



Tema 1. Electromagnetismo. Conceptos básicos.

- 1.1. Introducción. Definiciones.**
- 1.2. Concepto de carga eléctrica. Ley de Coulomb.**
- 1.3. Principio de superposición. Campo electrostático.**
- 1.4. Potencial electrostático.**
- 1.5. Densidad e intensidad de corriente.**
- 1.6. Materiales conductores. Ley de Ohm.**
- 1.7. Concepto de fuerza electromotriz.**
- 1.8. Materiales dieléctricos. Dipolos eléctricos y condensadores**
- 1.9. Imanes y campos magnéticos.**
- 1.10. Inducción magnética. La ley de Boit-Savart**
- 1.11. Dipolos magnéticos.**
- 1.12. Propiedades magnéticas de la materia.**
- 1.13. El experimento de Faraday. Inducción eléctrica.**



1.1. Introducción. Definiciones

- La Electricidad es un **fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas y cuya energía se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos**, entre otros. Se puede observar de forma natural en los rayos, es la base del funcionamiento de muchas máquinas, de todos los dispositivos electrónicos y es esencial para la producción de sustancias químicas como el aluminio y el cloro.
- También se denomina electricidad a la **rama de la física** que estudia las leyes que rigen el fenómeno. Desde que, en 1831, Faraday descubriera la forma de producir corrientes eléctricas por inducción se ha convertido en **una de las formas de energía más importantes para el desarrollo tecnológico** debido a su facilidad de generación y distribución y a su gran número de aplicaciones.
- La **Electrotecnia es la ciencia que estudia las aplicaciones técnicas de la electricidad**, el Electromagnetismo es la rama de la Física que estudia los fenómenos eléctricos y magnéticos de manera conjunta.
- La explicación de todos los fenómenos puede derivarse de la Mecánica Cuántica y la Teoría de la Relatividad Especial, pero en este curso se dará **la explicación clásica proveniente de observaciones**, tal cual fue planteada por Coulomb o Biot y Savart.



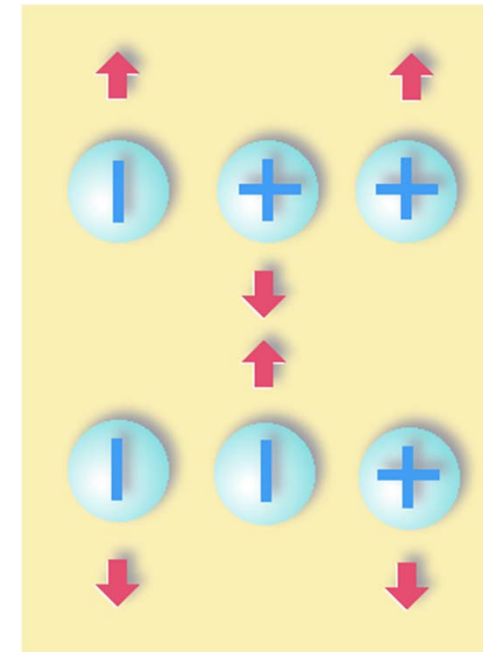
1.2. Concepto de carga eléctrica.

La carga eléctrica es una **propiedad intrínseca** de algunas partículas subatómicas que se manifiesta mediante **fuerzas de atracción y repulsión**. Estas fuerzas explican muchas de las propiedades físicas y químicas de la materia.

Las características **experimentales** de la carga eléctrica son

- *Manifestación dual*, con dos variedades de cargas que se llamarán positivas y negativas por convención.
- *Conservación*. La carga total de un sistema aislado – aquel en que la materia no atraviesa sus límites- no varía.
- *Cuantización*. La carga eléctrica se manifiesta siempre como múltiplos de una cantidad. Esta magnitud es la carga del electrón.

El nombre 'electricidad' viene del griego 'electrón', que significa ámbar. Se medirá en Culombios. 1C equivale a $6,24 \cdot 10^{18}$ veces la carga de un electrón.





Ley de Coulomb.

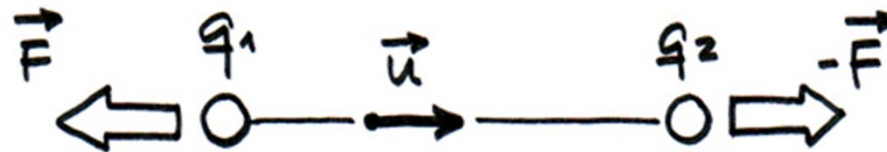
La interacción entre dos cargas puntuales **en el vacío y en reposo** se explica mediante la ley de Coulomb.

$$\vec{F} = k_e \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{u} \qquad k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

La fuerza que ejerce la carga 2 sobre la carga 1 es proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional a la distancia que las separa.

Tiene la dirección del segmento que las une. El sentido viene dado por el vector unitario y el signo del producto . Cuando las cargas tienen el mismo signo es de repulsión y cuando tienen signos distintos es de atracción.

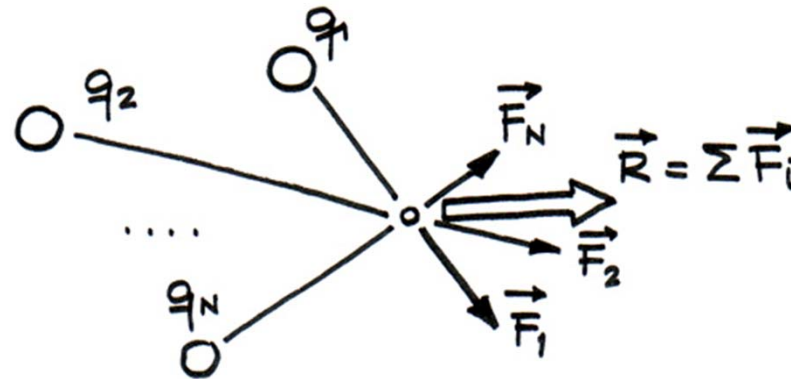
Por el principio de acción y reacción de Newton . La carga que ejerce la carga 1 sobre la 2 es igual y de signo contrario.





1.3. Principio de superposición. Campo electrostático.

Si suponemos un grupo de cargas q_i frente a otra carga Q , se comprueba experimentalmente que la fuerza total es igual a la suma de fuerzas, ese enunciado se conoce como *principio de superposición*.



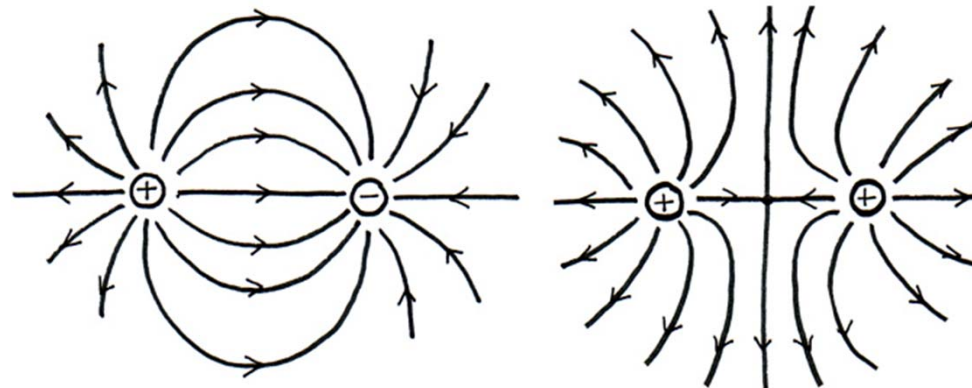
$$\vec{F} = \sum_i k_e \cdot \frac{Q \cdot q_i}{r_i^2} \vec{u}_{ri} = Q \cdot \left\{ \sum_i k_e \cdot \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_{ri} \right\} = Q \cdot \vec{E}$$



El contenido del paréntesis no depende de la carga Q y únicamente es función la distribución en el espacio de las cargas q_i . Se denominará campo eléctrico, o más correctamente *campo electrostático*.

$$\vec{E}(x, y, z) = \sum_i k_e \cdot \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

Su significado físico es la fuerza sobre la unidad de carga situada en ese punto



Como en cualquier vectorial pueden definirse las **líneas de campo** como aquellas líneas cuya tangente es paralela al campo eléctrico en cada punto. Discurren desde las cargas positivas –fuentes- hacia las negativas –sumideros-.



1.4. Potencial electrostático.

Supongamos que en una región del espacio existe un campo eléctrico y deseamos mover una carga q desde un punto A a otro B. Para ello será necesario realizar un trabajo dado por

$$dW = -\vec{F} \cdot d\vec{l} = -q\vec{E} \cdot d\vec{l} \qquad W_A^B = \int_A^B -q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

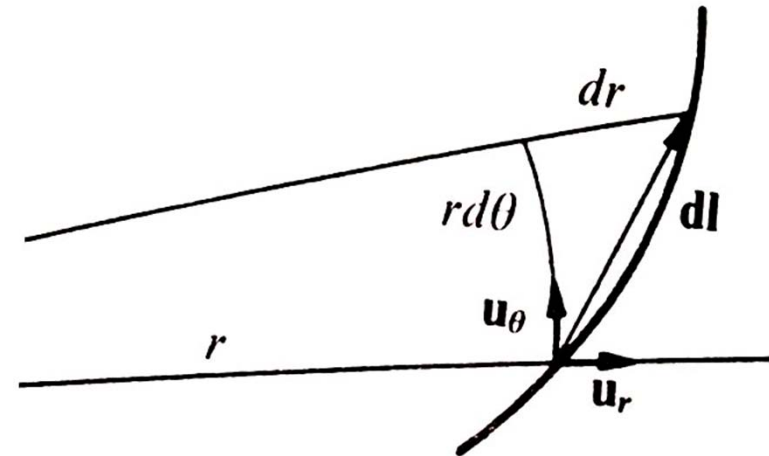
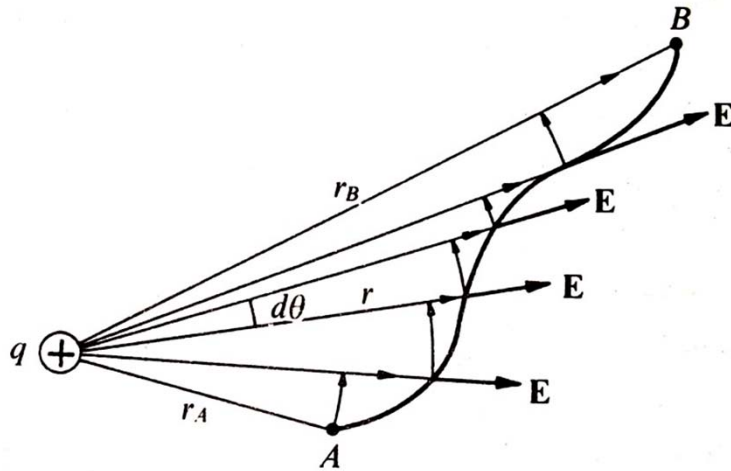
Se define ahora el potencial eléctrico V en un punto el espacio como **el trabajo para mover una carga unitaria "q" desde ese punto hasta el infinito**, donde el potencial es cero

Sus unidades son los **voltios**. $1V=1W/C$

$$V(x, y, z) = -\int_{\infty}^{(x, y, z)} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



Potencial debido a una carga puntual



$$V = -\int_{\infty}^{(x,y,z)} k_e \frac{q}{r^2} \vec{u}_r \cdot d\vec{l} = -\int_{\infty}^r k_e \frac{q}{r^2} dr = k_e \frac{q}{r}$$

$$V = \sum_i k_e \frac{q_i}{r_i}$$



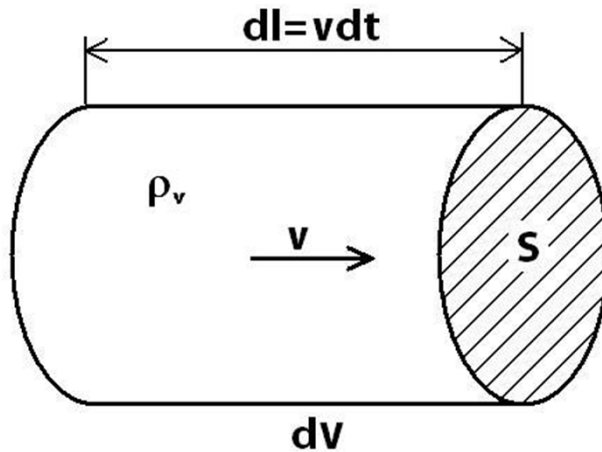
1.5. Densidad e intensidad de corriente.

Se denomina *corriente eléctrica* al movimiento ordenado de cargas eléctricas. Si pensamos en un medio con una distribución de cargas ρ_v y suponemos que éstas se mueven con una velocidad dada por el campo vectorial , se definirá la ***densidad de corriente*** como

$$\vec{J} = \rho_v \vec{v}$$

La cantidad de corriente que atraviesa una superficie S por unidad de tiempo se denominará ***intensidad de corriente*** I

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$$



Su unidad de medida es el Amperio.
Es una magnitud escalar que
representa la cantidad de carga que
atraviesa una superficie dada por
unidad de tiempo.

$$dq = \rho_v dV = \rho_v \vec{S} d\vec{l} = \rho_v \vec{S} \vec{v} dt = \vec{J} \vec{S} dt = i dt$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$



1.6. Materiales conductores. Ley de Ohm

Cuando se aplica un campo eléctrico a un material con cargas libres, si no hubiera nada que lo impidiese, se acelerarían hasta el infinito, lo que contradice la experiencia. Los experimentos demuestran que en los conductores la densidad de corriente es proporcional al campo eléctrico

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

El factor σ se denomina **conductividad eléctrica** y su unidad es el Siemens por metro, con valores típicos en la tabla siguiente

Plata	63.01 10^6
Cobre	59.6 10^6
Aluminio	37.8 10^6



1.7. Concepto de fuerza electromotriz.

Para que a lo largo de un conductor cerrado se mantenga en el tiempo una corriente eléctrica, es necesario algún dispositivo que comunique energía a los electrones. Se deberá introducir el concepto de **fuerza electromotriz** y se definirá por la energía que comunica por unidad de carga.

$$f.e.m. = \frac{dw}{dq}$$

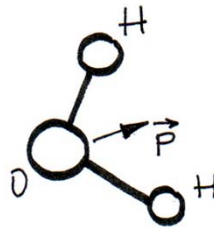
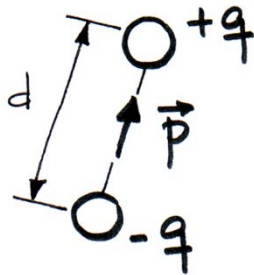
Su unidad es el voltio, y no debe confundirse este concepto con el de potencial eléctrico. Se verá más adelante que existen diversas formas de comunicar esta energía



1.8. Materiales dieléctricos. Dipolos eléctricos y condensadores.

Cuando un material dieléctrico, sin electrones libres, es sometido a un campo eléctrico, no se produce ningún movimiento de cargas.

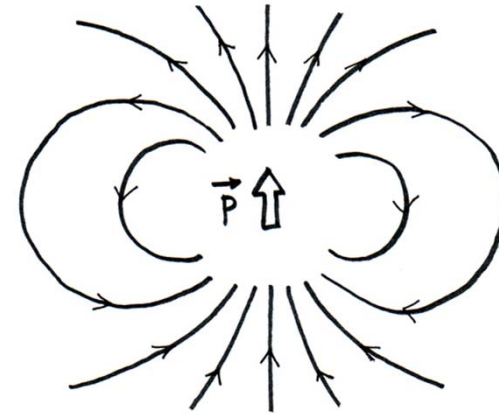
El átomo sigue siendo neutro, pero a nivel microscópico, se desplaza el centro de gravedad de la nube electrónica del átomo, y se produce una asimetría. Este conjunto de dos cargas iguales y sentido contrario separadas una distancia se conoce como dipolo eléctrico.



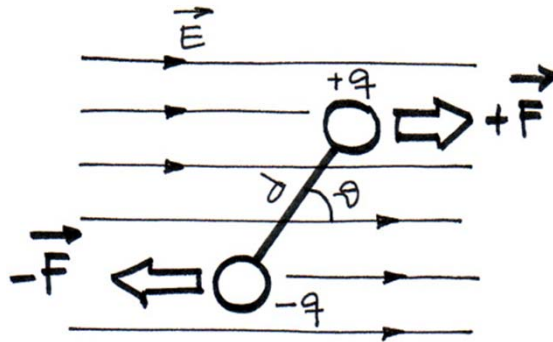
$$\vec{p} = q \cdot \vec{d}$$



El campo electrostático provocado por un dipolo eléctrico tiene la forma de la figura. A una distancia grande del mismo las líneas de campo aparentemente nacen y mueren en el mismo punto, que es fuente y sumidero a la vez



A su vez, cuando se introduce un dipolo en un campo electrostático uniforme tendremos lo siguiente: la acción del campo eléctrico sobre el dipolo se debe a la acción sobre cada una de sus cargas, que no pueden separarse. La resultante de fuerzas será nula



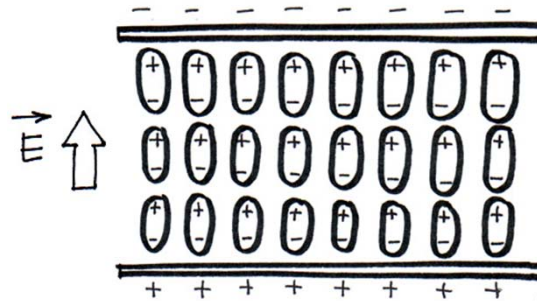
$$\sum \vec{F} = q\vec{E} - q\vec{E} = 0$$

$$\sum \vec{\tau} = qEd \sin \theta \vec{u}_z = \vec{p} \times \vec{E}$$

El dipolo sufre por tanto un par de fuerzas que *tiende a orientarlo en la dirección del campo eléctrico*.



Un condensador es un dispositivo que se usará para almacenar energía eléctrica de este modo. Consta de dos superficies conductoras enfrentadas entre sí y separadas por un material dieléctrico. Cuando entre las dos placas existe un campo electrostático, los dipolos elementales que se forman en el dieléctrico se alinean con el campo. Si bien las cargas no pueden desplazarse, el resultado global, tal y como puede verse en la figura es la aparición de una carga de signo contrario en cada una de las placas.



Esta energía almacenada es proporcional, tal y como se verá más adelante, a la diferencia entre el potencial eléctrico de ambas placas y a la respuesta del material dieléctrico, que se expresará como el vector desplazamiento eléctrico D . El campo D representa para la generalización del campo E a un medio dieléctrico, sin embargo su interpretación física no es tan intuitiva como la de un campo de fuerzas.

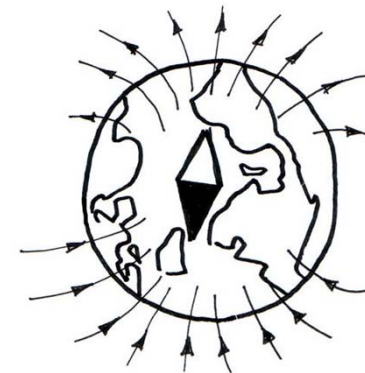
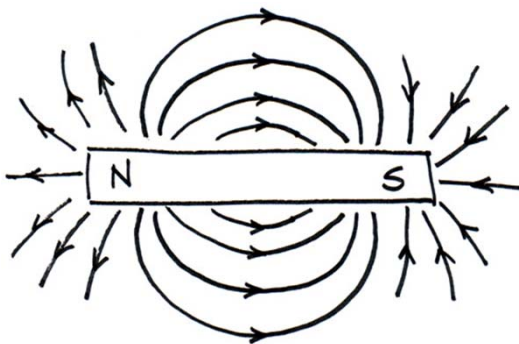
$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E}$$



1.9. Imanes y campos magnéticos.

La definición más sencilla de un imán es la de un material con la propiedad de atraer el hierro. Existe un único material natural con esta propiedad, la *magnetita*, pero puede darse la propiedad de manera temporal o definitiva a otros como el hierro. Existe una explicación en la Mecánica Cuántica, pero de nuevo se usará la que viene de la observación de los fenómenos.

Los imanes generan campos de fuerzas que se llamarán magnéticos (o más correctamente magnetostáticos) y a su vez son influidos por ellos. Estos campos de fuerzas se representarán por líneas. Se definirá la intensidad del campo de fuerzas magnetostáticas mediante la magnitud vectorial *inducción magnética* (B), que se verá más adelante. La Tierra genera un campo magnético que permanece aún sin una explicación definitiva.

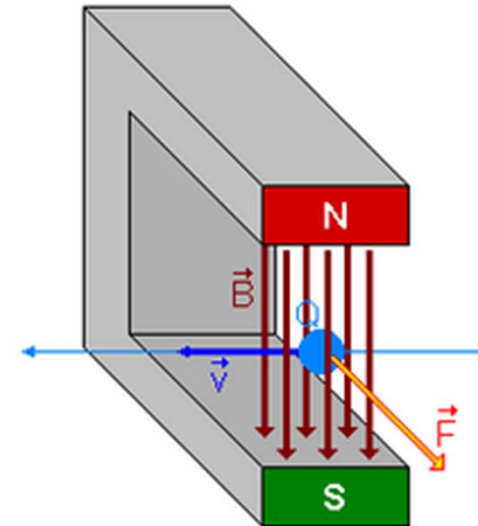
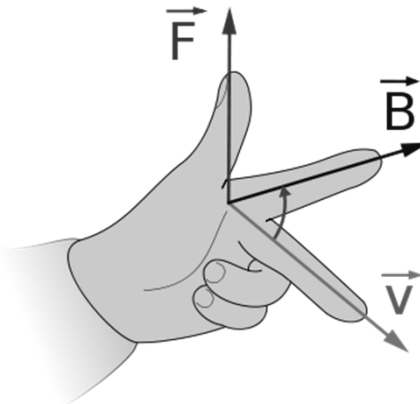




Además de por la atracción del hierro, la existencia de un campo magnético en una región del espacio se manifiesta por que las cargas eléctricas en movimiento sufren los efectos de unas fuerzas que no pueden ser explicadas por la Ley de Coulomb

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

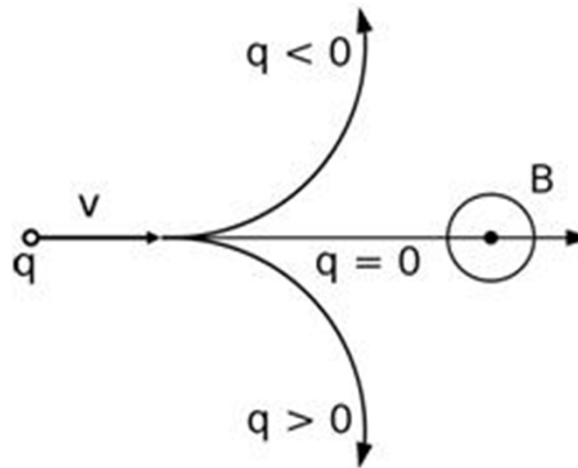
La fuerza es normal al campo y a la velocidad de la carga, por lo que desvía su trayectoria.





Cuando una carga es a la vez influida por un campo electrostático y uno magnético, las fuerzas sobre ella se superponen. La fuerza electromagnética total se denomina fuerza de Lorentz

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

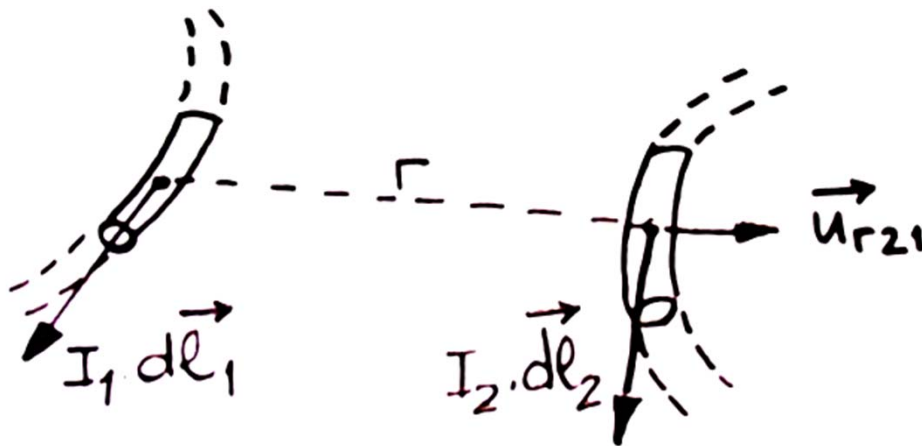




1.10. Magnetostática. Ley de Biot-Savart.

La fuerza de atracción o de repulsión entre dos hilos por los que circula una corriente eléctrica es un hecho experimental que puede expresarse, para dos tramos de longitud diferencial como

$$d\vec{F}_{21} = k_m \cdot \frac{I_1 d\vec{l}_1 \times (I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{u}_{r21})}{r^2}$$



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



Agrupando términos, se puede escribir

$$d\vec{F}_{21} = k_m \cdot \frac{I_1 d\vec{l}_1 \times (I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{u}_{r21})}{r^2} = I_1 d\vec{l}_1 \times \left\{ k_m \cdot \frac{I_2 d\vec{l}_2}{r^2} \times \vec{u}_{r21} \right\}$$

El interior del paréntesis es un campo vectorial, y depende únicamente de la posición del espacio donde se mide. Lo llamaremos inducción magnética \vec{B}

$$\vec{B}(x, y, z) = k_m \cdot \frac{I_2 d\vec{l}_2}{r^2} \times \vec{u}_{r21}$$

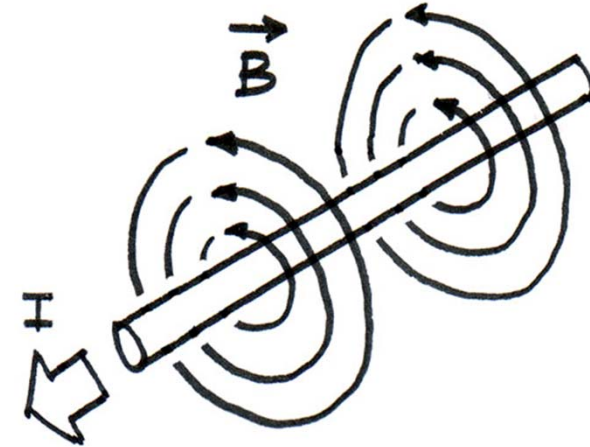
La unidad de inducción es el Tesla $1\text{T}=1\text{V.s/m}^2$



En el caso de un hilo recto la expresión anterior es la de un **campo solenoidal**, en el que las líneas forman círculos en planos normales al diferencial de hilo.

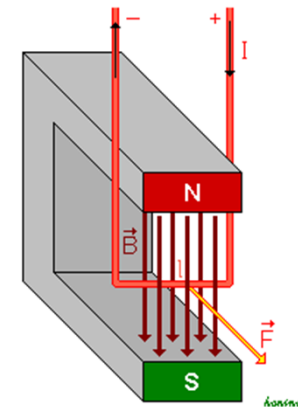
Al contrario que en el campo electrostático, *no hay fuentes y sumideros*.

No existe la 'carga magnética'.



Para un hilo recto y un campo constante se tendrá

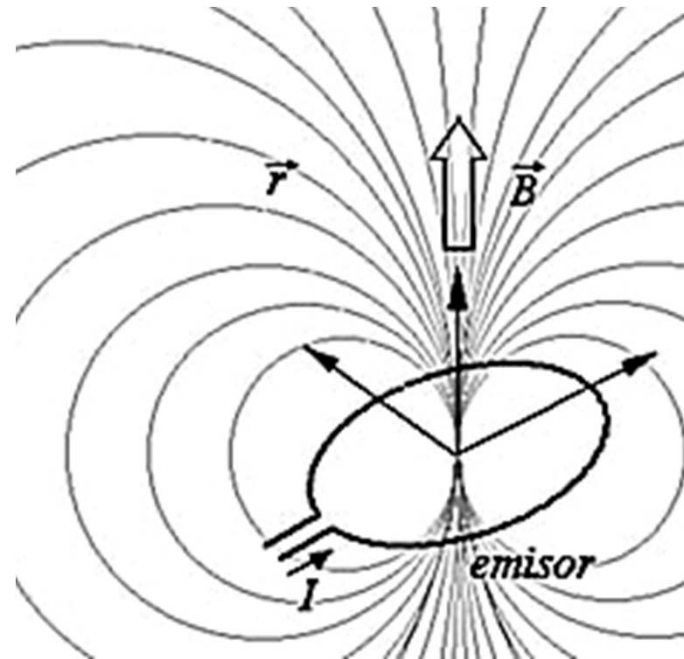
$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})$$





1.11. Dipolos magnéticos.

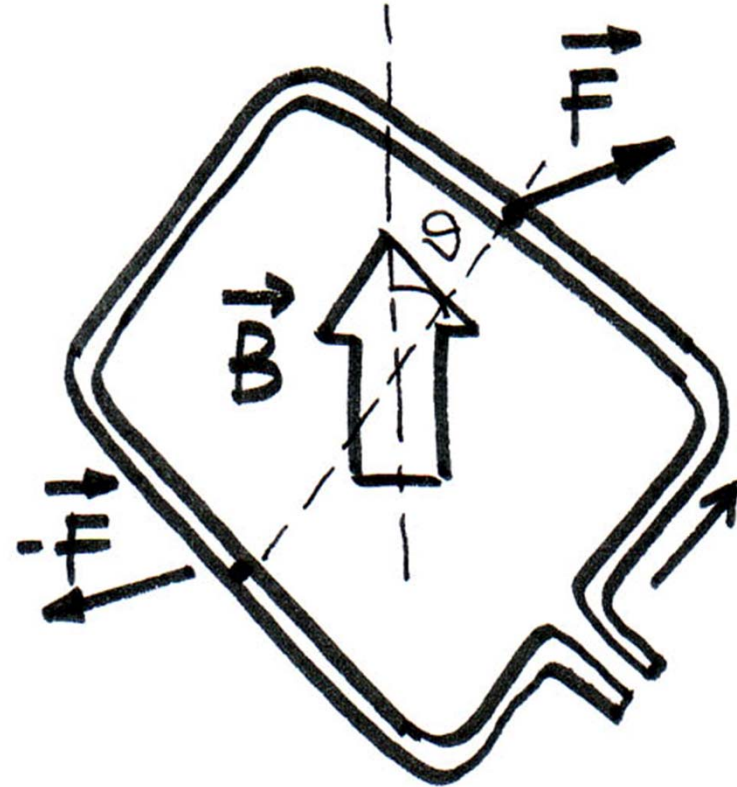
Y si integrásemos la ecuación para una espira circular por la que discurre una intensidad I , se tendrá un campo como el de la figura.





Al igual que sucede con un dipolo eléctrico, cuando se sitúa una pequeña bobina –un dipolo magnético– en el interior de un campo constante, aparecerá un par de fuerzas que obligará a la bobina a orientarse en el sentido del campo.

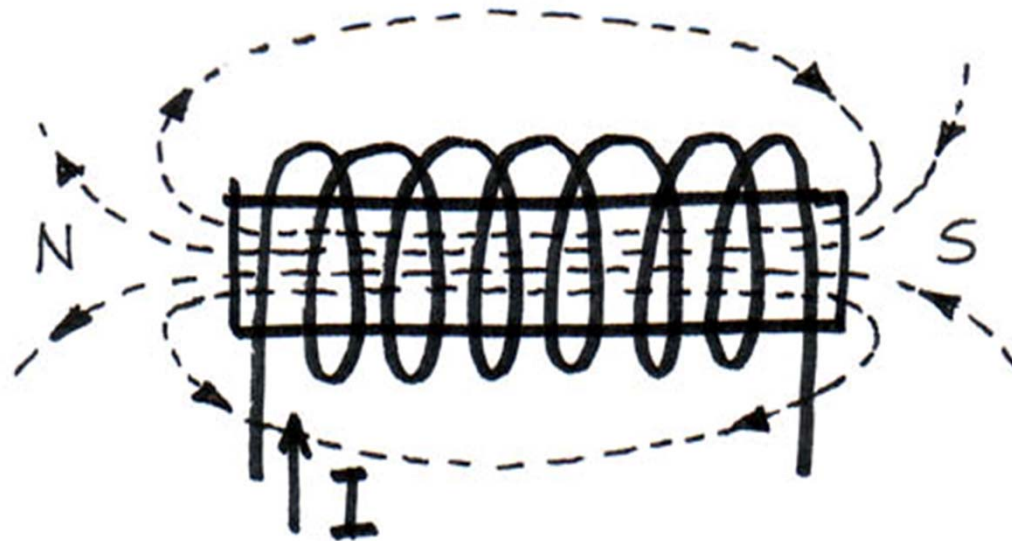
Esta circunstancia es muy importante, porque es la base del funcionamiento de los motores eléctricos.





Para aumentar el campo magnético y las fuerzas que produce se doblará el conductor formando varias espiras sucesivas, lo que constituye una bobina.

En su interior el campo será perpendicular al plano de las bobinas. Si colocamos en su interior un núcleo de hierro, éste tendrá propiedades magnéticas, habremos construido un *electroimán*.

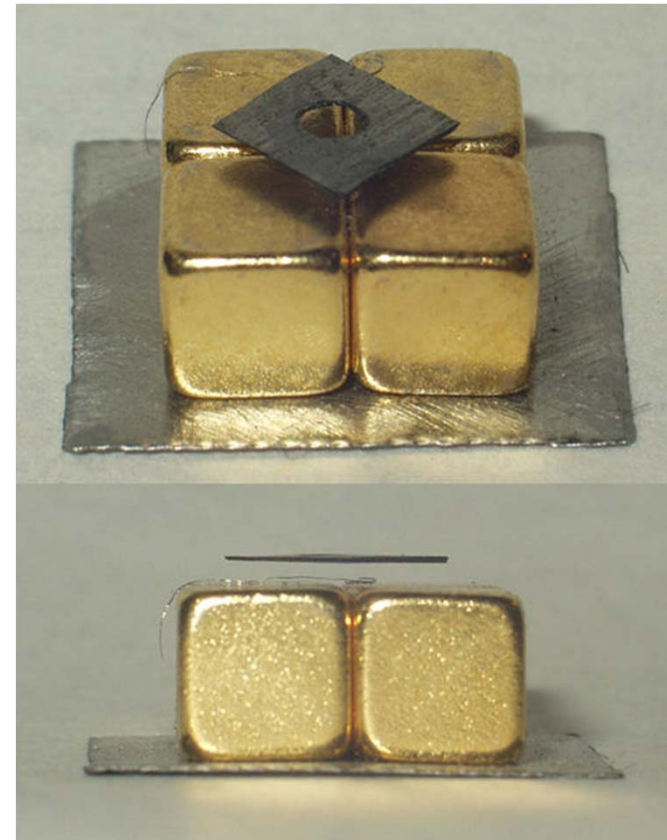




1.12. Propiedades magnéticas de la materia.

El modo más sencillo de estudiar el comportamiento de la materia en un campo magnético, consistiría en situar un trozo de un determinado material en dicho campo y estudiar su comportamiento.

- Diamagnéticos: es muy pequeña y negativa. Son repelidos débilmente por un imán. Oro, Cobre, Berilio
- Paramagnéticos: es muy pequeña y positiva. Son atraídos muy débilmente por un imán. Aluminio, Magnesio, Titanio
- Ferromagnéticos: es muy grande. Son atraídos fuertemente por un imán. Hierro, Niquel, Cobalto

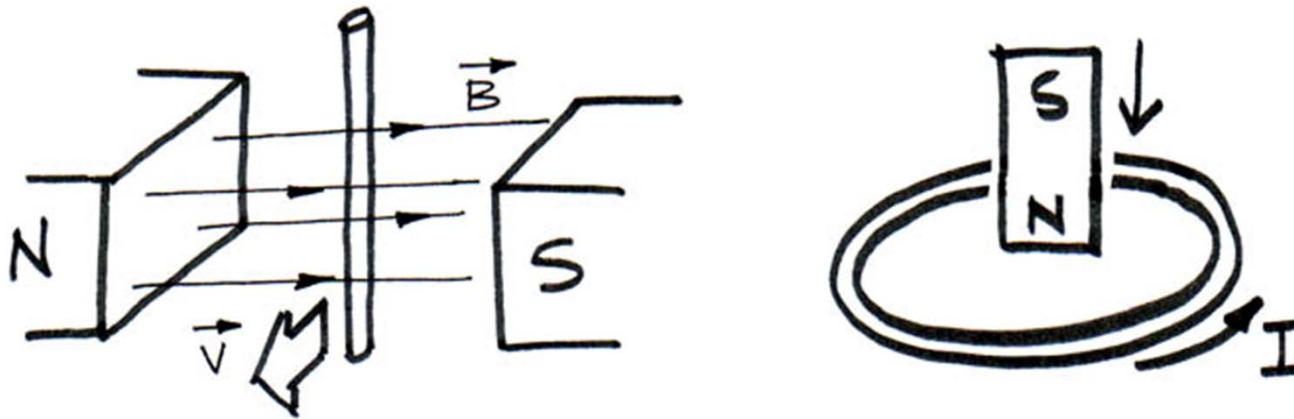




1.13. El experimento de Faraday. Inducción eléctrica

Se estudiarán ahora los fenómenos que se presentan cuando los campos varían en el tiempo. El más sencillo y el primero en descubrirse es el de la inducción magnética de Faraday.

Cuando se desplaza un imán permanente sobre un anillo metálico cerrado, aparece en él una corriente eléctrica con el sentido de la figura



Las corrientes eléctricas inducen a su vez un campo magnético, y son de tal sentido que este campo se opone al principal. Este hecho se denomina ley de Lenz



El flujo de un campo magnético a través de una superficie se puede expresar como

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \qquad \phi = BS \cos \theta$$

Si en las espiras anteriores abriésemos una pequeña ranura, entre sus bordes aparecería una diferencia de potencial, o tensión eléctrica. La **ley de inducción de Faraday**, obtenida experimentalmente, dice que esta tensión inducida o fuerza electromotriz es igual a la variación del flujo magnético.

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt}$$



La ley de Faraday es válida independientemente de la causa que produce la variación de Φ . Estas pueden ser que la corriente que genera B varíe en el tiempo, o bien que se desplace en el espacio.

Si en las proximidades de la espira se sitúa otra, se inducirá en ella una corriente. Esta circunstancia es muy importante, porque en ella se basa el diseño de transformadores eléctricos.

