

UD-5 Magnetismo y Electromagnetismo

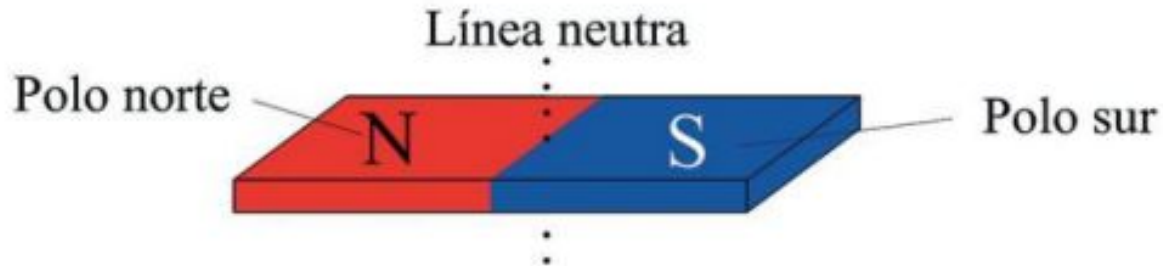
1.- Imanes

A los materiales que son susceptibles de ser atraídos por un imán se los conoce por el nombre de materiales ferromagnéticos.



Polos de un imán

Las zonas donde se produce la mayor atracción se denominan polos magnéticos. La zona donde no hay atracción se denomina línea neutra.



Brújula

Una brújula es una aguja imantada que puede girar libremente en su eje central.

Si nosotros dejamos girar libremente a la aguja imantada de una brújula, esta se orientará siempre con un extremo hacia el polo norte terrestre y el otro hacia el sur.

De aquí proviene el nombre de los polos de un imán. Al extremo de la aguja que se orienta hacia el norte geográfico terrestre se lo denomina polo norte, y al otro, polo sur.



Clases de imanes

En la naturaleza se pueden encontrar imanes naturales, como la magnetita, que posee ciertas propiedades magnéticas.

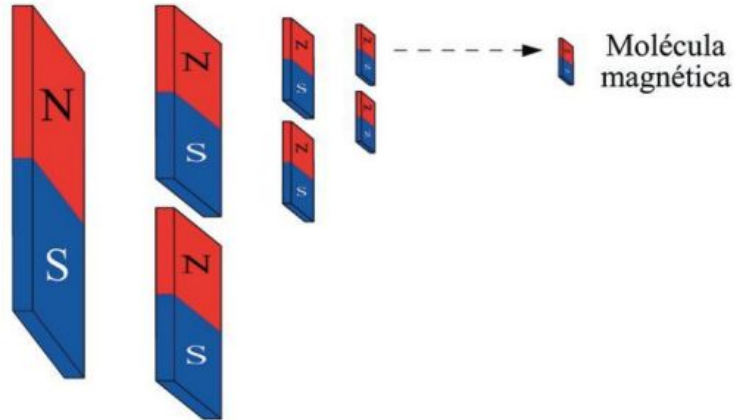
Ahora bien, si lo que deseamos es potenciar dichas propiedades se pueden fabricar imanes artificiales a partir de sustancias ferromagnéticas.

Teoría molecular de los imanes

Si rompemos un imán en dos, las dos partes resultantes son dos imanes completos con sus polos correspondientes.

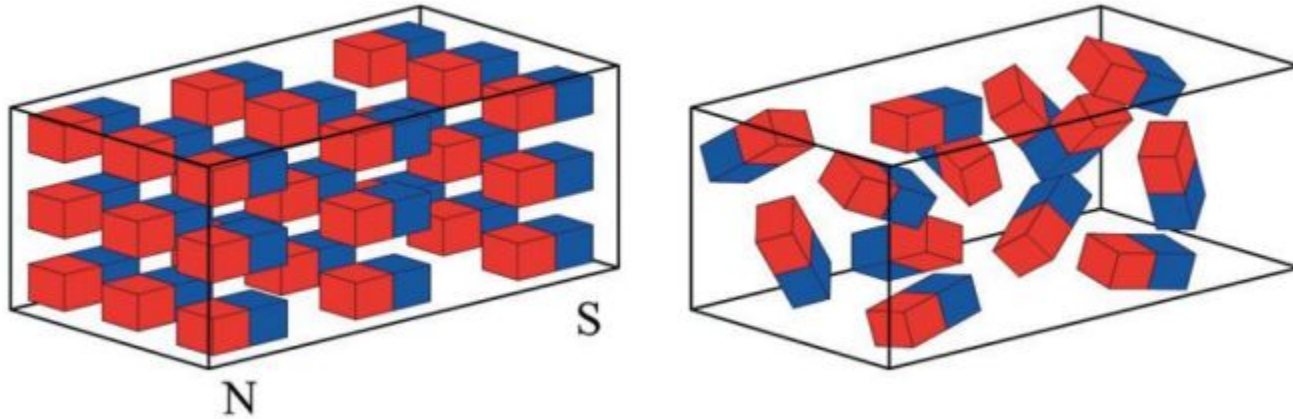
Si volviésemos a romper una de estas partes obtendríamos otros dos nuevos imanes.

Este proceso se puede repetir multitud de veces, hasta alcanzar lo que vendremos a llamar molécula magnética



Según esta teoría, se puede suponer que un imán está compuesto de moléculas magnéticas perfectamente orientadas con los polos respectivos del imán.

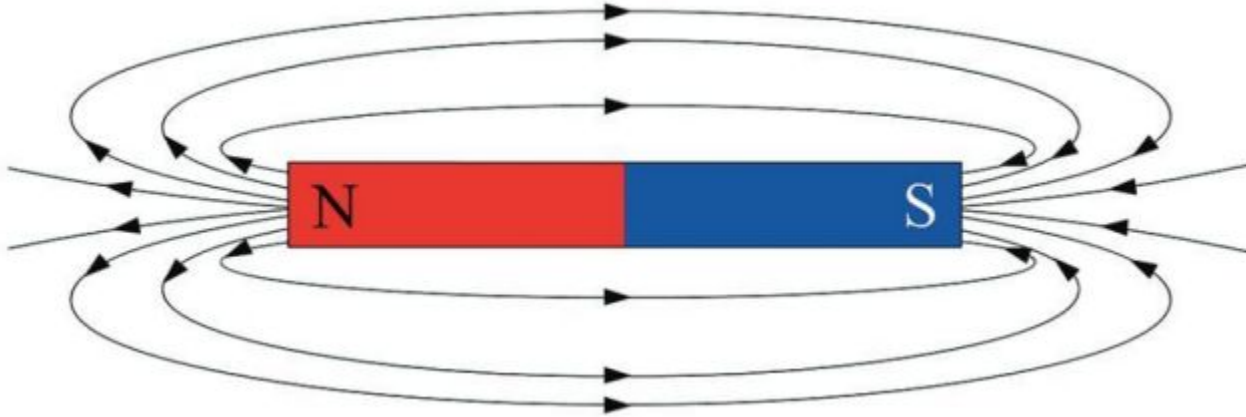
Un trozo de hierro sin imantar está compuesto de moléculas magnéticas totalmente desorientadas.



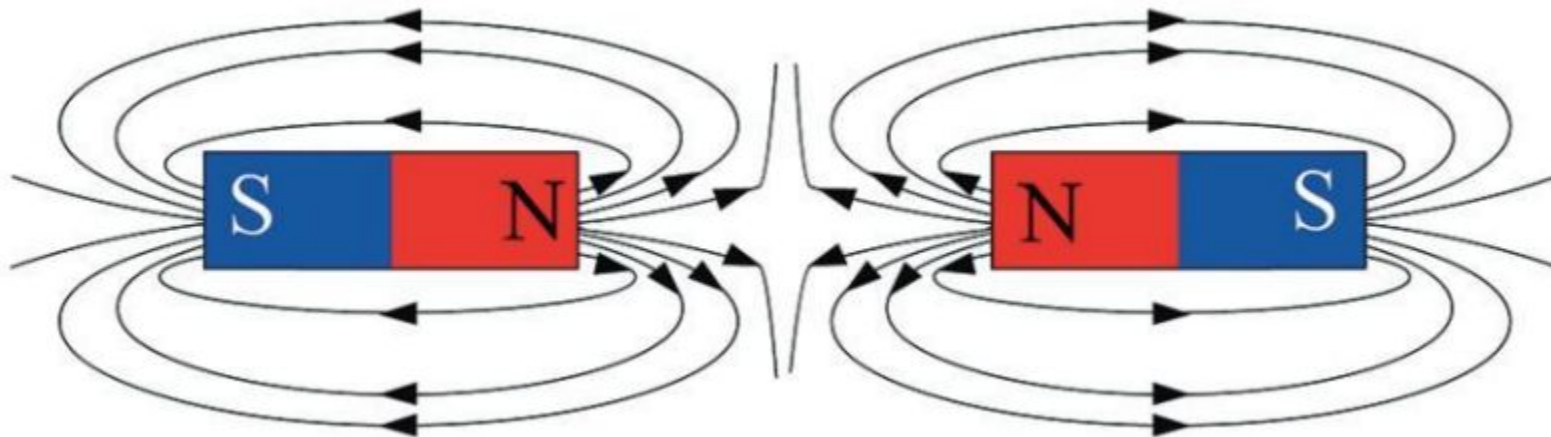
Campo magnético de un imán

Las líneas de fuerza únicamente representan la forma del campo magnético.

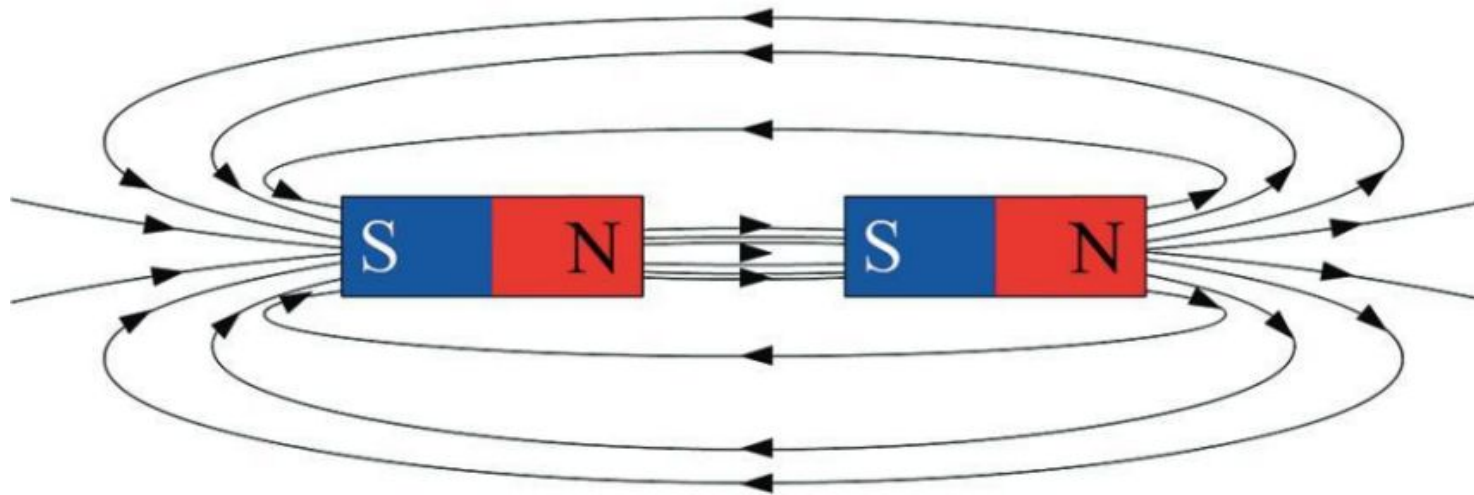
Se dice que las líneas de campo salen por el polo norte del imán, recorren el espacio exterior y entran por el polo sur.



Repulsión de 2 imanes



Atracción de 2 imanes

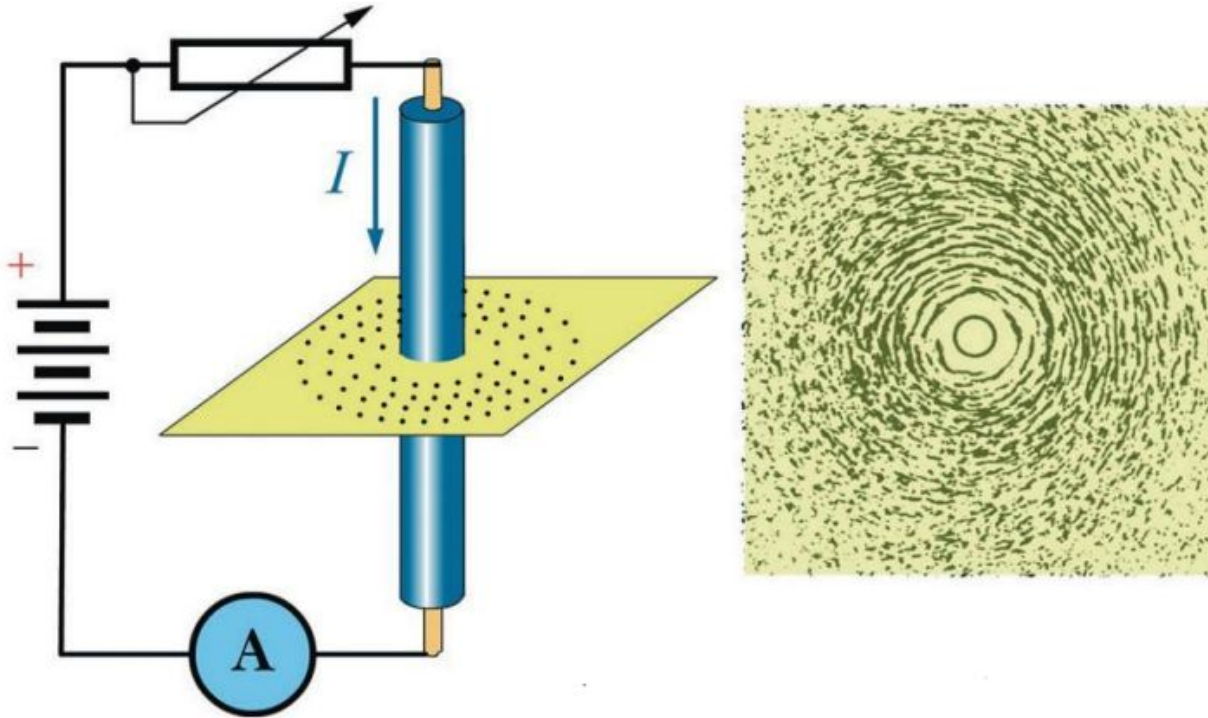


2.- Electromagnetismo

Los imanes producen un campo magnético considerable, pero para ciertas aplicaciones este resulta todavía muy débil.

Para conseguir campos más intensos utilizaremos bobinas fabricadas con conductores eléctricos, que al ser recorridos por una corriente eléctrica desarrollan campos magnéticos, cuya intensidad depende fundamentalmente de la intensidad de la corriente y del número de espiras de la bobina.

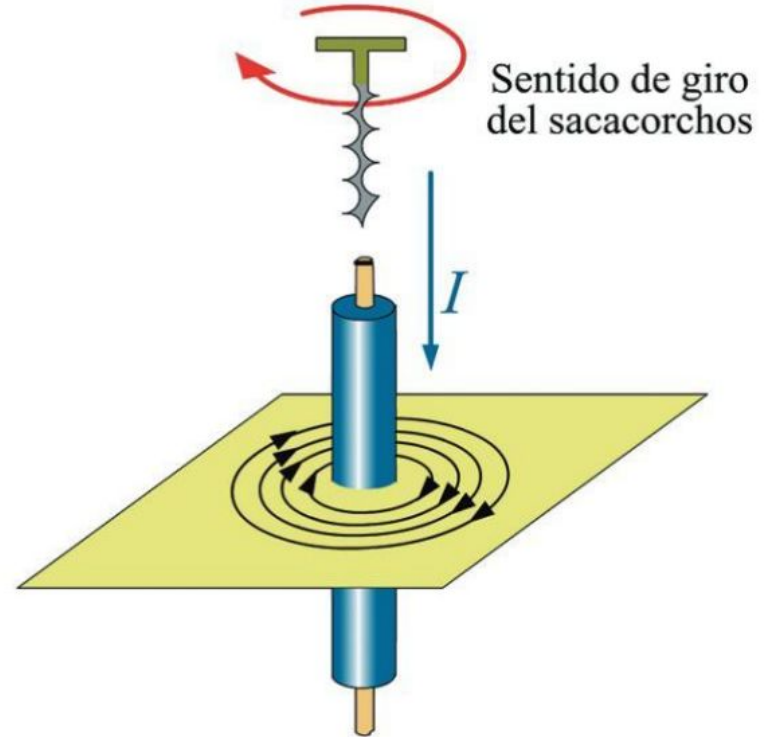
Campo magnético creado por un conductor cuando es atravesado por una corriente eléctrica



Regla del sacacorchos o de Maxwell

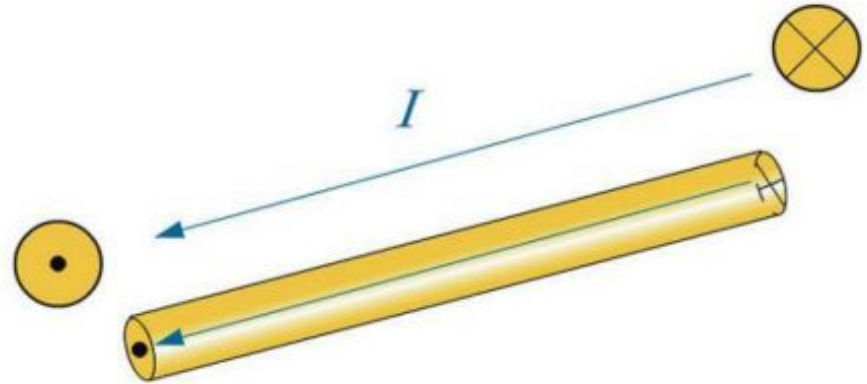
Cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético.

El sentido de las líneas de fuerza, concéntricas al conductor, es el que indicaría el giro de un sacacorchos que avanzase en el mismo sentido que la corriente.

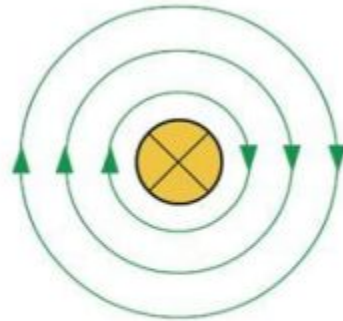


A veces, es mucho más cómodo representar las líneas de fuerza del campo magnético en un plano perpendicular al conductor.

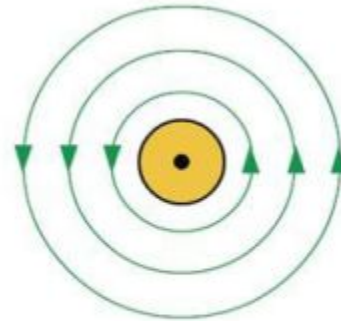
Para ello se dibuja la sección recta y circular del conductor, indicando con un aspa la corriente que entra en el papel y con un punto la corriente que sale del papel.



En los siguientes ejemplos de la Figura se muestra el aspecto del campo magnético de una corriente saliente y de una entrante, una vez aplicada la regla del sacacorchos.



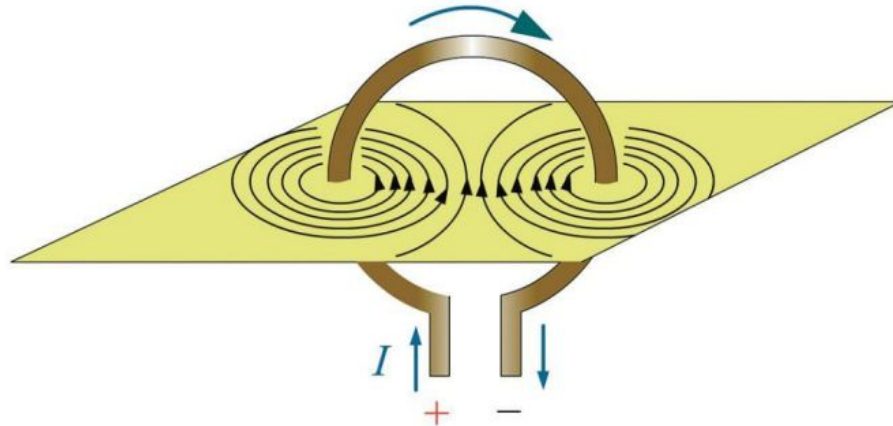
Corriente
entrante



Corriente
saliente

Campo magnético en un conductor en forma de anillo

Un conductor recto produce un campo magnético muy disperso y, por tanto, muy débil. La forma de conseguir que el campo magnético sea más fuerte es disponer el conductor en forma de anillo.

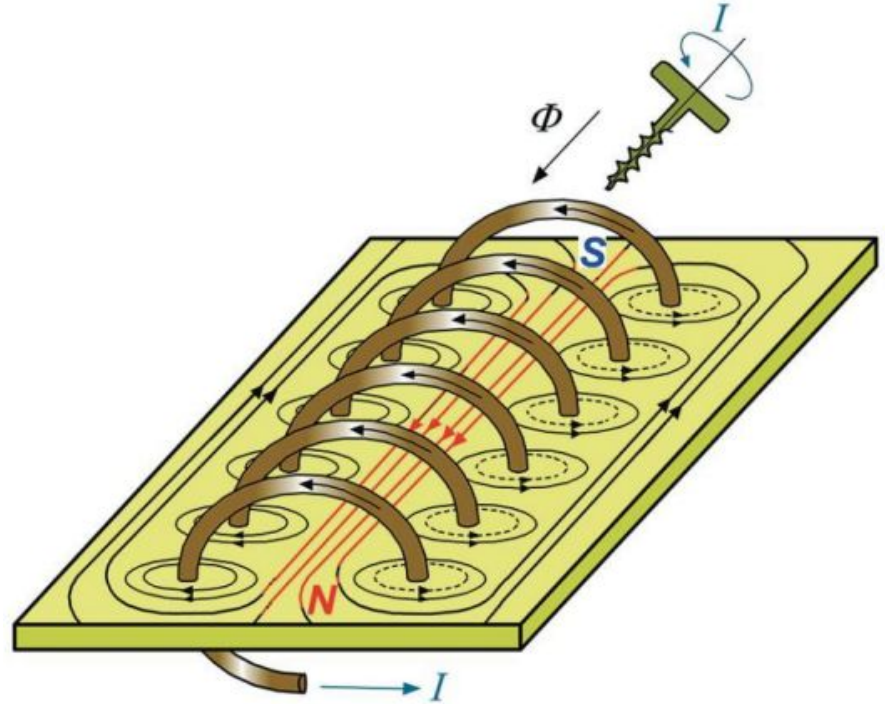


Campo magnético formado por una bobina

En una bobina, el campo magnético de cada espira se suma al de la siguiente, concentrándose este en el centro de la misma.

El campo resultante es uniforme en el centro de la espira y mucho más intenso que en el exterior.

En los extremos de la bobina se forman polos magnéticos.



3.- Magnitudes Magnéticas

Flujo magnético (Φ)

El campo magnético se representa a través de las líneas de fuerza. La cantidad de estas líneas se denomina flujo magnético.

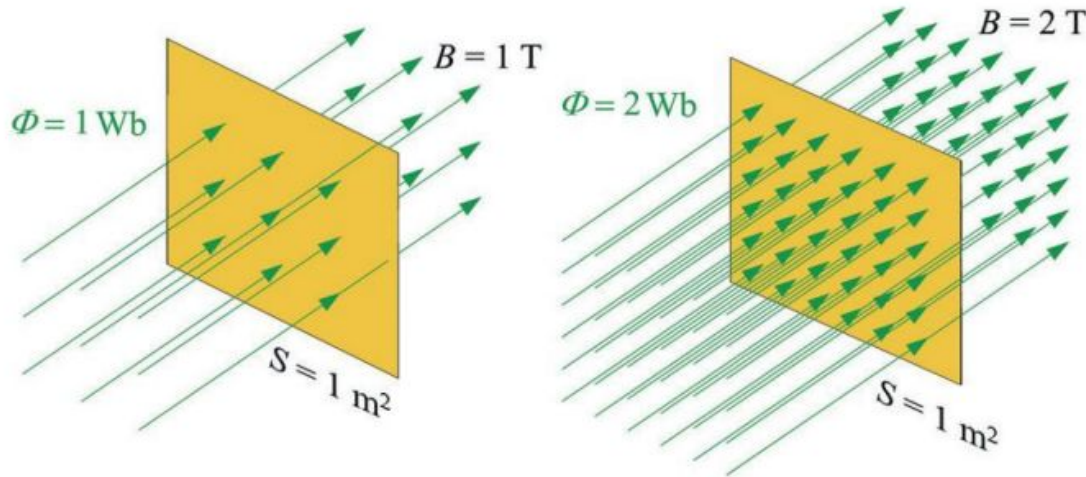
Su unidad de medida en el Sistema Internacional (SI) es el weber (Wb).

Inducción magnética (B)

La inducción magnética se define como la cantidad de líneas de fuerza que atraviesan perpendicularmente la unidad de superficie.

En cierta forma, nos indica lo densas que son las líneas de fuerza, o lo concentradas que están, en una parte del campo magnético.

Su unidad de medida en el Sistema Internacional (SI) es la tesla (T).



Se dice que existe una inducción de un tesla cuando el flujo de un weber atraviesa perpendicularmente una superficie de un metro cuadrado.

$$1 \text{ tesla} = \frac{1 \text{ weber}}{1 \text{ m}^2}$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

¿Cuál es la inducción magnética existente en la cara plana del polo de un imán recto de 30 cm^2 de superficie cuando es atravesado por un flujo magnético de $0,009 \text{ Wb}$? Expresa el resultado en teslas.

¿Cuál será el flujo magnético que existe en el campo magnético producido por una bobina si esta tiene un núcleo de 20 cm^2 de superficie y la inducción magnética en ella es de 1,5 teslas?

Fuerza magnetomotriz (F)

Se puede decir que es la capacidad que posee la bobina de generar líneas de fuerza en un circuito magnético.

La fuerza magnetomotriz aumenta con la intensidad de la corriente que fluye por la bobina y con el número de espiras de esta.

$$\mathcal{F} = N \cdot I$$

$\mathcal{F}$ = Fuerza magnetomotriz en amperio-vuelta (Av).

N = Número de espiras.

I = Intensidad de corriente (A).

Para el funcionamiento de un electroimán se necesita una fuerza magnetomotriz de 500 Av. Indica dos posibilidades de conseguirlo.

Intensidad de campo magnético (H)

La intensidad de campo en una bobina depende de la fuerza magnetomotriz (N.I) y es inversamente proporcional a la longitud media de las líneas de campo.

$$H = \frac{N \cdot I}{L}$$

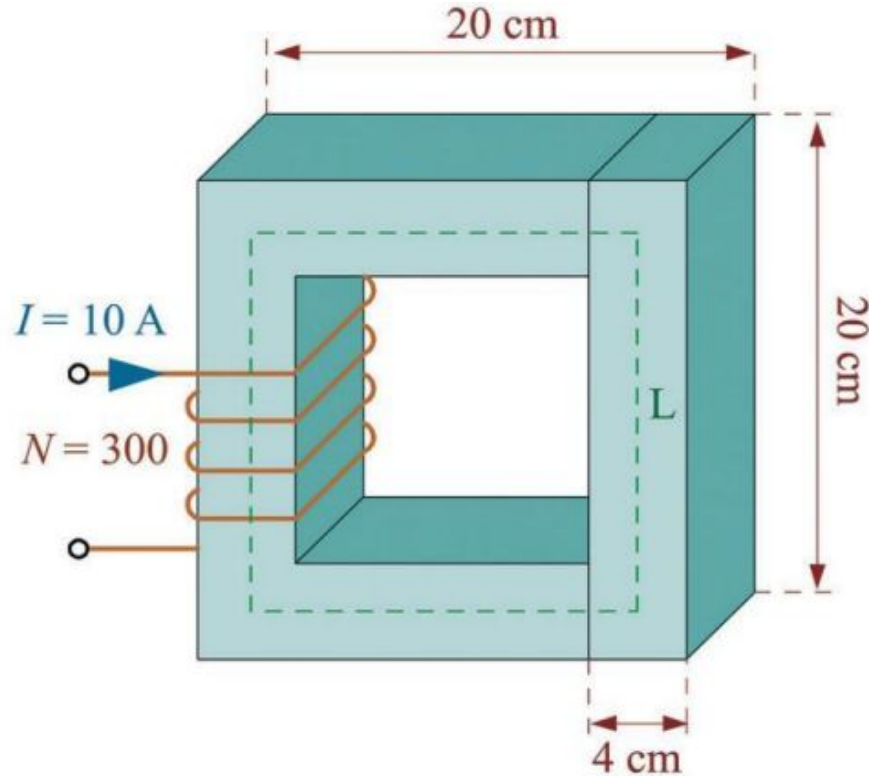
H = Intensidad del campo en amperio-vuelta/metro (Av/m).

N = Número de vueltas de la bobina.

I = Intensidad de la corriente (A).

L = Longitud de la bobina (m).

Calcula la intensidad del campo en el interior de la bobina de la Figura. El número de espiras de la misma es de 300 y la corriente 10 A.



Reluctancia (R)

La reluctancia de un material nos indica si este deja establecer las líneas de fuerza en mayor o menor grado.

Los materiales no ferromagnéticos, como el aire, poseen una reluctancia muy elevada. En cierta forma la reluctancia es un concepto similar al de resistencia en un circuito eléctrico, hasta tal punto que podemos establecer una ley de Ohm para los circuitos magnéticos:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}_e}{\mathfrak{R}}$$

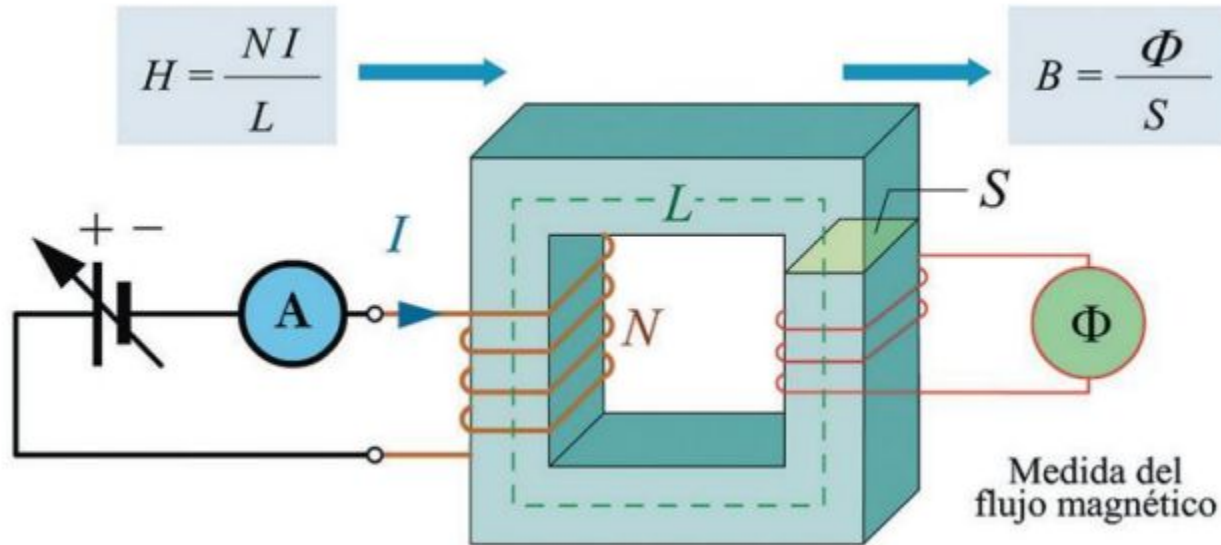
$$\mathfrak{R} = \frac{\mathcal{F}_e}{\Phi}$$

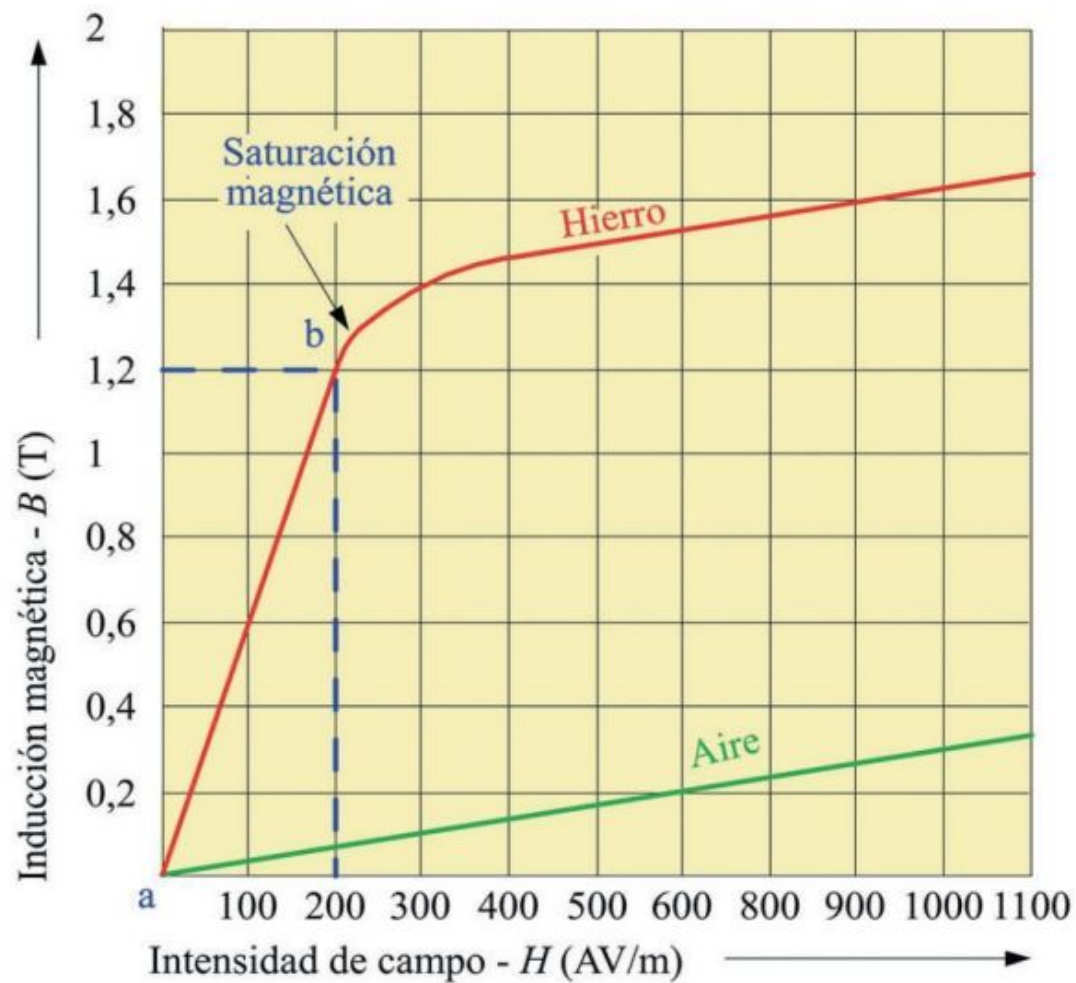
Las unidades que le corresponden son: Av/Wb

Calcula la reluctancia que posee el núcleo de un electroimán si al hacer circular 5 A por la bobina de 1.000 espiras se ha establecido un flujo magnético de 5 mWb.

4.- Curva de Magnetización. Saturación.

Cuando se somete una sustancia a la acción de un campo magnético creciente H , la inducción magnética que aparece en ella también aumenta en una relación determinada. Por lo general, esta relación (B - H) no es constante.





5.- Permeabilidad magnética

Se puede comprobar experimentalmente que al introducir en el núcleo de una bobina una barra de hierro, se aprecia un notable aumento de las propiedades magnéticas de dicha bobina. Por esta razón, siempre que deseemos producir campos magnéticos intensos utilizaremos núcleos de hierro, como es el caso de los electroimanes.

Cuando se introduce en el núcleo de una bobina una sustancia ferromagnética, se aprecia un aumento de líneas de fuerza en el campo magnético. Si llamamos B_0 a la inducción magnética que produce el electroimán con un núcleo de aire, y B a la inducción magnética conseguida al introducir una sustancia ferromagnética, tendremos que:

$$B = \mu_r \cdot B_0$$

μ_r es el poder que posee la sustancia ferromagnética de multiplicar las líneas de campo. A este parámetro se lo conoce por el nombre de permeabilidad. En este caso, se trata de la **permeabilidad relativa** con respecto al aire o al vacío.

En la práctica, es más usual utilizar el concepto de **permeabilidad absoluta** (μ). Esta relaciona la intensidad de campo que produce la bobina (H) con el nivel de inducción magnética alcanzado al introducir una sustancia ferromagnética en el núcleo.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

En la práctica, es más usual utilizar el concepto de **permeabilidad absoluta** (μ). Esta relaciona la intensidad de campo que produce la bobina (H) con el nivel de inducción magnética alcanzado al introducir una sustancia ferromagnética en el núcleo.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

O lo que es lo mismo: $B = \mu \cdot H$, donde se puede apreciar el poder multiplicador de la permeabilidad.

Las unidades de permeabilidad en el SI se dan en henrios/metro (H/m).

Cada sustancia magnética tiene su propio coeficiente de permeabilidad. Cuanto mayor es este coeficiente, mejores propiedades magnéticas poseerán estas sustancias. Como estudiaremos a continuación, la permeabilidad de los materiales no es constante, y depende sobre todo de los niveles de inducción a que se los someta.

La **permeabilidad del aire o el vacío** en el S.I. es:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Con esta expresión relacionamos la permeabilidad absoluta con la relativa:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Determina la permeabilidad absoluta y relativa que aparecerá en el núcleo de hierro de un electroimán si se ha medido un flujo magnético de 5 mWb. Los datos que se conocen son: $N = 500$ espiras; $I = 15$ A; longitud media del núcleo = 30 cm; superficie recta del núcleo = 25 cm^2 .

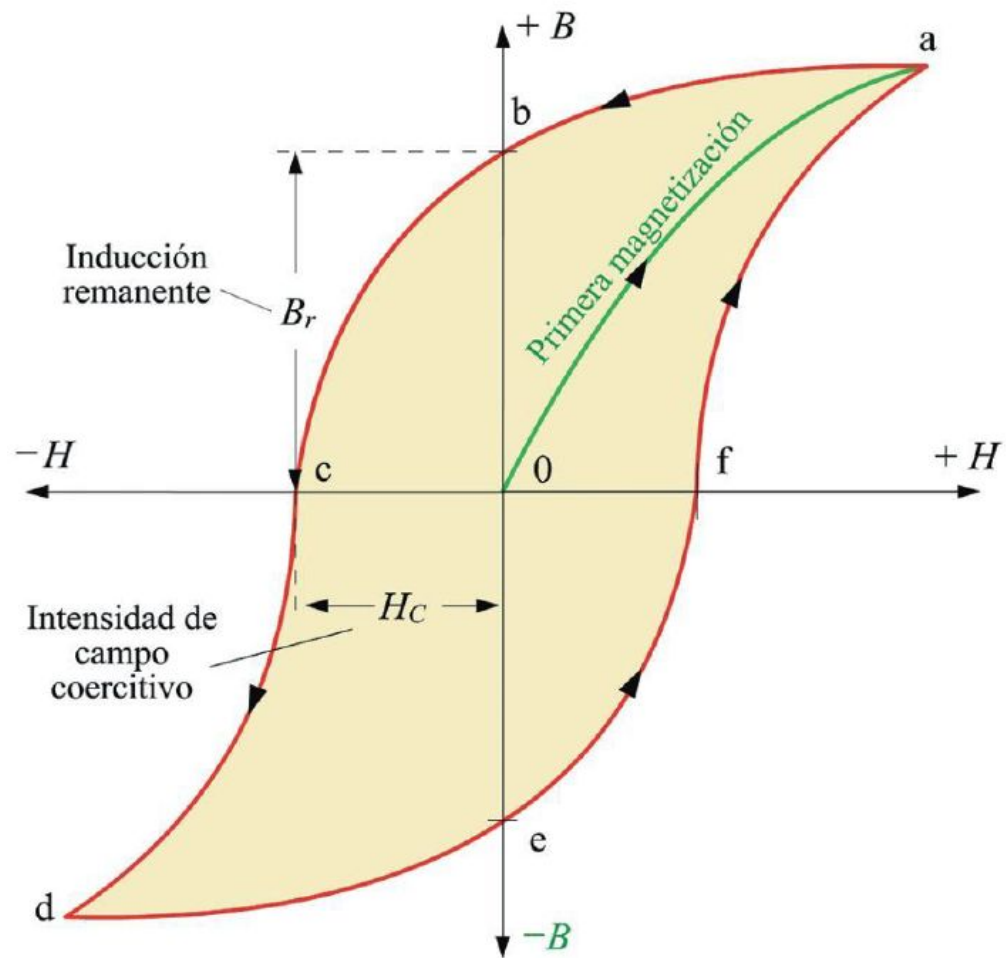
Una bobina posee 300 espiras, una longitud de 24 cm y está bobinada sobre un cilindro de 35 cm^2 de sección. Determina la inducción (el flujo magnético alcanzado) si el núcleo es de aire y se hace circular por la bobina una corriente de 20 A.

Relación entre H y B para diferentes niveles de inducción de varias sustancias ferromagnéticas

B (T)	H (A/m)		
	Hierro forjado	Chapa normal	Chapa al silicio
0,1	80	50	90
0,3	120	65	140
0,5	160	100	170
0,7	230	180	240
0,9	400	360	350
1,1	650	675	530
1,3	1.000	1.200	1.300
1,5	2.400	2.200	5.000
1,6	5.300	3.500	9.000
1,7	7.000	6.000	15.500
1,8	11.000	10.000	27.500
1,9	17.000	16.000	—
2	27.000	32.000	—

6.- Histéresis magnética

La palabra «histéresis» significa remanencia. Después de someter a una sustancia ferromagnética a la acción de un campo magnético, cuando este desaparece, la sustancia manifiesta todavía un cierto nivel de inducción magnética, que recibe el nombre de **magnetismo remanente**.



7.- Cálculo de circuitos magnéticos

Se puede decir que un circuito magnético es por donde se establecen las líneas de campo. Para determinar la fuerza magnetomotriz (los amperios-vuelta) que debe aportar una bobina a un circuito magnético para conseguir un determinado nivel de inducción magnética se utiliza la siguiente expresión:

Como:

$$H = \frac{N \cdot I}{L}$$

de aquí se deduce que:

$$N \cdot I = H \cdot L$$

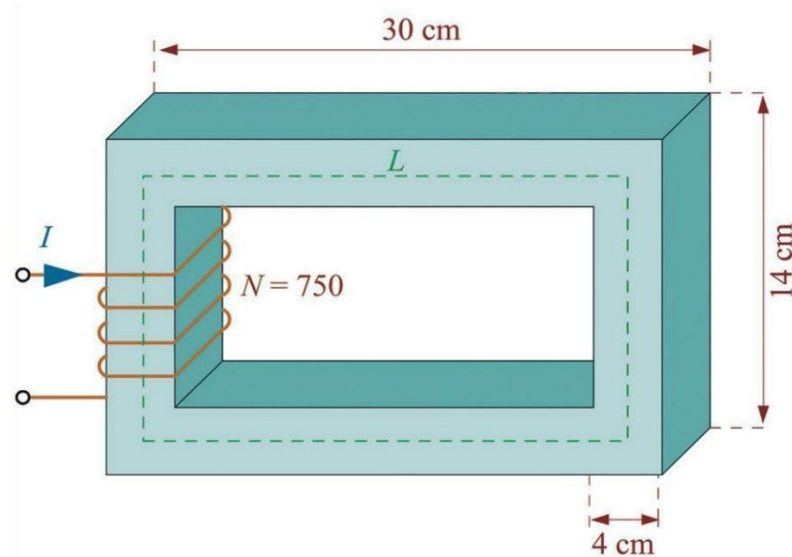
o lo que es lo mismo:

$$\mathcal{F} = H \cdot L$$

En la Figura se muestran las dimensiones de un circuito magnético fabricado con chapa al silicio.

Se necesita obtener un nivel de inducción magnética de 1,3 T.

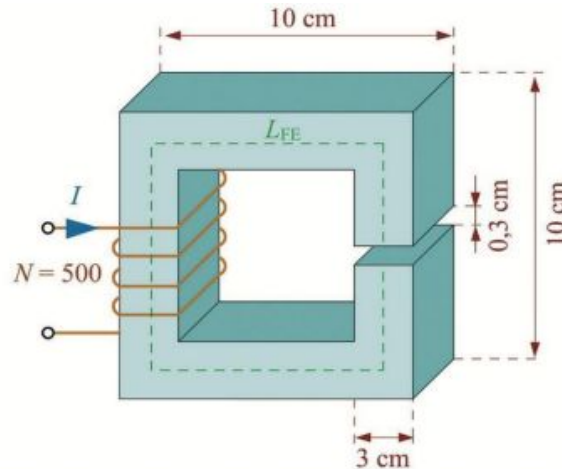
Calcula la corriente que tendrá que recorrer la bobina si esta posee 750 espiras.



El circuito magnético de la Figura está fabricado con hierro forjado.

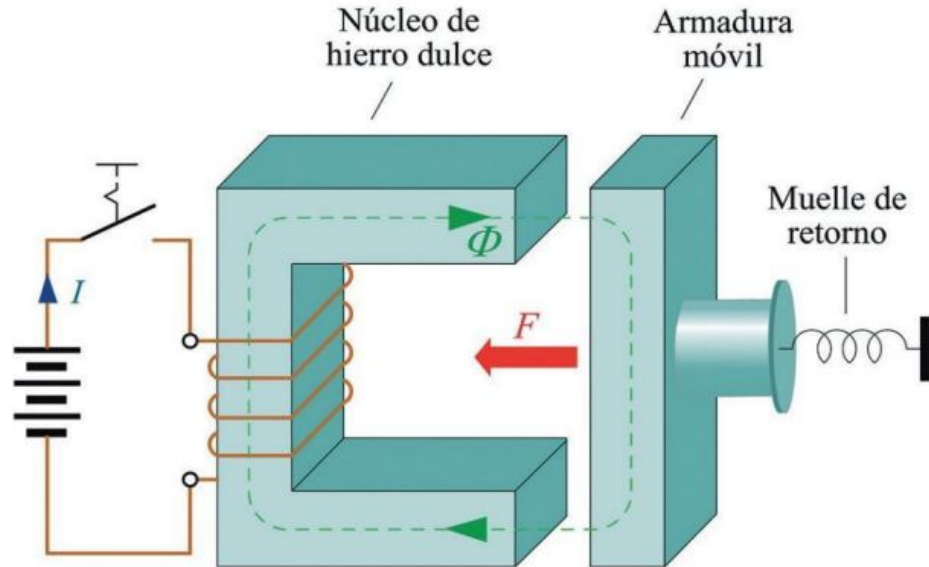
Se desea obtener en el entrehierro (espacio sin hierro, donde las líneas de campo se tienen que establecer con gran dificultad por el aire) una inducción magnética de $0,9 \text{ T}$.

Suponiendo que todo el flujo se conduce por dicho entrehierro y que no se dispersa, determina la intensidad de corriente que habrá que proporcionar a la bobina de 500 espiras.



7.- Electroimanes

Un electroimán consiste en un núcleo de hierro rodeado de una bobina, que se imanta a voluntad cuando hacemos pasar una corriente eléctrica, y se desimanta en el momento en que interrumpimos esta corriente.



La fuerza con la que atrae un electroimán a una pieza de hierro móvil (armadura) a través del aire o entrehierro se puede calcular con la ayuda de la siguiente expresión:

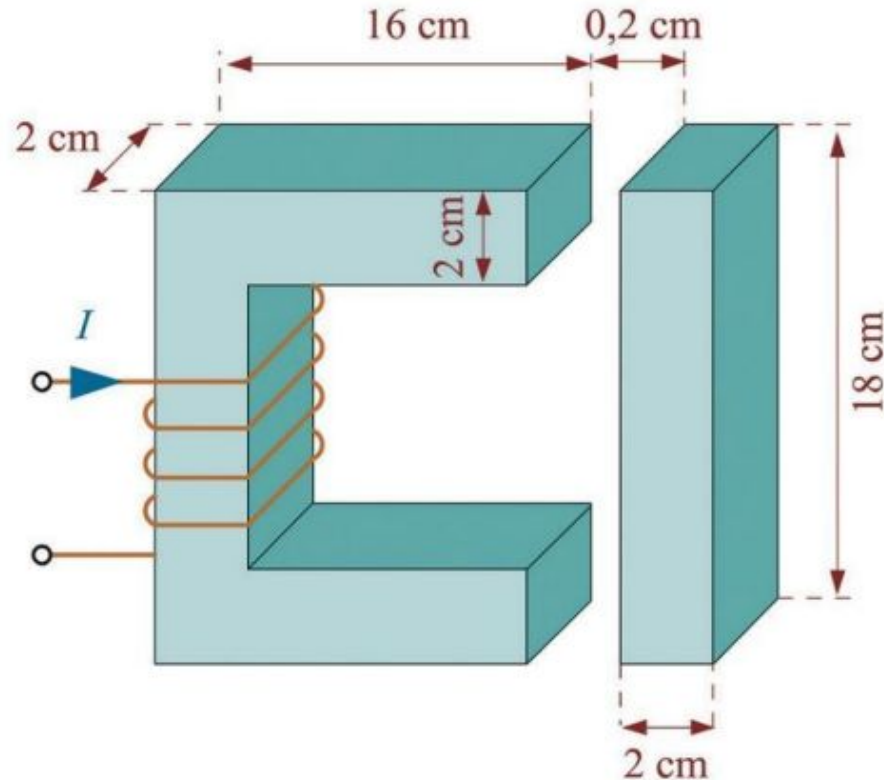
$$F = 40.000 \cdot B^2 \cdot S$$

F = Fuerza de atracción en Kp.

B = Inducción en el núcleo en T.

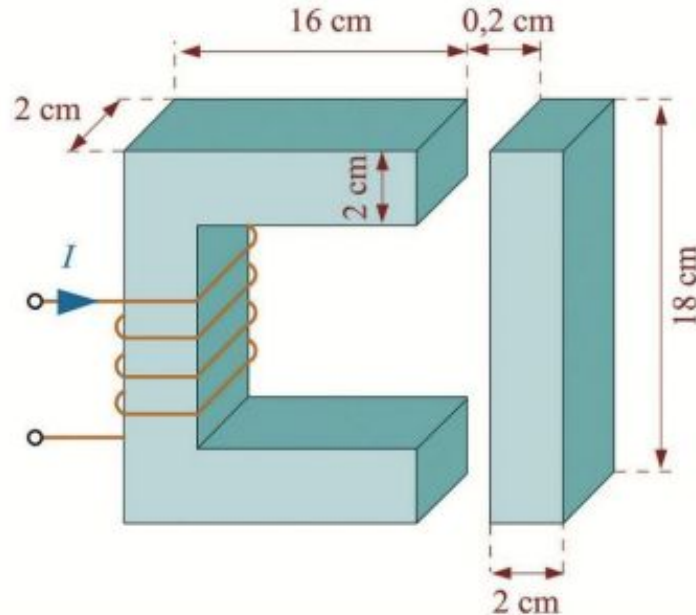
S = Superficie de contacto entre el núcleo y el hierro móvil en m^2 .

Determina la fuerza con la que atraerá el electroimán de la Figura a la armadura de hierro si la inducción que aparece en el núcleo es de 1,5 T.

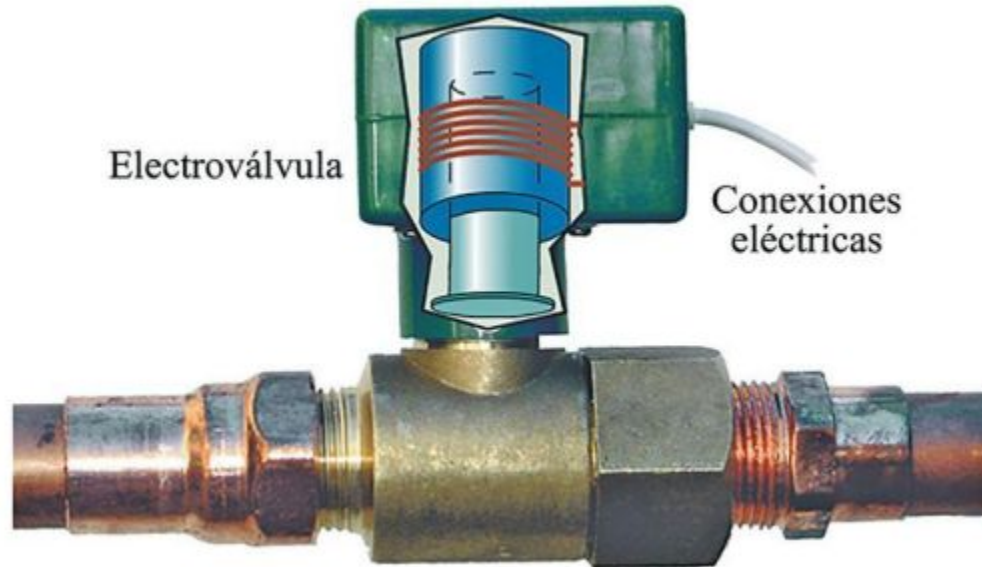


Se desea conseguir que el electroimán de la Figura desarrolle una fuerza de atracción de 2,88 Kp.

Teniendo en cuenta que el núcleo está fabricado con hierro forjado y que la bobina posee 344 espiras, calcula la intensidad de corriente eléctrica para conseguirlo.



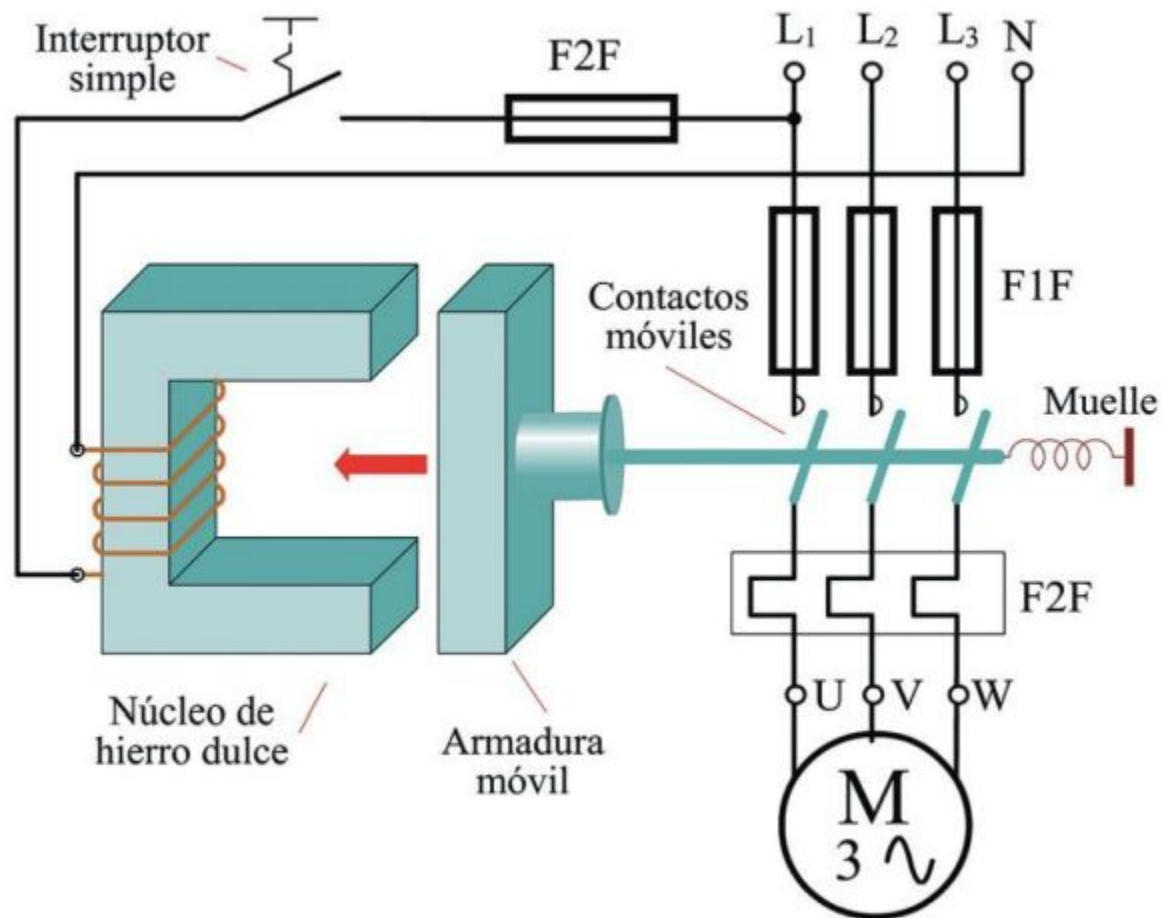
8.- Aplicaciones prácticas de los electroimanes

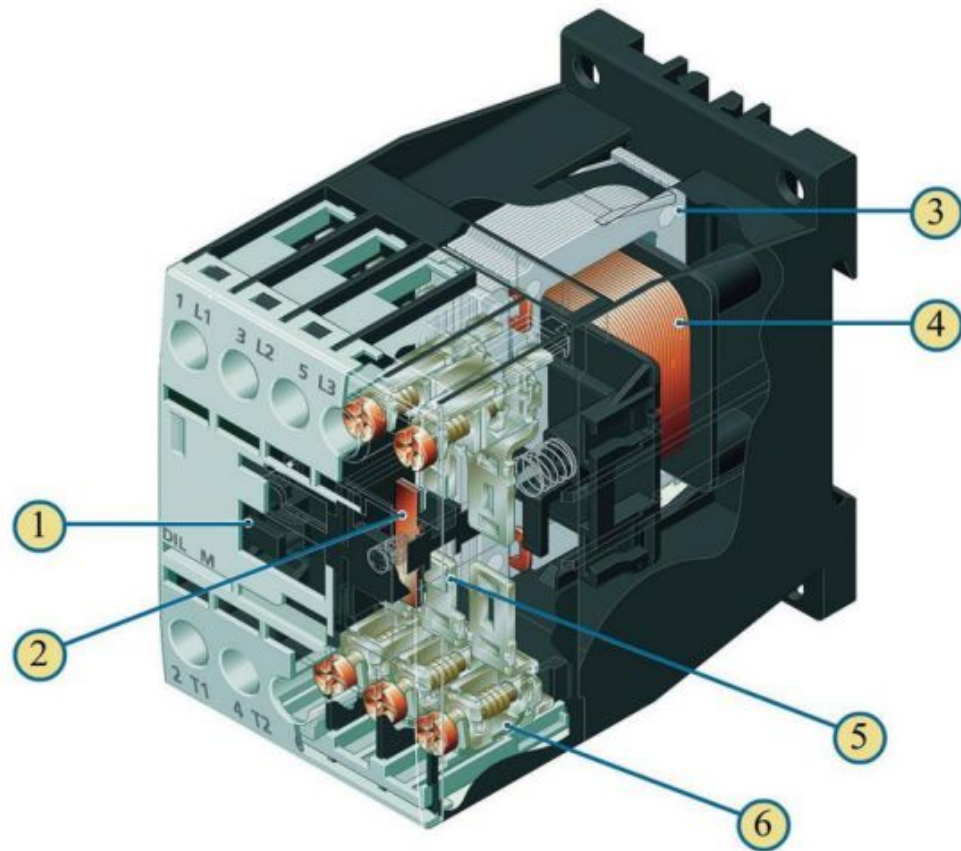


Timbre



Contactor

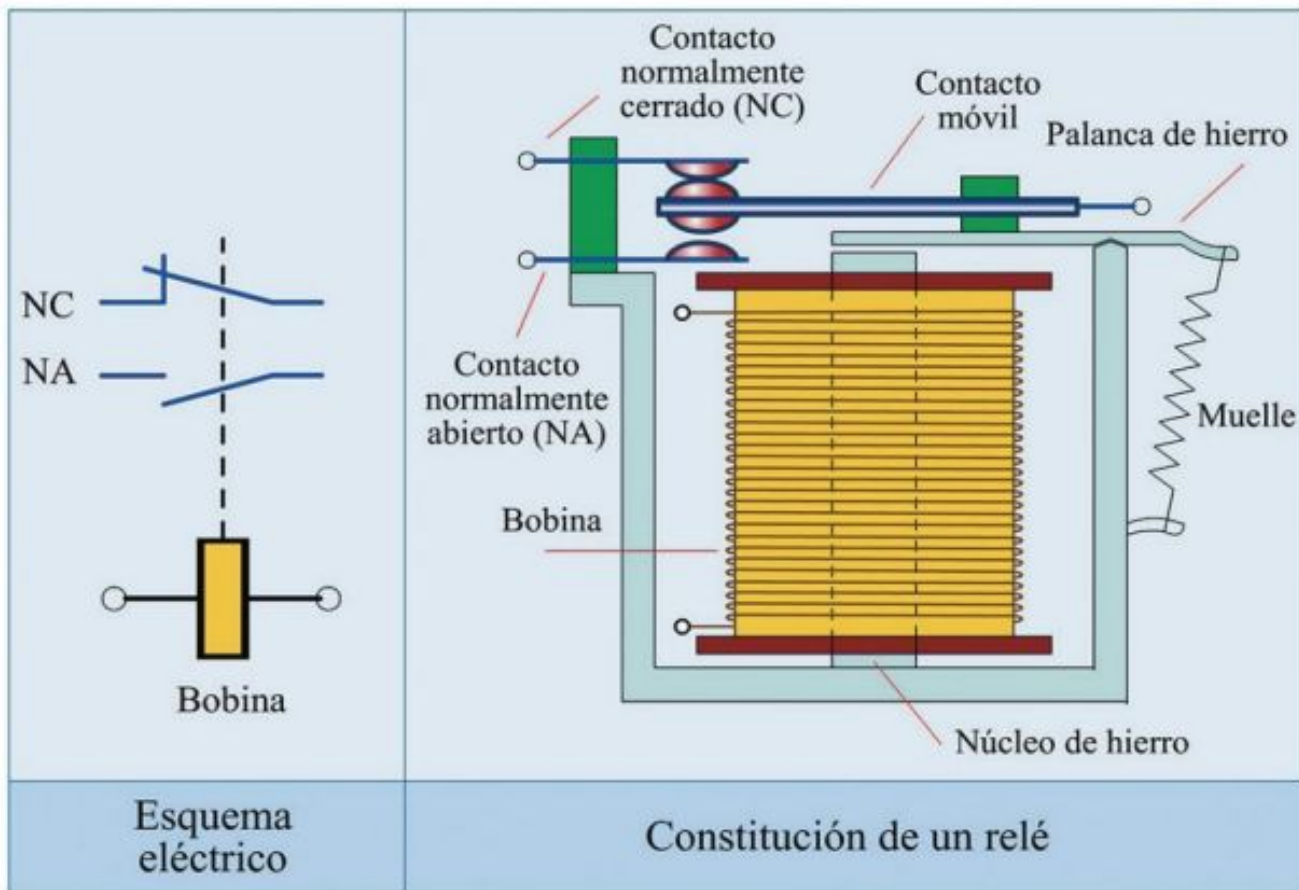




- 1. Acoplamiento para contacto auxiliar
- 2. Contacto fijo
- 3. Núcleo del electroimán

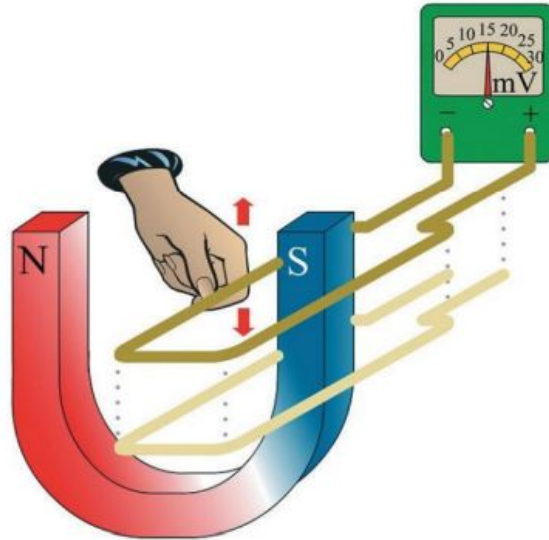
- 4. Bobina
- 5. Contacto móvil
- 6. Bornes de contacto

Relé



8.- Inducción electromagnética

Cuando nos referimos a la inducción electromagnética estamos hablando de «producción de electricidad por acción magnética»; es decir, «cuando se mueve un conductor eléctrico en el seno de un campo magnético aparece una fuerza electromotriz que se muestra como una tensión eléctrica en los extremos de dicho conductor»

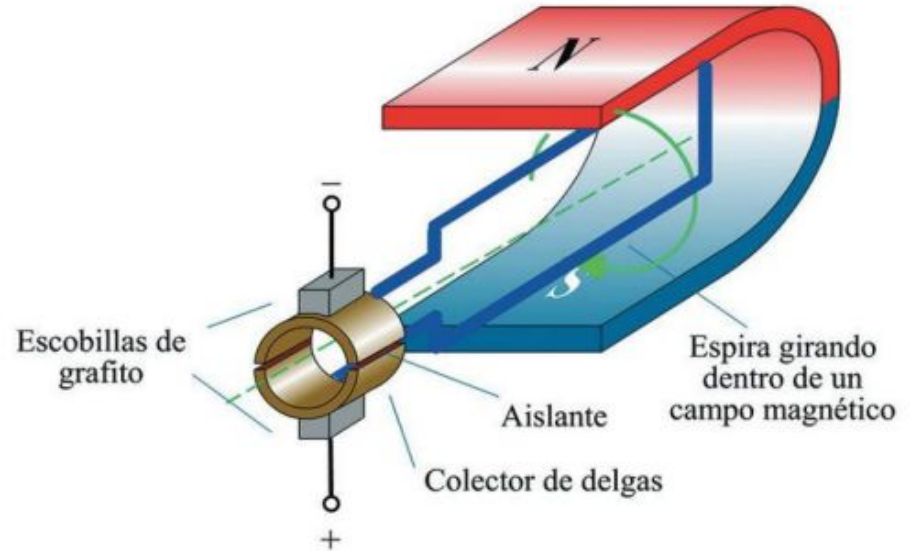


Dinamo elemental

Para producir C.C. se utiliza la dinamo.

Los conductores eléctricos del rotor producen una fuerza electromotriz al moverse dentro del campo magnético del estator.

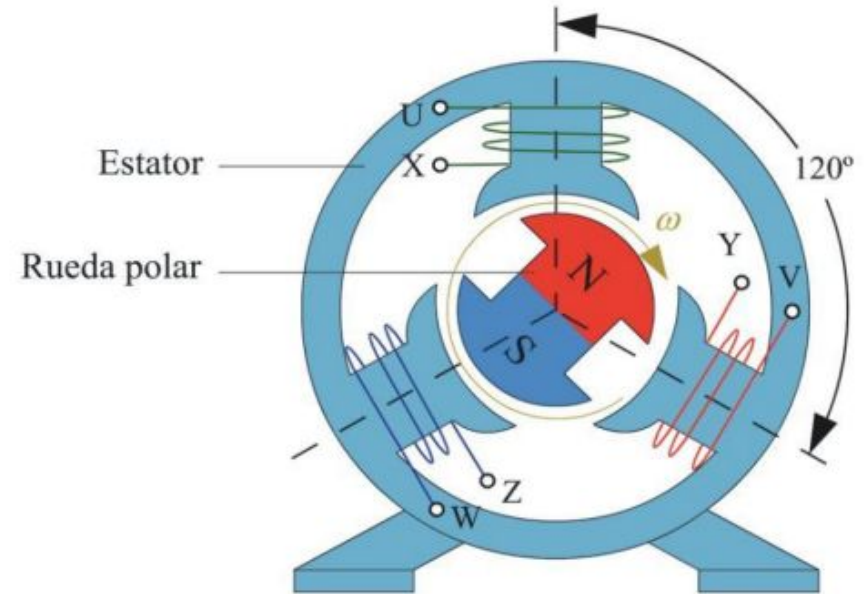
Si el circuito está cerrado, aparece una corriente eléctrica que se extrae del rotor mediante un anillo metálico partido (colector de delgas) sobre los que se apoyan unos contactos deslizantes (escobillas de grafito).



Alternador trifásico

Para producir C.A. se utiliza el alternador.

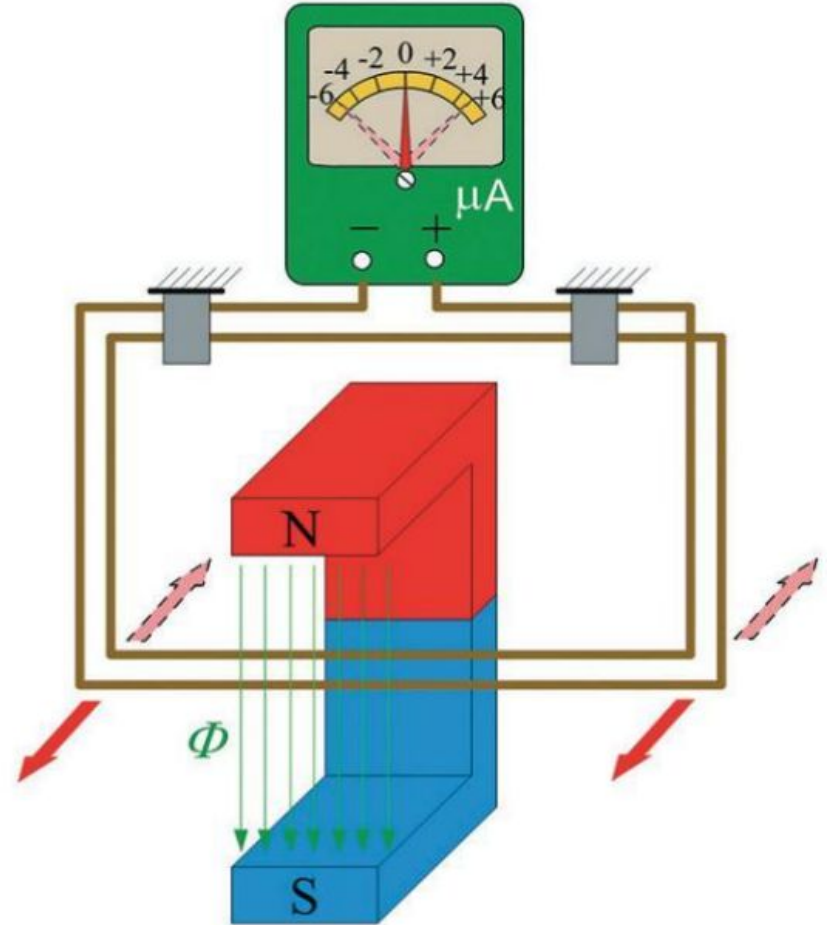
El campo magnético producido por el electroimán del rotor corta los conductores del estator, lo que hace que en ellos aparezca una fuerza electromotriz inducida en forma de C.A.



9.- Experiencia de Faraday

Cuando se mueven conductores, de tal manera que corten perpendicularmente las líneas de un campo magnético, se produce una f. e. m. inducida.

Si se cierra el circuito aparece una corriente eléctrica.



Además se observa que al aumentar el número de espiras de la bobina, también aumenta la f.e. m. inducida.

Lo mismo ocurre si aumentamos el nivel de inducción del campo magnético.

En resumen, se puede decir que la f. e. m. media inducida que se produce en una bobina cuando en su movimiento corta perpendicularmente las líneas de un campo magnético regular es igual a:

$$E_{\text{inducida}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Donde N es el número de espiras de la bobina y la expresión $\Delta \Phi / \Delta t$ indica la variación del flujo cortado por la bobina respecto al tiempo, es decir, lo rápido que varía el flujo magnético en los conductores.

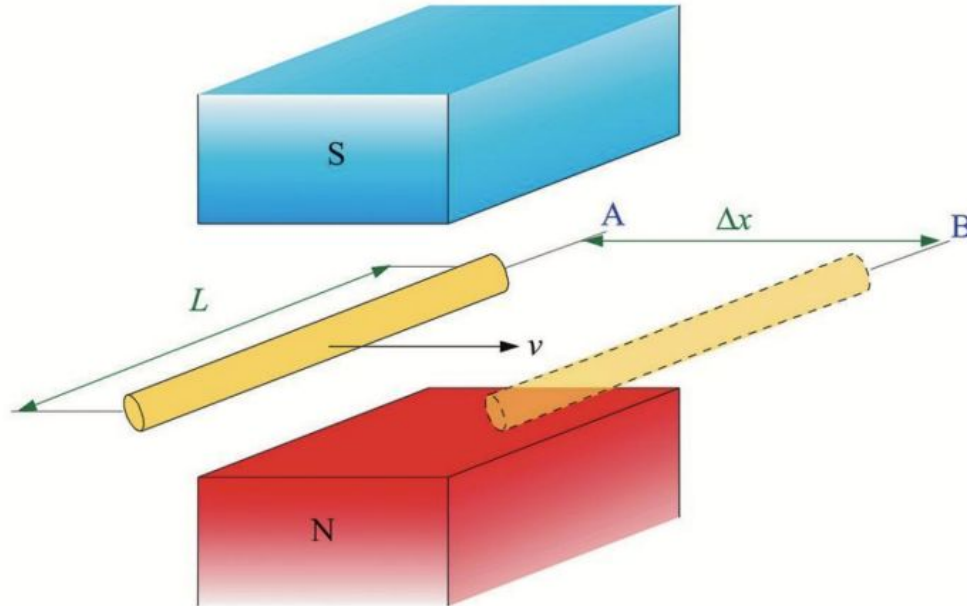
Se puede generar una f.e. m. inducida tanto si se mueven conductores en el seno de un campo magnético fijo, como si lo que se mueve es el campo magnético y se dejan fijos los conductores.

También se consigue f. e. m. inducida en los conductores si se les aplica un campo magnético variable, por ejemplo, proveniente de una bobina a la que se le aplica corriente alterna.

Una bobina de 100 espiras se mueve cortando perpendicularmente un campo magnético. La variación de flujo experimentado en dicho movimiento es uniforme y va de 2 mWb a 10 mWb en un intervalo de tiempo de 0,5 segundos. Averigua la f.e.m. inducida.

La fórmula de la f. e. m. inducida media se puede expresar de otra forma.

Supongamos que un conductor de longitud L que se desplaza perpendicularmente a las líneas de un campo magnético de inducción B a una velocidad v , tal como se muestra en la Figura.



Cuando el conductor se desplace de la posición (A) a la posición (B) habrá barrido un área igual a:

$$S = L \cdot \Delta x$$

y el conductor habrá sido sometido a un cambio de flujo $\Delta\Phi$ en un intervalo de tiempo Δt .

La f.e.m. inducida en el mismo será igual a:

$$E_{\text{inducida}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Por otro lado $\Delta\Phi = B \cdot S = B \cdot L \cdot \Delta x$, sustituyendo en la primera ecuación:

$$E_{\text{inducida}} = B \cdot L = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Dado que el último término de esta expresión se corresponde con la velocidad del conductor, resulta que:

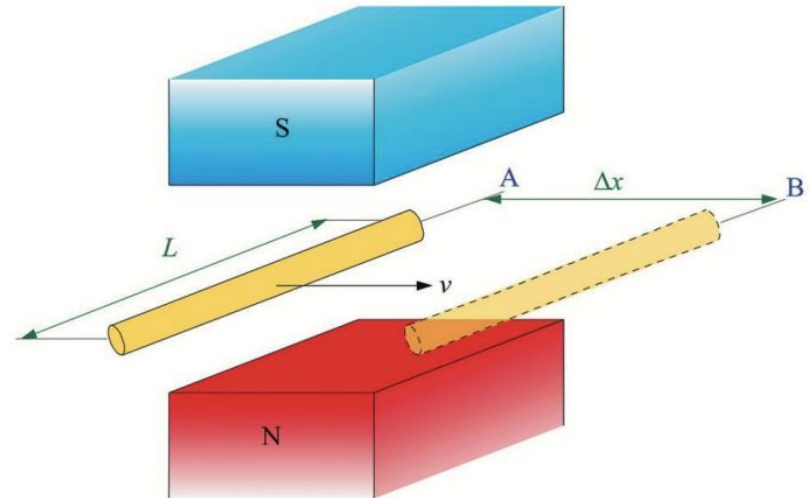
$$E_{\text{inducida}} = BLv$$

E = f.e.m. media inducida en voltios.

B = Inducción magnética en teslas.

L = Longitud del conductor en metros.

v = Velocidad perpendicular en m/s.

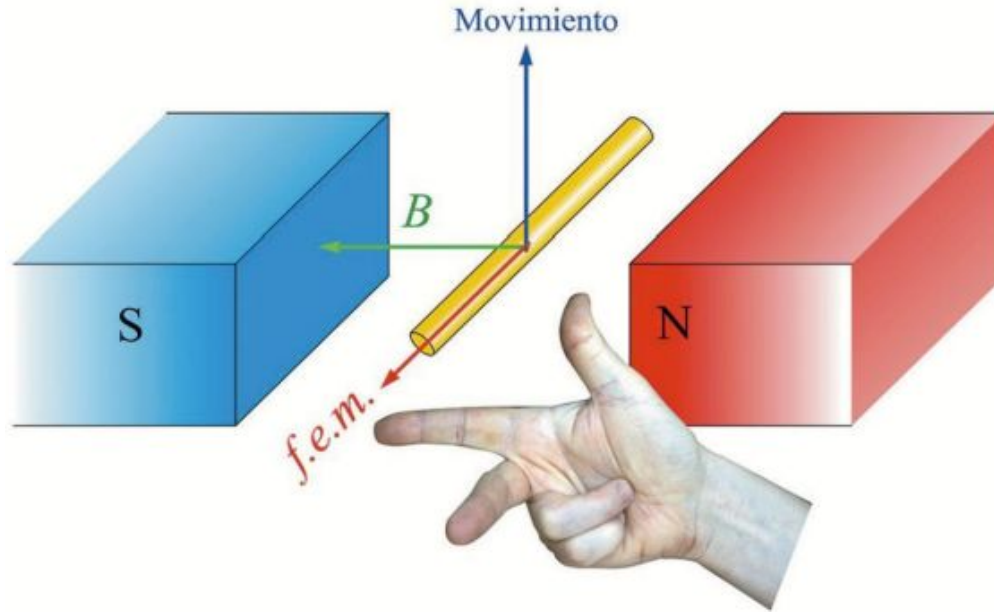


Un conductor se desplaza a una velocidad lineal de 5 m/s en el seno de un campo magnético fijo de $1,2 \text{ teslas}$ de inducción. Halla el valor de la f.e.m. inducida en el conductor si posee una longitud de $0,5 \text{ m}$.

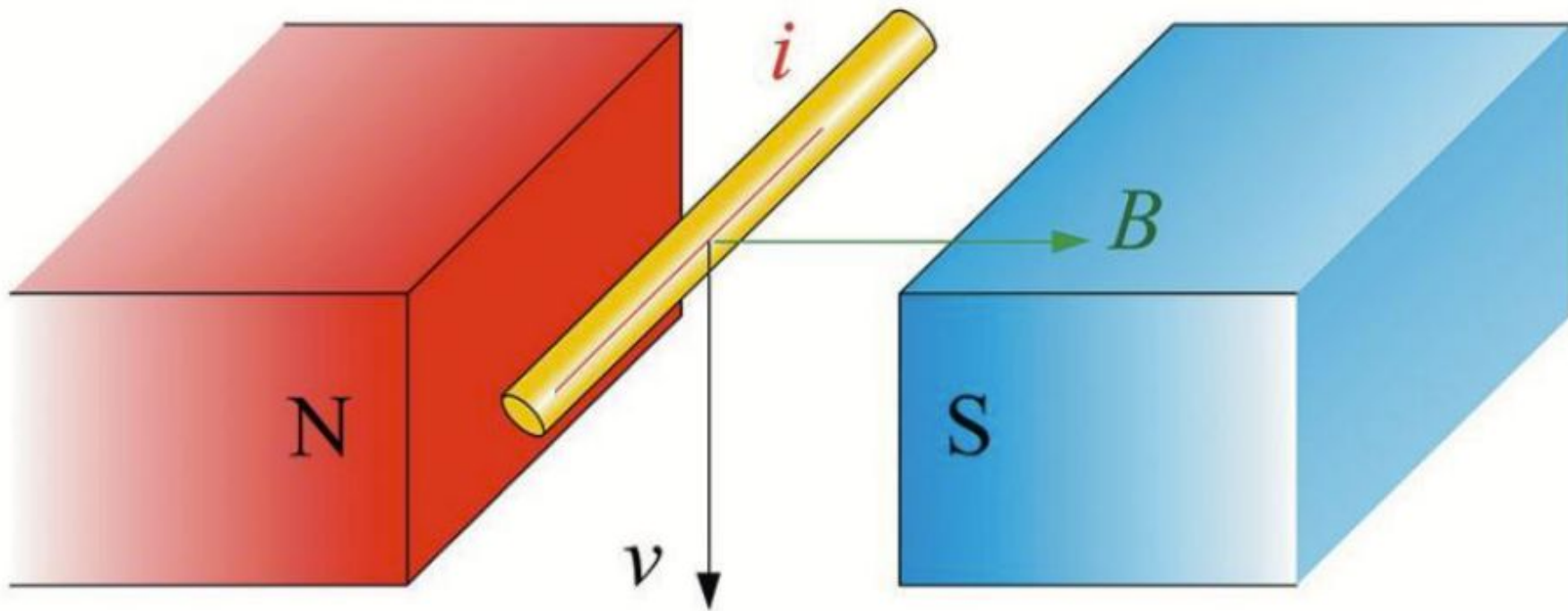
9.- Ley de Lenz. Sentido de la f.e.m. inducida.

La ley de Lenz indica que «el sentido de la corriente inducida en un conductor es tal que tiende a oponerse a la causa que la produjo» (principio general de acción y reacción).

Otro método es aplicar la regla de Fleming de la mano derecha.

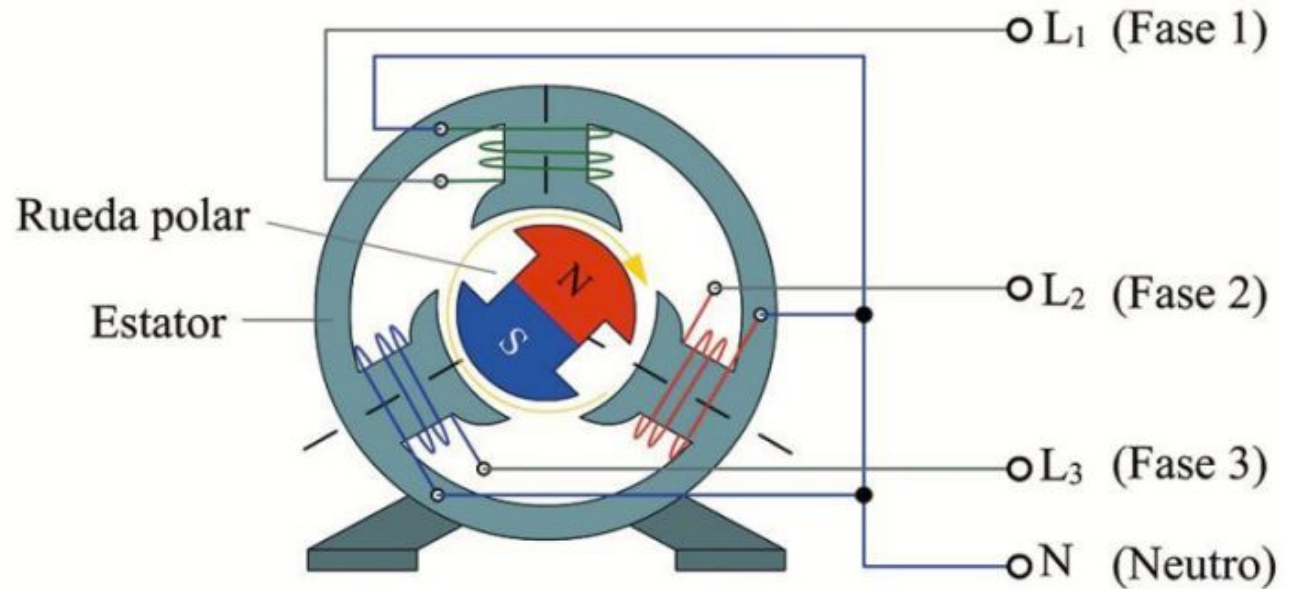


Determina el sentido de la corriente en el conductor eléctrico de la Figura

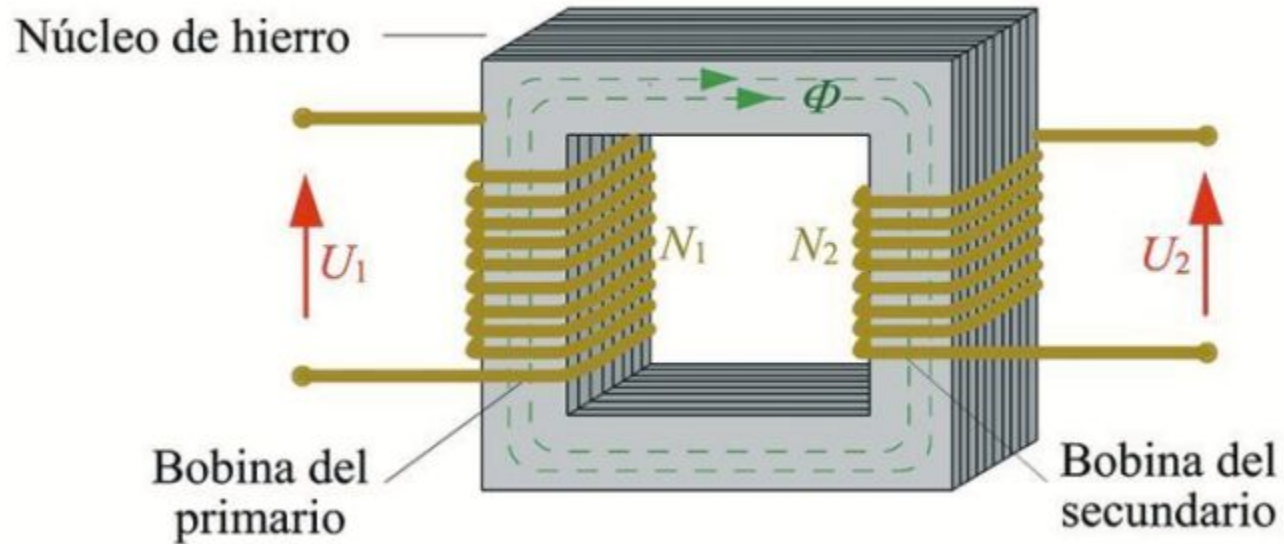


10.- Aplicaciones prácticas de la inducción electromagnética

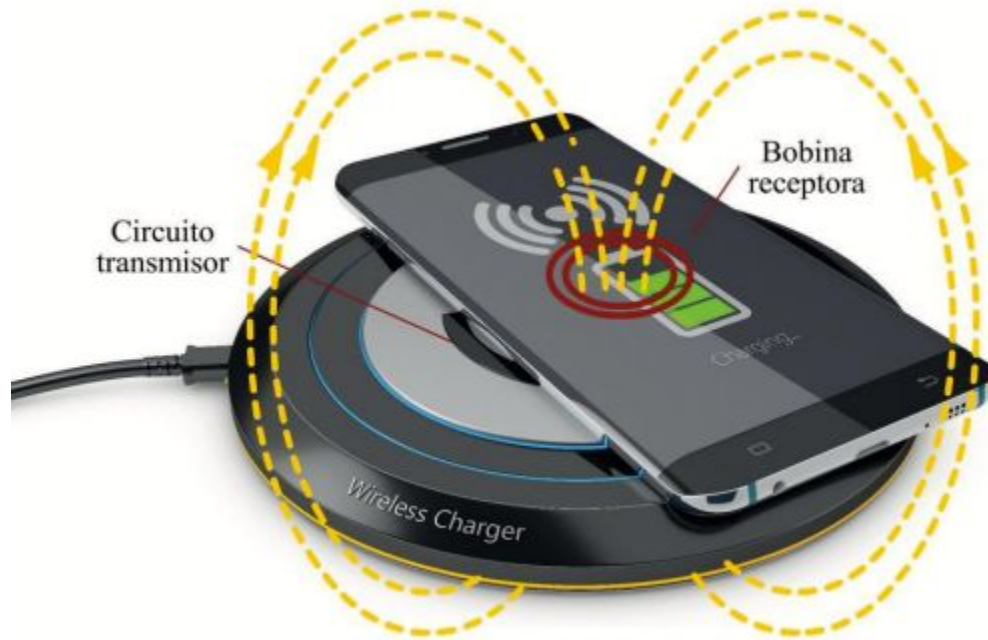
Alternador



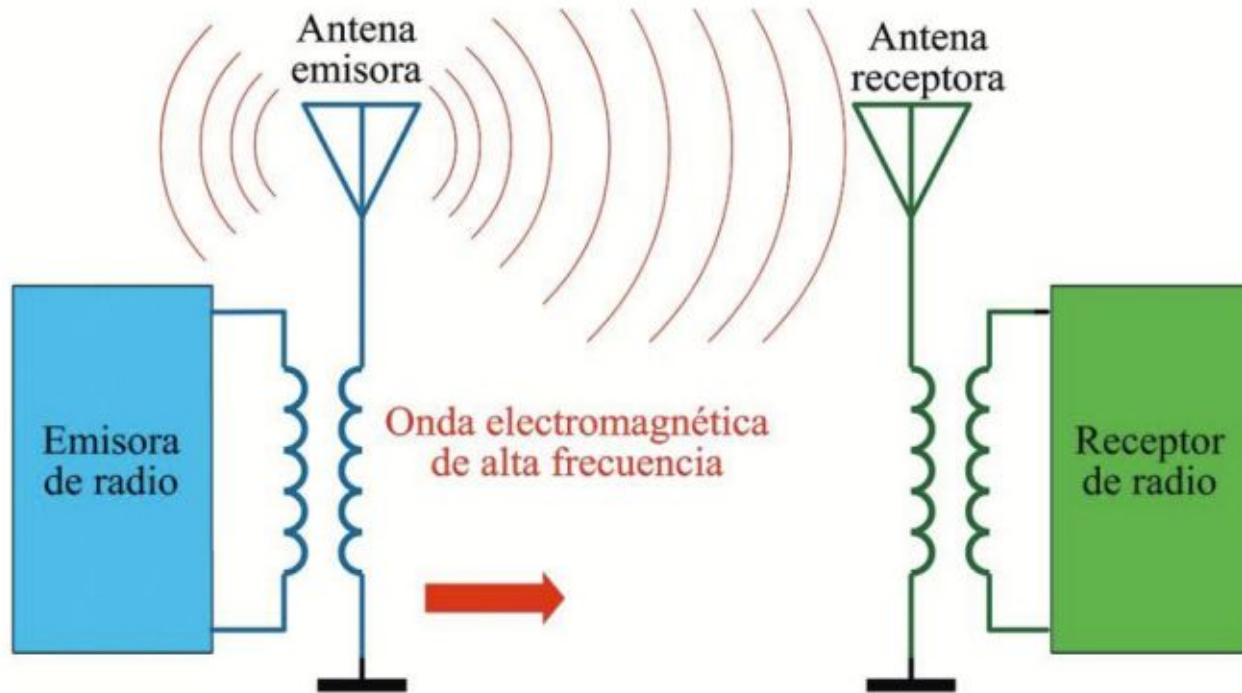
Transformador



Cargador inalámbrico para teléfono móvil



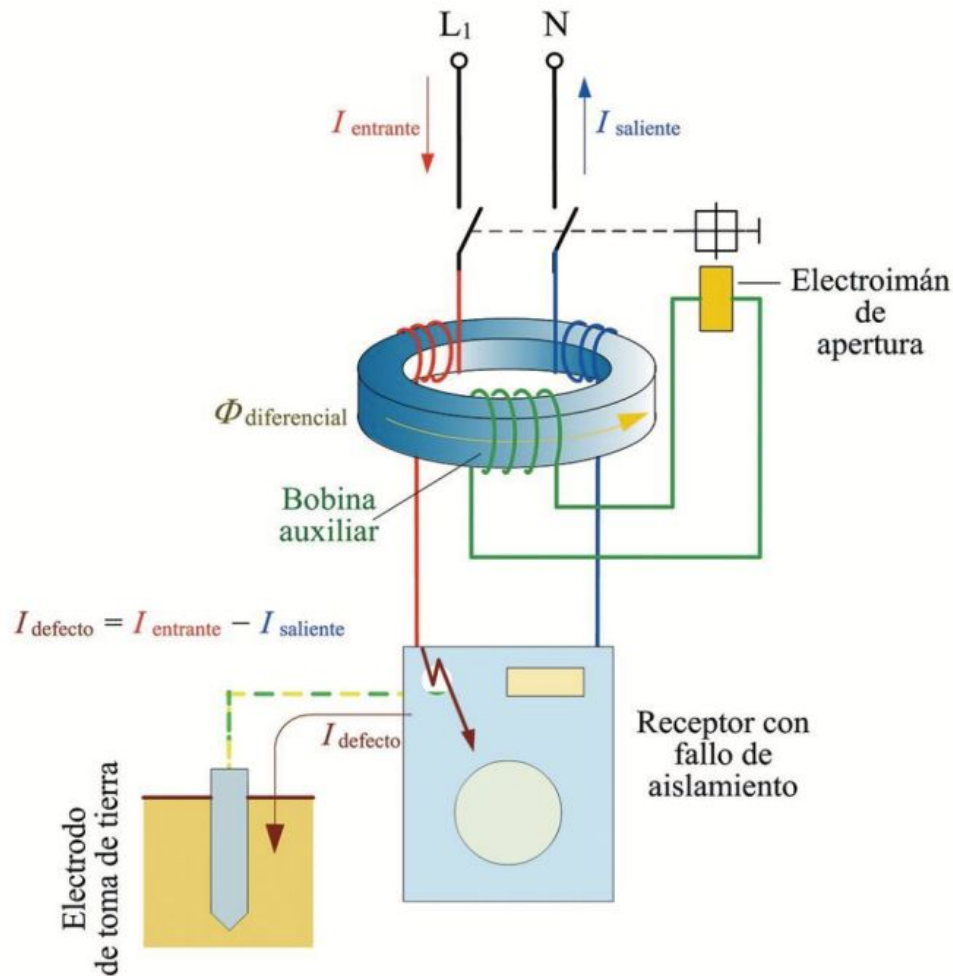
Sistemas de transmisión y recepción de señales de radio, vídeo y telefonía móvil



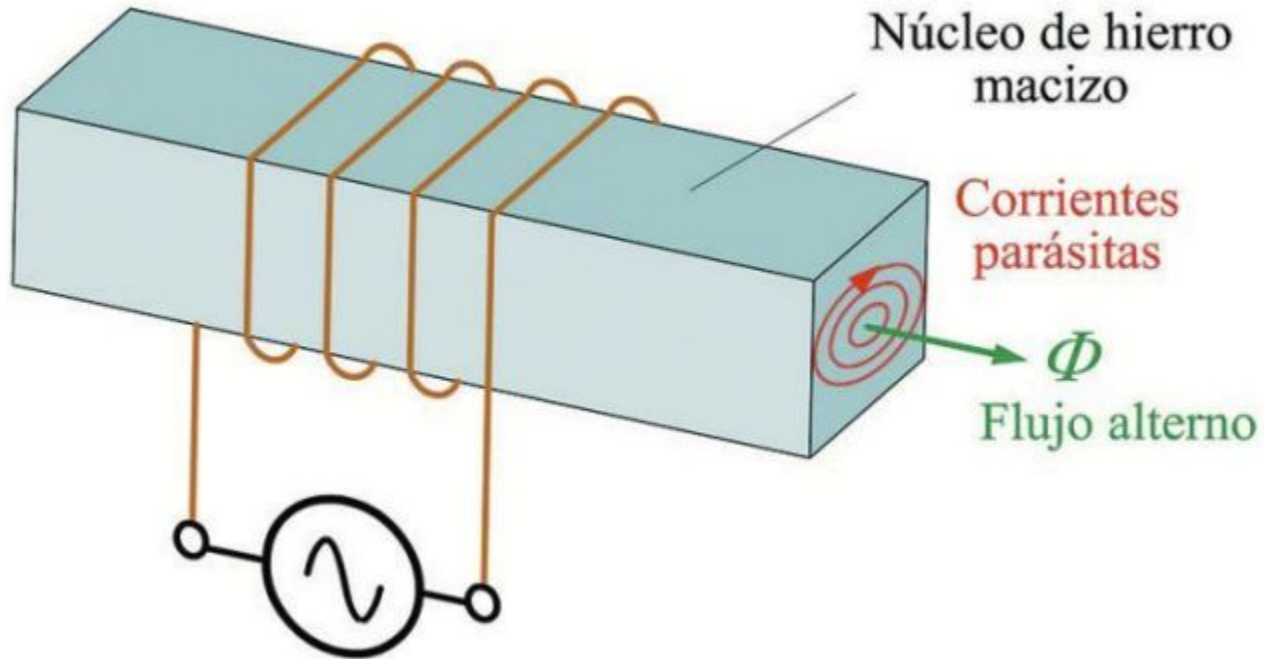
Pinza amperimétrica



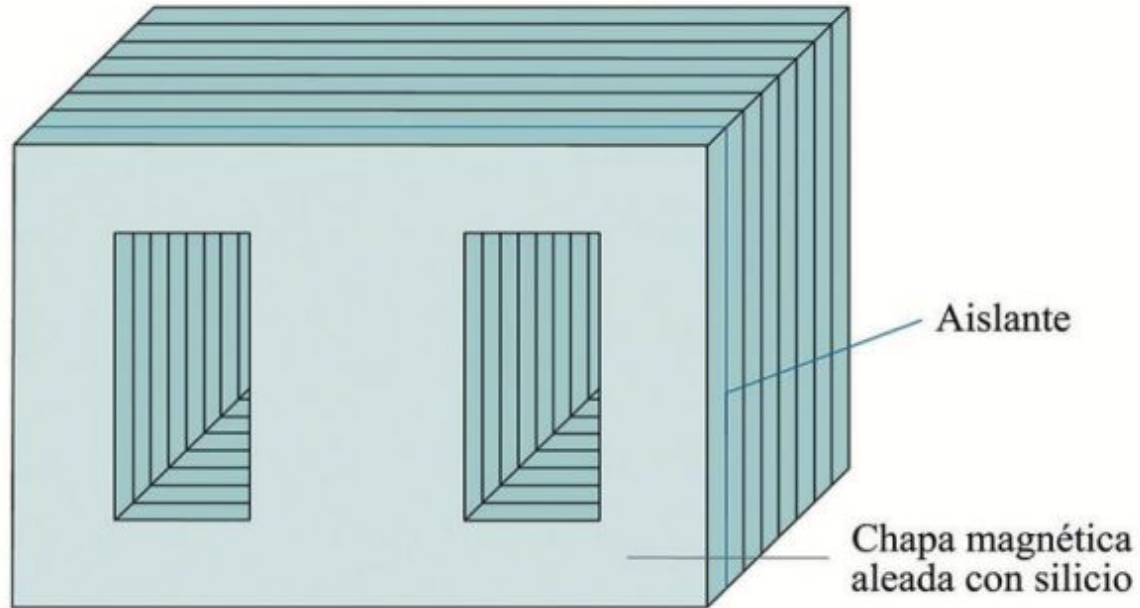
Interruptor diferencial



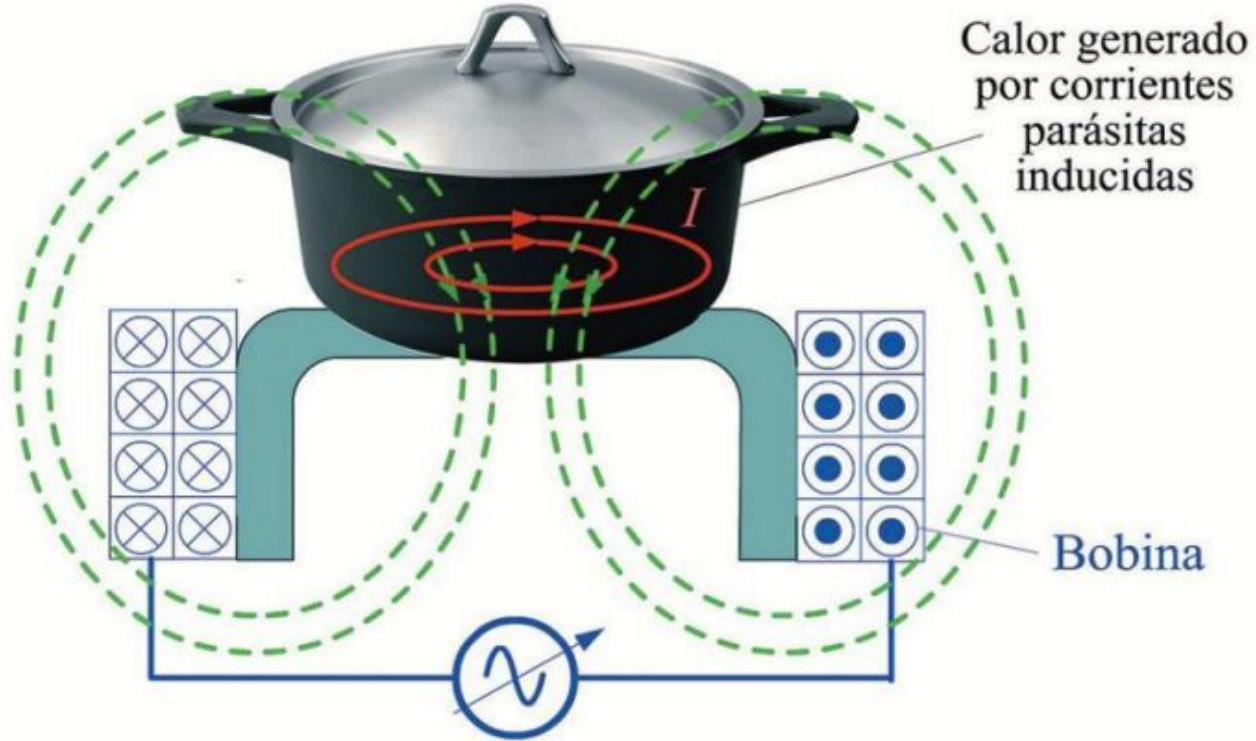
11.- Corrientes parásitas o de Foucault



La forma de minimizar al máximo estas corrientes con-siste en dividir longitudinalmente el núcleo y aislar eléctricamente cada una de las partes, formando un paquete de chapas magnéticas, tal como se muestra en la Figura.



Cocinas de Inducción



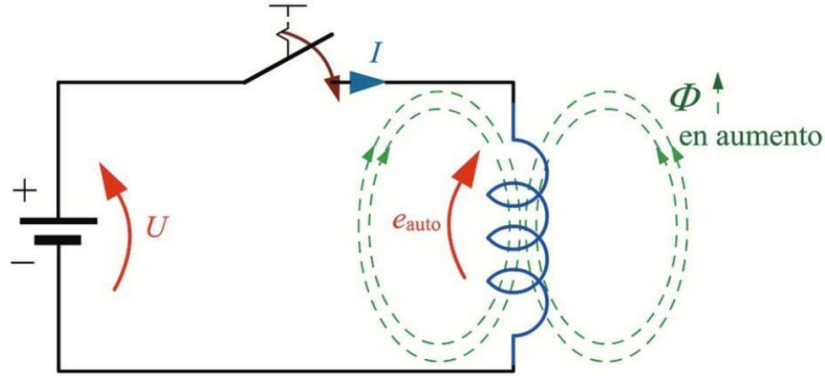
12.- Autoinducción. Bobinas

La autoinducción, como el propio término indica, significa inducirse a sí misma f. e. m.

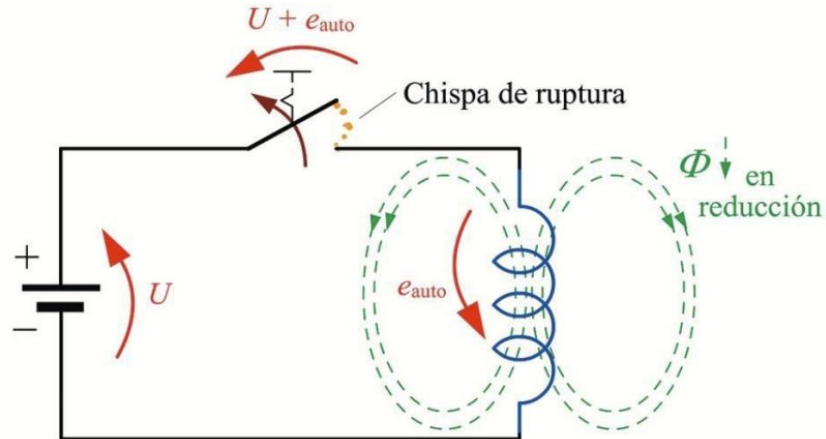
Cuando por una bobina circula una corriente eléctrica que es variable, esta genera, a su vez, un campo magnético también variable que corta a los conductores de la propia bobina.

Esto origina en ellos una f.e. m. inducida, llamada f. e. m. de autoinducción, que, según la ley de Lenz, tendrá un sentido tal que siempre se opondrá a la causa que la produjo.

Cierre de un circuito con bobina.



Apertura de un circuito con bobina.



13.- Fuerza sobre una corriente eléctrica en el seno de un campo magnético

En un generador eléctrico se produce una f. e. m. cuando se mueven conductores eléctricos en el seno de un campo magnético. Pues bien, los motores funcionan con el principio inverso.

Cuando un conductor está inmerso en el seno de un campo magnético y por él hacemos circular una corriente eléctrica, aparecen fuerzas de carácter electromagnético que tienden a desplazarlo.

