

MAGNETISMO
Y CORRIENTE ELÉCTRICA



EDITADA POR EL
**SERVICIO DE EXTENSIÓN DE
ENSEÑANZAS TÉCNICAS**
DE LA DIPUTACION PROVINCIAL DE BARCELONA

Calle Urgel-187-Barcelona

5- C. 2/ es
DIPUTACION PROVINCIAL DE BARCELONA
BIBLIOTECAS POPULARES

Autor: E. E. T. Signatura: 3

Título: Magnetismo

Registro: 6302

FU-9-12

Publicaciones del Servicio de Extensión de Enseñanzas Técnicas
EDITORIAL Y ESCUELA POR CORRESPONDENCIA

MAGNETISMO Y CORRIENTE ELÉCTRICA



R. 3.490

B A R C E L O N A , 1 9 4 1

REVISTA DE LA ESCUELA DE ELECTRICIDAD Y TELEGRAFIA
REVISTA DE LA ESCUELA DE ELECTRICIDAD Y TELEGRAFIA
MAGNETISMO
Y CORRIENTE ELECTRICA

Es propiedad del Servicio



R. 6302

969. — Casa Provincial de Caridad
Imprenta - Escuela

Magnetismo y corriente eléctrica

MAGNETISMO

1. *Imán* es todo cuerpo que posee la propiedad de atraer al hierro y a otros metales, como el níquel y el cobalto. El conjunto de fenómenos producidos por los imanes recibe el nombre de *magnetismo*.

Si bien todos los cuerpos presentan propiedades magnéticas, el hierro, el cobalto y el níquel se distinguen por la facilidad con que pueden imanarse fuertemente, pero, entre los tres, el hierro es el que ocupa el primer lugar y el único que se suele utilizar en la práctica.

IMANES NATURALES

2. Existe en la naturaleza un mineral de hierro, al que se da los nombres de *óxido salino* u *óxido magnético*, que posee propiedades magnéticas y es, por consiguiente, un *imán natural*, ya conocido por los antiguos, que le dieron el nombre de *magnetita*, en atención a sus propiedades magnéticas.

IMANES ARTIFICIALES

3. Los *imanes artificiales* son barras de hierro de diferentes formas que han adquirido las propiedades magnéticas por frotamiento con un imán natural o por otros procedimientos que serán expuestos más adelante. La imantación así obtenida puede ser momentánea, si la barra es de hierro dulce, o duradera, si es de acero templado; en este último caso se obtiene un imán permanente.

4. *Polos y línea neutra*. — La acción magnética de una barra imantada se manifiesta principalmente en sus extremos, como puede observarse fácilmente colocando sobre ella limaduras de hierro; éstas se agrupan densamente en los extremos, mientras que en la región media su número es

nulo. Los extremos de la barra, o sea aquellas partes en que el magnetismo tiene mayor fuerza, constituyen los *polos* del imán, y la línea que los une es el *eje* del mismo. Si mantenemos en suspensión una barra imantada por su centro, de manera que pueda girar libremente, el eje se colocará



FIG. 1

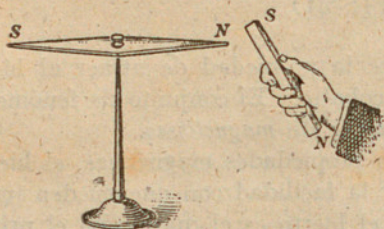


FIG. 2

espontáneamente, y después de algunas oscilaciones, en la dirección Norte-Sur. El polo del imán que se dirige al Norte, es el *polo Norte* y el que se dirige al Sur, el *polo Sur* del imán; se distinguen ordinariamente con las letras *N* y *S*, iniciales de Norte y Sur, respectivamente. La región central que no manifiesta acción magnética alguna, recibe el nombre de *línea neutra* (fig. 1).

5. *Aguja imantada. Brújula.*—

Damos el nombre de *aguja imantada* a una lámina de acero imantada que, girando sobre una punta muy

fina, puede moverse libremente en un plano horizontal (fig. 2). Como hemos indicado en el n.º 4, la aguja indicará la dirección Norte-Sur, pero para ello es necesario que no experimente acción perturbadora alguna, como, por ejemplo, la proximidad de piezas de hierro, sobre todo si están imantadas. En la práctica, la aguja imantada está encerrada en una caja con cubierta de cristal y oscila sobre un círculo graduado a fin de poder apreciar fácilmente el valor de la desviación que sufre. En este caso la aguja recibe el nombre de *brújula* (fig. 3).

6. Hemos dicho que para que la aguja imantada indique la dirección Norte-Sur era condición indispensable que no hubiese cerca de ella pieza imantada alguna. En efecto: como el magnetismo se transmite a distancia, cualquier imán, próximo a la aguja imantada, actúa sobre ella y la desvía de la posición que tomaría en el caso de encontrarse perfectamente aislada. El experimento siguiente demuestra con toda claridad la acción de determinados imanes sobre los demás: si se acerca al polo *N* de una aguja imantada (fig. 2), el polo *S* de un imán, se observa una fuerte atracción, y si, por el contrario, se acerca el mismo polo *S* del imán al polo *S* de la aguja, se nota una viva repulsión; si en lugar del polo *N* se acerca

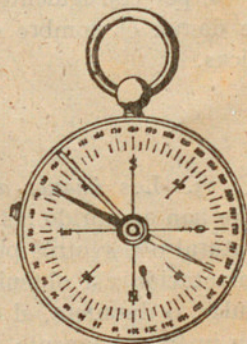


FIG. 3

a la aguja el polo S del imán, se verá que atrae al N y rechaza al S de la aguja. Este experimento demuestra que, aunque idénticos en algunas de sus manifestaciones, como la de atraer igualmente las limaduras de hierro, los polos de un imán poseen propiedades diferentes. Los fenómenos citados pueden resumirse en la siguiente

REGLA : *Los polos de un mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen.*

7. El hecho de que la aguja imantada adquiera espontáneamente la dirección Norte-Sur permite comparar a la Tierra con un inmenso imán, cuyos polos son el Norte y el Sur magnéticos. Es interesante indicar la anomalía que existe en los nombres de los polos de la aguja imantada, pues el polo de la aguja que es atraído por el polo magnético Norte de la Tierra es, en realidad, un polo S, y un polo N el que se dirige al Sur; pero se ha convenido en dar a los polos de la aguja los nombres de los polos magnéticos terrestres hacia los cuales se dirigen, en atención a que éste fué el primer fenómeno que fué observado sobre la aguja imantada.

8. Todo imán presenta dos polos y una línea neutra; no es posible obtener imanes con un polo único, hasta tal punto, que si partimos una barra imantada por su línea neutra, obtendremos dos imanes completos, cada uno con dos polos y una línea neutra, y este fenómeno se producirá otra vez si los nuevos imanes son también partidos por la mitad.

Hemos dicho que todo imán contiene dos polos, pero a veces contiene tres o más, y en este caso los polos intermedios se llaman *polos consecuentes*. Si unimos por sus extremos diversas barras imantadas (fig. 4) de manera que estén en contacto sus polos contrarios (a), formaremos un imán con dos polos contrarios y una línea neutra. Si los unimos por sus polos del mismo nombre (b) obtendremos un imán con dos polos extremos de un mismo nombre, si el número de barras es par, y de nombre contrario si es impar. En el caso (b) se formarán tantos polos consecuentes como contactos existan. (En la figura hay tres polos consecuentes s n s). Entre cada dos polos consecuentes existe siempre una línea neutra.

9. El magnetismo de los cuerpos depende de una serie de circunstancias, entre las cuales figura la temperatura : en general, la fuerza magnética disminuye al aumentar aquélla. El hierro, por ejemplo, pierde sus propiedades magnéticas al llegar a la temperatura del rojo vivo.

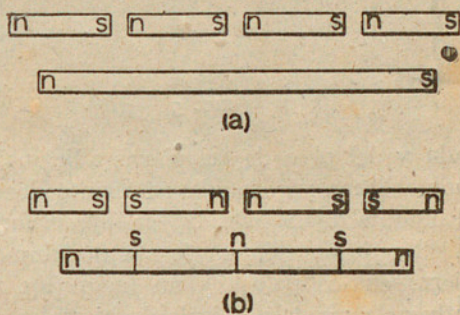


FIG. 4

Existen substancias, tales como el hierro, que son atraídas indistintamente por los dos polos de un imán, denominándose *paramagnéticas* en contraposición a las que son rechazadas, que se llaman *diamagnéticas*, como el antimonio, el bismuto, etc. Las substancias que en apariencia son indiferentes al magnetismo, es decir, que no son atraídas ni rechazadas, se denominan *no magnéticas*.

Las substancias diamagnéticas, incluso las que ocupan los primeros lugares, lo son en grado tan sumamente reducido, que en la práctica todas las substancias, a excepción del hierro y de algunas de sus aleaciones, pueden considerarse como no magnéticas.

10. *Imantación por influencia.* — Cuando una substancia magnética se encuentra en contacto con una barra imantada, se convierte en un imán con sus dos polos y su línea neutra y puede atraer a otro cuerpo magnético el cual se transforma, a su vez, en imán. Si de uno de los polos de un imán

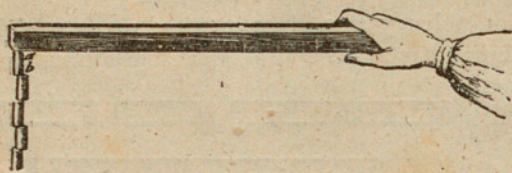


FIG. 5

(fig. 5) suspendemos una pequeña pieza de hierro dulce, *a*, ésta se convierte en un imán que puede sostener a otra pieza, *b*, y ésta a otra, *c*, y así sucesivamente hasta un número que dependerá de la potencia de la barra imantada y del peso de las piezas adicionales. La imantación así obtenida es momentánea y se anula en cuanto desaparece el contacto : se conoce con el nombre de *imantación por influencia*.

La disposición en forma de plumeros que adoptan las limaduras de hierro en los polos de un imán (fig. 1), es debida a la imantación por influencia : cada partícula de hierro es un imán que atrae a la partícula inmediata en la forma que hemos indicado.

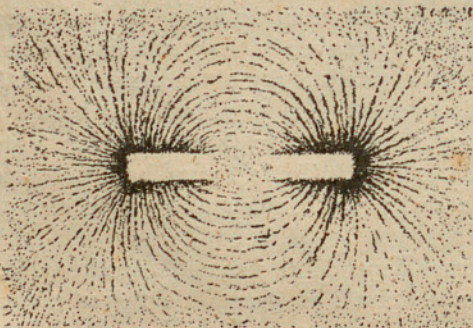


FIG. 6

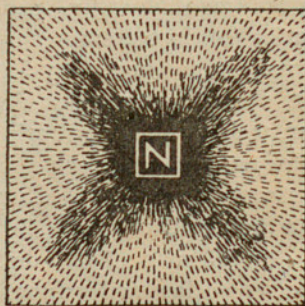


FIG. 7

Un imán actúa también por influencia sobre un cuerpo magnético situado a distancia, y la imantación del nuevo imán disminuye al aumentar la distancia a que se encuentra de la barra.

11. *Líneas de fuerza.* — Si colocamos sobre una barra imantada una hoja de papel y sobre ella una ligera capa de limaduras de hierro, éstas se colocan, por influencia del imán, en líneas curvas que de un polo se dirigen al otro (fig. 6), constituyendo lo que se llama *espectro magnético*.

Si en lugar de estar el imán completamente en contacto con la hoja de papel, sólo lo está uno cualquiera de sus extremos, se obtiene el espectro magnético de la fig. 7, y si se trata de un imán con polos consecuentes, el espectro tiene la forma que indica la fig. 8.

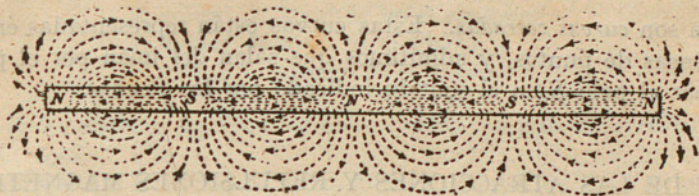


FIG. 8

Las curvas, indicadas por las limaduras de hierro, que constituyen el espectro magnético se llaman *líneas de fuerza*, y representan las direcciones según las cuales se verifican las atracciones y repulsiones.

En el espectro magnético sólo se observan las líneas de fuerza contenidas en un plano, pero en realidad existen en todo el espacio que rodea a los imanes.

12. *Campo magnético.* — Aunque ciertamente todo el espacio está ocupado por las líneas de fuerza que parten de los polos, éstas dejan de ser sensibles a cierta distancia. El espacio en que su acción se manifiesta se llama *campo magnético*.

El campo magnético está limitado en el interior por la superficie del imán, pero, como hemos visto, es ilimitado en el exterior. Prácticamente, a grandes distancias se considera anulado, debido, por una parte, a que los medios de investigación son poco sensibles y, por otra, a los efectos casi nulos que producen.

Una manera sencilla de explorar el campo magnético de un imán consiste en colocar dicho imán sobre una mesa, en posición horizontal, y acercar a él una aguja imantada (fig. 9). El eje de la aguja se coloca por sí mismo tangente a la línea de fuerza sobre la cual se halle, y como las líneas

de fuerza se dirigen de un polo a otro, es lógico admitir que de este último van al primero *pasando por el interior* del imán, de manera que las líneas

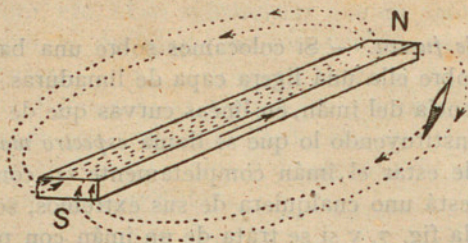


FIG. 9

de fuerza son *curvas cerradas*. Estas curvas están representadas en la figura por líneas de puntos, y admitimos que salen del imán por el polo N, y entran por el polo S en el sentido indicado por las flechas.

LEY DE LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES MAGNÉTICAS

13. *Ley de Coulomb*. — Tanto la atracción como la repulsión que un polo magnético ejerce sobre otro dependen de dos factores, que son : la fuerza de atracción o repulsión de los polos y la distancia que los separa.

Una y otra aumentan cuando la fuerza de los imanes crece, y disminuyen al aumentar la distancia, según la siguiente ley que descubrió Coulomb:

Ley de Coulomb. — Dos polos magnéticos se atraen o repelen en razón inversa del cuadrado de su distancia y en razón directa del producto de sus fuerzas.

Esta ley indica que si doblamos la fuerza magnética de uno de los polos, la atracción o repulsión obtenida será doble; si doblamos la fuerza de ambos, la atracción o repulsión será cuatro veces la primitiva; y si se triplica la distancia, conservando los polos su fuerza primitiva, la atracción (o repulsión) se reducirán a la novena parte.

Esta ley puede fácilmente expresarse por medio de una fórmula. En efecto, designando por m_1 , m_2 , las masas magnéticas o fuerzas de los polos, por d la distancia entre ellos y por F la fuerza de atracción o de repulsión, podemos escribir:

$$F = \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

14. *Polo unidad.* — Si en la fórmula anterior suponemos que las dos masas o fuerzas magnéticas de los polos son iguales y las representamos por m , la fuerza que actuará entre ambas será $\frac{m^2}{d^2}$; si suponemos, además, que la distancia entre los polos es la unidad de longitud, dicha fuerza será m^2 , y si, finalmente, la masa de cada polo es también la unidad, la fuerza atractiva o repulsiva será también igual a la unidad, de manera que podemos afirmar:

Polo unidad es el que atrae o repele con la unidad de fuerza a otro polo igual situado a la unidad de longitud.

Es necesario, pues, definir las unidades de fuerza y de longitud. Para las medidas físicas se ha adoptado un sistema de medidas en el cual

la unidad de longitud es el *centímetro*,
 la unidad de masa es el *gramo*, y
 la unidad de tiempo es el *segundo*.

y que se llama Sistema *centímetro-gramo-segundo* o *cegesimal* (abreviadamente, Sistema C. G. S.).

En este sistema la unidad de fuerza tiene el nombre de *dina*. Se puede definir la *dina* como la fuerza que se ejerce entre dos polos *unidad* que distan entre sí un centímetro.

15. *Intensidad de campo.* — Examinando el campo de un imán (fig. 6) observamos que las limaduras de hierro se agrupan más *densamente* en la región de los polos que en las demás partes. Esta *densidad* se aprovecha en la práctica para medir la fuerza que actúa sobre un polo móvil en los distintos puntos del campo.

Suele decirse que la fuerza ejercida en un campo magnético sobre un polo móvil depende del número de líneas de fuerza que pasan por un centímetro cuadrado, suponiendo que las mencionadas líneas de fuerza son normales a la superficie del centímetro. Cuando se dice que un campo magnético es de 5,000 líneas de fuerza, indícase con ello que cada centímetro cuadrado del campo contiene 5000 veces el número de líneas de fuerza de un campo en el cual se ejerce la unidad de fuerza sobre la unidad de polo.

En la teoría de las líneas de fuerza se supone que en un campo magnético unidad existe una línea de fuerza por cada centímetro cuadrado, pero es fácil comprobar lo erróneo de esta concepción si exploramos el campo citado con dos polos cuya distancia es inferior a un centímetro. En efecto: el campo actúa igualmente sobre ambos polos, de manera que por cada uno de ellos pasa una línea de fuerza, o sea, dos líneas por centímetro cuadrado, mientras que, según la definición, no existe más que una.

Conviene, pues, tener presente en lo sucesivo que al referirnos a un campo magnético de tantas o cuantas líneas de fuerza deberá entenderse que se trata de un campo que contiene tantas o cuantas veces el número de líneas de fuerza del campo de intensidad 1.

16. *Número de líneas de fuerza de un polo.* — Las líneas de fuerza emanadas de un polo único son radiales y se dirigen en todas direcciones. Aunque no es posible obtener un polo magnético aislado, podemos suponer que el otro se encuentra a gran distancia; por tanto, si imaginamos un polo unidad como centro de una esfera cuyo radio sea un centímetro, esta esfera tendrá 4π cm² de superficie, y como el campo unidad es aquel en el que existe una línea de fuerza por centímetro cuadrado, resulta que el número total de líneas de fuerza que pasan por un polo unidad es 4π . Designando el número total de líneas del campo, denominado *flujo*, por la letra griega Φ , tendremos en este caso:

$$\Phi = 4\pi$$

Y, si en lugar de un polo unidad consideramos un polo de intensidad m , el número total de líneas de fuerza procedentes del mismo será

$$\Phi = 4\pi m$$

Ejemplo : Hallar el flujo producido por un polo cuya intensidad está representada por 2.000.

Resolución : Aplicando la fórmula anterior obtenemos

$$\Phi = 4 \times \pi \times 2\,000 = 25\,133 \text{ líneas (aprox.)}$$

17. *Momento magnético.* — Cuando una barra imantada en la forma ordinaria, es decir, que tiene solamente dos polos y una línea neutra, se halla sometida a la acción de un campo magnético uniforme, es solicitada por dos fuerzas iguales y contrarias aplicadas a sus polos, que constituyen lo que se denomina *par de fuerzas*. Si la barra es normal a la dirección del par, tiende a girar a fin de colocarse en la dirección de las líneas de fuerza del campo. La fuerza que actúa sobre ella está representada por el producto de la intensidad magnética de cada polo por la distancia entre ambos polos. Este producto, que sirve para tener una idea y para representar la potencia de la barra imantada, se denomina *momento magnético* del imán. Si designamos por m la intensidad magnética de cada polo, por l la distancia entre ambos, y por M el momento magnético, tendremos:

$$M = ml$$

ACCIÓN DE UNA CORRIENTE SOBRE UN IMÁN

18. Más adelante estudiaremos cómo puede producirse una corriente eléctrica; por el momento, puesto que únicamente nos proponemos explicar las reacciones que se ejercen entre ella y los imanes, bastará indicar que la corriente eléctrica es el paso de electricidad de un punto a otro de un conductor. La corriente se dirige siempre desde el punto cuyo potencial es más alto a aquel en que es más bajo, de la misma manera que el agua busca siempre un nivel inferior, mientras no esté sometida a presión exterior alguna.

19. *Acción de una corriente sobre un imán.* — Si sobre una aguja imantada (fig. 10) colocamos un hilo conductor, la aguja manifestará tendencia a situarse perpendicularmente al conductor, en cuanto que circule por éste una corriente, y la posición de equilibrio será normal al hilo, siempre que la aguja no se halle sometida a otra fuerza, o que la corriente sea suficientemente intensa. Si sobre la aguja actúa alguna otra fuerza, la posición que adoptará será la resultante de dicha fuerza y la representada por la corriente; el ángulo de la desviación sufrida puede servir para medir la fuerza ejercida por la corriente. Se observa experimentalmente que esta fuerza disminuye cuando el conductor se aleja paralelamente a sí mismo, que el sentido de la fuerza cambia si el conductor, en lugar de estar encima, está debajo de la aguja, y, que, en todos los casos, aumenta al aumentar la corriente.

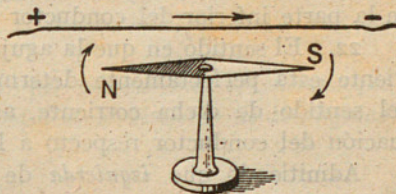


FIG. 10

20. *Campo magnético de una corriente.* — Del hecho anterior, observado por primera vez por el físico *Oersted*, en 1820, se desprende claramente que la corriente eléctrica desarrolla un campo magnético. Teniendo en cuenta que si el hilo se mueve siguiendo su misma dirección el efecto obtenido es el mismo, resulta que el hilo conductor de una corriente se puede considerar completamente envuelto por líneas de fuerza circulares cuya densidad es máxima en las inmediaciones del hilo, decreciendo al aumentar la distancia. Estas líneas son circunferencias concéntricas (fig. 11). Se

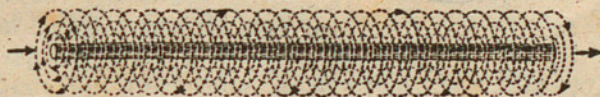


FIG. 11

pueden observar experimentalmente si el conductor atraviesa normalmente una hoja de papel (fig. 12) sobre la cual se colocan limaduras de hierro; éstas se distribuyen, por sí mismas, en circunferencias concéntricas, más próximas una a otra en las inmediaciones del hilo.

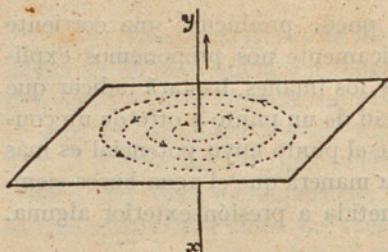


FIG. 12

21. Si en el experimento del n.º 19 se invierte el sentido de la corriente conservando la misma dirección, la aguja se desvía en sentido contrario, y, como lo mismo ocurre si el hilo está debajo de la aguja en lugar de estar encima, resulta que una corriente de la forma indicada en la fig. 13 ejercerá doble acción sobre la aguja, ya que a la acción

de la parte inferior del conductor se le suma la de la superior del mismo.

22. El sentido en que la aguja se desvía bajo la influencia de una corriente está perfectamente determinado y depende del sentido de dicha corriente, así como de la situación del conductor respecto a la aguja.

Admitiendo que *izquierda* de una corriente es la de un observador colocado, a lo largo del conductor, de manera que la corriente le entre por los pies y le salga por la cabeza, y mirando a la aguja, es fácil recordar el sentido de la desviación mediante la siguiente regla, que lleva el nombre de

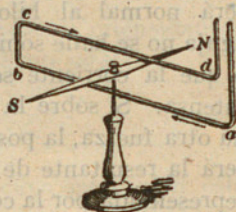


FIG. 13

REGLA DE AMPERE. — *El polo norte de un imán móvil se desvía siempre hacia la izquierda de la corriente.*

La fig. 14 representa la aplicación de esta regla cuando el conductor se encuentra encima y cuando se encuentra debajo del imán.

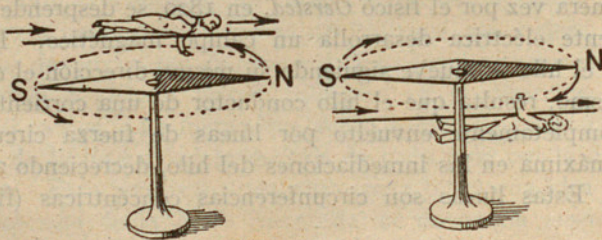


FIG. 14

23. *Sentido de las líneas de fuerza de una corriente.* — El sentido de las líneas de fuerza del campo magnético creado por una corriente es siempre

el mismo respecto de ella, pero varía respecto al observador; de aquí la necesidad de reglas que permitan determinarlo en cualquier caso.

La fig. 15 representa dos conductores que se dirigen normalmente al plano del papel; en (a) la cruz indica que la corriente se aleja del observador, y en (b) el punto significa que se acerca al mismo. (Esta forma de representación del sentido de una corriente normal al plano del dibujo es muy corriente: el punto indica la cabeza de una flecha y la cruz el lugar opuesto.) En (a) las líneas de fuerza tienen el sentido del movimiento de las agujas de un reloj, y en (b) tienen sentido contrario.



FIG. 15

De lo que hemos expuesto se deduce la siguiente regla que, por el constante uso que debe hacerse de ella, es indispensable retener en la memoria.

REGLA. — Si miramos un conductor por un extremo, de manera que la corriente se aleje, las líneas de fuerza tienen el movimiento de las agujas de un reloj.

Observación. — Téngase en cuenta, pues así procederemos al enunciar las restantes, que sólo indicamos la primera parte de las reglas. Por ejemplo, la anterior podría continuarse diciendo: si la corriente se acerca, las líneas de fuerza tienen un sentido opuesto al de las agujas de un reloj; pero creemos que esta segunda parte, lejos de aclarar, puede llevar a confusión, puesto que aumenta el número de conceptos a recordar y, además, es en realidad equivalente a la primera, ya que expresa la misma propiedad, enunciada en forma inversa.

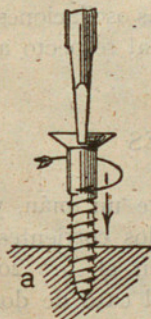


FIG. 16

Otra regla, la llamada del *tornillo* o *sacacorchos*, es también de uso muy frecuente y se refiere a la relación que existe entre el movimiento de giro y el de avance o retroceso, al introducir o sacar un tornillo por medio de un destornillador. La fig. 16 representa un tornillo con filete a la *derecha* o tornillo *normal* (condición indispensable para la comparación). Como puede observarse, al girar el tornillo en el sentido de la flecha curva, avanza al mismo tiempo según la flecha recta y se introduce en la pieza *a*; el movimiento de avance representa el sentido de la corriente y el de giro el de las líneas de fuerza. Es interesante observar la analogía entre esta representación y la de la fig. 15.

24. Citaremos, finalmente, la siguiente regla (fig. 17) que es muy cómoda:

REGLA. — Si imaginamos el conductor sujeto con la mano derecha, con el dedo índice en el sentido de la corriente, los dedos restantes indicarán el sentido de las líneas de fuerza.

25. *Acción de un imán sobre una corriente.* — La acción que una corriente ejerce sobre un imán es recíproca : si el imán es móvil y la corriente fija, aquél se moverá; pero si la corriente, o sea el hilo que la conduce, es móvil y el imán está



FIG. 17

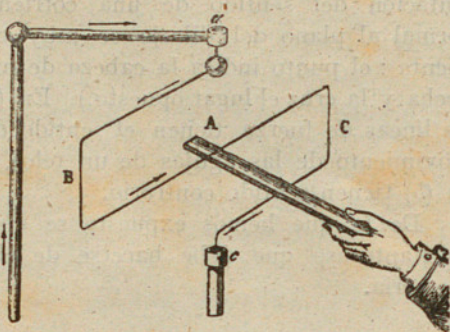


FIG. 18

fijo, será aquélla la que se desviará y tendrá tendencia a colocarse perpendicularmente al imán. En cualquier caso, el polo norte del imán siempre quedará a la izquierda de la corriente.

La fig. 18 indica la manera de construir un conductor móvil : si se acerca a una barra imantada, el hilo gira, y después de algunas oscilaciones, que van decreciendo en amplitud, queda en posición normal respecto al imán.

ACCIONES MUTUAS ENTRE LAS CORRIENTES

26. De la misma manera que una corriente actúa sobre un imán, y un imán sobre una corriente, existe una acción mutua entre dos corrientes, lo cual es fácil comprender ya que, según hemos visto en el n.º 20, la corriente crea a su alrededor un campo magnético. En el caso de dos corrientes se trata, pues, en realidad, de dos campos magnéticos y hemos explicado ya en el n.º 6 la influencia de uno sobre otro.

27. *Leyes de las corrientes paralelas.* — Dos corrientes paralelas de un mismo sentido se atraen; dos corrientes paralelas de sentido contrario se repelen.

Estas leyes pueden demostrarse experimentalmente empleando dos aparatos análogos a los de la fig. 18, pero es fácil darse cuenta de este hecho observando la fig. 19, que representa, en la forma convenida, dos corrientes normales al plano del papel, que se alejan del observador.

Estas corrientes son paralelas y, según se ha explicado en el n.º 23, las líneas de fuerza que las rodean tienen el sentido indicado por las flechas. Como se observa, las líneas de fuerza *a* y *b* de los campos producidos por los conductores, están dirigidas en sentidos opuestos y, según se ha explicado en el n.º 6, se atraen. En lo que a la acción de las otras partes de las líneas de fuerza se refiere, se observa que hay atracción entre *c* y *d* y



FIG. 19



FIG. 20

repulsión entre *a* y *d* y también entre *c* y *b*. Existen, pues, dos atracciones y dos repulsiones, entre las cuales la atracción entre *a* y *b* supera y arrastra a los conductores, que tienden a acercarse mutuamente.

Si las corrientes, conservando el paralelismo, están dirigidas en sentidos opuestos (fig. 20), se verifican los mismos fenómenos, pero en sentido contrario, y predomina la repulsión, de manera que los conductores tienden a alejarse uno de otro. Si los conductores son móviles, ambos se aproximan o se alejan; si uno de ellos es móvil y el otro fijo, aquél se acercará o alejará, y, si los dos son fijos, aunque permanezcan en reposo, existe una fuerza que tiende a ponerlos en movimiento.

MOVIMIENTO DE UN CONDUCTOR EN UN CAMPO MAGNÉTICO

28. En los n.º 19, 21 y 25 hemos explicado qué reacciones se ejercen entre las corrientes y los imanes; también hemos visto que existe movimiento de uno de ellos o de ambos, según las condiciones en que se encuentran, de lo que resulta que todo conductor recorrido por una corriente se pone en movimiento si está colocado libremente en un campo magnético.

En la fig. 21, *ab* es un conductor libre situado normalmente a las líneas de fuerza del campo magnético que existe entre los polos *N* y *S*; tan pronto como pase por el conductor una corriente dirigida de *b* a *a*, el conductor se moverá hacia abajo, según indica la flecha vertical.

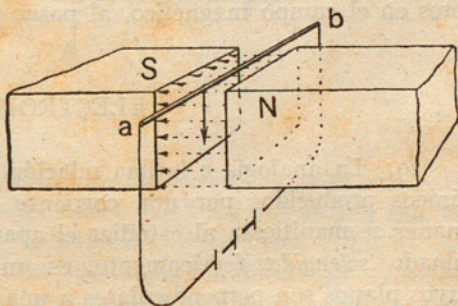


FIG. 21

Existen diversos métodos para recordar el sentido en que, según las direcciones relativas de la corriente y de las líneas de fuerza, se efectúa el movimiento; destacando por su sencillez la siguiente:

REGLA. — Si imaginamos (fig. 22) la mano izquierda colocada en el campo, de manera que las líneas de fuerza penetren normalmente por la palma, el dedo pulgar, extendido y formando ángulo recto con los demás dedos y en su mismo plano, indicará el sentido del movimiento de una corriente que tenga el sentido indicado por las puntas de los demás dedos.

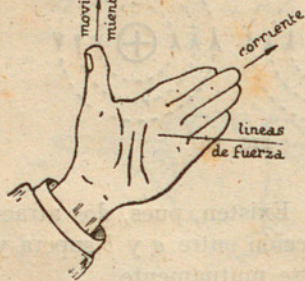


FIG. 22

La fuerza que produce el movimiento depende de la intensidad del campo, así como de la potencia de la corriente, y crece proporcionalmente a ellas; si se cambia una sola de las condiciones, el movimiento se verificará en sentido opuesto. En consecuencia, si en la figura 21 suponemos que las líneas de fuerza van de izquierda a derecha, o lo que es lo mismo, que el polo *N* se encuentra en el lugar

del polo *S* y viceversa, el movimiento del conductor sería hacia arriba, lo mismo ocurriría si se cambiase solamente el sentido de la corriente.

Es evidente que, si se cambian al mismo tiempo el sentido de la corriente y el de las líneas de fuerza, el movimiento no variará, pues, debido al primer cambio, se invierte el movimiento, y a causa del segundo, se invierte de nuevo, quedando, por consiguiente, como antes.

Es conveniente tener mucha práctica en la aplicación de la regla anterior, ya que en lo sucesivo encontraremos diversos casos en que será necesaria su aplicación. Así, por ejemplo, para determinar el sentido de rotación de un motor eléctrico basta hallar el movimiento de los conductores en el campo magnético, al pasar por ellos una corriente.

ELECTROIMANES

29. La analogía e íntima relación que existe entre los fenómenos mecánicos producidos por una corriente eléctrica y los originados por los imanes se manifiesta al estudiar el aparato imaginado por Ampère, denominado *solenoides*; teóricamente, es un conjunto de corrientes circulares, cuyos planos son perpendiculares a una recta que pasa por sus centros, llamada *eje del solenoides*.

En la práctica se obtiene un solenoides (fig. 23) arrollando un hilo conductor, convenientemente aislado para que no se toquen los hilos, sobre un tubo de cartón o de madera. Si el aparato así construido se dispone de

manera que pueda moverse libremente, se observará que se orienta, lo mismo que una aguja imantada, de forma que un extremo se dirigirá invariablemente hacia el Norte magnético y el otro hacia el Sur.

Si colocamos dos solenoides móviles uno en presencia del otro, se observarán las mismas acciones que entre dos imanes; la acción de un imán sobre un solenoide, y recíprocamente, es la misma que entre dos imanes; por consiguiente, un solenoide se puede considerar, y se comporta, como un imán con sus dos polos y su línea neutra.

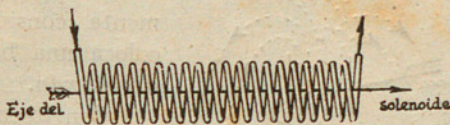


FIG. 23

30. De los dos extremos del solenoide, uno se dirige siempre hacia el Norte magnético y el otro hacia el Sur; para poder distinguir en todo momento el polo Norte bastará recordar la siguiente regla (análoga a la de n.º 23).

REGLA. — *Mirando un solenoide por un extremo, de manera que la corriente circule en el sentido de las agujas de un reloj, el extremo opuesto será el polo Norte.*

No importa que el solenoide esté arrollado en un sentido u otro, pues lo esencial es el sentido de la corriente; claro está que al arrollar un mismo hilo primero en un sentido y luego en otro, se cambian los polos del solenoide, pero esto no es debido al cambio de arrollamiento, sino a haberse invertido el sentido en que circula la corriente.

La fig. 24 representa dos solenoides arrollados en sentidos opuestos, en los cuales se observa que los polos están cambiados.

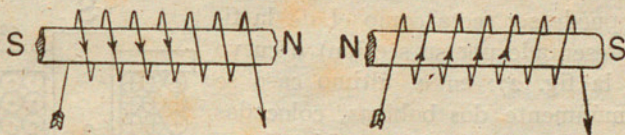


FIG. 24

31. *Imantación debida a la corriente.* — Observada la gran analogía que existe entre la corriente y el magnetismo, es lógico presuponer que la corriente actuará como él sobre las substancias magnéticas, y así es, en efecto: la disposición que adoptan las limaduras de hierro en el papel atravesado por un hilo conductor (fig. 12) demuestra que las partículas de hierro se han imantado por la influencia de la corriente, y si se introduce, repitiendo el experimento de Arago, un hilo de hierro recorrido por una corriente, entre limaduras de hierro, éstas se adhieren abundantemente al hilo para desprenderse en cuanto cesa la corriente.

32. *Electroimán.* — Hemos visto que un solenoide se comporta como un verdadero imán y que, como éste, tiene sus líneas de fuerza dirigidas del polo Norte al polo Sur a través del espacio, y del polo Sur al polo Norte en su interior, como se indica en la fig. 25.

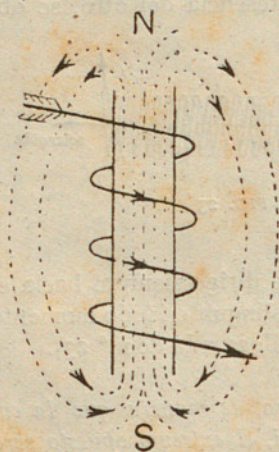


FIG. 25

La potencia magnética de un solenoide aumenta considerablemente si en su interior se coloca una barra de hierro: se obtiene así un *electroimán*.

Con frecuencia se emplean en la construcción de los electroimanes solenoides de gran número de vueltas (*espiras*) dispuestas en capas superpuestas, formando verdaderas bobinas. En este caso es condición indispensable que el hilo esté recubierto con una substancia que no permita que la corriente siga otra dirección que la indicada por aquél. Para cubrir los hilos se emplea generalmente papel, algodón o seda, y el hilo así dispuesto se arrolla generalmente en una caja (fig. 26) de cartón (o de zinc forrado con papel o cartón) de forma semejante a la que tiene la barra de hierro o *núcleo*. A fin de sujetar el arrollamiento,

la caja está cerrada por sus extremos por dos discos de igual material que el de la caja.

Las formas que afectan los electroimanes pueden variar considerablemente según sean los usos a que se destinen. En cuanto a la sección transversal del núcleo, ésta puede ser circular, elíptica, cuadrada o rectangular, y, por lo que se refiere a la forma longitudinal del mismo, puede ser recta como el de la figura 26 (representado por su sección) o curvo como el de la fig. 27; en el último caso se emplean comúnmente dos bobinas, colocadas en los extremos rectos del núcleo, unidas de tal manera, que sus efectos se sumen, es decir, deben conectarse en forma que, si suponemos el núcleo recto, la corriente se dirija en ambas en un mismo sentido, como se indica en la figura 28.

33. Si en un electroimán, como el de la fig. 27, las bobinas estuviesen conectadas en forma distinta a la indicada, obtendríamos dos polos de un mismo nombre en los extremos rectos del núcleo y un polo de nombre contrario en la parte curva, existiendo entre éste y cada uno de los otros una línea neutra.

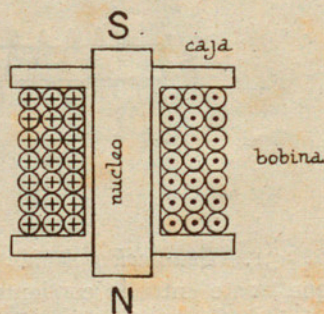


FIG. 26

34. *Núcleo, yugo, cara polar y pieza polar.* — En un electroimán curvo se distinguen : los *núcleos* propiamente dichos, o sea, la parte de hierro cubierta por las bobinas; el *yugo*, que es la parte de hierro que une los núcleos; las *caras polares* o extremos de los núcleos que miran al exterior, y las *pie-*

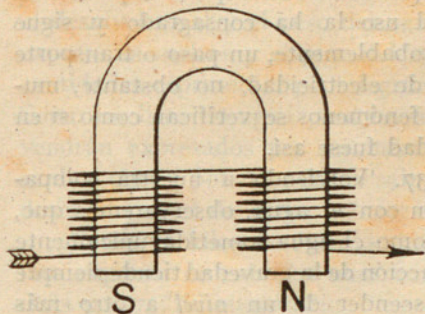


FIG. 27

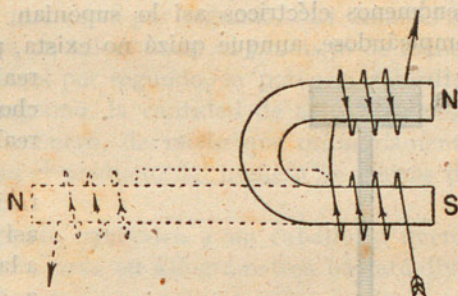


FIG. 28

zas polares, que son unas piezas de hierro que a veces se fijan en las caras polares con objeto de aumentar la sección que han de atravesar las líneas de fuerza.

Las diferentes partes de que consta el hierro de un electroimán pueden formar una pieza única y, en este caso, las bobinas deben arrollarse directamente sobre el núcleo, o bien ser piezas independientes que se enlazan entre sí de manera conveniente; en este caso las bobinas pueden arrollarse separadamente, lo cual constituye, en ciertos casos, una gran ventaja.

CORRIENTE ELÉCTRICA

35. *Una corriente eléctrica* puede ser originada, entre otras causas, por las acciones químicas, la temperatura y la inducción, fundándose esta última en el movimiento relativo de un conductor y un campo magnético o en la variación del número de líneas de fuerza que atraviesan un conductor en forma de espira.

Para que exista una corriente es indispensable una *diferencia de potencial* que la origine, de modo que la primera es siempre consecuencia de la segunda, si bien, como más adelante explicaremos, puede existir diferencia de potencial sin corriente.

36. La corriente eléctrica se manifiesta por los fenómenos a que da lugar, los cuales pueden estudiarse, y aun preverse, por analogía con el movimiento de un líquido. En efecto, son tantas las analogías que presentan, que sin este recurso serían de muy difícil comprensión los efectos que

Si en la fórmula anterior (n.º 38) que da el valor de la potencia de una corriente, expresamos la tensión en *voltios* y la intensidad en *amperios*, la potencia estará expresada en *vatios*. El vatio es la unidad práctica de potencia y puede escribirse

$$\text{vatios} = \text{voltios} \times \text{amperios}$$

El vatio es la $\frac{1}{736}$ parte del caballo; así, pues,

$$1 \text{ vatio} = \frac{1}{736} \text{ caballo}$$

$$1 \text{ caballo} = 736 \text{ vatios}$$

Resulta, pues, que para expresar en vatios una potencia dada en caballos tendremos que multiplicarla por 736; e inversamente, si está dada en vatios y queremos expresarla en caballos, debemos dividirla por 736.

40. La unidad práctica de *cantidad* de electricidad, o de cantidad de flúido eléctrico, es el *culombio*, que equivale a la décima parte de la unidad C.G.S. de cantidad; por lo tanto,

$$1 \text{ culombio} = \frac{1}{10} \text{ unidad C.G.S.}$$

$$1 \text{ unidad C.G.S.} = 10 \text{ culombios}$$

La diferencia entre *cantidad* de corriente e *intensidad* se hará patente considerando que, del mismo modo que un tubo que da 5 l de agua por segundo, dará en una hora $5 \times 3600 = 18\,000$ l, por un conductor cuya intensidad de corriente es de 5 amperios pasarán $5 \times 3600 = 18\,000$ culombios. Así, pues, el número de culombios es igual al de amperios multiplicado por el de segundos durante los cuales circula la corriente. Se tiene, por tanto:

$$\text{Culombios} = \text{Amperios} \times \text{Segundos}$$

$$\text{Amperios} = \frac{\text{Culombios}}{\text{Segundos}}$$

Designando por C la cantidad de electricidad (en culombios), por I la intensidad de la corriente (en amperios) y por t el número de segundos, tendremos

$$C = It \quad \text{o bien} \quad I = \frac{C}{t} \quad \text{o} \quad t = \frac{C}{I}$$

Ejemplo 1.º : Si por un circuito pasa una corriente cuya intensidad es de 15 amperios, ¿cuál será en una hora el número de culombios transportados?

Resolución : 1 hora equivale a 3600 segundos; por lo tanto,

$$C = I t = 15 \times 3600 = 54\,000 \text{ culombios}$$

Ejemplo 2.º : El número de culombios que han pasado durante dos horas por un circuito es 14 400. ¿Cuál es la intensidad de la corriente?

Resolución : 2 horas equivalen a 7200 segundos; por lo tanto,

$$I = \frac{C}{t} = \frac{14\,400}{7200} = 2 \text{ amperios}$$

Ejemplo 3.º : Con una intensidad de 3 amperios han pasado por un conductor 27 000 culombios; ¿durante cuánto tiempo ha circulado la corriente?

Resolución:

$$t = \frac{C}{I} = \frac{27\,000}{3} = 9000 \text{ segundos, o sea 2 horas y media.}$$

MANERAS DIFERENTES DE OBTENER UNA FUERZA ELECTROMOTRIZ

41. Hemos visto que para obtener una corriente es preciso que exista una fuerza electromotriz capaz de producirla. Los aparatos destinados a la producción de esta f.e.m. se designan comúnmente con el nombre de *generadores de corriente*, denominación poco apropiada, pues lo que producen es una diferencia de tensión.

PILAS QUÍMICOELÉCTRICAS

42. Según se dijo en el n.º 35, las acciones químicas desarrollan una f.e.m. y los aparatos fundados en este principio se denominan *pilas eléctricas* o, simplemente, *pilas*, aunque sea preferible denominarlas *pilas químicoeléctricas*, para diferenciarlas de otras que estudiaremos más adelante.

43. En su forma más sencilla, una pila consiste en dos substancias desigualmente atacadas por otra en la cual están sumergidas.

La fig. 30 representa dos placas, una de zinc *z* y otra de cobre *c*, en el interior de un vaso que contiene agua y ácido sulfúrico en una proporción aproximada de 10 por ciento (en volumen). Al actuar el agua acidulada sobre el zinc se desarrolla una fuerza electromotriz que carga al zinc negati-

vamente y al agua positivamente; el cobre, como metal apenas atacable por el ácido sulfúrico en las condiciones ordinarias, sólo sirve para recoger la electricidad positiva del líquido.

Mientras no existe ninguna comunicación exterior entre las dos láminas metálicas, sus cargas aumentan hasta equilibrar la fuerza electromotriz debida a la acción química, y ésta se acaba; pero si se unen las dos láminas por medio de los hilos de que van provistas, la reacción química continúa y la fuerza electromotriz produce una nueva cantidad de electricidad que da origen a una corriente dirigida desde el cobre al zinc por el hilo exterior y del zinc al cobre a través del líquido.

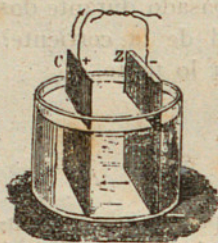


FIG. 30

La pila descrita constituye lo que se denomina un *par* o *elemento*, y una pila es, en realidad, la unión de diversos *elementos*, pero también se emplea la palabra *pila* para designar un solo elemento, y así se dice indiferentemente: *pila de Bunsen*, *elemento Leclanché*, etc.

44. En una pila se denomina *polo positivo* o $+$ aquel de donde se supone que *sale* la corriente hacia el exterior, y *polo negativo* aquel por donde *entra* en la pila, que se distingue con el signo $-$; la placa unida al polo positivo se denomina *cátodo* y la que se une al polo negativo *ánodo*; ambas reciben el nombre común de *electrodos*; el término *borne*, frecuentemente usado, es sinónimo de *polo*.

Los dos polos de una pila están comunicados eléctricamente entre sí de dos formas: una, a través del conductor que une las placas, constituyendo el *circuito exterior*, y otra, a través del líquido, que es el *circuito interior*.

45. *La f.e.m. varía según los metales y los ácidos.* — No es indispensable el empleo de los metales y del ácido indicados en el n.º 43 para obtener una f.e.m., pero hay que tener presente que el efecto será tanto mayor cuanto más atacable sea uno y menos el otro.

De los experimentos llevados a cabo por *Becquerel* resulta que si se representa por 1,00 el potencial del zinc puro, los demás metales tienen los siguientes potenciales:

Potasio.....	1,73	Mercurio.....	0,31
Zinc amalgamado....	1,03	Oro.....	0,00
Estaño.....	0,66	Platino.....	0,00
Hierro.....	0,61	Carbono.....	0,00
Cobre.....	0,35		

En los experimentos citados, uno de los electrodos era constantemente una placa de platino, empleándose ácido sulfúrico diluido.

La fuerza electromotriz obtenida con un elemento es la diferencia entre los números correspondientes a los metales empleados.

46. *Debilitación de la corriente producida por las pilas.* — El defecto principal de las pilas que, como la descrita, no contienen más que un líquido, es el de que la corriente por ellas suministrada disminuye con rapidez. Las causas de dicha disminución son dos : 1.^a, debilitación de la acción química por *empobrecimiento* del ácido; 2.^a, aparición de corrientes *secundarias* dirigidas en sentido inverso al de la principal y que acaban por anularla en absoluto.

• Con objeto de evitar tales inconvenientes, se han ideado las pilas de *dos líquidos*, siendo muy diversos los procedimientos empleados para disminuir con mayor o menor eficacia aquellos efectos, los cuales han dado origen a distintos tipos de pilas, cuyo estudio detallado se sale fuera de los límites de la presente obra.

47. Para tener una idea de la magnitud de la fuerza electromotriz desarrollada por las pilas, indicaremos que las más débiles producen una diferencia de potencial en los bornes de 0,7 y las más potentes, de 2,2 voltios.

PILAS TERMOELÉCTRICAS

48. Según se indicó en el n.º 35, la temperatura puede ser la causa de una corriente, denominándose *pilas termoeléctricas* los aparatos fundados en este principio.

Se sabía ya que algunos cristales naturales, como la turmalina y el topacio se electrizaraban al ser calentados, pero debemos a *Seebeck* (1821) el siguiente experimento, base de todos los estudios posteriores sobre las *corrientes termoeléctricas*.

49. *Experimento de Seebeck.* — El hecho fundamental descubierto por este físico es el siguiente : *Si con dos láminas metálicas de naturaleza distinta se forma un circuito cerrado y se establece una diferencia de temperatura entre dos soldaduras, se obtiene una corriente eléctrica.*

En la fig. 31, *m n* es una lámina de cobre soldada a otra lámina de bismuto. Si se calienta la soldadura *o* se produce una corriente en el sentido indicado por la flecha.

50. Se denomina metal *positivo* aquel en el que la corriente va de la soldadura fría a la soldadura caliente, y metal *negativo* aquel en el que la corriente se dirige de la solda-

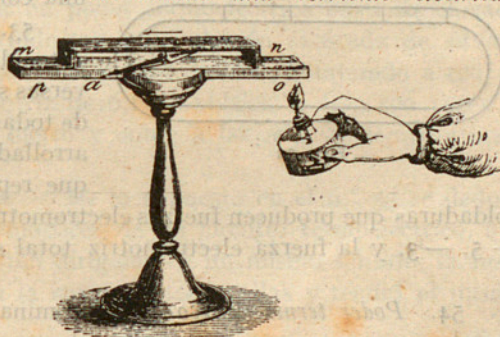


FIG. 31

dura caliente a la fría. En el experimento anterior el bismuto es positivo y el cobre negativo; en la tabla siguiente figuran los principales metales ordenados en forma tal, que uno cualquiera de ellos es positivo con respecto al que le sigue y negativo con respecto al que le precede; la fuerza electromotriz de un elemento termoelectrónico aumenta con la distancia a que se encuentran en la tabla los metales que lo forman:

Bismuto	Plomo
Mercurio	Zinc
Platino	Plata
Oro	Hierro
Cobre	Antimonio
Estaño	Teluro

51. Las leyes de las corrientes termoelectrónicas son muy complicadas. Para ciertos metales, la fuerza electromotriz es proporcional a la diferencia de temperaturas de las dos soldaduras; como en los elementos bismuto-cobre-cobre-oro. Para otros elementos, entre ellos el de bismuto-antimonio, sólo existe proporcionalidad, cuando las diferencias de temperaturas son pequeñas. Hay elementos para los que no existe proporcionalidad y el sentido de la corriente depende de la temperatura.

52. *Origen de las corrientes termoelectrónicas.* — Las corrientes termoelectrónicas no son debidas al contacto, ya que pueden desarrollarse en un circuito formado por un solo metal; tampoco proceden de acciones químicas, pues se ha observado que se producen en el vacío o en un gas inerte. Si se emplea un circuito formado por dos conductores cilíndricos de cobre de diferentes diámetros, pero de idénticas condiciones físicas, no se produce corriente alguna, aunque se caliente uno de los puntos del contacto, pero si se establece alguna diferencia de estructura o de densidad entre uno y otro lado del punto calentado, se obtiene una corriente.

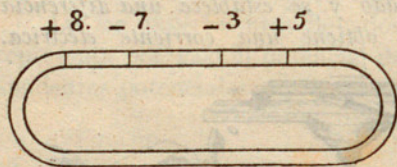


FIG. 32

53. La fuerza electromotriz total, obtenida en un circuito que presenta diversas soldaduras, es la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices desarrolladas en ellas. Así, en la fig. 32, que representa un circuito con cuatro soldaduras que producen fuerzas electromotrices representadas por +8, -7, +5, -3, y la fuerza electromotriz total será: $+8 - 7 + 5 - 3 = +3$.

54. *Poder termoelectrónico.* — Denominamos *poder termoelectrónico* de dos metales, a una temperatura dada, a la magnitud de la fuerza termoelectromotriz para una diferencia de 1°C entre las soldaduras.

El poder termoeléctrico de los metales depende de la temperatura media de las soldaduras y también de la diferencia de temperaturas. En el diagrama (fig. 33) se han representado las variaciones del poder termoeléctrico: las ordenadas representan las f.e.m. en microvoltios (millonésimas de voltio) y las abscisas indican las temperaturas medias en grados C; la distancia vertical entre las gráficas correspondientes a dos metales permite conocer su poder termoeléctrico a la temperatura media correspondiente a dicha

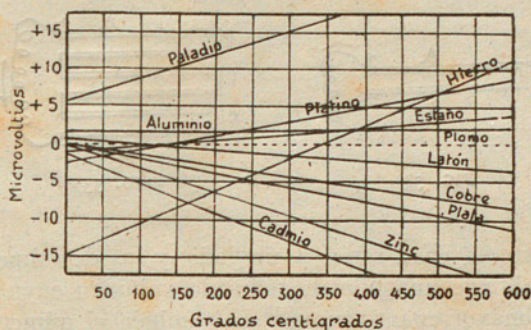


FIG. 33

vertical; estas líneas han sido trazadas con relación al plomo, tomado como tipo de comparación. El punto en que las gráficas de ambos metales se cortan se denomina *punto neutro*, porque, a la temperatura correspondiente, los poderes termoeléctricos de dichos metales son iguales y no se desarrolla fuerza electromotriz alguna.

A uno y otro lado del punto neutro, las fuerzas electromotrices cambian de signo, y por este motivo los puntos neutros se denominan también *puntos de inversión*. Entre 0° y 300° C estas líneas son sensiblemente rectas, lo que permite calcular las fuerzas electromotrices por medio de triángulos y trapecios.

55. Los líquidos presentan un poder termoeléctrico bastante elevado y constante; el elemento constituido por una solución saturada de sulfato de zinc a 0° C y mercurio que contiene 0,0005 de zinc, mantenido a 100° C, suministra una fuerza electromotriz de 0,1167 voltios, o sea, 100 veces la producida por un elemento de hierro y cobre a las mismas temperaturas.

56. *Baterías termoeléctricas.* — De lo expuesto en el n.º 53 se deduce que si todas las fuerzas electromotrices de un circuito termoeléctrico, que presenta diversas soldaduras, están dirigidas en un mismo sentido, la fuerza electromotriz resultante será la suma de todas ellas y tendrá el mismo sentido.

Esta propiedad es la que se utiliza para construir una *batería termoeléct-*

trica, que es un conjunto de elementos termoeléctricos dispuestos de tal forma que la fuerza electromotriz obtenida sea la suma de las fuerzas electromotrices de los elementos que la constituyen.

El sistema formado por una lámina de bismuto y otra de antimonio, soldadas por uno de sus extremos, es un elemento o par (fig. 34) cuya f.e.m. desarrollada es sumamente débil; para obtener una corriente más enérgica se disponen diversos pares (fig. 35), de forma que todas las soldaduras

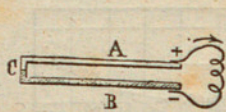


FIG. 34

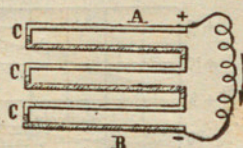


FIG. 35

de número impar se encuentren a un lado y las de número par al otro, con lo cual se obtiene una pila de reducido volumen cuya fuerza electromotriz es tanto mayor cuanto mayor sea también el número de elementos de que consta.

El volumen de la pila puede reducirse disponiendo los pares de la figura 35 paralelamente unos a otros; el último bismuto de la primera serie de elementos debe soldarse lateralmente al primer antimonio de la segunda, y así, sucesivamente, hasta unir cinco o seis series, obteniéndose de este

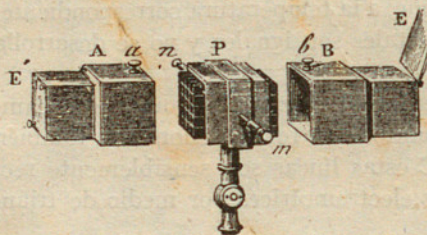


FIG. 36

modo un conjunto de 25 ó 30 pares cuya longitud es de unos 30 mm. La pila así formada (fig. 36) se coloca dentro de un armazón de cobre *P* sobre un pie con bisagra, a fin de poder dar al aparato la inclinación conveniente; los pares están aislados unos de otros, y del armazón, por tiras de papel barnizado; el primer antimonio y el último bismuto comunican, respectivamente, con los bornes *m* y *n* que constituyen los polos de la pila; se protegen las dos caras mediante las cajas *A* y *B*, que se sujetan al armazón *P* con tornillos de presión, estando estas cajas provistas de pantallas móviles *E*, cuyo objeto es permitir o impedir que el calor llegue a las caras de la pila.

57. Las pilas termoeléctricas sólo se usan en los laboratorios, pues no han tenido hasta ahora ninguna aplicación industrial dada la pequeña fuerza electromotriz que producen; su aplicación a la medida de altas temperaturas ha tenido un gran éxito.

El aparato que se usa con este fin, llamado *pirómetro termoeléctrico*,

consiste en un tubo de arcilla refractaria, cuyo interior contiene un hilo de platino y otro de una aleación de platino y rodio; el aparato así construido se introduce en el horno cuya temperatura deseamos conocer; la temperatura se obtiene midiendo la corriente desarrollada por el elemento termoeléctrico.

58. *Reversibilidad del efecto Seebeck. Efecto Peltier.* — Peltier fué el primero en observar que así como en el experimento de Seebeck una diferencia de temperaturas produce una corriente, también una corriente es capaz de determinar una diferencia de temperaturas: si se hace pasar la corriente producida por una fuerza electromotriz exterior a través de la unión de dos metales, por ejemplo, cobre y hierro, de manera que desde el primero se dirija al segundo, la unión se enfría, y, si la corriente va en sentido opuesto, se calienta.

El *efecto Peltier* es independiente del *efecto Joule*, del que hablaremos más adelante, o sea, del aumento de temperatura que experimenta un conductor debido al paso de una corriente, pero como ambos efectos son simultáneos, es preciso tomar ciertas precauciones para poder distinguir uno de otro.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

59. De los tres procedimientos indicados en el n.º 35, que se pueden utilizar para la producción de una fuerza electromotriz, ninguno tiene tantas aplicaciones como el de la *inducción electromagnética*, o sea, la producción de una fuerza electromotriz debida a la influencia que un campo magnético ejerce sobre un conductor, siempre que exista entre ambos un movimiento relativo tal que el conductor corte a las líneas de fuerza. Es indiferente que sea el conductor o el campo el que se mueva, o bien que lo hagan ambos a la vez; el resultado será siempre el mismo.

60. Si un conductor mn (figura 37) se mueve, paralelamente a sí mismo, en el campo que crean los dos polos muy próximos, N y S , de un imán, de manera que corte a las líneas de fuerza, se desarrollará en el conductor una fuerza electromotriz cuyo sentido, o sea el de la corriente que es capaz de producir, dependerá del de las líneas de fuerza y de aquel en que tiene lugar el movimiento del conductor. En la figura,

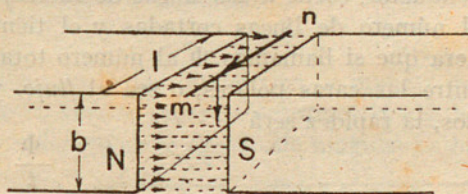


FIG. 37

las líneas de fuerza están dirigidas según las pequeñas flechas horizontales;

el movimiento del conductor, según la flecha vertical y el sentido de la corriente, será el marcado por la flecha grande indicada en el mismo conductor.

61. *Sentido de la corriente inducida.* — Hemos dicho que la corriente desarrollada tendrá uno u otro sentido según sea el de las líneas de fuerza y el del movimiento. En efecto: si se invierten los polos de manera que las líneas de fuerza se dirijan en sentido opuesto al indicado, la corriente se dirigirá de m a n , y si sólo se cambia el sentido del movimiento, el efecto será el mismo y la corriente también se dirigirá de m a n ; si se cambia a la vez el sentido de las líneas de fuerza y el del movimiento, se conservará el sentido de la corriente que, como anteriormente, se dirigirá de n a m , análogamente y por los mismos motivos que se explicaron en el n.º 28 al tratar del movimiento, en un campo magnético, de un conductor recorrido por una corriente.

La regla del n.º 28 se aplica análogamente al caso actual, sólo que en lugar de la *mano izquierda* se emplea ahora la *derecha*, lo que conviene tener presente, ya que de otra forma el resultado obtenido sería opuesto.

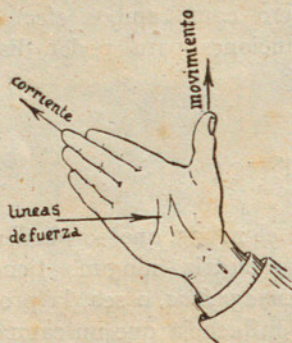


FIG. 38

REGLA. — Si imaginamos (fig. 38) la mano derecha colocada en el campo magnético de manera que las líneas de fuerza penetren normalmente por la palma y que el pulgar, extendido formando ángulo recto con los demás dedos y en su mismo plano, señale el sentido del movimiento, la corriente tendrá el sentido indicado por las puntas de los demás dedos.

62. *Valor de la f.e.m. desarrollada.* — La fuerza electromotriz desarrollada en un conductor en las condiciones indicadas en la fig. 37, es la *rapidez* con que el conductor corta a las líneas de fuerza, y esta *rapidez* es la relación entre el número de líneas cortadas y el tiempo empleado en cortarlas, de manera que si llamamos Φ al número total de líneas de fuerza que existen entre las caras polares, o sea al *flujo*, y t al tiempo, expresado en segundos, la rapidez será

$$\frac{\Phi}{t}$$

Por tanto, si E representa la fuerza electromotriz desarrollada, tendremos:

$$E = \frac{\Phi}{t}$$

La superficie de una cara polar y, por consiguiente, la sección transversal del campo, por donde pasa el flujo Φ , es $l \times b$, en centímetros cuadrados; de manera que designando por B el número de líneas por centímetro cuadrado del campo (o sea, la *densidad del flujo*, o como se llama ordinariamente, la *inducción*), tendremos

$$\Phi = B l b$$

y sustituyendo este valor de Φ en la fórmula anterior resulta

$$E = B l \frac{b}{t}$$

Pero observando, que, tratándose de un movimiento uniforme, $\frac{b}{t}$ es la velocidad del conductor que podemos llamar v , se tiene finalmente

$$E = B l v \text{ unidades C.G.S.} \quad (2)$$

y dividiendo por 10^8 (n.º 38),

$$E = \frac{B l v}{10^8} \text{ voltios}$$

63. De esta fórmula se deduce que la fuerza electromotriz desarrollada en un conductor que se mueve con velocidad uniforme, cortando normalmente a las líneas de fuerza de un campo, es proporcional a la inducción, a la longitud del conductor y a su velocidad.

Si $B = 5000$, $l = 20$ cm, $v = 2000$ cm, tendremos

$$E = \frac{5000 \times 20 \times 2000}{10^8} = 2 \text{ voltios}$$

64. Si un conductor se mueve en un campo magnético de manera que no corta a las líneas de fuerza, no se induce fuerza electromotriz alguna. En el circuito en forma de anillo de la fig. 39 no se desarrolla ninguna f.e.m., porque el conductor en su movimiento, paralelo a las líneas de fuerza, no corta a ninguna de ellas; pero, si el conductor tiene el movimiento indicado en la fig. 40, si bien no circula por él corriente alguna, se desarrolla una fuerza electromotriz, pues, en efecto, si imaginamos

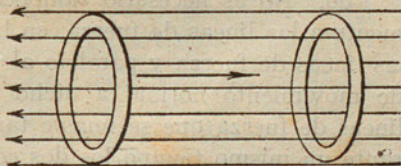


FIG. 39

el conductor cortado por dos puntos diametralmente ópuestos a y b , en la mitad superior existirá una fuerza electromotriz dirigida según la flecha c y en la mitad inferior una fuerza electromotriz dirigida según la flecha d , y como son iguales y opuestas, respecto al conductor, se equilibran y no

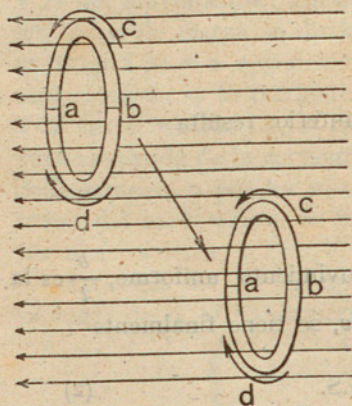


FIG. 40

producen corriente, aunque existe una diferencia de potencial entre los puntos a y b .

65. Para obtener una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor, no es condición indispensable que la dirección del movimiento sea normal a las líneas de fuerza, pues basta cualquier movimiento que produzca corte de líneas de fuerza para que se desarrolle una f.e.m., la cual será menor que en el primer caso. Sea (figura 41) a un conductor visto por un extremo, esto es, normal al plano del dibujo, que se mueve según $a b$, oblicuamente a las líneas de fuerza del campo, y comparémoslo con otro conductor c paralelo a él, que en su movimiento corta a las líneas normalmente,

llegando a b al mismo tiempo que a ; el número de líneas cortadas por cada uno de ellos es el mismo, así como el tiempo empleado en ello y, por tanto, la misma f.e.m. se desarrolla en uno que en otro, pero como la velocidad del conductor a es mayor que la del c (puesto que el camino $a b$

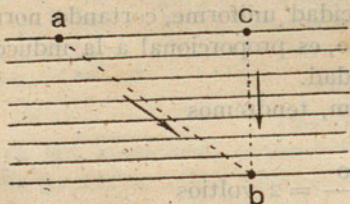


FIG. 41

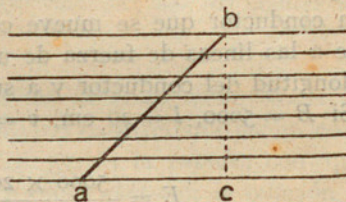


FIG. 42

es mayor que el $c b$ y el tiempo es el mismo), resulta que, a igual velocidad, el conductor a desarrollaría menos fuerza electromotriz que el c .

66. No es necesario tampoco que el conductor esté situado normalmente a las líneas de fuerza; en la fig. 42, $a b$ es un conductor oblicuo a las líneas de fuerza y paralelo al plano del papel, que suponemos animado de movimiento normal a dicho plano, y $b c$ otro conductor normal a las líneas de fuerza que se mueve también normalmente a dichas líneas; durante un mismo tiempo los dos conductores cortan a un mismo número de líneas de fuerza y, por tanto, la fuerza electromotriz desarrollada en ambos

tiene un mismo valor, pero como la longitud del hilo ab es mayor que la del bc , resulta que, a igualdad de longitud, la fuerza electromotriz obtenida en el conductor ab es inferior a la desarrollada en el bc .

67. Si el conductor y la dirección del movimiento son oblicuos a las líneas de fuerza, han de tenerse en cuenta simultáneamente los resultados expuestos en los n.º 65 y 66, y, por tanto, la f.e.m. desarrollada en este caso será menor aún.

De lo expuesto se deduce que en todo aparato fundado en la inducción electromagnética los conductores han de ser normales a las líneas de fuerza del campo, y su movimiento ha de ser a la vez normal a dichas líneas y a la dirección del hilo, mientras no se opongan consideraciones de otro orden.

68. Como el movimiento que un campo magnético produce sobre un conductor recorrido por una corriente no es más que un fenómeno de inducción electromagnética, análogo al que tiene lugar cuando un conductor se mueve en un campo para producir una corriente, se comprende que debe existir entre ambos una estrecha relación. A fin de simplificar el lenguaje, conveniremos en llamar *generador* al conductor que se mueve para producir una corriente, y *motor* al conductor movido por la corriente; siendo racionales estas denominaciones, puesto que, como veremos más adelante, los generadores y los motores eléctricos no son más que simples aplicaciones del principio de la inducción electromagnética.

De las reglas dadas en los n.º 28 y 61 se deduce, que el sentido en que se mueve el *generador* es opuesto al sentido en que lo hace el *motor* cuando la corriente en ambos tiene un mismo sentido. Sea (fig. 43) o un conductor normal al plano del papel, por el que circula una corriente que se aleja del observador y que se halla situado entre los polos N , S , de un imán; según se explicó en el n.º 20 el conductor está rodeado de líneas de fuerza circulares y concéntricas, cuyo sentido se ha indicado en el dibujo, las cuales refuerzan el campo magnético a la derecha del hilo y lo debilitan a la izquierda, lo cual origina un movimiento del conductor hacia la izquierda; si quisiéramos obtener en el mismo conductor una corriente del mismo sentido, sería preciso imprimirle un movimiento en sentido opuesto, o sea hacia la derecha.

En el caso del motor, la energía eléctrica se convierte en energía mecánica, y en el del generador, la energía mecánica se transforma en energía

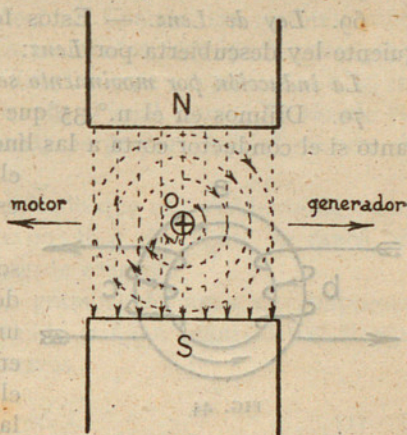


FIG. 43

eléctrica; como en ambos casos es preciso emplear una cierta cantidad de energía, es evidente que se precisa vencer alguna resistencia, siendo fácil la explicación del hecho. Si el hilo es *motor* se mueve hacia la izquierda, como hemos visto; pero por el mero hecho de moverse en un campo magnético, aunque lo verifique por sí mismo, se convierte en *generador* y, según la regla del n.º 61, tiende a producir una corriente cuyo sentido es precisamente opuesto al que lleva, y, por tanto, la corriente se debilita y para mantenerla es preciso emplear una cierta energía eléctrica; por el contrario, si el hilo es generador, por el hecho de circular por él una corriente, y hallarse en un campo magnético, se transforma en motor, y el hilo tiende a moverse en sentido opuesto, lo cual origina el gasto de energía mecánica necesaria para mantener el primer movimiento.

69. *Ley de Lenz.* — Estos fenómenos pueden condensarse en la siguiente ley descubierta por *Lenz*:

La inducción por movimiento se opone al movimiento que la produce.

70. Dijimos en el n.º 35 que puede obtenerse una corriente eléctrica, tanto si el conductor corta a las líneas de fuerza de un campo como si varía el número de ellas que atraviesan una espira.

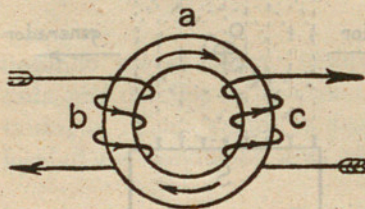


FIG. 44

En la fig. 44, *a* es un anillo de hierro sobre el cual se han arrollado dos sistemas de espiras *b* y *c*; al pasar por el sistema *b* una corriente, se produce un campo de líneas en el interior del hierro que, circulando en el sentido indicado por las flechas, atraviesa las espiras *c*; si el flujo de líneas de fuerza es constante, no se desarrolla ninguna

f.e.m. en *c*, pero si, por cualquier motivo, aumenta o disminuye se obtiene una f.e.m. cuyo valor es directamente proporcional al flujo e inversamente proporcional al tiempo empleado en la variación.

Más adelante tendremos ocasión de insistir sobre este asunto, bastando lo que hemos expuesto para completar todo lo que sobre la inducción electromagnética nos proponemos exponer por ahora.

DIVERSOS EFECTOS DE LAS CORRIENTES

71. Entre los varios efectos producidos por las corrientes eléctricas figuran, como más importantes por sus aplicaciones industriales, los mecánicos, magnéticos, caloríficos, luminosos y químicos. Los efectos mecánicos y los magnéticos se aprovechan y sirven de fundamento de multitud de aparatos y, en particular, se basa en ellos la construcción de generadores,

motores y muchos aparatos de medida; los efectos caloríficos tienen también aplicación en algunos aparatos de medición, en la calefacción y usos domésticos; los luminosos en el alumbrado; los químicos, o sea la descomposición de los cuerpos en sus elementos, dan origen a la galvanoplastia y a la electrometalurgia.

Sólo trataremos ahora de la descomposición de los cuerpos, estudiando los restantes efectos a medida que sea necesario su estudio.

72. *Electrólisis.* — Damos el nombre de *electrólisis* a la descomposición en sus elementos de un cuerpo sometido a la acción de una corriente eléctrica; el cuerpo es el *electrólito* y las placas metálicas que establecen la comunicación entre el electrolito y el circuito exterior se llaman *electrodos*.

Entre los numerosos efectos químicos de la corriente eléctrica, merece especial mención la descomposición del agua, por haber sido este cuerpo el primero en el que se observaron dichos efectos. Cuando una corriente atraviesa el agua, la descompone en sus dos elementos, hidrógeno y oxígeno, y la cantidad de agua descompuesta es directamente proporcional a la intensidad de la corriente y al tiempo durante el cual pasa. De donde resulta que la cantidad de agua descompuesta es proporcional al número de culombios que han pasado.

De los experimentos realizados ha resultado que una corriente de 1 amperio descompone en un segundo 0,000 093 26 g de agua, a razón de 0,000 010 36 g de hidrógeno y 0,000 082 9 g de oxígeno.

De manera que, si P es el peso (en gramos) del agua descompuesta, I (en amperios) la intensidad de la corriente y t (en segundos) el tiempo durante el que circula la corriente, tendremos

$$P = 0,000\ 093\ 26\ I\ t \quad (1)$$

Problema 1.º : ¿Qué cantidad de agua descompondrá en 20 minutos una corriente de 4 amperios?

Resolución : 20 minutos equivalen a $20 \times 60 = 1200$ segundos. Por tanto, aplicando la fórmula

$$P = 0,000\ 093\ 26 \times 4 \times 1200 = 0,448\ \text{g (aprox.)}$$

Problema 2.º : ¿Durante cuánto tiempo tendrá que pasar una corriente de 5 amperios para descomponer 10 g de agua?

Resolución : De la fórmula (1) se deduce

$$t = \frac{P}{0,000\ 093\ 26\ I} \quad t = \frac{10}{0,000\ 093\ 26 \times 5} = 21\ 445\ \text{seg}$$

o sea, cerca de 6 horas.

Para hallar los pesos de hidrógeno y de oxígeno, emplearíamos respectivamente las fórmulas

$$P = 0,000\ 010\ 36\ I\ t \quad (2)$$

$$P = 0,000\ 082\ 9\ I\ t \quad (3)$$

73. Si en las fórmulas anteriores sustituimos $I\ t$ por su valor C (n.º 40), obtendremos

$$P = 0,000\ 093\ 26\ C \quad (1)$$

$$P = 0,000\ 010\ 36\ C \quad (2)$$

$$P = 0,000\ 082\ 9\ C \quad (3)$$

que dan respectivamente los pesos de agua descompuesta y los pesos de hidrógeno y de oxígeno obtenidos cuando pasan C culombios.

Podríamos estudiar la descomposición de otros cuerpos por la corriente, pero basta el ejemplo anterior para tener una idea de los efectos de la corriente sobre los compuestos químicos.

DIVERSOS MODOS DE AGRUPAR LOS GENERADORES

74. Es evidente que un salto de agua puede considerarse como formado por un número cualquiera de saltos parciales, de manera que el nivel inferior del primero sea el nivel superior del segundo, el nivel inferior de éste sea el superior del tercero, etc. El desnivel total será siempre la suma de los desniveles parciales, y si éstos son iguales entre sí, el desnivel total será el producto de uno de ellos por el número de desniveles.

Análogamente, la cantidad de agua puede considerarse formada por un número cualquiera de caudales parciales reunidos, de manera que el total será la suma de todos ellos; y, si éstos son iguales, será el producto de uno de ellos por su número.

Por analogía, si unimos entre sí diversos elementos productores de corriente, ya sean químicoeléctricos, termoelectrónicos o electromagnéticos, de manera que sus fuerzas electromotrices se sumen, la fuerza electromotriz obtenida, o sea la tensión total, será la suma de las fuerzas electromotrices parciales, y si los unimos de forma que las corrientes se sumen, la intensidad total será la suma de las intensidades parciales.

Esta propiedad permite obtener, con elementos de tensión e intensidad distintas de las deseadas, una tensión y una intensidad tales que se ajusten a las condiciones exigidas en la práctica.

75. *Elementos en serie.* — Los elementos de una batería, por ejemplo, están conectados en serie cuando sus fuerzas electromotrices se suman, y

para ello se enlazan entre sí como se indica en la fig. 45, de forma que el cobre del primer elemento se une al zinc del segundo; el cobre del segundo, al zinc del tercero, y así sucesivamente, quedando libres el zinc del primero y el cobre del último, los cuales constituyen los polos de la batería entre los que habrá una diferencia de potencial o tensión igual a la suma de las correspondientes a los distintos elementos. Si todos los elementos producen una misma tensión, la total se obtiene multiplicando aquella por el número de elementos.

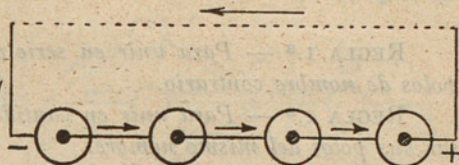


FIG. 45

En este caso la intensidad de la corriente en el circuito exterior es la de un elemento, puesto que la misma corriente circula en todos los elementos. Es evidente que el polo positivo de la batería será el polo positivo libre del último elemento y que el negativo será el polo negativo libre del primero.

La agrupación en serie se denomina también agrupación *en tensión*; así se dirá que los elementos de la fig. 45 están *en serie* o *en tensión*.

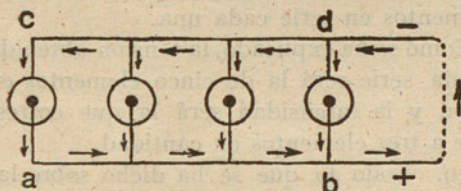


FIG. 46

figura 46: todos los cobres comunican con un hilo común *ab* y todos los zinc con otro hilo *cd*, cuyos extremos son los polos de la batería.

En este caso, la tensión de la batería es la misma que la de un elemento, y la intensidad de la corriente en el circuito exterior es la suma de las intensidades suministradas por cada uno de los elementos; o la de uno de ellos multiplicada por su número, si son iguales.

77. En los esquemas o croquis se acostumbra a representar las baterías, como se indica en la fig. 47. En (a) está representada una batería de cuatro elementos en serie, y en (b) una batería compuesta de cinco elementos en cantidad.

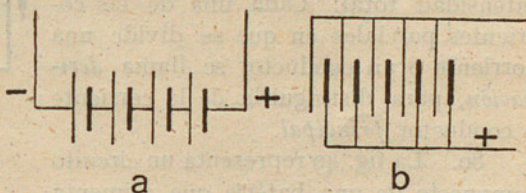


FIG. 47

Lo que hemos expuesto sobre las conexiones de los elementos puede generalizarse mediante las reglas siguientes, que es indispensable tener presentes, dada su constante aplicación, tanto en lo que se refiere a las baterías, como en las conexiones, entre sí, de todos los aparatos y máquinas usados en la práctica.

REGLA 1.^a — Para unir en serie varios elementos es preciso conectar sus polos de nombre contrario.

REGLA 2.^a — Para unir en cantidad varios elementos es necesario conectar sus polos del mismo nombre.

78. Muy a menudo se presenta el caso en que al unir elementos en serie se obtiene la tensión necesaria, pero la intensidad no es suficiente para el uso a que se la destina, o bien que al agrupar en cantidad se obtiene la intensidad necesaria, pero no sucede lo mismo con la tensión. En estos casos se emplea un sistema mixto y se disponen los elementos tal como indica la fig. 48, en la cual hay 3 derivaciones de 5 elementos en serie cada una.

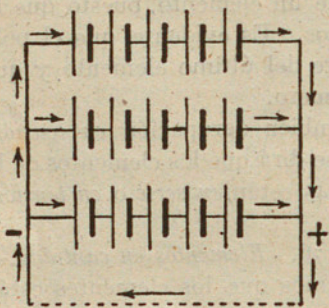


FIG. 48

Como se ha explicado, la tensión obtenida en cada serie será la de cinco elementos en tensión y la intensidad será la que corresponde a tres elementos en cantidad.

79. Todo lo que se ha dicho sobre las conexiones de los elementos se aplica igualmente a todos los circuitos en general. Si dos o más circuitos o conductores están en serie, una misma corriente circula por ellos; cuando están en cantidad, la corriente total se distribuye en forma, tal que la suma de las intensidades parciales es igual a la intensidad total. Cada una de las corrientes parciales en que se divide una corriente o un conductor se llama *derivación*, para distinguirla de la corriente o conductor *principal*.

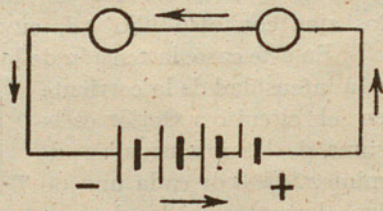


FIG. 49

80. La fig. 49 representa un circuito compuesto de una batería que alimenta dos bombillas conectadas en serie. La corriente es la misma en todo el circuito, pero la tensión total, o sea en los bornes o polos de la batería, es el doble de la de una bombilla, según se deduce de lo que hemos explicado (n.º 79).

En la fig. 50 se representan tres bombillas *a* conectadas en cantidad

entre sí y en serie con otra *b*, alimentadas todas por una misma batería. En este caso, si la tensión necesaria para cada bombilla es de 50 voltios, las bombillas *a* requieren 0,5 amperios cada una y las *b*, 1,5 amperios. Para que funcionen normalmente todas será preciso que la batería pueda suministrar un voltaje de $2 \times 50 = 100$ voltios y una intensidad de 1,5 amperios. La distribución de las intensidades y de las tensiones es la siguiente: por la bombilla *b* pasan los 1,5 amperios dados por la batería; en *c* se divide la corriente, pasando 0,5 amperios por cada bombilla *a*; se reúnen en *d*, y los 1,5 amperios vuelven a la batería. Considerando las tensiones: entre los bornes de la bombilla *b* hay 50 voltios, así como entre los bornes de las bombillas *a* y el conjunto requiere $2 \times 50 = 100$, que son las que tiene que suministrar la batería.

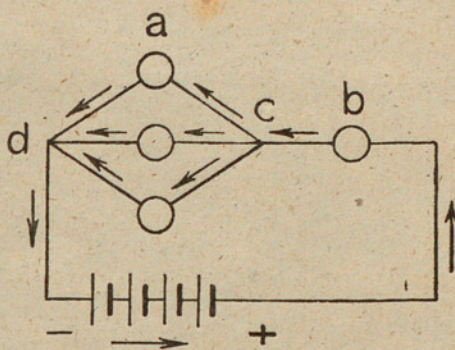


FIG. 50





Magnetismo y corriente eléctrica

PROBLEMAS

1. Una batería está formada por 15 elementos en serie y la f.e.m. de cada uno de ellos es de 1,7 voltios. ¿Cuál será la tensión en los bornes de la batería?
2. Un conductor cuya longitud es de 30 cm se mueve en un campo con una velocidad de 15 m por segundo y produce una f.e.m. de 2,25 voltios. ¿Cuál será la inducción del campo magnético?
3. Exponer las reglas para hallar el sentido del movimiento y el de la corriente de un conductor en un campo, como motor y como generador.
4. Exponer la regla para hallar los polos de un electroimán.
5. ¿Qué diferencia hay entre un solenoide y un electroimán?
6. ¿Por dónde se cierran las líneas de fuerza que pasan por el interior de un electroimán?
7. Un conductor de 20 cm de longitud se mueve normalmente a las líneas de fuerza de un campo cuya inducción es de 7000 líneas con una velocidad de 16 m por segundo. ¿Qué fuerza electromotriz desarrollará?
8. ¿Cuánto tiempo se necesita para que una corriente de 12 amperios descomponga 5 g de agua?
9. ¿Cuántos culombios son necesarios para poner en libertad 2 g de hidrógeno?
10. Se han puesto en libertad 3 g de oxígeno mediante una corriente. ¿Cuántos culombios han pasado?
11. Una corriente de 1 amperio pone en libertad 2 g de oxígeno. ¿Cuánto tiempo se ha necesitado?
12. ¿Qué acción se ejerce entre los polos de nombre contrario?
13. ¿Qué relación hay entre el culombio y el amperio?
14. Exponer el efecto Peltier.
15. Si se mira el conductor por un extremo y la corriente se acerca al observador, ¿en qué sentido van las líneas de fuerza al campo creado por dicha corriente?
16. ¿Qué es el espectro magnético?

17. Un conductor se halla debajo una aguja imantada y es paralelo a ella, ¿qué sucede cuando pasa por él una corriente que se dirige de Sur a Norte?

18. ¿Qué es una brújula?

19. Por dos conductores paralelos pasan corrientes dirigidas en un mismo sentido; ¿se atraen o se repelen?

20. ¿Qué es una pila termoeléctrica?

21. Un campo magnético tiene una inducción igual a 5000 y su superficie transversal a las líneas de fuerza es de 400 cm^2 ; ¿cuál será el flujo?

22. Un conductor cerrado se mueve oblicuamente a las líneas de fuerza de un campo, ¿se desarrolla o no una fuerza electromotriz?

23. ¿Qué diferencia hay que establecer entre inducción y flujo, tratándose de un campo magnético?

24. ¿Cómo obtendremos mayor fuerza electromotriz en un elemento de pila cuyo líquido es ácido sulfúrico diluido y una de las placas es de platino, empleando para la otra placa zinc o cobre?

ÍNDICE

	Páginas
MAGNETISMO	3
Imanes naturales	3
Imanes artificiales.	3
Polos y línea neutra.	3
Aguja imantada. Brújula.	4
Imantación por influencia.	6
Líneas de fuerza	7
Campo magnético.	7
Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas:	8
Ley de Coulomb	8
Polo unidad.	9
Intensidad de campo.	9
Número de líneas de fuerza de un polo.	10
Momento magnético	10
Acción de una corriente sobre un imán.	11
Campo magnético de una corriente.	11
Regla de Ampere	12
Sentido de las líneas de fuerza de una corriente.	12
Acción de un imán sobre una corriente.	14
Acciones mutuas entre las corrientes	14
Leyes de las corrientes paralelas	14
Movimiento de un conductor en un campo magnético.	15
Electroimanes	16
CORRIENTE ELÉCTRICA.	19
Unidades prácticas para medir las corrientes.	21
Maneras diferentes de obtener una fuerza electromotriz.	23
Pilas químico-eléctricas.	23
Pilas termoeléctricas.	25
Inducción electromagnética	29
Diversos efectos de las corrientes. Electrólisis.	34
Agrupación de generadores en serie y en cantidad.	36
PROBLEMAS	41

Publicaciones del Servicio de Extensión de Enseñanzas Técnicas
 Editorial y Centro de Enseñanzas por **CORRESPONDENCIA**

LIBROS PUBLICADOS

	Pesetas		Pesetas
Aritmética		Geometría analítica	2,75
Primera parte (2. ^a edición)	2	Geometría elemental	2
Segunda parte (2. ^a edición)	2	Cálculo de circuitos magnéticos	2,50
Tercera parte (2. ^a edición)	2	Taquigrafía	2,75
Cuarta parte (2. ^a edición)	2	Trigonometría	3,25
Quinta parte (2. ^a edición)	2,25	Calor y vapor	2,25
Sexta parte (2. ^a edición)	2	Gramática	5,50
Aritmética, conjunto (2. ^a edición)	8,50	Tablas numéricas	1,50
Algebra :		Galvanómetros	2
Primera parte	1,75	Pilas eléctricas	2,50
Segunda parte	1,75	Dibujo geométrico	3,25
Tercera parte	1,75	Elementos de Enología	5
Cuarta parte (Logaritmos)	1,75	La vaca y la producción lechera	6
Algebra, conjunto	5,50	Corrientes alternas (1. ^a y 2. ^a parte)	3,50
Mecánica elemental :		Instrumentos para corriente continua (1. ^a y 2. ^a parte)	5
Primera parte	1,50	Combustibles y combustión	3
Segunda parte	1,50	Magnetismo y corriente eléctrica	3
Tercera parte	2,25	Geometría :	
Cuarta parte	2,25	Primera parte	2,50
Mecánica elemental, conjunto	6,50	Segunda parte	2,50
Cálculo y construcción de dinamos :			
Primera parte	2,50		
Segunda parte	2,50		
Tercera parte	2,25		
Cálculo y construcción de dinamos, conjunto	6,50		
Propiedades de los materiales	2		

OTRAS PUBLICACIONES

Geometría descriptiva	Instrumentos para corriente alterna.
Estática gráfica.	Iluminación.
Resistencia de materiales.	Elaboración del aceite.
Cálculo de elementos de máquinas.	Cultivo intensivo de hortalizas y flores.
Mecánica de los fluidos.	Fabricación de conserva
Termodinámica.	El olivo.
Elementos de electricidad.	El almendro.
Pilas y acumuladores.	Fisiología de los animales
Electroquímica.	Reproducción y herencia
Transformadores.	Industrias de la leche.
Motores eléctricos.	Geografía general.
Cálculo y construcción de alternadores.	Historia de España.

Estos textos han sido redactados por el Profesorado del
 integrado por Ingenieros, Licenciados y Maestro

5-C/20 30
 DIPUTACIÓN PROVINCIAL
 DE BARCELONA
 BIBLIOTECA POPULAR
 DEL DISTRITO IV
 Reg. 6302
 Sig. 538
 Ext.

FU-9-12

Editorial y Centro de
Enseñanzas Técnicas
por Correspondencia

de la

DIPUTACIÓN PROVINCIAL
DE BARCELONA



Dirección y Administración:

Calle de Urgel, 187-Barcelona

Precio : 3 ptas.

Casa Provincial de Caridad
Imprenta - Escuela