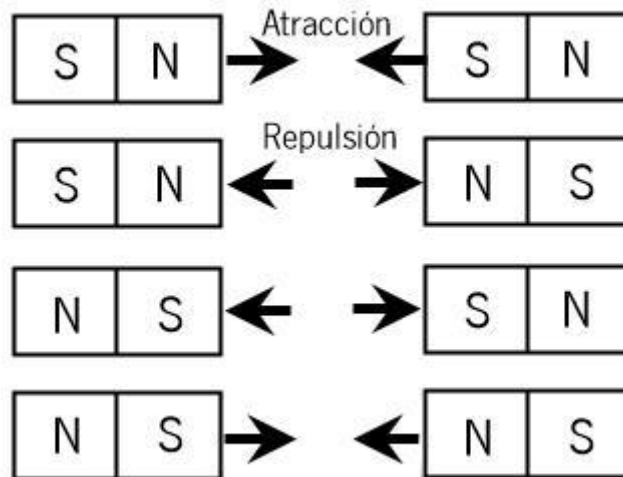


# EL CAMPO MAGNÉTICO

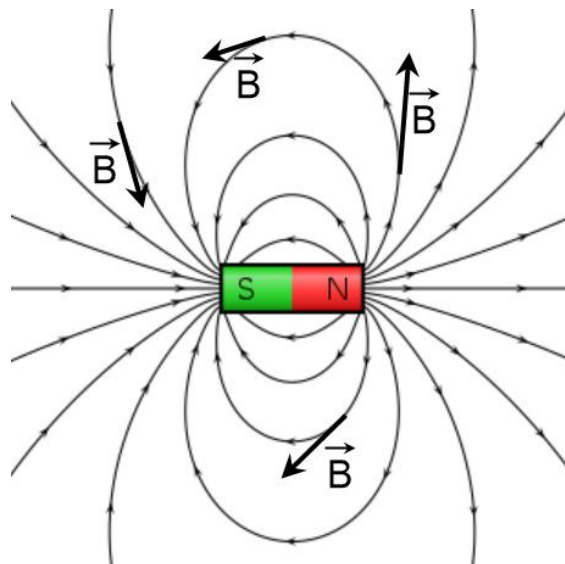
Todos hemos jugado alguna vez con imanes y hemos experimentado el efecto de atracción o repulsión que se produce entre ellos; también hemos experimentado la fuerza de atracción que ejercen sobre, por ejemplo, una bola de acero.



Es evidente pues que la materia puede producir a su alrededor un efecto al que llamaremos campo magnético.

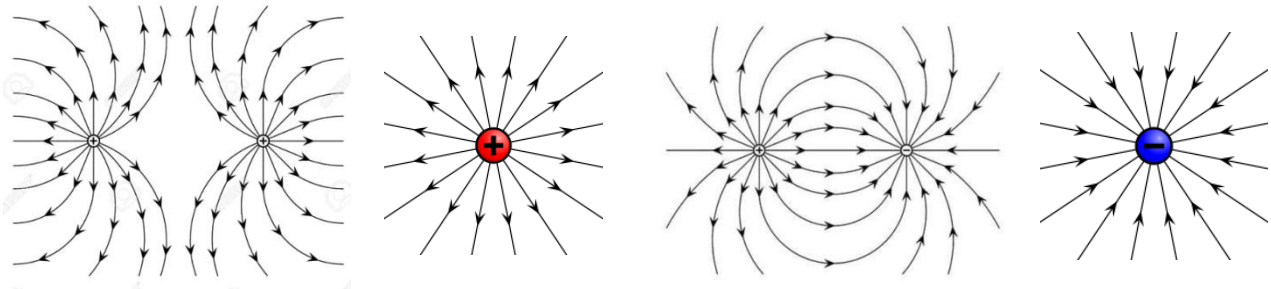
En el caso de los imanes y materia que pueda producir efectos magnéticos decir que los polos no pueden existir de forma independiente como ocurre en el caso de las cargas eléctricas. Puede existir una carga positiva o negativa aislada pero no puede existir un polo Norte o Sur aislado, sólo existen dipolos magnéticos (polo N y polo S juntos).

El campo magnético no podemos verlo con nuestros ojos, pero podemos valernos **de líneas de campo** (al igual que con el campo eléctrico y gravitatorio) para, de alguna manera, visualizarlo.



Esas líneas de campo están formadas por líneas que parten del polo N (se comporta como una fuente de líneas de campo) y van hacia el polo S (se comporta como un sumidero de líneas de campo).

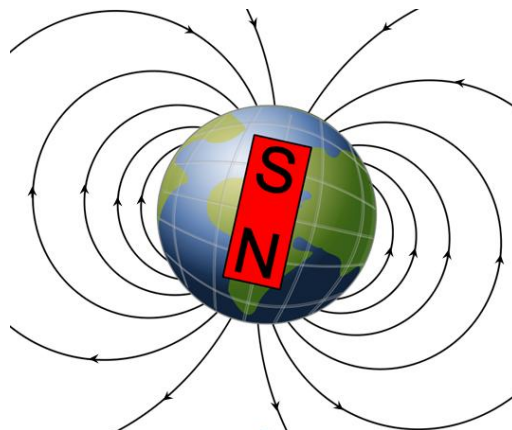
Las líneas de campo magnético son cerradas, esto es, el número neto de líneas de campo que entran en una superficie es igual al número de líneas de campo que salen de la misma superficie. Un claro ejemplo de esta propiedad viene representado por las líneas de campo de un imán (dibujo anterior), donde se puede ver que el mismo número de líneas de campo que salen del polo norte vuelve a entrar por el polo sur.



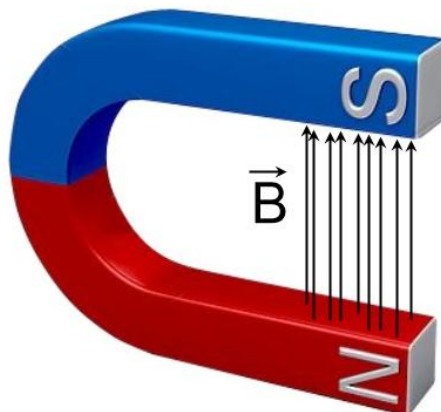
*Líneas de campo eléctrico*

En el campo eléctrico vemos que no siempre las líneas de campo son cerradas.

Como curiosidad decir que la Tierra se comporta como un imán gigantesco, encontrándose su polo Norte magnético en el polo Sur geográfico y viceversa.



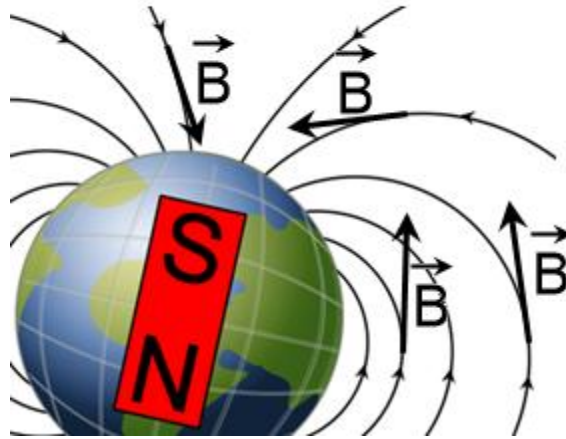
En el caso de un imán de herradura sólo nos interesa las líneas de campo que existen entre los extremos del mismo.



## INDUCCIÓN MAGNÉTICA, $\vec{B}$

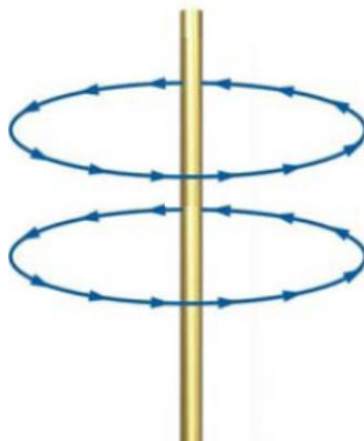
La intensidad del campo magnético viene dada por la INDUCCIÓN MAGNÉTICA,  $\vec{B}$ , que es una magnitud vectorial y su unidad en el SI es el TESLA, T.

La inducción magnética en un punto del espacio es tangente a la línea de campo en dicho punto.



Ejercicio:

Dibuja algunos vectores  $\vec{B}$  en varios puntos del espacio cuando por un hilo conductor pasa una corriente eléctrica,  $I$ , y produce un campo magnético:



## PRODUCTO VECTORIAL. Repaso

Hay dos formas de multiplicar dos vectores,  $\vec{a}$  y  $\vec{b}$  entre si:

**Producto Escalar:**

El resultado es un número.

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cdot \cos\alpha$$

**Producto Vectorial:**

El resultado es un vector.

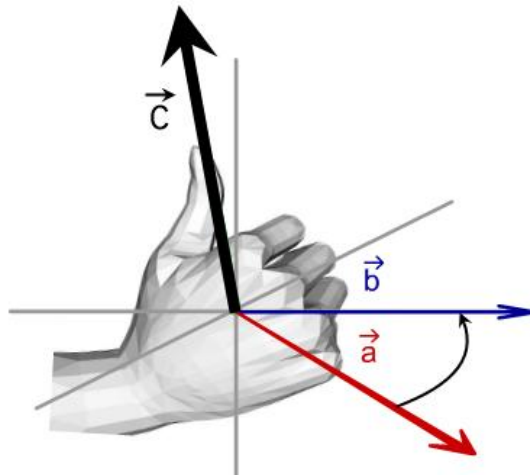
$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$$

El **módulo** de  $\vec{c}$  viene dado por la fórmula:

$$c = a \cdot b \cdot \operatorname{sen}\alpha$$

La **dirección** de  $\vec{c}$  es perpendicular al plano que forman los vectores  $\vec{a}$  y  $\vec{b}$ , o sea,  $\vec{c}$  es perpendicular a  $\vec{a}$  y  $\vec{b}$ .

El **sentido** de  $\vec{c}$  viene dado por la regla de la mano derecha:



Utilizo la mano derecha y giro los dedos desde el primer vector hasta el segundo por el camino más corto. El pulgar me indicará el sentido de  $\vec{c}$ .

## LEY DE LORENTZ

Cuando una partícula cargada eléctricamente se introduce a una velocidad determinada en el seno de un campo magnético aparece sobre ella una fuerza que viene dada por la expresión:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

*Ley de Lorentz*

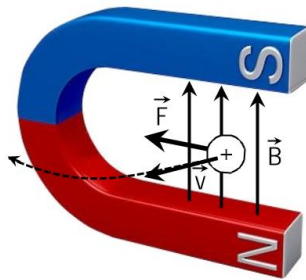
“q” es el valor, en culombios (C), de la carga que se mueve (si la carga es negativa hay que poner su signo “-”).

“v” es su velocidad (m/s)

“B” es la inducción magnética, expresada en TESLAS (T), que nos indica la intensidad del campo magnético.

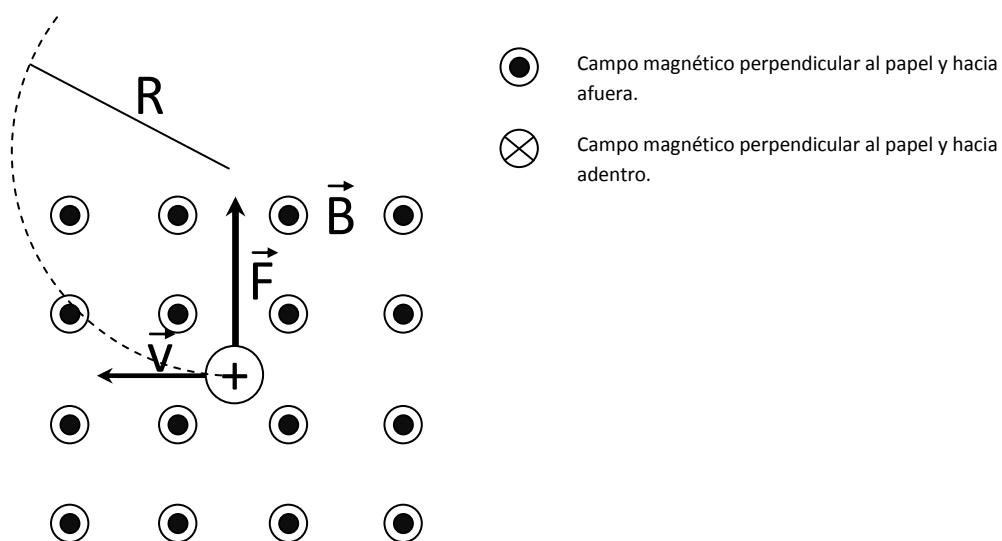
La fuerza de Lorentz puede hacer variar la dirección de esa partícula cargada como en el siguiente ejemplo.

Supongamos que una carga positiva que se mueve con una velocidad, v, se introduce en un campo magnético como se muestra a continuación:



Al moverse por ese campo magnético aparece sobre ella una fuerza, la fuerza de Lorentz.

Si lo miramos desde arriba:



Observamos que la partícula positiva describe, en este caso, una trayectoria circular.

Aquí la fuerza de Lorentz actúa como fuerza centrípeta:

$$q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } 90^\circ = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

O sea:

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Con la anterior fórmula podremos averiguar el radio de la trayectoria que describe.

### Ejercicio 1:

Un protón, acelerado por una diferencia de potencial de  $10^5$  V, penetra en una región en la que existe un campo magnético uniforme de dirección perpendicular a su velocidad, describiendo una trayectoria circular de 30 cm de radio.

a) Calcula la intensidad del campo magnético, B;

b) ¿Cómo variaría el radio de la trayectoria si se duplicase el campo magnético?

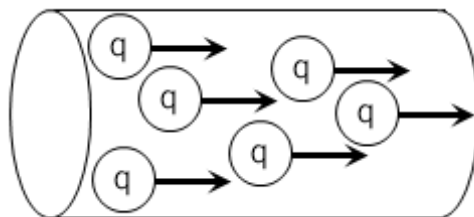
$e = 1,6 \times 10^{-19}$  C.  $m_p = 1,7 \times 10^{-27}$  Kg.

Ten en cuenta que la diferencia de potencial se utiliza para dar velocidad al protón (utiliza el principio de conservación de la energía:  $\Delta E_c = -\Delta E_p$  y ten también en cuenta que  $\Delta E_p = q \cdot \Delta V$ ).

**Ejercicio 2:**

Una carga “-q” negativa entra con velocidad  $v$  en una zona donde existe un campo eléctrico,  $E$ , de dirección perpendicular a esa velocidad. ¿Cuál debe ser la intensidad, dirección y sentido del campo magnético,  $B$ , que habría que aplicar, superpuesto a  $E$ , para que la carga siguiera una trayectoria rectilínea?

Si en lugar de entrar una sola carga eléctrica en un campo magnético entrara una procesión de cargas (corriente eléctrica,  $I$ ):



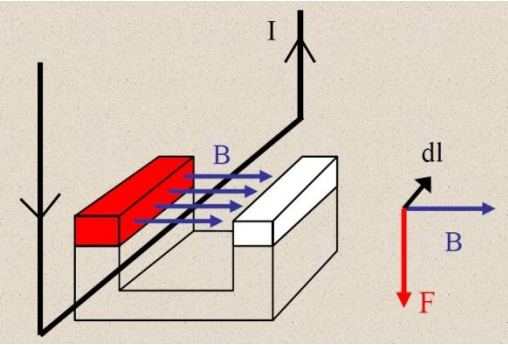
$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = I \cdot dt \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

"l" es la longitud del hilo.

Ley de Laplace

$\vec{l}$  tiene la misma dirección y sentido que I

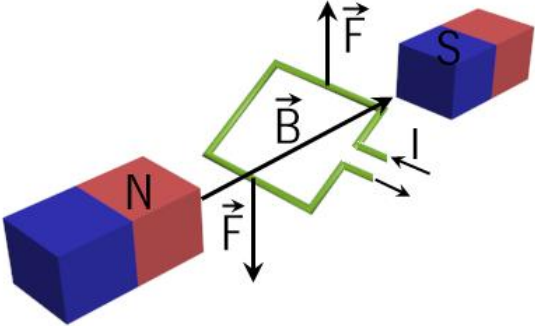


## MOTOR ELÉCTRICO

El hecho de que un campo magnético pueda ejercer una fuerza sobre un hilo conductor se puede aprovechar para construir un motor eléctrico.

En el siguiente esquema se puede visualizar una espira rectangular por la que pasa una corriente eléctrica, I. Si aplicamos la ley de Laplace comprobamos que aparece una fuerza, F, sobre los segmentos de la espira que provocarán que la espira gire. Éste es el fundamento de los motores.

Para que el efecto sea mucho mayor se utiliza una bobina en lugar de una sola espira





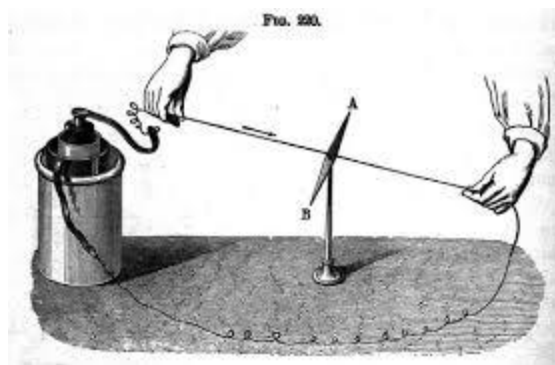


*Motor*

## **LAS CARGAS EN MOVIMIENTO PRODUCEN CAMPOS MAGNÉTICOS. EXPERIENCIA DE ÖERSTED (1820)**

Hasta ahora sólo hemos visto que los imanes crean campos magnéticos pero además de ellos existen otras cosas que los crean.

Öersted hizo una experiencia curiosa:



Creó una corriente por un hilo conductor y observó que desviaba la dirección de una aguja imantada (brújula). Eso era señal de que la corriente eléctrica (cargas en movimiento) creaba campos magnéticos.

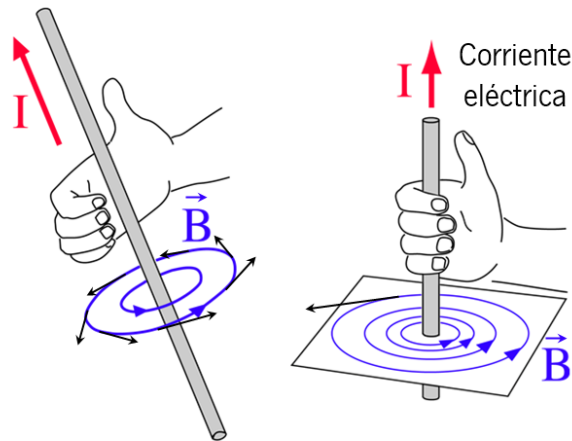
**Importante:**

***“Una carga individual o conjunto de cargas en movimiento crean campos magnéticos”***

## CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UN HILO RECTO POR EL QUE PASA UNA CORRIENTE ELÉCTRICA

En el caso de un hilo recto conductor por el que pasa una corriente eléctrica,  $I$ , las líneas de campo son circunferencias concéntricas y podemos averiguar el sentido de  $\vec{B}$  utilizando la regla de la mano derecha.

Dirigimos el pulgar de la mano derecha en la dirección de la intensidad de corriente,  $I$ , e intentamos agarrar el hilo con el resto de la mano. La curvatura de los dedos nos dará el sentido de  $B$ .



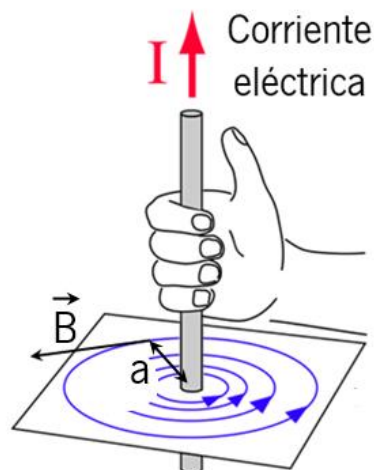
El valor de  $B$ , en módulo, creado por un hilo conductor en un punto situado a una distancia “ $a$ ” del hilo viene dado por la expresión:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{a}$$

$$K' = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} = 10^{-7}$$

Este es el valor de  $K'$  en el vacío.

$K'$  depende del medio en el que estemos.



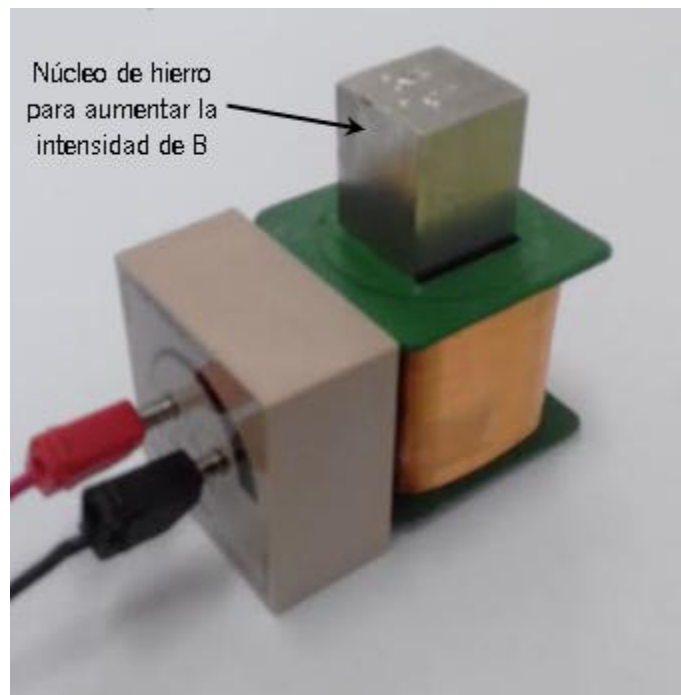
$\mu_0$  es la **permeabilidad magnética** en el vacío cuyo valor es:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

Vemos pues que la intensidad del campo magnético depende del medio en el que estemos.

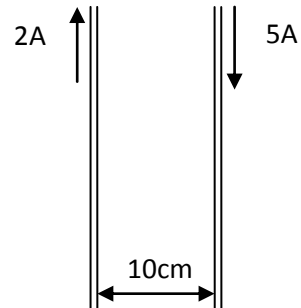
Por eso para producir un electroimán potente se coloca un núcleo de hierro en su interior debido a que la permeabilidad del hierro es muy superior a la permeabilidad magnética en el vacío.

| Material               | Permeabilidad magnética relativa ( $\mu / \mu_0$ ) |
|------------------------|--|
| Acero laminado en frío | 180-2000   |
| Hierro                 | 200-5000   |
| Hierro purificado      | 5000-180000  |



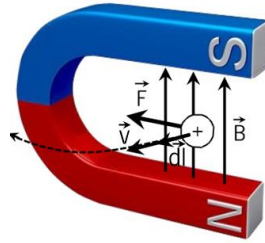
**Ejercicio 3:**

Existen dos hilos conductores rectilíneos y paralelos separados una distancia de 10 cm. Por uno circula una corriente de 2 A y por el otro circula una corriente en sentido contrario de 5 A. Dibuja el vector  $\vec{B}$  y calcula su módulo en la mitad de los dos hilos y a 3 cm a la izquierda del primer hilo.



## TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA MAGNÉTICA

Si nos fijamos en la fuerza que se ejerce sobre una partícula cargada en movimiento (fuerza de Lorentz) nos daremos cuenta que siempre es perpendicular a su movimiento por lo que el trabajo que realiza esa fuerza sobre la carga en movimiento es cero:



Observamos que para un desplazamiento muy pequeño,  $d\vec{l}$ , tenemos, por la definición de trabajo,  $W$ :

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int F \cdot dl \cdot \cos 90^\circ = 0$$

O sea que, la fuerza magnética no realiza trabajo sobre una partícula cargada y, por lo tanto tampoco modifica su energía cinética.

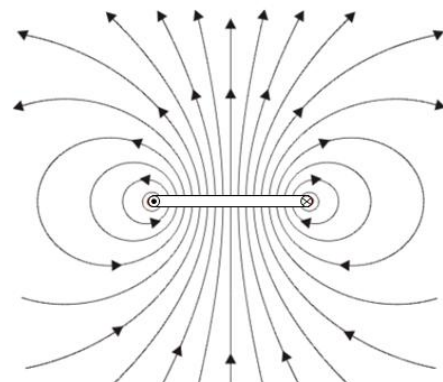
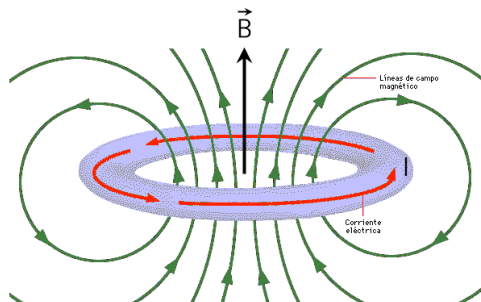
$$W = 0 = \Delta E_c$$

Al no realizar ningún trabajo tampoco podremos asociar al campo magnético un potencial ni una energía potencial como en el caso del campo eléctrico.

## CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA ESPIRA

Una espira por la que circula una corriente eléctrica también crea un campo magnético.

En el centro de la espira el campo magnético alcanza su valor máximo.



Una espira posee una cara norte (por donde salen las líneas de campo) y una cara sur (por donde entran las líneas de campo).

Para averiguar cuáles son esas caras nos valemos de la regla de la mano derecha.

Intentamos agarrar la espira de manera que indiquemos con el pulgar el sentido de la corriente. La orientación de los restantes dedos nos indicará el sentido de las líneas de campo y por tanto cuál será la cara norte y sur. O sea, los dedos nos indicarán por dónde salen las líneas de campo.



El valor de B en el centro de la espira viene dado por la fórmula:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I \cdot \pi}{R}$$

## CAMPO MAGNÉTICO CREADO POR UNA BOBINA O SOLENOIDE.

En el caso de que tengamos una bobina, solenoide o conjunto de N espiras:

$$B = N \cdot \frac{2 \cdot K' \cdot I \cdot \pi}{R}$$

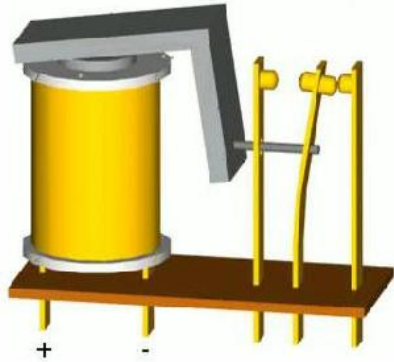
Para saber cuál es la cara norte y sur de una bobina o solenoide utilizamos la regla de la mano derecha. En este caso intentamos agarrar la bobina de modo que los dedos apunten en la misma dirección y sentido que la corriente.

El pulgar indicará la cara por la que saldrán las líneas de campo y, por tanto, indicará la cara Norte del solenoide.



Decir que prácticamente todo el campo magnético que genera un solenoide se encuentra en su interior.

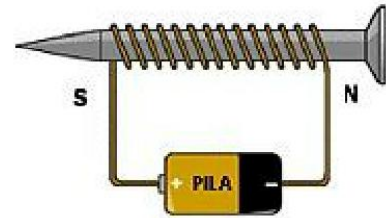
Los solenoides son ampliamente utilizados en la vida diaria. Se utilizan en las electroválvulas (dispositivos que abren y cierran, como un grifo, el paso de líquidos por tuberías), motores de arranque de vehículos, electroimanes, relés, etc.



Relé



Electroválvula

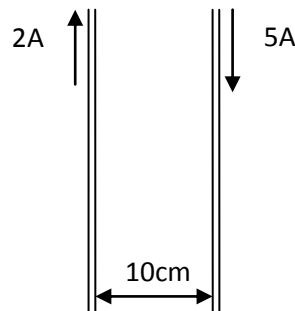


Electroimán

Fíjate en el relé. Cuando pasa corriente eléctrica por los polos + y – (por ejemplo cuando se conecta a una pila) el campo magnético creado por el solenoide atrae a la chapita en forma de “L” provocando que se produzca una conexión distinta entre las chapitas verticales. Un uso corriente de los relés es en las luces intermitentes de los coches.

## “FUERZA SOBRE DOS HILOS RECTILÍNEOS CONDUCTORES”

Sean dos hilos de 1 m de longitud como los que siguen:



Veamos qué efecto produce el hilo de la izquierda sobre el hilo de la derecha.

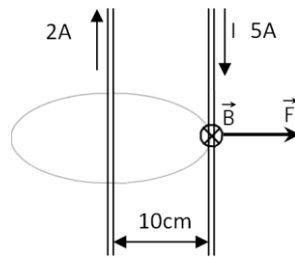
El hilo de la izquierda crea en la zona del segundo una inducción magnética,  $\vec{B}$ , cuyo valor en módulo es:

$$B = \frac{2 \cdot K' \cdot I}{a} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 2}{0,1} = 4 \cdot 10^{-6} T$$

Por otro lado debemos tener en cuenta que el segundo hilo (el de la derecha) está inmerso en ese campo magnético de  $4 \cdot 10^{-6} T$  y que por lo tanto estará sometido a una fuerza (Ley de Laplace,  $\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$ ):

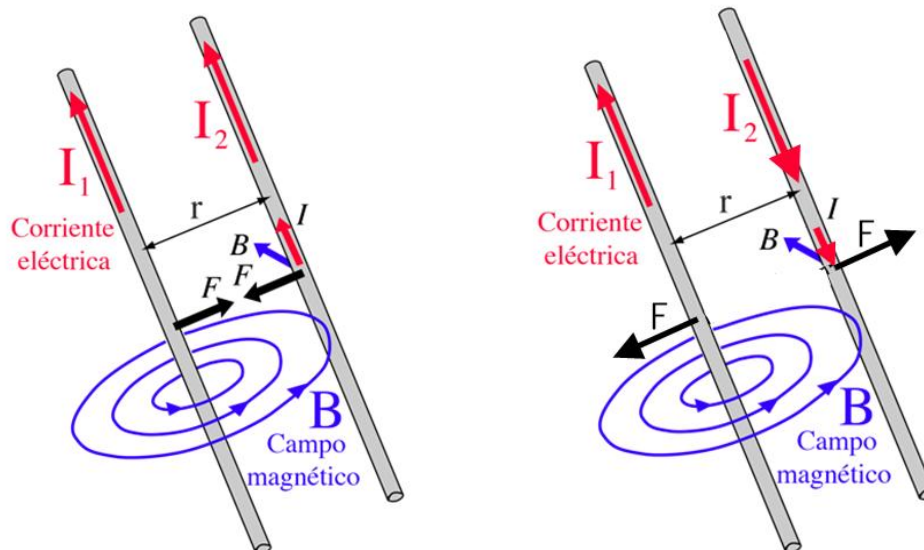
$$F = I \cdot l \cdot B = 5 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} N$$

Para ver cuál es la dirección y sentido de esa fuerza primero averiguamos la dirección y sentido de  $\vec{B}$ , en este caso será perpendicular al papel y hacia adentro, y luego averiguamos la dirección y sentido de  $\vec{F}$  utilizando la Ley de Laplace vectorial:



De igual manera podemos averiguar el valor de la fuerza  $\vec{F}$  que ejerce el campo magnético creado por el hilo de la derecha sobre el hilo de la izquierda.

Se dan las siguientes posibilidades dependiendo del sentido de las corrientes:



O sea, si tenemos dos hilos paralelos con corriente se atraerán si el sentido de las corrientes es el mismo y se repelerán si el sentido de las corrientes es distinto.

En definitiva, al igual que entre dos imanes existen fuerzas de atracción y repulsión también ocurre lo mismo entre:

- Dos hilos conductores.
- Un imán y un hilo conductor.
- Dos espiras.
- Una espira y un hilo conductor, etc.



## DEFINICIÓN DE AMPERIO

La atracción entre dos hilos de corriente paralelos se utiliza para la definición de Amperio.

Un Amperio sería la corriente que debe circular por cada uno de los dos hilos paralelos de longitud infinita para que entre ellos existiese una fuerza de atracción de  $2 \cdot 10^{-7}$  N/m

