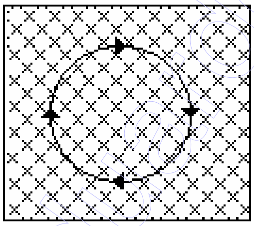
Ley de Faraday : "La fuerza electromotriz producida por inducción es igual a al variación del flujo entre la variación del tiempo"

$$\boxed{\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}$$

Si el flujo cambia constantemente (flujo instantáneo) : $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$

Pero aún queda saber el sentido de la corriente :

Ley de Lenz : "El sentido de la corriente inducida es de tal forma que el flujo magnético debido a la misma se opone a la variación del flujo causante"



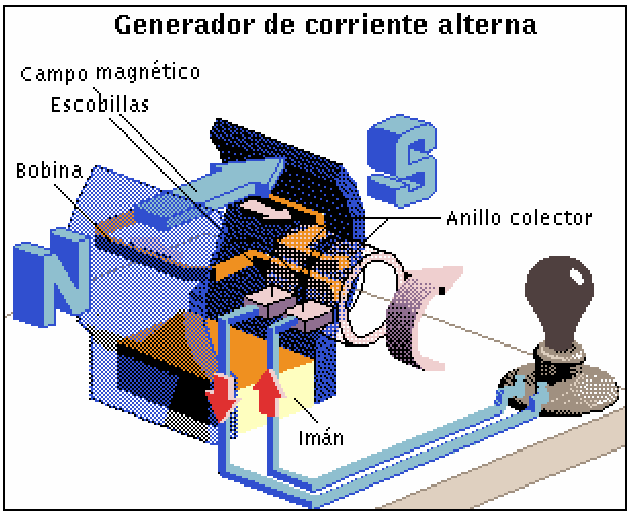
Ejemplo : Supongamos que el campo disminuye → disminuye el flujo magnético. La corriente inducida debe crear un campo que compense la pérdida de flujo. Si el flujo magnético disminuye la corriente inducida crea campo en el mismo sentido, y si aumenta, en sentido contrario. En este caso la corriente tendría un sentido horario para crear campo en el sentido del campo existente si éste disminuye.

x → campo magnético hacia dentro

· → campo magnético hacia fuera

La ley de Lenz se expresa : $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$ para indicar el sentido.

c) Aplicaciones



Toda la generación de corriente alterna se basa en las leyes de Faraday y de Lenz.

Alternador

Inductor : imán
Inducido : espira móvil (bovina)
Piezas terminales : conectan la espira giratoria con un circuito exterior.

La corriente alterna en Europa es de 50 Hz.

- ***Análisis matemático***

Supongamos que el campo magnético es uniforme. El vector superficie de la espira (S) va girando. Se escoge un ángulo cualquiera (θ) entre S y B. Supongamos que la velocidad angular de giro (ω) es constante. Entonces $\theta = \omega t + \theta_0$.

Se denomina fuerza electromotriz alterna a una fuerza que varía con el tiempo de acuerdo con la expresión : $\boxed{\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \mathrm{sen}(\omega t + \theta_0)}$

Demostración

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\theta = B \cdot S \cdot \cos(\omega t + \theta_0) \qquad \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -(-B \cdot S \cdot \omega \cdot \mathrm{sen}(\omega t + \theta_0))$$

$$B \cdot S \cdot \omega = \varepsilon_0 \qquad \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \mathrm{sen}(\omega t + \theta_0)$$

- ***<u>Experimento de Henry</u>***

En la misma época en que Faraday descubrió su ley, Henry llegó a al misma conclusión observando que una barra metálica que se mueve en un campo magnético, orientado perpendicularmente a la misma, adquiere una polaridad eléctrica y, en consecuencia, podría comportarse como un generador de corriente.

Suponiendo que la barra metálica tuviera protones libres, todas las cargas experimentarían una fuerza (Lorenz) por tener velocidad y estar en un campo magnético, que sería perpendicular a ambos, esto es, paralela a la barra metálica. Esta fuerza impulsaría las cargas negativas hacia un extremo de la barra y las positivas hacia el otro, con lo que la barra adquiriría polaridad hasta que se creara una fuerza eléctrica que compensara a la magnética. Para esto ambos extremos de la barra deberían estar conectados.

$$\left.\begin{aligned} F_e &= q \cdot E \\ F_m &= q \cdot v \cdot B \end{aligned}\right\} E = v \cdot B$$

Suponiendo que se mueve un culombio de un extremo de la barra al otro :

$$\varepsilon = F_m \cdot L = q \cdot v \cdot B \cdot L \qquad \boxed{\varepsilon = v \cdot B \cdot L}$$