

$$25 I_3 = 10 I_2$$

$$14 I_2 + 4 I_3 = 60$$

$$70 I_2 + 8 I_2 = 300$$

$$78 I_2 = 300$$

$$I_2 = \frac{300}{78}$$

$$I_2 = 3.84 \text{ A}$$

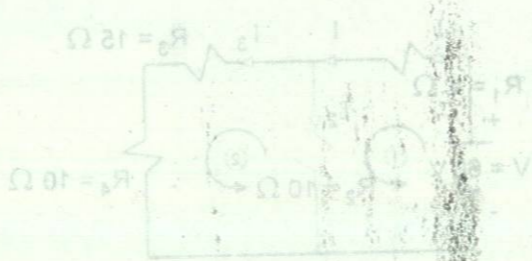
$$I_3 = \frac{2}{5} I_2$$

$$I_3 = \frac{2}{5} \cdot 3.84 \text{ A}$$

$$I_3 = 1.53 \text{ A}$$

Sustituyendo I_3 en la ecuación (b) multiplicando toda la ecuación por 5

Sustituyendo en I_3 resulta



MAGNETISMO

1. EL CAMPO MAGNÉTICO

El estudio de la electricidad no se puede completar si no se considera el tema del magnetismo. El área de la electricidad y la del magnetismo no pueden separarse. Siempre que los electrones se mueven, aparecen efectos magnéticos. Nuestro estudio del magnetismo comenzará con un repaso de las propiedades de los imanes. Seguidamente, consideraremos el campo magnético que produce un imán. Finalmente, estudiaremos las fuerzas que ejercen los campos magnéticos sobre las corrientes eléctricas. Como se verá, la operación de muchos dispositivos, tales como los motores, televisores y grabadoras, depende de los efectos de los campos magnéticos sobre las corrientes eléctricas.

1.1 LAS PROPIEDADES GENERALES DE LOS IMANES

Las propiedades magnéticas de ciertas rocas, llamadas magnetitas, se conocen desde hace más de 2000 años. La primera investigación minuciosa fue realizada por William Gilbert en 1600. Las propiedades de los imanes naturales y artificiales se resumen a continuación.

- 1.- Un imán tiene polos. El polo norte de un imán que está suspendido de una cuerda apunta hacia el norte. El polo sur del imán apunta hacia el sur. Los polos, aunque distintos, no pueden ser separados.
- 2.- Los polos iguales se repelen, mientras que los opuestos se atraen.

- 3.- Una brújula es un imán pequeño, en forma de aguja, balanceado sobre la punta de un alambre fino. El polo norte de la brújula apunta hacia el sur magnético de la Tierra. El norte geográfico y el magnético no están localizados en el mismo lugar.
- 4.- El cobalto y el níquel son sustancias magnéticas importantes. Los imanes permanentes se fabrican con aleaciones de estos metales. La mayor parte de los imanes permanentes comerciales se fabrican de ALNICO, una aleación de aluminio, níquel y cobalto.
- 5.- El hierro, el cobalto y el níquel pueden magnetizarse por inducción. Por ejemplo, cuando un pedazo de hierro se pone en contacto con un imán permanente, se convierte a su vez en un imán. El hierro es un imán temporal; tan pronto se separa del imán permanente, deja de ser un imán.

1.2 LOS CAMPOS MAGNÉTICOS QUE ESTÁN ALREDEDOR DE LOS IMANES PERMANENTES.

Todos los imanes, permanentes o temporales ejercen fuerzas sobre otros imanes que se encuentren a cierta distancia. Estas fuerzas se pueden explicar por medio de los **campos magnéticos** que existen alrededor de los imanes. La presencia de un campo magnético alrededor de un imán se puede demostrar cubriendo el imán con un pedazo de papel y rociándole limaduras de hierro. Las limaduras son pedazos de hierro. Son largas y delgadas y cada una de ellas se convierte en un imán por inducción. Las limaduras se alinean solas y forman unas líneas que van de un polo a otro, según se ilustra en la figura 31. Estas líneas ayudan a visualizar el campo magnético. Obsérvese que las líneas de campo magnético son imaginarias. Sin embargo, pueden utilizarse para imaginarse lo que ocurre al colocar un imán cerca de otro. El número de líneas de campo magnético en una región dada se llama el **flujo magnético**, el flujo por unidad de área indica la magnitud del campo magnético, como se ilustra en la figura 31 (b). Las limaduras de hierro se concentran más donde el flujo por unidad de área (el campo magnético) es mayor en los polos.

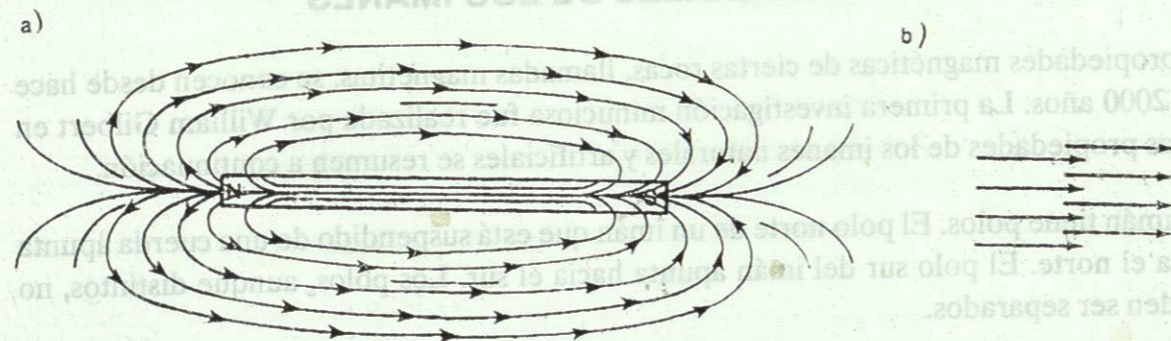


Fig. No. 31.

Las líneas de flujo magnético se extienden desde el polo norte hasta el polo sur en el exterior de un imán y desde el polo sur hasta el polo norte en el interior.

Cuando una brújula se coloca en un campo magnético, apunta en la dirección de las líneas de ese campo magnético. En el exterior del imán, las líneas corren desde el polo norte hacia el polo sur. Dentro del imán, las líneas corren desde el polo sur hacia el polo norte. Las líneas de campo magnético siempre forman trayectorias cerradas.

Las líneas de campo eléctrico comienzan y terminan en una carga eléctrica. Si los polos magnéticos se pudieran separar y aislar, las líneas de campo magnético empezarían y terminarían en cada polo aislado. Sin embargo, los polos magnéticos siempre aparecen en pares; nunca se ha descubierto uno aislado (el monopolio).

El comportamiento de los campos magnéticos, debido a parejas de polos magnéticos iguales, se puede observar poniendo un papel sobre los polos (N y N o S y S) de dos imanes colocados cerca uno del otro. Es posible observar el patrón del campo magnético, si el papel se rocía con limaduras de hierro. En la figura 32 (a) se muestra el patrón que forman dos polos iguales. En contraste, dos polos desiguales (N y S), colocados cerca uno del otro, forman un patrón distinto. Las limaduras muestran que las líneas de campo magnético corren de un imán al otro, ver figura 32 (b).

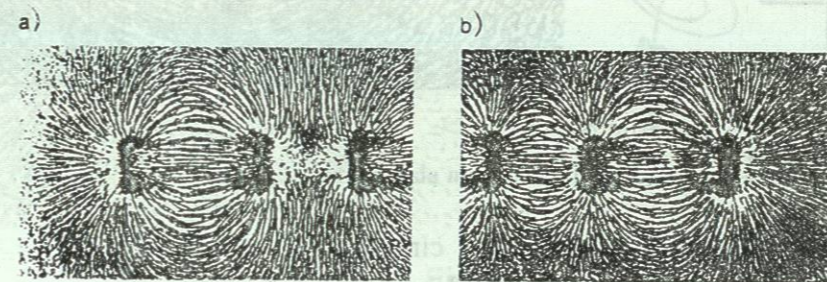


Fig. No. 32.

Las líneas de campo entre dos polos iguales (a) y entre dos polos distintos (b).

La fuerza que ejerce un campo magnético sobre el polo norte de un imán actúa en la dirección de las líneas de campo. Por lo tanto, un polo norte experimentará una fuerza que lo aleja del polo norte de otro imán y que lo atrae hacia el polo sur. La fuerza ejercida sobre el polo sur actúa en la dirección opuesta a la de las líneas de campo. El polo sur experimentará una fuerza que lo atrae hacia el polo norte de otro imán y lo repele del polo sur. En resumen, los polos iguales se repelen, mientras que los polos distintos se atraen.

2. EL ELECTROMAGNETISMO

En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted (1777--1851) realizó un descubrimiento importante acerca del magnetismo. Al experimentar con las corrientes eléctricas en los alambres, Oersted colocó uno de sus alambres sobre una brújula pequeña. Observó que cada vez que hacía pasar una corriente por el alambre, la aguja de la brújula se movía. Oersted sabía que un campo magnético podía ejercer una fuerza sobre un imán. Por lo tanto, la corriente

eléctrica hacía, de alguna forma, que apareciera un campo magnético alrededor del alambre. Los estudios posteriores que hizo Oersted le permitieron demostrar que cualquier alambre, por el cual pasa una corriente eléctrica, tiene un campo magnético a su alrededor, es decir, las corrientes eléctricas producen campos magnéticos.

Se puede estudiar el campo magnético que está alrededor de un alambre por el cual pasa una corriente eléctrica, atravesando verticalmente un cartón con el alambre. Al rociar el cartón con limaduras de hierro, se puede observar el patrón del campo magnético. Este patrón consiste de círculos concéntricos alrededor del alambre, véase la figura 33.

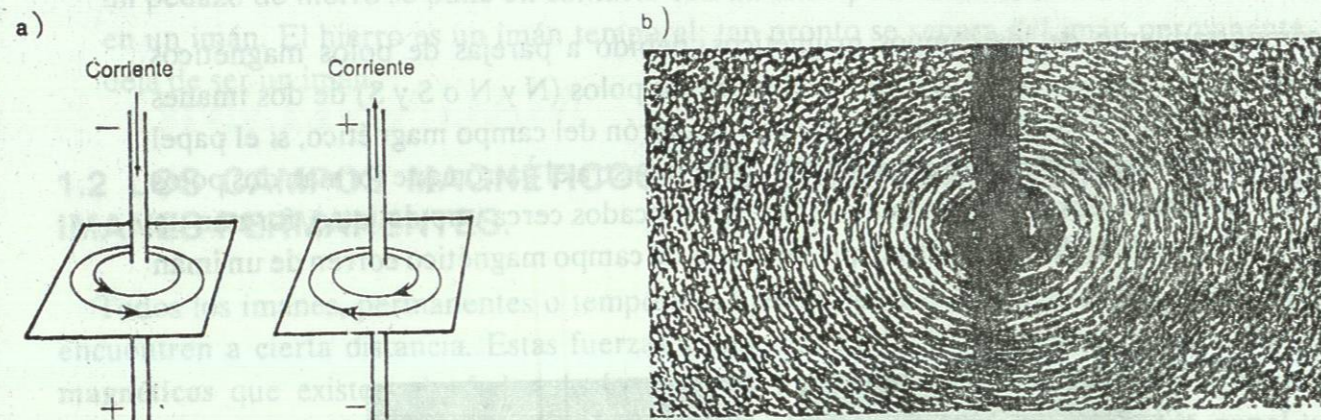


Fig. No. 33.

El campo magnético que produce una corriente que fluye por un alambre recto.

La gráfica indica que el campo magnético forma círculos cerrados. La magnitud del campo magnético que está alrededor del alambre varía directamente con la magnitud de la corriente que fluye por él. La magnitud del campo magnético varía inversamente con la distancia desde el alambre.

La **regla de la mano izquierda** se utiliza para determinar la dirección del campo magnético que está alrededor de un alambre recto. Para esto, se toma el alambre con la mano izquierda y permitiendo que el dedo pulgar apunte en la dirección en que se mueven los electrones, las puntas de los dedos de la mano, que se cierran formando un círculo, indican la dirección del campo magnético, ver figura 34.

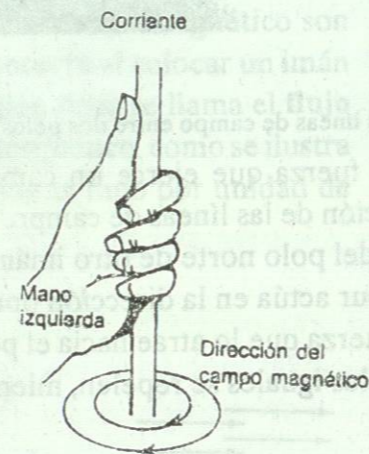


Fig. No. 34.

Figura 33.- La regla de la mano izquierda aplicada a un alambre por el cual fluye una corriente eléctrica.

2.1 EL CAMPO MAGNÉTICO QUE ESTA ALREDEDOR DE UNA BOBINA

Cuando la corriente pasa por un alambre que forma una espira, se produce un campo magnético. Si se aplica la regla de la mano izquierda en cualquier parte del alambre, se puede observar que la dirección del campo magnético dentro de la espira siempre es la misma, véase la figura 35.

En el ejemplo mostrado en el diagrama, la dirección es hacia afuera de la página en la parte interior de la espira, y en el exterior la dirección del campo magnético siempre es hacia adentro de la página.

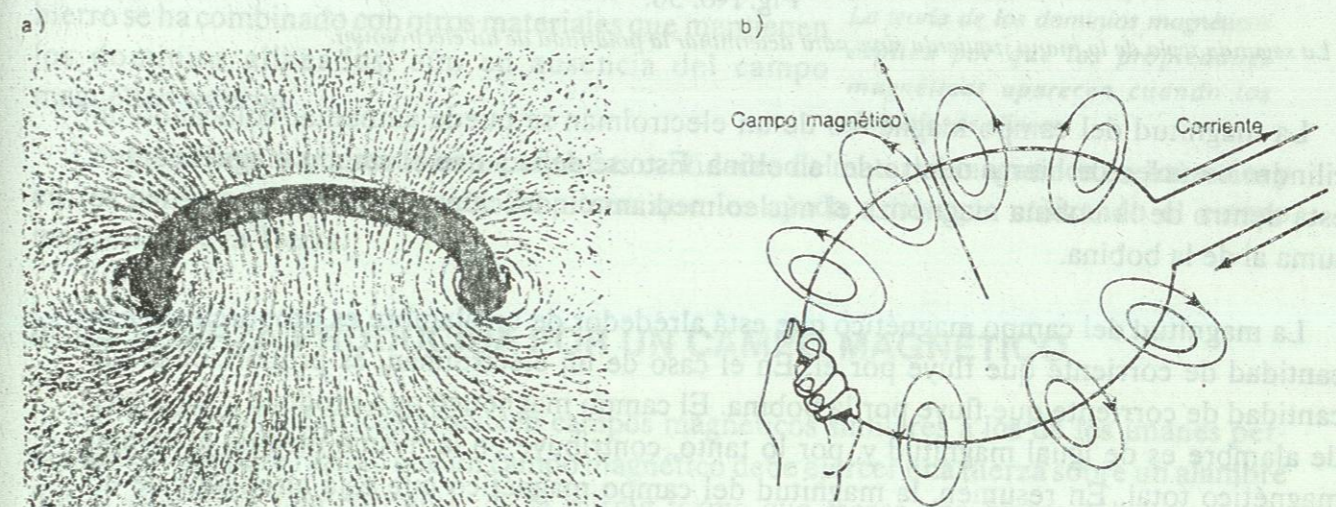


Fig. No. 35.

El campo magnético que está alrededor de un alambre doblado en forma circular por el cual fluye una corriente

Imagínese que un alambre se dobla en varias espiras de igual tamaño, formando una bobina. Cuando la corriente pasa por la bobina, el campo magnético alrededor de las espiras tendrá la misma dirección. Dentro de la bobina habrá un campo magnético continuo que apunta en una sola dirección. El campo que está en el exterior de la bobina tendrá la dirección opuesta.

Cuando una corriente fluye por una bobina, ésta se comporta como un imán permanente. Al acercar la bobina a un imán permanente, uno de sus extremos será repelido por el polo norte del imán y el otro será atraído. Por lo tanto, la bobina tiene un polo norte y un polo sur, como cualquier imán. Este tipo de imán se llama **electroimán**.

La dirección del campo producido por un electroimán se puede determinar utilizando la **segunda regla de la mano izquierda**. Para esto, se toma la bobina con la mano izquierda, con los dedos curvados en la dirección en que los electrones fluyen por el alambre. El dedo pulgar, que está sobre la bobina, apuntará hacia el polo norte del electroimán, ver figura 36.

Para esta regla se considera la dirección que sigue el flujo de los electrones, es decir, la corriente eléctrica real.

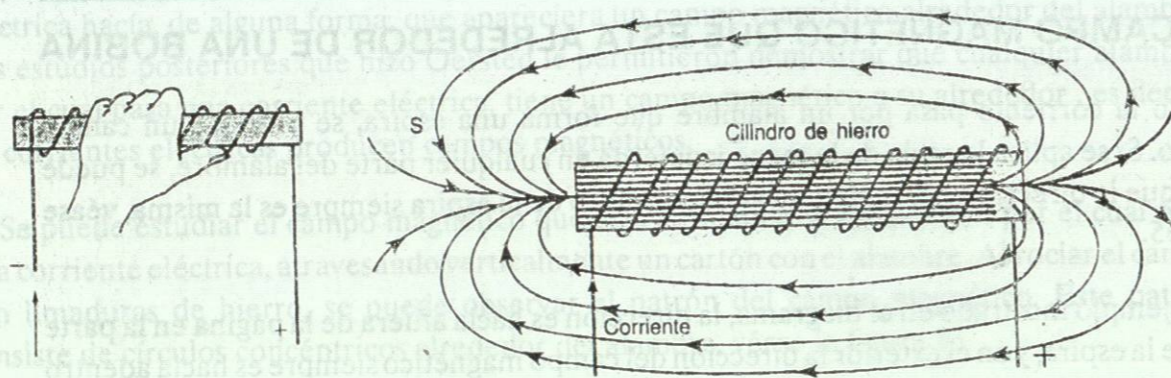


Fig. No. 36.

La segunda regla de la mano izquierda sirve para determinar la polaridad de un electroimán.

La magnitud del campo magnético de un electroimán se puede aumentar colocando un cilindro o núcleo de hierro dentro de la bobina. Esto se debe a que el campo magnético que está dentro de la bobina magnetiza el núcleo mediante inducción y su campo magnético se suma al de la bobina.

La magnitud del campo magnético que está alrededor de un alambre es proporcional a la cantidad de corriente que fluye por él. En el caso de un electroimán, es proporcional a la cantidad de corriente que fluye por la bobina. El campo magnético que produce cada espira de alambre es de igual magnitud y, por lo tanto, contribuye en la misma medida al campo magnético total. En resumen, la magnitud del campo magnético que está alrededor de un electroimán depende de la corriente que fluye por la bobina, del número de vueltas que tiene el alambre y del tipo de material del que está hecho el núcleo.

3. LOS MATERIALES MAGNÉTICOS

El comportamiento de un electroimán es similar al de un imán permanente en la forma de barra. A comienzos del Siglo XIX, Andre Ampere (1775-1836) propuso una teoría para explicar este comportamiento. Ampere sabía que los efectos magnéticos de un electroimán aparecían por la presencia de una corriente eléctrica en la bobina. De forma análoga, Ampere razonó que el magnetismo en un imán permanente se debía a "anillos" de corriente, muy pequeños, dentro del imán. En esencia, este razonamiento estaba correcto.

En un átomo, cada electrón actúa en forma similar a un electroimán pequeño. Los campos magnéticos de un grupo de átomos cercanos se pueden juntar, formando un grupo que se conoce como **dominio**. Aunque los dominios son mucho más grandes que los átomos individuales, son sumamente pequeños. Así que, aún un pedazo pequeño de hierro, contiene un gran número de dominios.

En un pedazo cualquiera de hierro, los dominios tienen campos magnéticos que apuntan en todas direcciones y cancelan su efecto individual. Cuando el hierro se coloca dentro de un campo magnético, los dominios tienden a alinearse en la dirección del campo magnético externo, como se ilustra en la figura 37. En un imán temporal, los dominios vuelven a su posición desorganizada al retirar el campo magnético externo. En los imanes permanentes, el hierro se ha combinado con otros materiales que mantienen los dominios alineados, aún en ausencia del campo magnético externo.

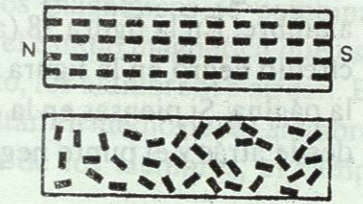


Fig. No. 37.

La teoría de los dominios magnéticos explica por qué las propiedades magnéticas aparecen cuando los dominios se alinean.

Los científicos han descubierto pequeñas cantidades de material magnético en bacterias y en los cerebros de algunas aves. Se piensa que les ayuda a navegar utilizando el campo magnético de la Tierra.

4. LA FUERZA PRODUCIDA POR UN CAMPO MAGNÉTICO

Las corrientes eléctricas producen campos magnéticos similares a los de los imanes permanentes. Ampere razonó que un campo magnético debe ejercer una fuerza sobre un alambre por el cual fluye una corriente, de la misma forma que ejerce una fuerza sobre un imán permanente.

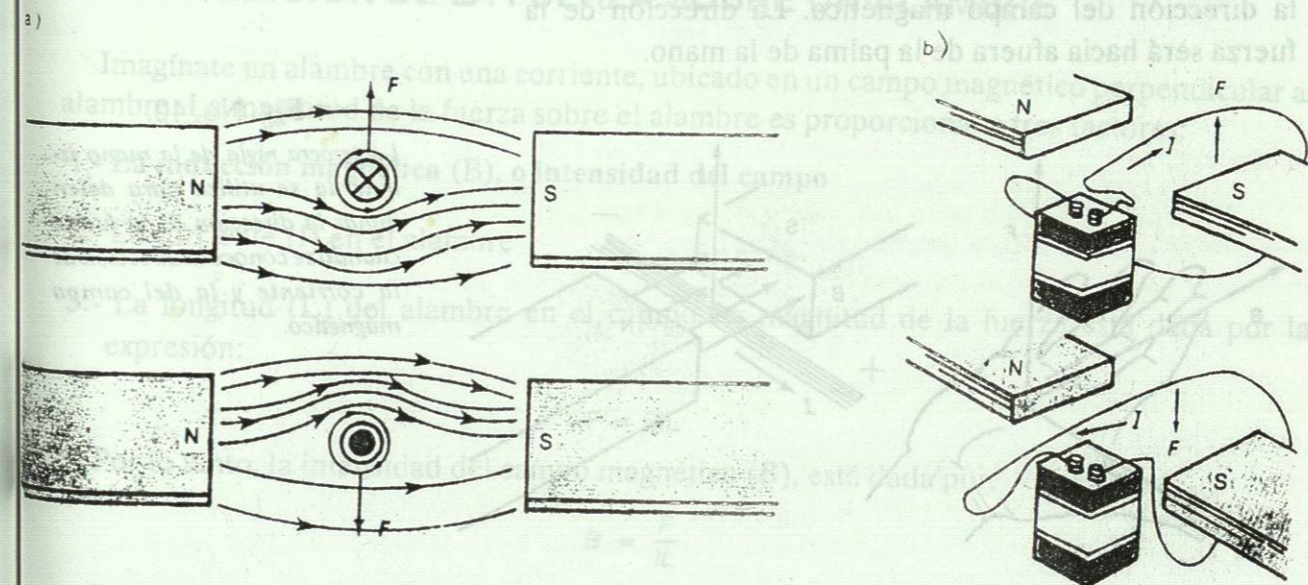


Fig. No. 38.

Figura 37.- Una representación de las fuerzas sobre una corriente en un campo magnético.

La figura 38 sirve para demostrar la fuerza que ejerce un campo magnético sobre un alambre. En la figura 38 (a), la cruz indica que la corriente fluye hacia dentro de la página. El círculo negro en la figura 38 (b) indica que la corriente fluye en la dirección hacia afuera de la página. Si piensas en la corriente como si fuera una flecha, la cruz representa la flecha vista desde atrás y el punto negro representa la flecha vista de frente.

La intensidad o magnitud del campo magnético se llama la **inducción magnética** y se representa por **B**. La inducción magnética es una cantidad vectorial, por lo que se puede representar por una flecha. Algunos de estos vectores se ilustran en la figura 39, los vectores que apuntan hacia adentro o hacia afuera de la página se representan de la misma manera que el flujo de corriente eléctrica.

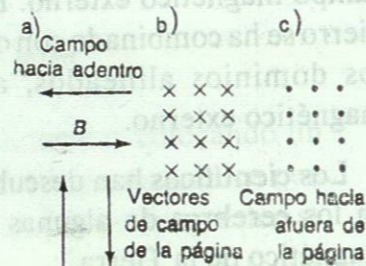


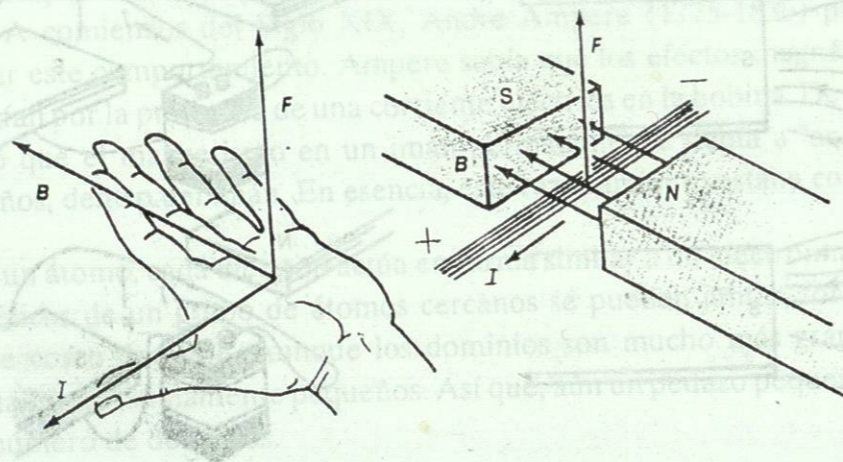
Fig. No. 39.

La dirección de un campo magnético se indica mediante flechas (a) cuando el campo es paralelo a la página, mediante cruces (b) cuando es hacia adentro de la página y mediante puntos (c) cuando es hacia afuera de la página.

Michael Faraday (1791-1867) encontró que la fuerza sobre un alambre por el que fluye una corriente tiene una dirección perpendicular a la dirección del campo magnético y a la de la corriente eléctrica. La dirección de la fuerza se puede determinar por medio de la **tercera regla de la mano izquierda**, como se ilustra en la figura 40. Con la mano abierta, coloca el dedo pulgar en la dirección del flujo de electrones y los dedos restantes en la dirección del campo magnético. La dirección de la fuerza será hacia afuera de la palma de la mano.

Fig. No. 40.

La tercera regla de la mano izquierda se utiliza para determinar la dirección de la fuerza cuando se conoce la dirección de la corriente y la del campo magnético.



En la figura 41 se muestra que la dirección del campo magnético alrededor de los alambres sigue la regla de la mano izquierda. En la figura 41(a) vemos que los campos magnéticos que

están en medio de los alambres se oponen. Como los campos magnéticos se combinan vectorialmente, la resultante es un campo magnético débil, pero el campo magnético que está fuera de los alambres mantiene su intensidad normal. Por lo tanto, los alambres se atraen. En la figura 41(b), se presenta la situación opuesta: los campos que están en medio de los alambres tienen la misma dirección, por lo que se suman. Hacia afuera de los alambres, el campo magnético tiene su intensidad normal, por lo tanto, se repelen.

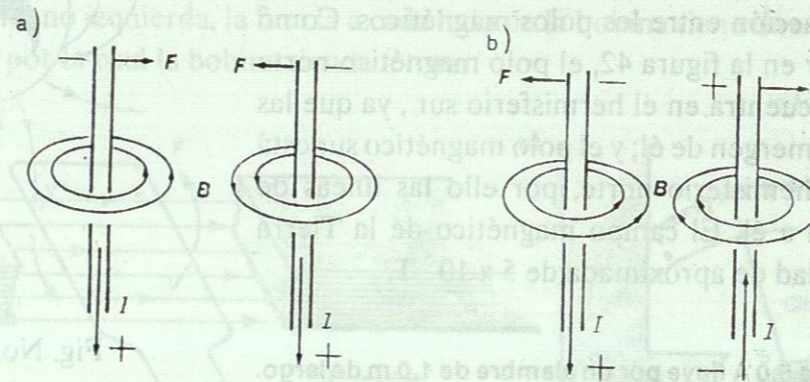


Fig. No. 41.

Dos alambres paralelos (a) se atraen cuando la corriente en ellos fluye en la misma dirección y (b) se repelen cuando las corrientes fluyen en direcciones opuestas.

4.1 LA MEDICIÓN DE LA FUERZA SOBRE UN ALAMBRE

Imagínate un alambre con una corriente, ubicado en un campo magnético perpendicular al alambre. La magnitud de la fuerza sobre el alambre es proporcional a tres factores:

- 1.- La **inducción magnética (B)**, o intensidad del campo
- 2.- La corriente (I) en el alambre
- 3.- La longitud (L) del alambre en el campo. La magnitud de la fuerza está dada por la expresión:

$$F = BIL$$

Por lo tanto, la intensidad del campo magnético (B), está dada por:

$$B = \frac{F}{IL}$$

La unidad en el Sistema Internacional para la intensidad, o inducción de un campo magnético es el tesla (T). Un tesla equivale a un newton entre amper por metro, N/A·m. La intensidad del campo magnético se mide en términos de la fuerza sobre un alambre de un metro de largo por el cual pasa una corriente de un amper.