

LA ELECTRICIDAD  
Y SUS MARAVILLAS

BIBLIOTECA  
SELECTA  
para  
LA JUVENTUD



GARNIER HERMANOS

## La Electricidad y sus Maravillas

Juan Maffiotte

Este libro fue editado por Garnier Hermanos, Editores, París, en 1896 y en él el autor muestra el estado del arte de la Electricidad.

A continuación el inicio del tema *Electricidad* contenido en el Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano en su edición de 1912, dieciséis años después de la publicación del libro:

*ELECTRICIDAD: Física. Empezar el estudio de una ciencia por su definición, es sabido que ofrece enormes dificultades, si no es que se estrella contra una dificultad absoluta, a saber, la de explicar lo desconocido por desconocido. Pudiérase decir, en efecto, que la electricidad es la causa de los fenómenos eléctricos; pero debería explicarse a continuación lo que por fenómeno eléctrico se entiende, y de esta suerte estaría próximamente como al principio. Y en rigor, por cualquier camino que se tomase, a este mismo punto se llegaría; porque las ciencias, que no son más que organismos forjados por la razón humana, o, mejor dicho, clasificaciones de la masa inmensa de fenómenos que en el seno del Universo se presentan, sólo se distinguen por la masa de hechos que estudian.*

*Un edificio inmenso no puede abarcarlo la vista en su conjunto y necesita contemplarlo parte por parte, perspectiva por perspectiva, fachada por fachada, dividiendo artificialmente lo que es uno en elementos diversos, y sacando, si la imagen es permitida, vistas fotográficas todo alrededor de la mole colosal.*

*Pues esto son las ciencias: múltiples fotografías del gran todo. Una fotografía de la naturaleza se llama Física, y cuando se enfoca la Creación desde este punto de vista, todo lo que se halla a los costados, por decirlo así, o detrás, o en el centro, desaparece del cuadro, es como si no existiera. Otra fotografía de la naturaleza se llama Química: el punto de vista ha variado, las grandes líneas del edificio son distintas, quizá el aparato distinto también, y la cámara*

*oscura se ha convertido en microscopio y aparecen detalles y filigranas que antes no se percibían. Y consideraciones análogas pudiéranse hacer respecto a todas las ciencias que el saber humano comprende.*

*Es más todavía: quizá la prueba fotográfica de una de las grandes fachadas del monumento abarca demasiado, sólo determina las grandes líneas y deja en sombra y borrosos mil pormenores interesantes, lo cual exige la subdivisión de la primitiva perspectiva en otras muchas de detalle, y esto punto por punto se repite en las ciencias, cuando la que fue una durante mucho tiempo, sin dejar de subsistir como unidad, llega a adquirir tal contenido y tal riqueza, que se desborda y subdivide en otras muchas ciencias parciales. Sirva de ejemplo la misma Física, que hoy comprende multitud de ramas especialísimas como la Óptica, la Electricidad, el Calórico, la Acústica y tantas otras, que van de continuo creciendo y desprendiéndose de la madre común, a la manera que en el desarrollo del protoplasma la masa o celdilla primitiva crece y se subdivide en nuevos elementos.*

*Y con decir lo que se ha dicho, queda expresado que la ciencia de la Electricidad es un desprendimiento de la antigua Física, y que la electricidad, como energía oculta en el seno de la naturaleza, será una de tantas causas como están de continuo agitándose en el interminable oleaje de los fenómenos.*

*En resumen, la electricidad en concepto de ciencia estudia un orden especial de fenómenos perfectamente limitado, al menos por lo pronto, y perfectamente definido, la electricidad como causa es aquella energía a la que estos mismos fenómenos deben su origen, con lo cual sólo nos resta definir el aspecto, la forma, las condiciones y las leyes de dicho grupo de fenómenos de hechos naturales.*

*En una palabra, debe verse cuál es el carácter especialísimo de los fenómenos eléctricos, cuál es el carácter común por el cual se forma con todos ellos un grupo, y en qué se diferencian de los demás fenómenos del universo material, como, por ejemplo, los caloríficos, lumínicos, acústicos u otros cualesquiera.*

*Definir una ciencia, hemos dicho, es limitar un grupo de hechos, a la manera que limitar un Estado es trazar la línea de sus fronteras; pues véase cuál es el grupo de los fenómenos eléctricos y qué contorno los limita, separándolos de los restantes.*

*Los hechos primitivos y más elementales que revelan un origen eléctrico se reducen a atracciones y repulsiones de cuerpos sumamente pequeños, como trozos diminutos de papel, barbas recortadas de pluma o bolillas de saúco; pero hay otra multitud de hechos que a primera vista ninguna conexión tienen con los anteriores, y que, sin embargo, obedecen a las mismas leyes y dependen de la misma causa. ¡Qué hechos tan distintos al parecer! ¡Qué abismos entre la terrible línea sinuosa del rayo, el fragor del trueno, la luz deslumbradora del relámpago que enciende los espacios y un cuerpecillo insignificante, bueno cuando más como juguete de niño o como adorno mujeril! Allá en el fondo del gineceo, una belleza helénica rodeada de jóvenes esclavas se entretiene en frotar las cuentas de su collar múltiple, cuentas de ámbar amarillo, que mercaderes fenicios trajeron de las costas del Báltico. Y después cogen entre todas alguna blanca paloma de las que vienen a beber en la fresca linfa de la fuente de mármol que adorna el próximo jardín, y con los electrizados granillos atraen las recortaduras de las alas del ave predilecta de Venus.*

*Esto en la baja tierra y en los inocentes juegos de un boudoir clásico; y fuera, y lejos, y en lo alto, nubes tempestuosas que el aquilón arrastra, masas oscuras que entre sí chocan en los aires como monstruos de las tinieblas empeñados en fantástica batalla; la chispa eléctrica que en rápida serie de gigantescos ángulos busca su equilibrio, y un estampido que las montañas, con sus ásperas gargantas, repiten una y otra vez hasta que se debilitan y se pierden sus ecos.*

*¡Quién podría alcanzar por aquellos tiempos poder sintético suficiente para unir en una sola teoría fenómenos al parecer tan opuestos! ¡Quién podría adivinar que las atracciones del electrón, el rayo de Jove y la piedra de Lidia eran una misma cosa, y que al cabo de algunos siglos e' ámbar, el rayo y el*

*imán formarían trípode misterioso, más misterioso y más sublime que el de todas las sibilas!*

*Y sin embargo, todos estos hechos son en el fondo, y según todas las probabilidades, uno solo repetido y combinado consigo mismo bajo mi y mil apariencias diversas...*

¡Es impresionante el avance alcanzado por esta ciencia en los albores de sus aplicaciones, sin que se hubieran desarrollados aún completamente los principios básicos de su estructura teórica!

## PRIMERA PARTE

### LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

#### CAPITULO 1

#### LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA

##### § 1.- Notas históricas

Desde el tiempo de Thales de Mileto, allá por el año 600 antes de la era vulgar, se conocía la propiedad que adquiere el ámbar amarillo de atraer, cuando se le frota, los cuerpos ligeros; sabían también los antiguos que la piedra imán atrae al hierro; pero ni remotamente sospecharon que entre ambos, fenómenos (la atracción de los cuerpos ligeros por el ámbar y la del hierro por el imán) hubiera una Comunidad de origen, hoy casi demostrada por la ciencia. Los conocimientos de los antiguos en esta materia se limitaban, pues, a aquellos dos hechos, y si pretendieron darse razón de los fenómenos, por esa tendencia del espíritu humano, siempre inquieto, a penetrar la causa oculta de las cosas, no se cuidaron, en cambio, de seguir el único camino que conduce a la posesión de las verdades naturales, y fuera del cual no hay ciencia posible. Este camino se llama la experimentación.

Veinte siglos después de Thales de Mileto, en el año 1600 de nuestro era, Guillermo Gilbert, médico de la reina Isabel de Inglaterra, descubrió que no era el ámbar amarillo el único cuerpo -donde podía desarrollarse la propiedad atractiva de que se ha hecho mención, pues aquella propiedad la adquieren también por el frotamiento algunas maderas, las piedras preciosas, las resinas, el vidrio, el azufre, los fósiles y varios cuerpos más. A Guillermo Gilbert sucedieron otros físicos que, aplicando al estudio de los fenómenos eléctricos el método experimental, fueron descubriendo las leyes que rigen aquellos fenómenos y preparando el terreno para nuevos y fecundísimos descubrimientos, cuyas portentosas aplicaciones prácticas superan considerablemente todo lo que la imaginación más ardiente y atrevida hubiera podido concebir.

Boyle en 1675 descubrió que, si los cuerpos previamente frotados atraían a los otros cuerpos, eran en cambio atraídos por los no frotados, siempre que se les

pusiera en condiciones adecuadas. Una barrita o aguja de goma laca, frotada con una piel de gato, goza de la propiedad de atraer a otro cuerpo suspendido de una hebra de seda. Invertiendo el experimento, es decir, suspendiendo la goma laca de la hebra de seda, se ve que el otro cuerpo la atrae, a su vez. Por último, si se suspenden los dos cuerpos, se observará que se atraen mutuamente. Estos hechos hubieran podido preverse fácilmente por ser una consecuencia necesaria del conocido principio de mecánica que dice que la acción es siempre igual y contraria a la reacción. Otra de las observaciones de Boyle, fue la de la luz de la electricidad; frotando en la oscuridad un diamante vio que emitía rayos luminosos.

Contemporáneo de Boyle fue Otto de Guericke, el inventor de la máquina neumática y también de la primera máquina eléctrica, con la cual obtuvo manifestaciones eléctricas mucho más intensas que las obtenidas hasta entonces por los demás físicos. Otto de Guericke observó el primero las repulsiones eléctricas; una pluma atraída por el globo de azufre con que estaba constituida su máquina, era en seguida rechazada, y mantenida a cierta distancia, para ser atraída de nuevo, si se la tocaba con otro cuerpo,

Stephen Gray, a quien se deben multitud de observaciones e importantes descubrimientos en electricidad fue el primero que de una manera precisa emitió la idea, vagamente expresada, puesta por Wall, de la semejanza que existe entre la chispa eléctrica producida por las máquinas y el rayo que estalla en las tempestades. Del conocimiento de esta semejanza, o por mejor decir, de esta identidad entre las causas de ambos fenómenos, nació una de las aplicaciones más útiles de la electricidad, cual es el aparato harto conocido de todos y que se denomina el pararrayos.

Interesante por demás sería la historia de la electricidad, desde las primeras experiencias de Gilbert hasta los descubrimientos de los modernos físicos; pero como nuestro objeto no es escribir en el presente libro la historia de esta ciencia fecundísima, sino describir sus maravillosas aplicaciones, nos contentaremos con las sencillas notas expuestas, que nos servirán como de introducción al estudio que vamos a hacer, inmediatamente de los fenómenos eléctricos, para pasar después a la exposición de sus múltiples y variadísimas aplicaciones.

## § 2. - Conductibilidad eléctrica

El médico Gilbert demostró, como ya hemos dicho, que cierto número de sustancias, adquirirían, por el frotamiento, la propiedad de atraer los cuerpos ligeros. Experimentando con otros cuerpos, tales como las piedras, los metales, etc. no pudo obtener manifestación eléctrica ninguna. Por largo tiempo creyeron los físicos, fundados en aquellas experiencias, al parecer concluyentes, que los cuerpos todos estaban naturalmente divididos en dos categorías: unos que adquirirían, por el frotamiento, la propiedad indicada, y a los cuales denominaron idioeléctricos, y otros que no poseían aquella propiedad y que designaron con el nombre de aneléctricos. Pero una experiencia de Stephen Gray vino a demostrar que distinción hasta entonces establecida no tenía razón de ser, y que si los cuerpos de la segunda categoría no daban señales de electrización, cuando se les frotaba, no era sino porque no se les ponía en condiciones de conservar la electricidad adquirida por la fricción.

Propúsose Gray electrizar un tubo de vidrio, que estaba cerrado con tapones de corcho por sus dos extremidades, y, después de haberlo frotado al modo ordinario, observó con gran sorpresa que los tapones de corcho, que no habían sido frotados, atraían también los cuerpos ligeros, como el mismo tubo de vidrio. Pudiera creerse que la proximidad del vidrio determinaba el fenómeno, pero habiendo añadido al corcho algunas varillas de marfil, de metal y de otras sustancias, vio que las extremidades libres de estas varillas gozaban, sin duda, de la misma propiedad atractiva. Prosiguiendo sus experiencias suspendió del tubo una esfera de metal por medio de una larga cuerda de lino, y pudo obtener idénticas manifestaciones eléctricas en la esfera. Por último, tendiendo una cuerda de 250 pies de largo, consiguió transmitir la propiedad atractiva en toda la extensión de la cuerda. En esta última experiencia hizo Gray una observación importante. La cuerda estaba suspendida de trecho en trecho por hilos de lino y en estas condiciones, el fenómeno no se produjo; suspendida después por hebras de seda en vez de los hilos de lino, se obtuvieron las manifestaciones eléctricas; pero cuando a una de las hebras de seda, que se había roto, se le substituyó con un alambre, volvieron a desaparecer las manifestaciones eléctricas,

De estas observaciones dedujo Stephen Gray que, entre los cuerpos de la naturaleza, había algunos que se dejaban atravesar por la electricidad, y otros que la retenían sin dejarla pasar. A los primeros los designó con el nombre de cuerpos conductores y a los segundos con el de aisladores. Los cuerpos conductores son todos aquellos que no dan señales de electrización cuando se les frota en las condiciones ordinarias; pero aislados completamente adquieren lo mismo que le ámbar la propiedad atractiva. Para demostrar esto último basta tomar un cilindro de metal o de cualquiera otra sustancia conductora y aislarlo convenientemente por medio de un mango de vidrio (fig. 1); frotado este cilindro atrae los cuerpos ligeros como lo haría un cilindro de ebonita, que es sustancia aisladora.

Fácilmente se comprende ahora que aquella distinción establecida por los primeros físicos al dividir los cuerpos en aneléctricos e idioeléctricos no tenía más fundamento que la ignorancia en que hasta entonces estaban acerca de los fenómenos de conductibilidad de que vinimos hablando. Los aneléctricos no son otra cosa que los cuerpos buenos conductores, y los idioeléctricos los malos conductores o aisladores.

En realidad todos los cuerpos de la naturaleza son conductores en mayor o menor grado; pero algunos, como la goma laca lo son tan escasamente que casi se les puede considerar como perfectamente aisladores. Otros, como el mármol, aíslan muy imperfectamente, y se les denomina semiconductores. Por último, los metales son los cuerpos conductores por excelencia a continuación damos una lista de varias sustancias puestas por orden decreciente de conductibilidad:

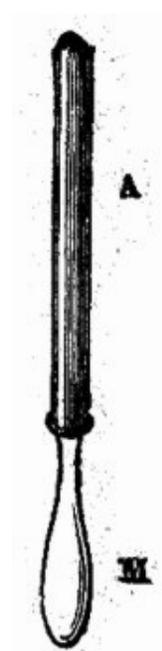


Figura 1

#### **Conductores**

Metales ordinarios  
 Carbón calcinado a alta temperatura  
 Ácidos concentrados  
 Soluciones salinas  
 Agua de lluvia  
 Telas

#### **Semi-conductores**

Alcohol  
 Éter  
 Mármol  
 Papel  
 Paja  
 Hielo a 0°

#### **Aisladores**

Aceites grasos.  
 Hielo a — 200 °C  
 Cal  
 Creta, caucho y papel seco.  
 Cabellos, seda.  
 Vidrio, pez.

Vegetales y animales vivos

Azufre, ámbar y goma, laca.

Aire seco.

Como se ve por la lista que precede, el aire seco es un cuerpo mal conductor de la electricidad. Gracias a esta circunstancia, podemos obtener manifestaciones eléctricas con los diversos aparatos y máquinas que se han ido sucesivamente inventando, pues de lo contrario, la electricidad desarrollada por el frotamiento, o por cualquiera otro medio de los que indicaremos más adelante, se escaparía por el aire y no se manifestaría a nuestros sentidos del modo con que se manifiesta, ordinariamente. Las experiencias de Stephen Gray, de que hemos hablado, no hubieran podido realizarse en un ambiente buen conductor de la electricidad. Por eso es conveniente experimentar siempre en una atmósfera desprovista en la posible de humedad, a fin de evitar las pérdidas de electricidad consiguientes. También es absolutamente indispensable que los instrumentos y máquinas que se empleen en el estudio de los fenómenos eléctricos sean previamente calentados, con objeto de expulsar el agua que los humedezca. El vidrio, por ejemplo, que se emplea constantemente como sustancia aisladora, tiene la propiedad de condensar en su superficie, en forma de delgadísima capa líquida, el vapor de agua que existe en la atmósfera, y de este modo, de sustancia aisladora, se convierte, por virtud de la capa acuosa que lo envuelve, en cuerpo buen conductor de la electricidad. Para salvar este inconveniente es necesario someterlo a una temperatura capaz de expulsar por completo la humedad. Suele emplearse también el vidrio recubierto de una ligera capa de goma laca, que evita el depósito de agua, por no ser la goma laca, sustancia higrométrica como el vidrio, pero no por eso se debe prescindir de calentarlo del modo que se ha dicho, puesto que siempre existe alguna ligerísima capa de agua adherida a los cuerpos que es muy perjudicial para la producción de los fenómenos eléctricos.

### **§ 3. - Atracciones y repulsiones eléctricas distinción de las dos electricidades**

Hemos visto que el primer fenómeno eléctrico conocido es el de la atracción de los cuerpos ligeros por el ámbar, previamente frotado, y acabamos de ver, en el párrafo anterior, que todos los cuerpos pueden adquirir esa virtud atractiva, si se

les pone en condiciones adecuadas. Vamos ahora a estudiar un poco más de cerca y con alguna detención este fenómeno de las atracciones eléctricas, que ha de conducirnos al conocimiento de algunos hechos importantes.

El aparato que nos ha de servir para este estudio es el denominado péndulo eléctrico (fig. 2).



*Figura 2*

Compónese de una esterilla de médula de saúco, sustancia sumamente ligera, suspendida, por una hebra de seda muy fina, de un pie vertical que sirve de soporte. Tomemos un cilindro de vidrio bien seco y frotémoslo vigorosamente con un trozo de paño de lana. En estas condiciones, si se acerca el cuerpo electrizado, que es el cilindro de vidrio, a la esferilla de médula de saúco, le verá que ésta es fuertemente atraída por el cilindro, y si, con un poco de habilidad, se consigue que no haya contacto entre ambos cuerpos, se observará que, la atracción es constante. Supongamos ahora que la esferilla, al ser atraída, llegue a tocar al cuerpo electrizado; en este caso, e inmediatamente después del contacto, la esfera del

péndulo será vivamente rechazada, y siempre que tratemos de acercarle el cilindro la veremos huir y apartarse de él. El saúco ha quedado electrizado por el contacto; para convencernos de ello basta poner al lado sustancias ligeras, u otro péndulo no electrizado, en cuyo caso se observará una marcada atracción entre ambos cuerpos. Si se, toca la primera esfera con la mano, perderá su electricidad, y entonces volverá a ser atraída por el cilindro de vidrio.

Empleando, en vez de este cuerpo, una barra o cilindro de lacre o de resina, previamente frotados con un paño de lana, se obtienen fenómenos al parecer absolutamente idénticos; la esferilla de saúco es atraída primeramente y luego reclinada con fuerza, cuando se ha establecido el contacto; después de haberla tocado con la mano es atraída de nuevo por la resina. Pero aunque estos fenómenos sean al parecer idénticos a los obtenidos con el cilindro, de vidrio electrizado, no queda duda que entre unos y otros ha de existir una diferencia esencial.

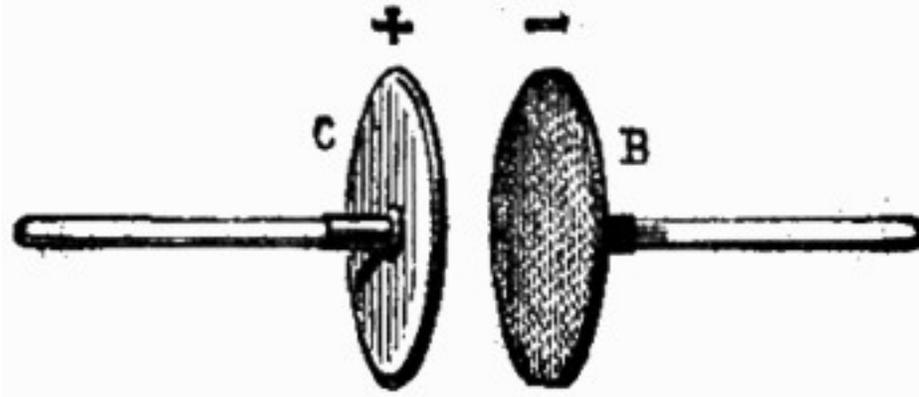
Péguese, en efecto, con el cilindro de vidrio, la esferilla de médula de saúco; como se ha dicho, la esfera será rechazada. Acérquese ahora a la misma esfera, electrizada por el contacto, la barra de resina, previamente frotada; la esferilla, en vez de huir de la resina, será atraída con fuerza. Invirtiendo el experimento, es decir, tocando primero la esfera con la resina, para que sea rechazada, y acercando luego el vidrio, atraerá este último cuerpo al saúco.

Parece deducirse de aquí que las electricidades desarrolladas por el frotamiento en el vidrio y en la resina son de distinta naturaleza, puesto que una atrae lo que la otra rechaza y recíprocamente.

Fundándose en estos hechos, el físico Dufay, que fue quien primero los observó, creyó necesario, distinguir esas dos electricidades con los nombres de vítrea y resinosa; estableciendo la ley de que las electricidades del mismo nombre se rechazan y las de nombre contrario se atraen. Ahora vamos a ver que si la ley es la expresión exacta de los hechos, en cambio las denominaciones de, electricidad vítrea y resinosa, adoptadas por Dufay, no expresan la verdad sino muy imperfectamente.

Hemos dicho, en efecto, que todos los cuerpos se electrizan por el frotamiento; según esto, se puede fundadamente sospechar que, al frotar el vidrio con la lana, si el primero queda electrizado, la segunda se electrizará también, con la sola

diferencia de que el vidrio conservará la electricidad que adquiera, mientras que la lana la perderá por el contacto con el cuerpo del experimentador. Pero si se procura disponer la experiencia de una manera conveniente, de modo que no haya pérdida de electricidad, ambos cuerpos quedarán electrizados. Tómense dos platillos circulares, uno de metal, cubierto con un paño de lana, y otro de vidrio, y provistos ambos de sus correspondientes mangos aisladores (fig. 3).



*Figura 3*

Frótese, uno contra otro, los Platillos, y sepáreseles vivamente después del frotamiento. Si, en estas condiciones, se acercan sucesivamente ambos platillos á. un péndulo de médula de saúco, previamente cargado de electricidad vítrea, se observará que el disco de vidrio lo rechaza, mientras que el de lana lo atrae, sucediendo lo contrario, cuando el péndulo se halle cargado de electricidad resinosa. Estos hechos se reproducen con toda clase, de cuerpos, de donde es necesario deducir que siempre, que se froten dos cuerpos, uno contra otro, se desarrollarán en ambos electricidades contrarias. Ahora bien, si se frota el vidrio con la lana, se desarrolla en ésta la electricidad resinosa, y si es la resina la sustancia frotada, en el paño de lana se desarrolla la electricidad vítrea; es decir, que cada cuerpo adquiere una clase de electricidad u otra según sea el cuerpo con el cual se ha frotado o ha sido frotado. Algunas otras circunstancias varían también el género de electricidad que se desarrolla en un cuerpo; el vidrio sin pulimentar, por ejemplo, adquiere, por el frotamiento electricidad resinosa, y la, adquiere vítrea cuando está pulimentado. Venimos a parar, con todo esto, a que las denominaciones de electricidad vítrea y resinosa, propuestas por Dufay, deben ser abandonadas por

inexactas. Hoy se distinguen las dos electricidades por los nombres de positiva, que es la vítrea, y de negativa, que es la resinosa, y aunque estas nuevas denominaciones no tengan más fundamento que las antiguas, no presentan, en cambio, los inconvenientes que acabamos de señalar.

En la lista que ponemos a continuación están dispuestos los cuerpos de tal modo que se desarrolla en cada uno de ellos electricidad positiva si se le frota con cualquiera de los que le siguen, y negativa si el frotamiento se efectúa con cualquiera de los que le preceden.

Vidrio pulimentado.

Paños de lana.

Plumas.

Madera,

Papel.

Seda.

Goma laca.

Resina.

Vidrio sin pulimentar.

Fáltanos añadir, para terminar este párrafo, que, si después de haber frotado dos cuerpos, se les une de nuevo, cada uno cede al otro la mitad de su electricidad, hasta que, al cabo de cierto tiempo, vuelven a quedar en estado natural, como si no hubieran sido frotados. De lo cual deducimos que las electricidades que se desarrollan en cada cuerpo son equivalentes, supuesto que reunidas se neutralizan.

#### **§ 4. - Hipótesis de los dos fluidos**

No suelen contentarse los hombres con el conocimiento de los hechos, sino que gustan remontarse hasta las causas que los producen. Por eso vemos que los físicos han procurado explicarse, por medio de suposiciones más o menos ingeniosas, la causa primera de los fenómenos eléctricos que, con asombro cada vez creciente, vemos desarrollarse ante nuestra vista. ¿Qué es la electricidad? El fundador de la filosofía jónica suponía que el ámbar amarillo estaba dotado de una especie de vida,

y con tal hipótesis, harto infundada, explicaba, a su modo, las atracciones eléctricas. Boyle creía que el cuerpo electrizado emitía una sustancia pegajosa, invisible que, saliendo del cuerpo, volvía a él, después de arrastrar las sustancias de poco peso que encontraba al paso. Newton pensaba que el cuerpo frotado emitía un fluido eléctrico que penetraba el vidrio. Los esfuerzos de estos observadores fueron, sin duda, impotentes para explicar el origen de los fenómenos eléctricos; pero revelan bien a las claras la imperiosa necesidad que tiene el humano espíritu de darse cuenta de las cosas y de investigar la verdad hasta en sus más hondas raíces. Franklin, para explicar los fenómenos eléctricos, concibió la teoría de un fluido único, fluido que se repelía a sí mismo, es decir, cuyas moléculas tendían a separarse, y que existía en cantidades definidas en todos los cuerpos. Cuando, por la acción mecánica del frotamiento, o por cualquier otra causa, un cuerpo llegaba a adquirir una cantidad de fluido eléctrico mayor de la que le correspondía en su estado normal, se decía que estaba electrizado positivamente, y si la cantidad de fluido era menor que la normal, se admitía entonces que estaba electrizado negativamente. De esta teoría nacieron las dos expresiones de electricidad positiva y negativa de que hemos hablado más atrás. La teoría de Franklin, al parecer sencilla, se complica bastante cuando se trata de profundizarla. Por de pronto, en esta teoría hay que admitir que las partículas eléctricas se repelen mutuamente; que existe atracción entre las partículas eléctricas y las moléculas ponderables de los cuerpos, y, por último, que las moléculas materiales se rechazan entre sí.

Más complicada en apariencia, y más sencilla en realidad es la teoría de los dos fluidos ideada por Symmer. Sin embargo, esta teoría no puede admitirse sino como una hipótesis ingeniosa y de ningún modo como una explicación racional de los fenómenos eléctricos. A lo sumo se la puede admitir como una explicación interina., mientras no haya otra Más satisfactoria, o mientras no quede demostrada la existencia de esos dos fluidos, cuya concepción es algo difícil para la inteligencia. En la teoría o hipótesis de Symmer se admite que todos los cuerpos encierran una cantidad indefinida de una sustancia sutil denominada fluido eléctrico neutro. El fluido eléctrico neutro está constituido por dos clases de moléculas, unas que llamaremos positivas y otras negativas. Cuando en un cuerpo dado, existe un exceso de una clase u otra de aquellas moléculas, se dice que está electrizado

positiva o negativamente, según los casos. Ambos fluidos, el positivo y el negativo, pueden circular rápidamente a través de una porción de cuerpos, pero en otros quedan fijos en las moléculas materiales, sin poder moverse de un punto a otro; los cuerpos de la primera categoría son los conductores, los de la segunda los aisladores. Cuando se frota un cuerpo contra otro, el fluido neutro se descompone, por efecto de, la acción mecánica ejercida, y entonces el fluido positivo se acumula en uno de los cuerpos frotados y el negativo en el otro. Los fluidos de nombre contrario se atraen mutuamente, y por eso dos cuerpos cargados de electricidades contrarias tienden a unirse; los fluidos del mismo nombre se repelen, y por eso dos cuerpos cargados de electricidad iguales tienden a separarse. Tal es, en resumen, la teoría de Symmer que, a falta de otra mejor, ha prevalecido en la ciencia, siquiera no se la admita, según ya hemos dicho, sino como provisoria.

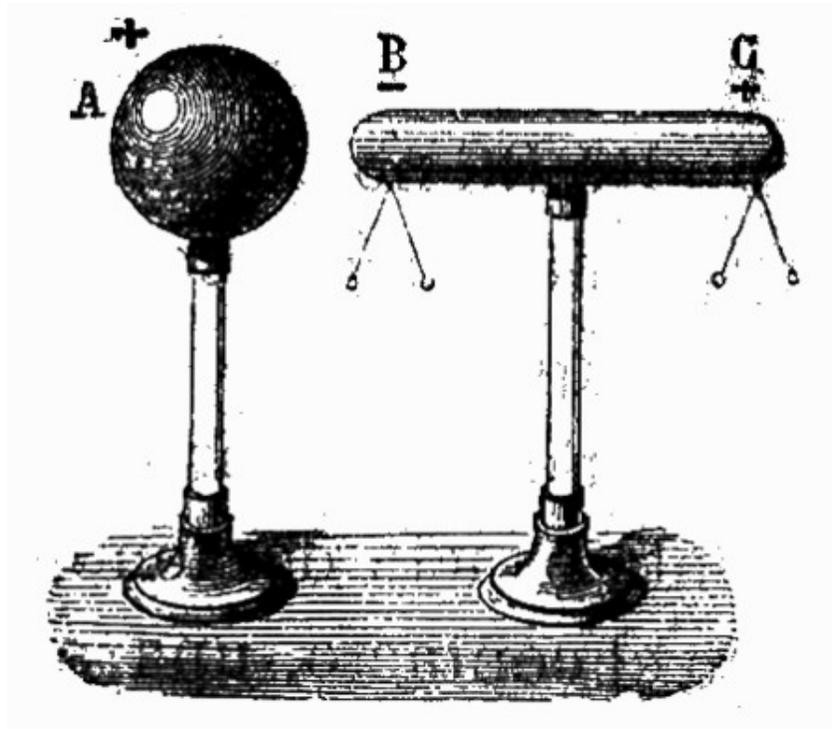
### **§ 5. Inducción o influencia eléctrica**

Otto de Guericke había observado, que, al acercar un cuerpo no electrizado, al globo de azufre que constituía, como hemos visto, su máquina eléctrica, el cuerpo en cuestión se electrizaba a su vez, adquiriendo la propiedad de atraer los cuerpos ligeros. De esta observación famoso burgomaestre de Magdeburgo, se deduce claramente que no es necesario el contacto para comunicar a un cuerpo cierta porción de electricidad; pero esta electricidad comunicada no queda en el cuerpo de un modo permanentemente, puesto que basta alejarlo de la máquina para que desaparezca todo indicio de electrización.

La teoría de Symmer, o de los dos fluidos, que hemos expuesto en el párrafo anterior, explica este fenómeno de la manera siguiente:

Supongamos un cuerpo A (fig. 4) electrizado positivamente. Al acercarle un cuerpo BC, no electrizado, el fluido neutro de éste se descompone; la parte positiva, huyendo de A, va a refugiarse al extremo C del segundo cuerpo, mientras que la parte negativa, atraída por A, se acumula en el extremo B. Es fácil comprobar que la electricidad, por efecto de la influencia ejercida por el cuerpo A, ha quedado distribuida en el cuerpo BC del modo que acabamos de indicar. Para demostrarlo experimentalmente, tómese un plano de prueba, que es un disco metálico como de una pulgada de diámetro, y provisto de un mango aislador, y tóquese con él la parte

C del cuerpo BC; el plano de prueba quedará cargado, por contacto, de la misma electricidad que exista en C, y que nosotros aseguramos que es positiva.



*Figura 4*

Acérquese ahora el plano de prueba a un péndulo de médula de saúco, previamente cargado de electricidad positiva, y se verá que el saúco es repelido, lo que prueba que la electricidad del extremo C es positiva. Después de descargar el plano de prueba, tocándolo con la mano, repítasela experiencia, poniéndolo en contacto con el extremo B; el péndulo de saúco será entonces atraído, quedando demostrado que la electricidad acumulada en B es negativa.

Esta descomposición del fluido neutro por la presencia de un cuerpo electrizado se denomina en física inducción o influencia eléctrica.

Ya hemos dicho que un cuerpo, electrizado por inducción, vuelve al estado neutro, en cuanto se le aleja del cuerpo inductor. Se puede, sin embargo, comunicarle una carga permanente de electricidad de una manera muy sencilla; basta para ello tocar con el dedo el cuerpo inducido, en presencia del inductor. En efecto, al efectuar el contacto, el cuerpo inducido está en realidad formado por el cilindro BC, el cuerpo del observador y la tierra que lo sostiene; según esto, la, electricidad del mismo

nombré que la del cuerpo inductor, huyendo de esta última, irá a refugiarse a la tierra, y. en el cilindro BC no quedará sino la de nombre contrario; si en estas condiciones se interrumpe el contacto, separando la mano, quedará en el cilindro BC un exceso de electricidad libre que, en el caso de la figura 4, será -negativa. Para dar cuenta exacta del fenómeno, debemos añadir que, interrumpido el contacto, una nueva cantidad de fluido neutro del cilindro BC se descompone por la influencia del cuerpo A, yendo la parte positiva a C y la negativa a B, como precedentemente. Si, al separar la mano del cuerpo inducido, se separa también el cuerpo inductor, se observará que el primero ha quedado cargado de electricidad negativa, distribuida por igual de un extremo a otro del cilindro BC<sup>1</sup>.

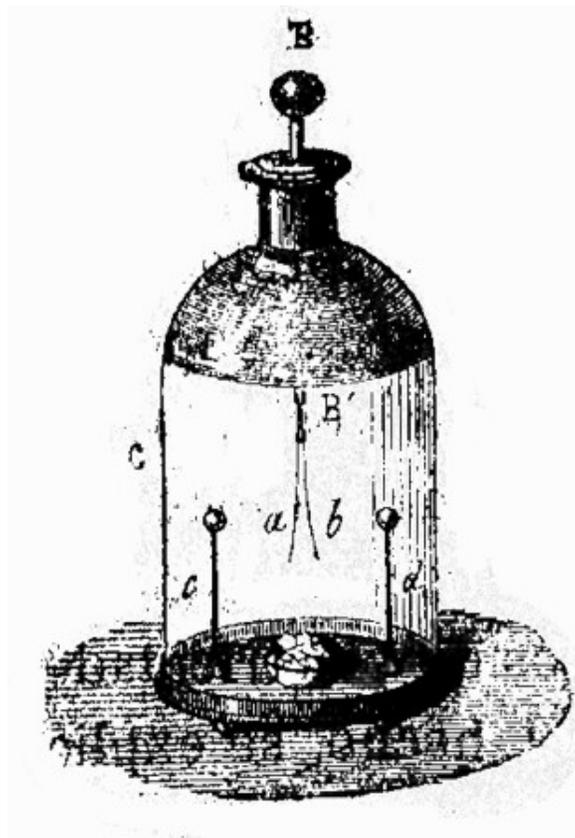
La teoría de la inducción eléctrica es sumamente importante; por la inducción se explican la mayor parte de los fenómenos que hemos de estudiar en este primer capítulo del presente libro. Las atracciones y repulsiones eléctricas de que hablamos en el párrafo 3 no pueden ser explicadas sino recurriendo a la teoría de la inducción. Los cuerpos que son atraídos, en efecto, no se hallan realmente en estado neutro, sino más bien, electrizados por influencia; su fluido neutro, a la proximidad, del cuerpo inductor, se descompone como ya hemos explicado, y gracias a esta descomposición, se establece la atracción entre las partículas de ambos cuerpos. Y aquí debemos señalar un hecho que, mal interpretado, pudiera hacernos creer en la falsedad de la teoría. Supongamos un péndulo de médula de saúco que ha recibido, una débil carga de electricidad positiva; acerquemos a este péndulo un cuerpo fuertemente cargado de electricidad también positiva. Ambos cuerpos, aunque cargados de electricidades del mismo nombre, se atraerán; pero el hecho se explica fácilmente considerando que la electricidad negativa, provocada por inducción, puede ser bastante poderosa para vencer la débil carga positiva que tenía el péndulo, y, en este caso, habrá atracción, no entre las electricidades positivas del cuerpo inductor y del péndulo, sino entre la electricidad positiva del inductor y la negativa inducida de la médula de saúco.

## § 6. - El electroscopio

---

<sup>1</sup> Más adelante veremos cuál es la verdadera distribución de la electricidad en los cuerpos, según su forma.

Antes de entrar en el estudio de las máquinas eléctricas y de los condensadores, conviene que describamos el sencillo instrumento denominado electroscopio, instrumento que sirve para determinar la naturaleza de la electricidad desarrollada en un cuerpo. Este aparato está fundado en la repulsión que mutuamente experimentan dos cuerpos cargados de una misma electricidad. Si se toman dos hojuelas de oro y, después de suspendidas de una hebra de seda, se les comunica, por contacto, una carga de electricidad cualquiera entonces se observará que las hojas, primeramente verticales y unidas, se separan formando un ángulo.



*Figura 5*

Pues el electroscopio está constituido por dos hojuelas de oro suspendidas de una varilla metálica  $BB'$  (fig. 5), terminada en su parte superior por una esfera metálica  $B$ , y fija, por medio de un tapón aislador en el cuello de una campana de vidrio  $C$ . Las dos varillas  $c$ ,  $d$  que se ven a uno y otro lado de las hojuelas  $a$ ,  $b$  sirven para aumentar la sensibilidad del aparato, y la capsulita que se nota en el fondo de la

campana está destinada a contener una cierta cantidad de cloruro de calcio con objeto de que se mantenga seco el aire interior.

Veamos ahora como se procede para determinar con este instrumento la naturaleza del fluido eléctrico desarrollado en un cuerpo. Para ello se comienza por cargar el instrumento con una electricidad conocida. Acercando, por ejemplo, un cilindro de vidrio electrizado a la esfera B, y tocando ésta con el dedo, la electricidad positiva, desarrollada por inducción irá a parar al suelo, y el instrumento quedará cargado de electricidad negativa, es decir, de electricidad contraria a la del cuerpo inductor, como era fácil prever.

Tenemos ya el electroscopio preparado; supongamos que se trata de averiguar la clase de electricidad que posee un cuerpo y admitamos que ésta, es negativa. Acerquemoslo despacio a la esfera B y observaremos que las hojas; de oro divergen aún más, Esto nos prueba que *la* electricidad desconocida es negativa. En efecto, al acercar el cuerpo a la esfera, se ha descompuesto en el electroscopio una cantidad de fluido neutro y puesto que en el extremo a B ha aumentado la carga negativa, como la mayor divergencia de las hojuelas de oro lo prueba, resulta claro y evidente que el cuerpo estaba electrizado negativamente. En el caso contrario, las hojuelas de oro se hubieran aproximado entre sí.

Pasemos ahora a estudiar la distribución de-la electricidad en la superficie de los cuerpos, para entrar luego en el estudio de las máquinas eléctricas y de los condensadores.

## **§ 7. — Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos — Poder de las puntas**

Pudiera creerse que, cuando un cuerpo está cargado de electricidad, ésta se difunde por toda su masa, distribuyéndose allí de una manera homogénea; pero es fácil demostrar experimentalmente que la electricidad no se distribuye sino por la superficie de los cuerpos, en proporciones variables según sea la forma de esta superficie.

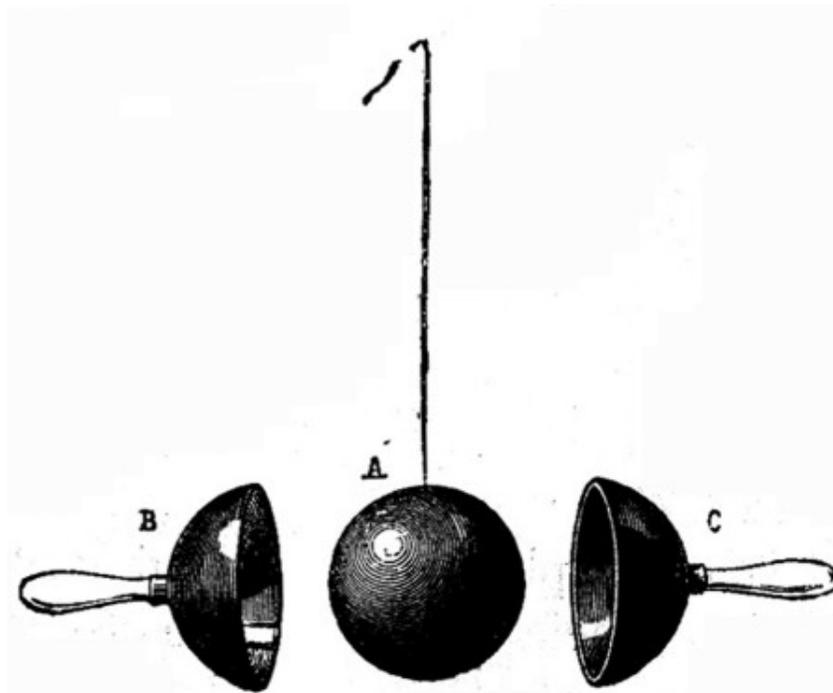


Figura 6

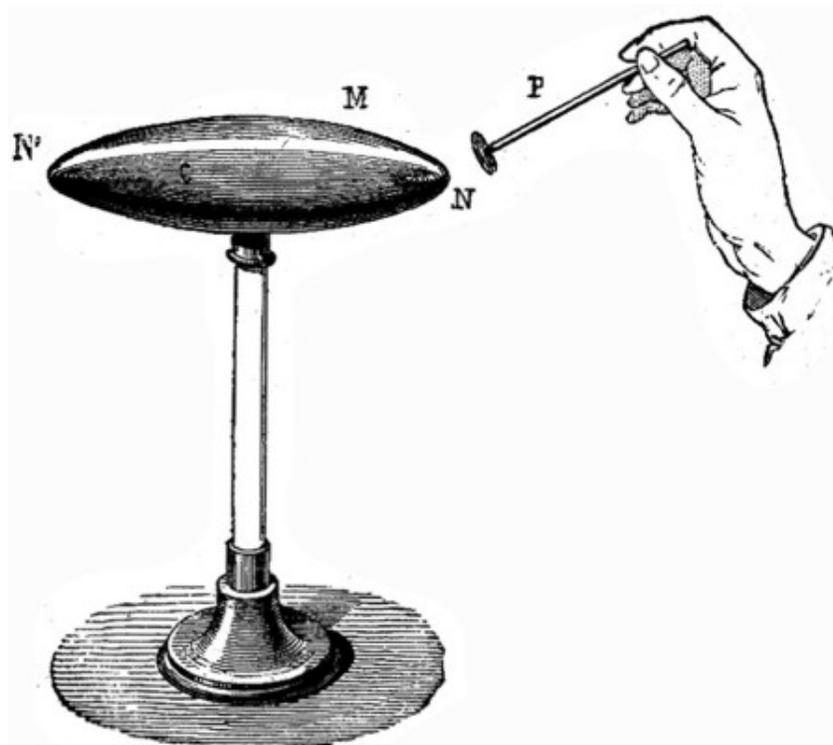
Tómese una esfera hueca de latón, provista de un pie aislador. Esta esfera ha de tener en su superficie un agujero por donde pueda introducirse el *plano de prueba*. Electrícese la esfera y se verá que solamente la superficie exterior dará indicios de electrización, mientras que la interior aparecerá como no electrizada. Otra experiencia, que vamos a describir, nos servirá también para comprobar la misma ley. Sea A (fig. 6) una esfera de latón, suspendida por, medio de un hilo aislador; electrícese esta esfera y cúbrasele después con los dos hemisferios B y C que son también de latón. Separando de pronto los dos hemisferios se observa que están cargados de la misma electricidad con que se cargó la esfera, mientras que s aparece entonces en estado neutro.

El célebre físico inglés Faraday, a quien la ciencia eléctrica debe importantísimos descubrimientos, hizo una experiencia, verdaderamente notable, que prueba la verdad de lo que venimos diciendo. Se encerró en una caja de madera de grandes dimensiones, recubierta de papel y sobre la cual se había colocado una tela metálica que la envolvía completamente. Esta caja se hallaba suspendida de cuerdas de seda con objeto de aislarla. Faraday hizo comunicar a la caja una fuerte carga eléctrica, a

pesar de lo cual no pudo obtener en el interior ni el más leve indicio de electrización, operando con electros copios sumamente sensibles.

Todas estas experiencias, y otras muchas que pudiéramos describir, prueban muy a las claras, que la electricidad no se difunde por el interior de los cuerpos, sino que se acumula en la superficie. Según esto, la cantidad de electricidad que puede recibir un cuerpo es independiente de su masa. Veamos ahora en qué proporciones se distribuye por la superficie, según la forma que está presente.

La experiencia demuestra que la carga de electricidad que recibe el plano de prueba, por su contacto con un cuerpo electrizado, depende de la cantidad de electricidad que existe en el punto de contacto, o, hablando más correctamente, de la tensión de la electricidad en aquel punto.



*Figura 7*

Supongamos, pues, una esfera electrizada; toquémosla sucesivamente en varios puntos con el plano de prueba y, a cada contacto, llevemos el plano de prueba al electroscopio para observar la divergencia de los panes de oro. El ángulo de separación de los panes será en todos los casos el mismo, con lo que se prueba que

la tensión de la electricidad en los diversos puntos de la superficie de la esfera es constante. Este resultado, por lo demás, era fácil de prever, como consecuencia necesaria de la ley de simetría.

Tómese ahora un cuerpo de forma alargada, un elipsoide, por ejemplo (fig. 7), y repítase la experiencia con el plano de prueba. Ya en este caso, la distribución de la electricidad en la superficie del cuerpo no será uniforme, observándose, por el contrario, que la carga es mucho mayor en los extremos N y N, que en cualquiera de los puntos M intermedios. Mientras más alargados sea el elipsoide, mayor será la diferencia que exista entre la carga de los extremos y la de los puntos medios.

Si el eje mayor del elipsoide se alarga indefinidamente, permaneciendo constantes los otros dos, es decir, si el cuerpo termina en punta, la electricidad se acumulará allí, y, como las moléculas eléctricas se rechazan mutuamente, tenderán a escaparse por la punta, como la experiencia, en efecto, lo comprueba, cuando la carga de electricidad es poderosa.

En virtud de este poder de las puntas, es imposible electrizar de una manera permanente los cuerpos aguzados, pues, a medida que se le va comunicando la electricidad, va ésta venciendo la resistencia del aire y escapándose del cuerpo. Sucede también que las moléculas de aire son rechazadas con violencia, estableciéndose una corriente aérea capaz de apagar una bujía. A esta corriente de aire se le denomina ordinariamente viento eléctrico,

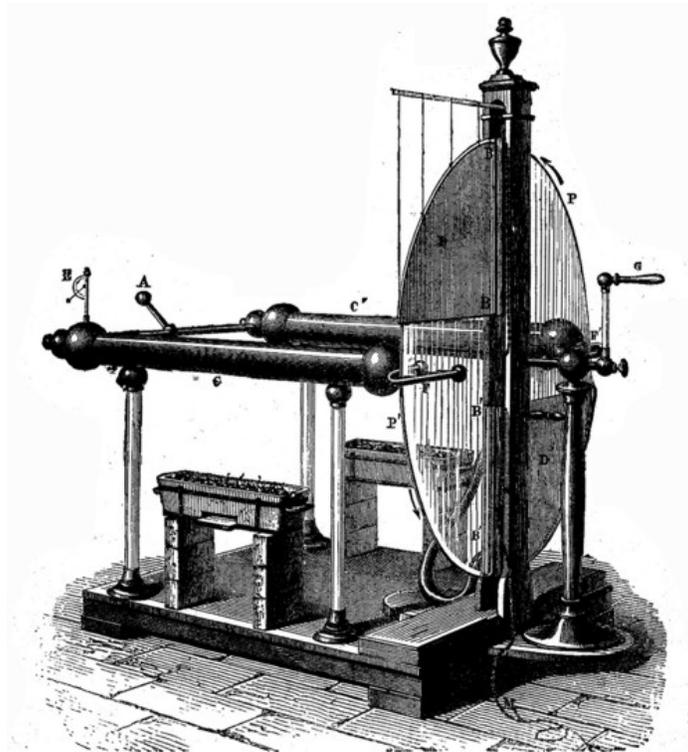
Como toda acción va acompañada de una reacción, sucede que, si la punta rechaza al aire, éste a su vez reobrará sobre la punta. En este principio está fundado el torniquete eléctrico. Compónese este aparato de cierto número de varillas metálicas, colocadas horizontalmente y dispuestas como los radios de un círculo y encorvadas todas en el mismo sentido. El sistema de varillas puede girar libremente alrededor de un eje vertical fijo en una máquina eléctrica. En cuanto se comunica a esta máquina una carga de electricidad, el fluido tiende a escaparse por las puntas de las varillas; el aire, como hemos dicho, es rechazado y, reobrando sobre las puntas, las hace girar en sentido contrario al rededor del eje

## § 8. — Máquinas eléctricas

La primera máquina eléctrica inventada fue la de Otto de Guericke. Componíase de un globo de azufre que giraba alrededor de un eje horizontal. La mano seca servía de frotador. El globo de azufre fue después sustituido por esferas de vidrio, y éstas por cilindros también de vidrio. La máquina hizo algo más complicada cuando se le añadió el conductor principal, que era un tubo de estaño, aislado por resina o por hebras de seda, y destinado a recoger la electricidad producida por el cuerpo frotado.

La máquina de disco, que actualmente existe en todos los gabinetes de física, fue inventada por Planta en 1760. El constructor Ramsden ha dado su nombre a esta máquina, no por haberla inventado, sino porque a él se debe la forma definitivamente adoptada.

Todas estas máquinas, denominadas de frotamiento, se componen esencialmente de dos partes principales: el cuerpo aislador, que se electriza por frotamiento y el conductor principal. Sentado esto, vamos a describir la máquina de Ramsden, representada en la fig. 8.



*Figura 8*

El cuerpo aislador es, en esta máquina, el disco de vidrio PP, móvil alrededor de un eje horizontal, por medio del manubrio G. Los frotadores son los dos pares de cojinetes BB, B'B', fijos en dos montantes verticales de madera. Los dos cilindros de latón C, C', aislados por pies de vidrio, recubiertos de goma laca, constituyen el conductor principal de la máquina. Ambos cilindros llevan dos mandíbulas F, F', provistas de puntas, situadas a poca distancia del disco, pero que no le tocan.

Veamos ahora cómo funciona esta máquina. Los puntos del plano de vidrio que pasan por entre los cojinetes se electrizan positivamente; al acercarse a las armaduras metálicas FF', descomponen por influencia el fluido neutro de los conductores, rechazando el positivo hacia las partes más lejanas y atrayendo a sí el negativo. Este fluido negativo se escapa por las puntas de las armaduras y va a combinarse con el positivo del disco, de modo que esta parte del vidrio, que ha pasado por las puntas, queda en estado neutro, hasta que un nuevo frotamiento con los cojinetes le electriza otra vez positivamente. Según lo expuesto, a cada media rotación va quedando en los conductores una cierta cantidad de fluido positivo libre, que es el que se utiliza después en las diversas experiencias que se quieran hacer.

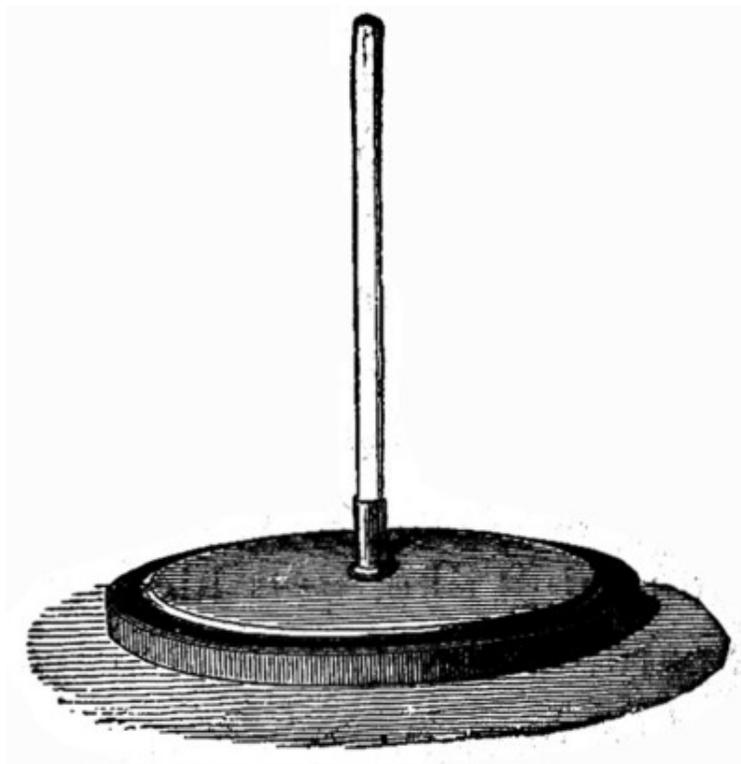
Pero no se debe suponer que la carga de los conductores puede aumentar indefinidamente. Llega un momento, en efecto, en que el fluido positivo acumulado en los conductores, rechaza al del mismo nombre del disco de vidrio, impidiendo una nueva descomposición del fluido neutro, y evitando, por consiguiente, un aumento de carga.

Para apreciar a cada instante la carga de la máquina se emplea el electrómetro de Henley, que está constituido (fig. 8. E) por una esferilla de saúco sostenida en una espiga de marfil. Según el ángulo que forme la espiga con la vertical, ángulo que se mide en un círculo graduado que acompaña al aparato, se estima aproximadamente la carga de la máquina.

En esta máquina, y en todas, hay siempre una pérdida de electricidad, ya por los soportes, ya por el aire ambiente. Para evitarla en lo posible es conveniente colocar entre los soportes unos hornillos encendidos que alejan la humedad, causa principal de aquella pérdida. Cubriendo las partes del disco que se van electrizando por el frotamiento, se colocan unas cubiertas de seda DD' (fig. 8), cuyo objeto es evitar

también la pérdida de la electricidad; pero a pesar de todas estas precauciones, no se consigue impedirle de todo punto.

Algunas otras máquinas eléctricas se han construido, fundadas en otros principios, mas para nuestro objeto basta con la descripción que hemos hecho de la de Ramsden. Sólo nos falta, para terminar este párrafo, hablar de una sencillísima máquina, ideada por Volta y que es de un uso muy frecuente en los gabinetes de física. Se conoce este aparato con el nombre de electróforo y está constituido por un pan circular de resina y un disco metálico, provisto de su mango aislador (fig. 9).



*Figura 9*

Frotando la resina con una piel de gato se electriza negativamente, y colocando luego sobre ella el disco metálico el fluido neutro de éste se descompone; la parte positiva es atraída a la cara inferior del disco, mientras queda negativa se acumula en la superior.

Si, en estas condiciones, se toca el disco metálico con el dedo, el fluido negativo se escapa al suelo, quedando solamente una carga de fluido positivo libre. Una vez

frotado el pan de, resina, puede servir casi indefinidamente para cargar el disco metálico.

### § 9. — Botella de Leiden

En el año 1745, Kleist, pastor de Cammin, en Pomerania, hizo un descubrimiento importantísimo. Habiendo vertido cierta cantidad de mercurio en una botella de vidrio, puso aquel líquido en comunicación metálica, por medio de un clavo que atravesaba el tapón de la botella, con el conductor principal de una máquina eléctrica en actividad, y, al tocar casualmente el conductor con la otra mano, experimentó una violenta conmoción, que no podría compararse, por su intensidad, con las que produce la chispa eléctrica de una máquina ordinaria.

Petrus Cunaeus, de Leiden, hizo el mismo descubrimiento el año siguiente, siendo esta vez los efectos de la descarga mucho más intensos que en la experiencia de Kleist. Musschenbroeck, que experimentó los efectos de la descarga, decía después que no se expondría a otra aunque le dieran la corona de Francia. La sacudida fue tan violenta que le hizo arrojar sangre por la nariz, produciéndole además una fuerte fiebre y un dolor de cabeza que le duró algunos días.

Kleist no dio explicación ninguna del fenómeno, mientras que los físicos de Leiden expusieron claramente las condiciones necesarias para producirlo con, éxito, y de aquí ha provenido el designar el aparato de Kleist, con el nombre de botella de Leiden. Sin embargo, la teoría exacta de la botella de Leiden se debe a Volta (1782), pues ni Franklin, ni OEpinus, ni Wilke, que hicieron notables experiencias con este aparato, conocieron positivamente la verdadera explicación del fenómeno.

La botella de Leiden ha recibido diferentes modificaciones, pero esencialmente se compone de tres partes: Un frasco de vidrio aislador; la armadura exterior, que está formada por una envolvente metálica, y la armadura interior, constituida por un líquido, por hojas de oro, o por cualquier otro cuerpo conductor. En la figura 10 damos el corte de una botella de Leiden ordinaria: CC es el frasco aislador, dentro del cual van los panes de oro AA; por en medio de éstos pasa la varilla metálica T, que sirve para poner en comunicación la armadura interior con el conductor de la máquina eléctrica. La armadura exterior BB está formada, como hemos dicho, por una envolvente metálica, que puede ser una hoja de estaño, la cual no debe pasar

de los dos tercios de la altura del frasco; la parte restante va cubierta de un barniz aislador. El tapón, donde va fija la varilla T, debe también estar cubierto de goma laca.

Veamos ahora, cómo la teoría de la inducción o influencia eléctrica, oportunamente expuesta en el párrafo 5, puede servirnos para explicar el funcionamiento del aparato. Para cargar la botella, se pone en comunicación la armadura exterior con el suelo, ya por medio de la mano y el cuerpo del experimentador, ya por cualquier otro procedimiento, y la armadura interior se pone en contacto con la máquina eléctrica en actividad. Supongamos, como ordinariamente sucede- con la mayor parte de las máquinas, que la electricidad que ésta suministra es positiva. La carga de electricidad positiva que la máquina da a la botella, obra por inducción, a través de las paredes del frasco, sobre la armadura metálica exterior, atrayendo hacia esta armadura la electricidad negativa y rechazando al suelo la positiva.

Tenemos, pues, en presencia y separadas solamente por el vidrio dos capas de

electricidad que mutuamente se atraen. A medida que la máquina funciona, nuevas cargas de electricidad positiva y negativa se van acumulando en las armaduras interior y exterior respectivamente, pudiendo así llegarse a condensar en la botella una cantidad enorme de electricidad.

Si después de cargada la botella de Leiden, se la aísla de la máquina y se ponen en comunicación las dos armaduras, ya tocándolas con las manos, lo cual es sumamente peligroso, ya por medio de un excitador (fig. 11), las dos electricidades se combinan bruscamente. Obtienen así chispas eléctricas muy notables y otra porción de efectos de que hablaremos a su tiempo.

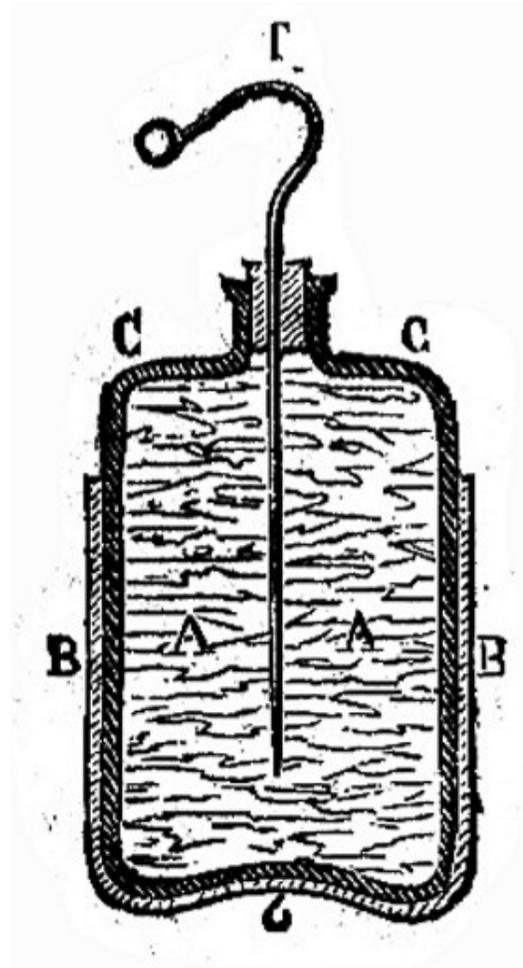


Figura 10

En lugar de una descarga instantánea, pueden obtenerse varias descargas sucesivas, como sucede con un aparato ideado por Franklin, en el cual las descargas se repiten por sí mismas.

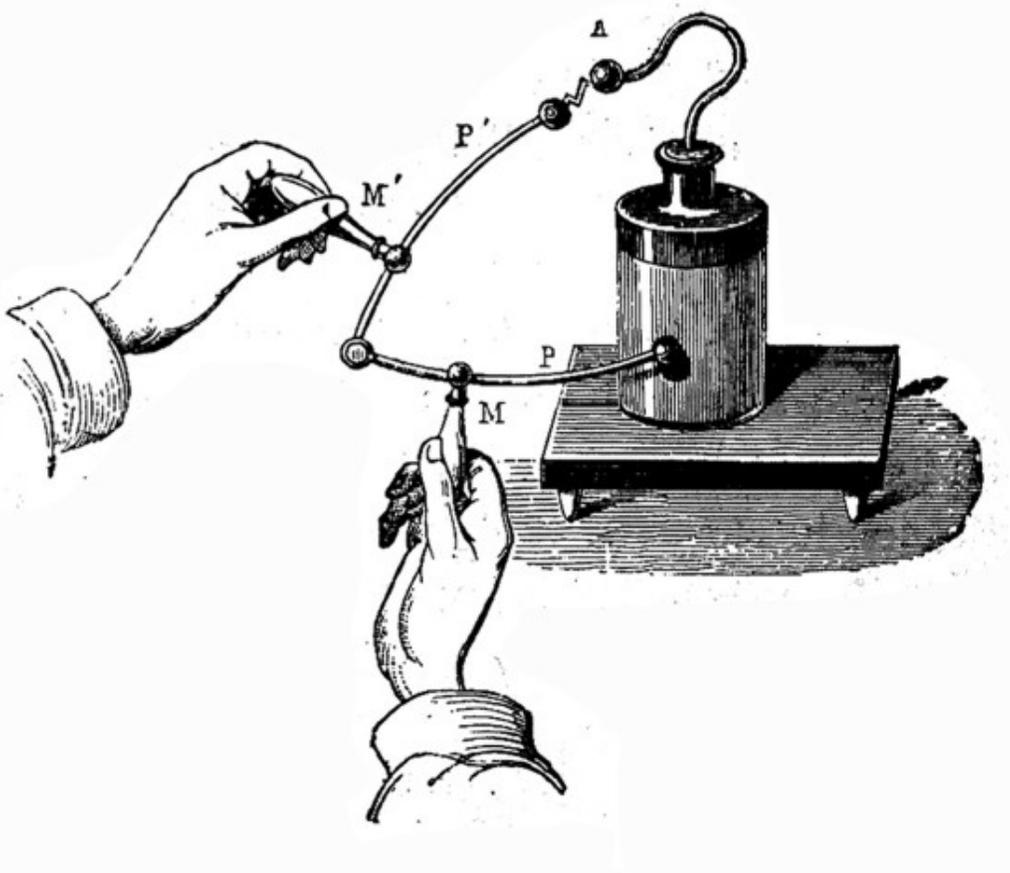
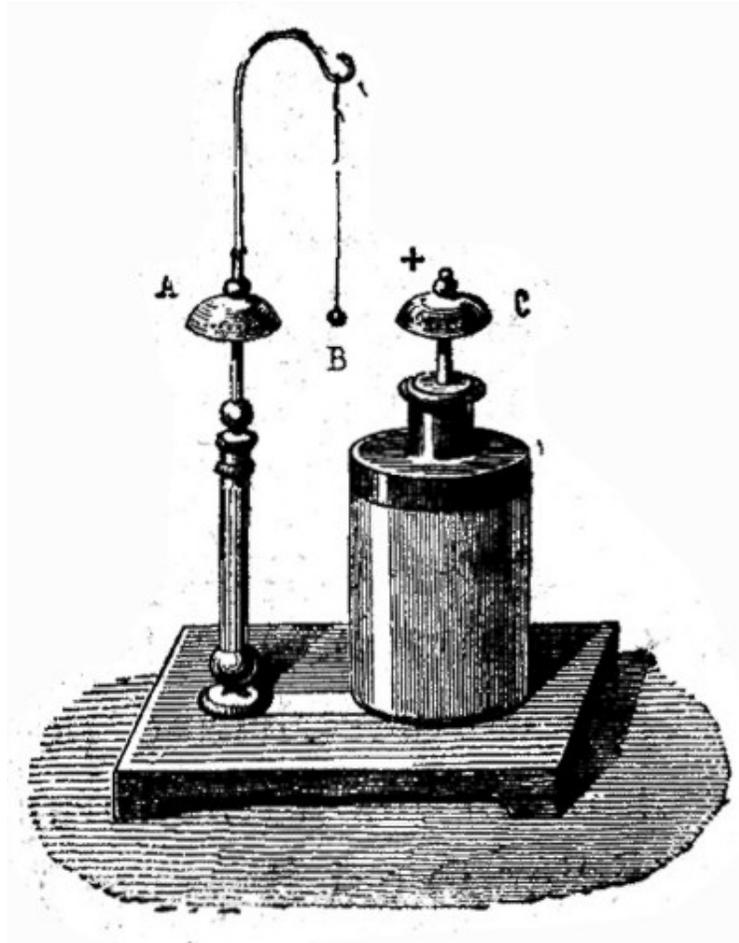


Figura 11

Compónese este aparato de una botella de Leiden ordinaria (fig. 12), cuya armadura interior lleva una campanilla C, mientras la armadura exterior está en comunicación con un pie metálico vertical, que soporta también otra campanilla A. Entre ambas campanillas puede oscilar, suspendida de una hebra de seda aisladora, una esferilla metálica B. Atraída la esfera por la campana C, choca con ella produciendo un sonido, y, rechazada en seguida, después de cargarse de electricidad positiva, va a chocar de nuevo en A, atraída por el fluido negativo de la armadura exterior. Como, inmediatamente después del segundo choque, es rechazada otra vez hacia C, se produce una serie de idas y venidas que van

descargando sucesivamente la botella y produciendo al mismo tiempo un repiqueteo continuado.



*Figura 12*

Débese a Franklin también una experiencia por la cual se demuestra que el fluido acumulado o condensado no reside en las armaduras, sino en las paredes del cuerpo aislador. Habiendo cargado de electricidad una botella medio llena agua y recubierta exteriormente de una hoja de estaño, observó que el agua vertida en otro recipiente no daba el más leve indicio de estar electrizada, al paso que, si se introducía en la botella vacía una nueva cantidad de agua, los efectos de la descarga eran los mismos que si no se hubiera cambiado el líquido. En los cursos de física se hace hoy la misma experiencia por medio de una botella de armaduras móviles, es decir, de una botella de Leiden en que las armaduras A y B (fig. 13) pueden ser fácilmente separadas del vaso intermedio C.

Después de cargar la botella, se le quita la armadura interior, teniendo cuidado de sacarla con un cuerpo aislador, y la exterior se le quita con la mano.

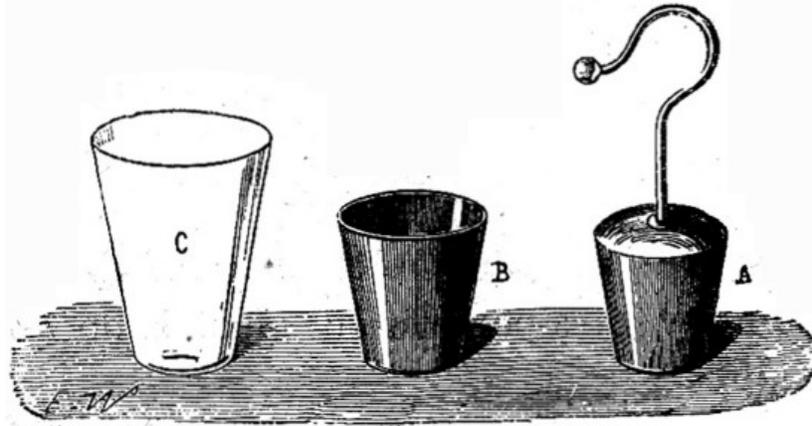


Figura 13

Entonces se observa que las armaduras no están electrizadas. Si se recompone la botella con otras armaduras iguales, los efectos de la descarga serán idénticos a los que hubieran producido las primeras.

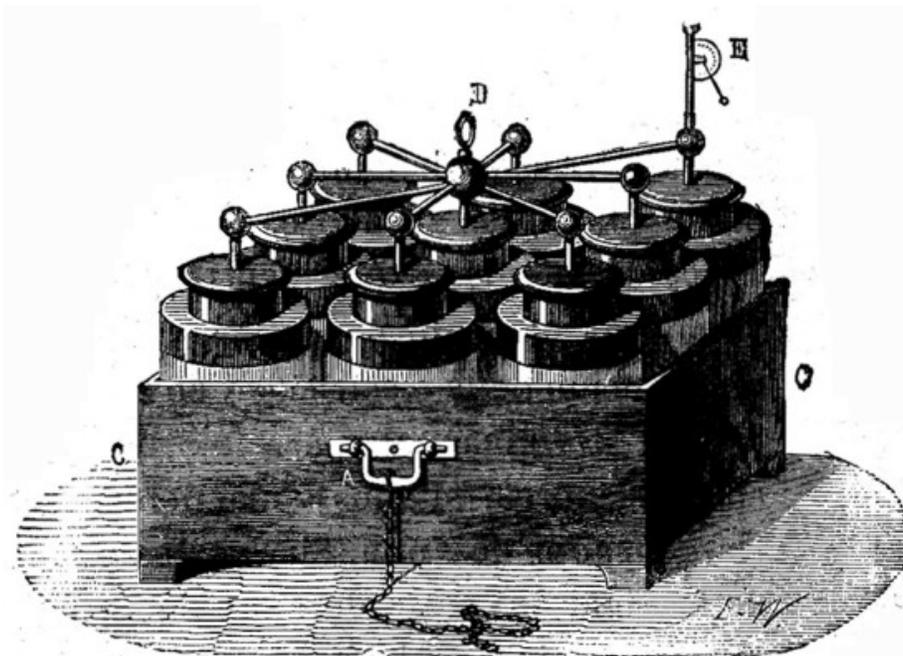
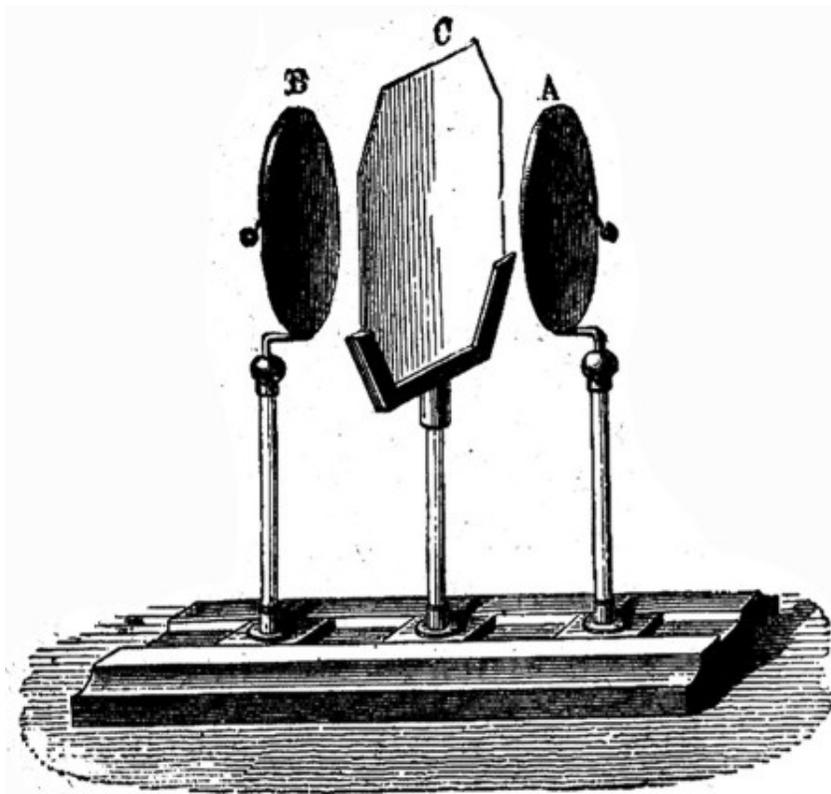


Figura 14

Para aumentar los efectos de la descarga, se pueden dar a la botella grandes dimensiones; sin embargo, como no se debe pasar de ciertos límites, se ha

recurrido a otro medio que consiste en reunir el número necesario de botellas, poniendo en comunicación todas las armaduras exteriores entre sí, y las interiores del mismo modo. A esta disposición (fig. 14) denominan los físicos batería de Leiden. La figura 14 representa una batería de este género. Está constituida por nueve botellas o jarras, cuyas armaduras exteriores están unidas en D por varillas metálicas, mientras las interiores lo están entre sí por el contacto con las paredes interiores y el fondo de la caja C, donde van colocadas las jarras. La caja se pone en comunicación con el suelo por medio de una cadena.



*Figura 15*

Para cargar una batería se emplea el mismo procedimiento que para cargar una botella sencilla. La carga que puede recibir la batería es proporcional al número de jarras que la componen.

Por lo expuesto se ve que a la botella de Leiden, o por mejor decir, a los condensadores, se les puede dar la forma que se quiera, siempre que estén constituidos por dos cuerpos conductores, separados entre sí por medio de una

sustancia aisladora, que puede ser sencillamente la capa de aire seco interpuesto entre las armaduras.

El condensador de OEpinus, que se emplea en los gabinetes de física para explicar la teoría, está constituido por dos platillos A y B (fig. 15), separados entre sí por la lámina de vidrio C. Ambos platillos, sostenidos por pies aisladores, pueden alejarse o acercarse, según los deseos del experimentador. La figura 16 enseña el modo de cargar el aparato y la distribución de la electricidad en él.

Para terminar el párrafo relativo a los condensadores, fáltanos hablar del electrómetro condensador de Volta. Sirve este aparato para determinar la naturaleza de la

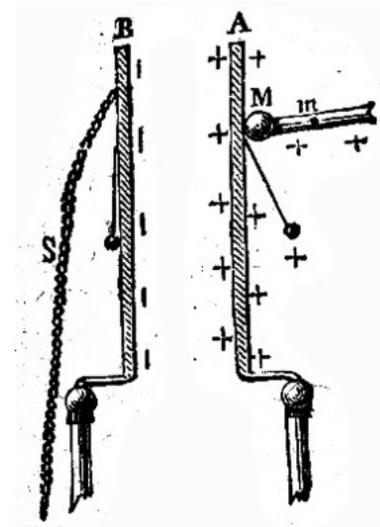


Figura 16

carga de un manantial de débil tensión, pero que pueda suministrar electricidad de una manera continua.

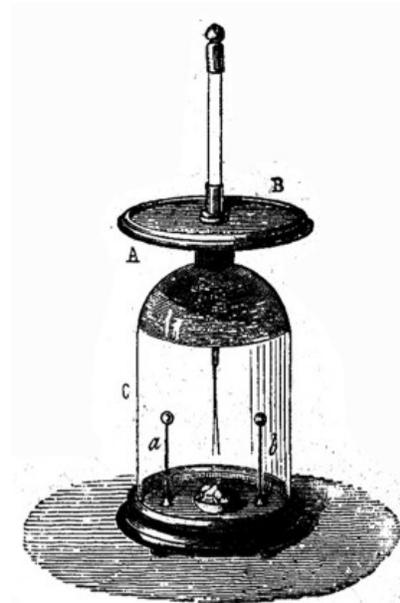


Figura 17

Está constituido por un electroscopio de panes de oro (fig. 17) que lleva, en vez de esfera metálica, un platillo también metálico a cubierto, en su cara superior, con un barniz de goma laca. Sobre este platillo va colocado otro igual, barnizado inferiormente, y provisto de un mango aislador. Los dos platillos y las capas de barniz que los separan constituyen el condensador.

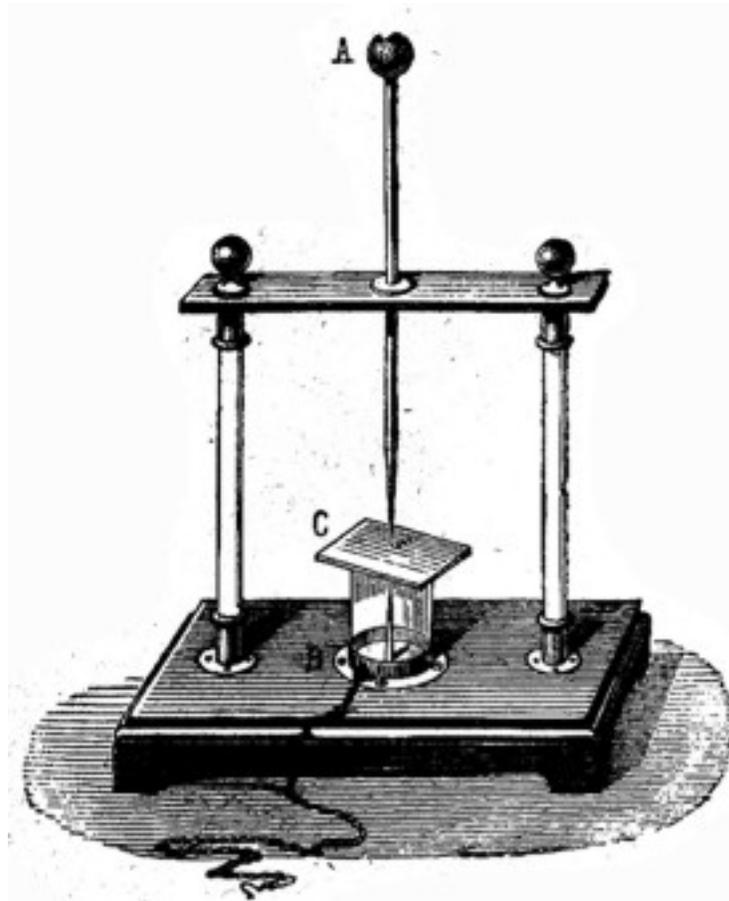
Pongamos el manantial eléctrico en comunicación con el platillo superior, y el inferior en comunicación con el suelo. En tal caso la electricidad suministrada- por el manantial se acumulará en B, y el fluido de nombre contrario en A. Si, pasado cierto tiempo, se

interrumpen las comunicaciones con el productor de electricidad y con el suelo y se separa el platillo B, el fluido acumulado en A quedará libre y, extendiéndose por la varilla y las hojas de oro, las hará divergir notablemente. Sólo falta ya averiguar,

por los procedimientos ordinarios, la naturaleza de la electricidad allí aprisionada, para deducir la del manantial eléctrico.

### § 10. -- Efectos mecánicos, caloríficos, luminosos, químicos y fisiológicos de las descargas

Los efectos de las descargas eléctricas son muy variados. Dependen de la naturaleza de los cuerpos que atraviesan y de la intensidad de la carga. Pueden dividirse en cinco categorías: efectos mecánicos, caloríficos, luminosos, químicos y fisiológicos.



*Figura 18*

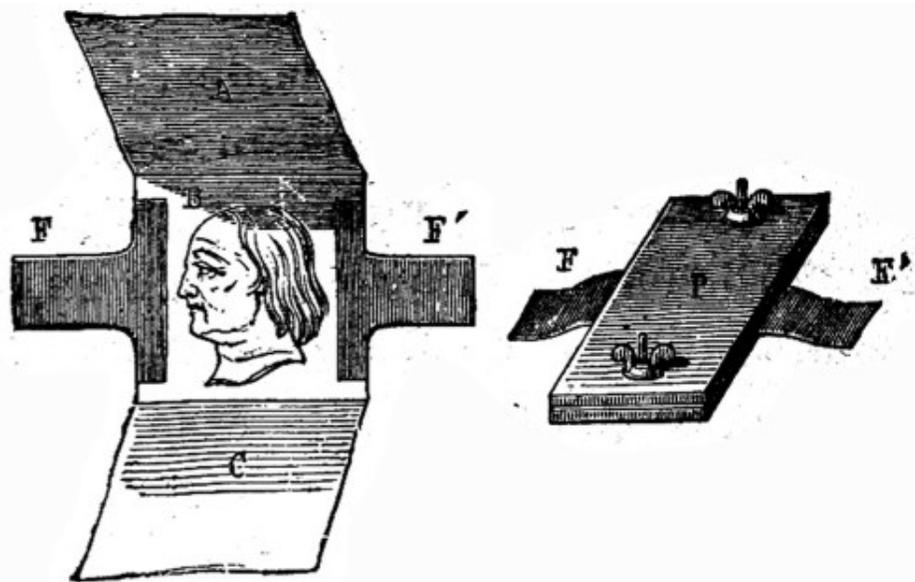
Los efectos mecánicos pueden consistir en el transporte de las partículas materiales de los cuerpos. Si se coloca una hoja de vidrio entre dos puntas metálicas agudas (fig. 18), y se hace pasar por ellas la descarga de una botella de Leiden, la chispa

perforará el vidrio. Esta experiencia se hace con el aparato representado en la figura 18. El botón A se pone en contacto con la armadura interior de la botella y la cadena B con la armadura exterior, y en cuanto el contacto es simultáneo, salta la chispa entre las dos puntas metálicas y aparece un agujerito en el vidrio.

Efectuando la descarga a través de cuerpos reducidos a polvo se les ve dispersarse en todas direcciones. La descarga de una poderosa batería que atraviesa un trozo de madera parte a ésta en mil pedazos.

Los efectos caloríficos son también notables. Los alambres delgados, que son los que ofrecen mayor resistencia al paso de la electricidad, no sólo se funden por efecto del calor que su resistencia hace desarrollar, sino que se volatilizan completamente.

Cuando se hace descargar una batería por medio de una cadena de acero, cuyos eslabones no están soldados, las chispas que estallan entre los eslabones arrastran consigo partículas de acero en estado incandescente. Estas cadenas han sido fundidas por descargas muy poderosas, como las del rayo.



*Figura 19*

Si la descarga pasa por una hoja de oro muy delgada la volatiliza. En este fenómeno está fundada la experiencia denominada del retrato de Franklin. Se toma un cartón, el cual se recorta del mejor modo posible de manera que resulte un retrato o cosa

tal. Luego se coloca encima un pan de oro, de manera que sus bordes toquen las dos placas metálicas, F, F' (fig. 19) y se asegura por medio de los dos cartones A y C.

Debajo del cartón que contiene el retrato se coloca un trozo de tela de seda blanca y se encierra el todo entre dos tablas de madera P, sujetas con tornillos de presión. Haciendo pasar la descarga de una batería por las dos placas metálicas F y F'; el pan de oro se volatiliza y sus partículas atraviesan los recortes de cartón, dejando una huella en la tela de seda, y reproduciendo el retrato en dicha tela.

Los efectos luminosos de la descarga son sumamente variados. Las manifestaciones más frecuentes son las chispas que se desprenden de las máquinas y de los condensadores, pero estas chispas revisten caracteres muy distintos según los casos. Unas veces son rectilíneas, otras recorren una línea quebrada y otras se ramifican y dividen en varias chispas. El color varía también según el medio que, atraviesan. La duración de la chispa es muy corta. Según una experiencia de Wheatstone, la duración es igual a  $1/24000$  de segundo; pero en algunos casos apenas llega a una millonésima de segundo.

Si el productor de electricidad no está cerca de algún cuerpo sobre el cual pueda descargarse, se descarga sobre los cuerpos lejanos por medio de ligerísimos penachos que son visibles, en la oscuridad y que se manifiestan en las partes salientes de las máquinas.



*Figura 20*

Como efectos curiosos podemos citar las experiencias del tubo y del cuadro centelleante. La primera se hace con un tubo de vidrio AB (fig. 20), en cuyo interior se dibuja una hélice con pequeños rombos de oropel, dispuestos de modo que dos ángulos agudos queden en frente y separados por un ligero espacio. Cuando la descarga pasa a través del tubo, estallan casi simultáneamente pequeñas chispas de rombo a rombo, que producen un bello efecto luminoso en la oscuridad.

El cuadro centelleante consiste en un cuadro de vidrio sobre el cual se dibuja con pedazos de estaño un objeto cualquiera. La chispa produce, en este caso, un efecto análogo al que producía en el tubo.

El aire rarificado favorece el paso de la descarga eléctrica. Si se toma un tubo de 2 metros de largo y se hace en él, el vacío, la descarga eléctrica lo atravesará, mientras que la misma descarga, a la presión ordinaria del aire, no atravesaría la quinta parte de aquella longitud. Es necesario, para que la descarga eléctrica se produzca, que en el tubo exista una cierta cantidad de materia ponderable, pues, de lo contrario, es decir, en el vacío absoluto, la descarga no tiene efecto. Si se coloca un electroscopio a alguna distancia de todo cuerpo conductor y rodeado por la campana de una máquina neumática, en la cual se haya hecho el vacío, conservará casi indefinidamente la electricidad de que esté cargado.

Los efectos químicos consisten en combinaciones y descomposiciones provocadas por la descarga. El abate Nollet y otros físicos, intentaron, aunque sin éxito, poner fuego a algunos cuerpos inflamables, por medio de la chispa eléctrica.

Ludolf fue el primero que consiguió encender con la chispa el éter sulfúrico. El Dr. Watson hizo que una persona electrizada sostuviese en la mano una cuchara con éter, y que otra persona, no electrizada aproximase el dedo al líquido; la chispa que se produjo, fue bastante para inflamar el éter.

También se hicieron por mucho tiempo tentativas infructuosas con objeto de inflamar la pólvora, pero la duración de la chispa es tan corta que sólo se conseguía dispersar los granos en todas direcciones. Wolff, en 1787, pudo obtener el resultado apetecido, interponiendo en el circuito por donde pasaba la descarga un tubo de vidrio humedecido interiormente, con lo cual conseguía que la descarga fuese más lenta, por tener que atravesar un conductor imperfecto.

Fundado en los efectos químicos de la chispa está el aparatito, muy conocido en los gabinetes de física, y denominado pistolete de Volta. Consiste en un vaso metálico A (fig. 21), cerrado en su parte superior por un tapón de corcho B, y atravesado lateralmente por una varilla metálica que termina en dos bolas D y E. Se encierra en el vaso una mezcla detonante de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno y manteniéndolo en la mano, se acerca la bola D al conductor de una máquina eléctrica en actividad. La chispa que estalla entre la bola interior E y la pared

metálica del vaso, produce la combinación instantánea de los elementos gaseosos allí encerrados. Al combinarse aquellos elementos producen vapor de agua a una fuerte tensión, por efecto del calor intenso que se desarrolla, y entonces el tapón de corcho salta con violencia produciéndose una detonación bastante enérgica.

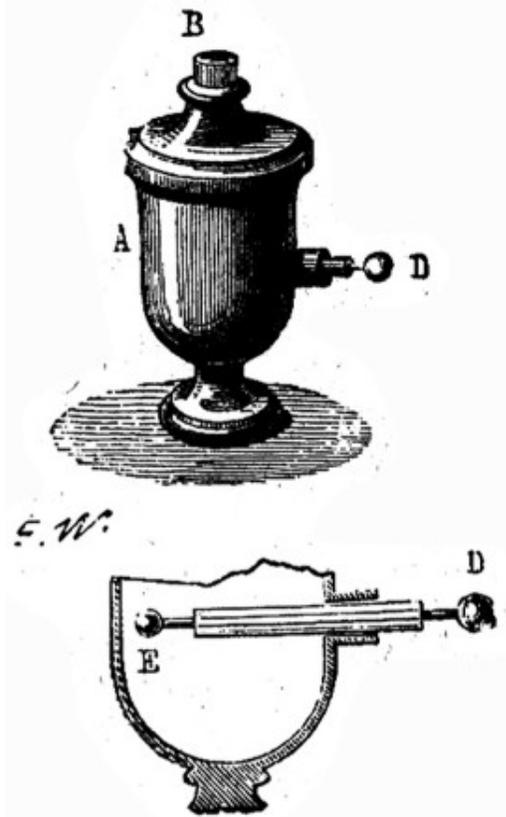


Figura 21

Fáltanos hablar de los efectos fisiológicos de la descarga. Ya hemos visto que los descubridores de la botella de Leiden sintieron fuertes conmociones al recibir la descarga que no esperaban. Boze, que recibió una muy enérgica, creyó que se moría por efecto de la violenta conmoción que experimentó; luego decía que era lástima no haber sido víctima de aquella descarga, para poder figurar entre los mártires de la ciencia. El abate Nollet formó una cadena compuesta de 180 guardias de corps cogidos de las manos, y vio que todos sintieron la sacudida producida por la descarga. Por medio de la conmoción eléctrica mató algunos pájaros y peces. Franklin experimentó, en distintas

ocasiones, los efectos violentos de las descargas eléctricas; una vez lanzó una batería de dos botellas sobre seis hombres robustos, haciéndoles caer en tierra; cuando se levantaron hubieron de declarar que no tenían conciencia de lo que les había pasado, pues ni oyeron ni sintieron la descarga. Priestley sufrió los efectos de una batería de dos jarras, pero no sintió ningún malestar. El profesor sir John Tyndall, de la Institución Real de Londres, describe de la siguiente manera el efecto producido en él por una fuerte batería:

*«Encontrábame, hace algunos años, al lado de una batería de 15 grandes botellas de Leiden, cargadas a saturación, y, habiendo tocado, por descuido, un hilo metálico que comunicaba con la batería, recibí la descarga. Durante un intervalo de tiempo muy sensible, cesaron los fenómenos vitales, pero no*

*experimenté ningún dolor. Después de algún tiempo, volví al uso de mis sentidos, vi confusamente el auditorio y los aparatos, y sólo entonces comprendí que había sido víctima de la descarga. A fin de tranquilizar a los circunstantes, declaré que había deseado siempre con anhelo recibir accidentalmente una conmoción semejante, y que mis deseos se encontraban ya satisfechos. Pero, aunque había recobrado muy rápidamente el sentimiento intelectual de mi posición, no sucedió lo mismo con el sentimiento óptico. Mi cuerpo me pareció que estaba compuesto de piezas distintas; los brazos, por ejemplo, me parecían separados del tronco y en suspensión en el aire. De hecho, la memoria y el discernimiento parecían haber vuelto mucho antes de que el nervio óptico hubiese recobrado su función normal. ¿No es ésta, añade el profesor Tyndall, una prueba concluyente, en apoyo de la aserción de que los individuos muertos por el rayo no experimentan dolor ninguno?»*

## **§ 11. -- La electricidad atmosférica**

El Dr. Wall en 1708 y Stephen Gray en 1729 habían dicho que entre la chispa eléctrica y el rayo existía una semejanza muy marcada. Esta idea fue tomando cuerpo a medida que las observaciones hechas respecto a ambos fenómenos iban siendo más numerosas, hasta que Franklin, a mediados del siglo último, dio la prueba experimental de que entre la chispa de las máquinas eléctricas y el rayo existía, no una semejanza más o menos perfecta, sino una identidad absoluta, en cuanto a la causa original de tales fenómenos. Franklin estableció un paralelo completo entre los efectos del rayo y los de la electricidad. El aspecto de una chispa eléctrica alargada era el mismo que el de los rayos observados por aquel sabio; el rayo, como la chispa de las máquinas, se dirige de preferencia a los cuerpos terminados en punta, sigue la línea de menor resistencia, quema y volatiliza los metales, dispersa los cuerpos, y ciega a las personas a quienes hiere. Franklin reprodujo todos estos efectos del rayo, con la chispa de su máquina, o con las de las botellas y baterías de Leiden.

Fundado en estas ideas, hizo Franklin una experiencia famosa. Elevó una cometa provista de un hilo metálico puntiagudo. La cuerda de cáñamo que sostenía la

cometa, se terminaba en su parte inferior por una llave de hierro, seguida de un cordón de seda aislador a pesar de que el cielo estaba tempestuoso, no pudo Franklin, en el primer momento, obtener manifestación eléctrica ninguna, pero, habiendo llovido un poco, se mojó la cuerda de cáñamo, haciéndose mejor conductora de la electricidad, y entonces se obtuvieron chispas y se pudo cargar una botella de Leiden con la electricidad atmosférica.

Algunos meses antes de esta experiencia, Dalibart, que había leído los escritos de Franklin, se propuso comprobar experimentalmente las teorías del sabio norteamericano, y para ello, hizo elevar en el aire una barra de hierro vertical de 40 pies de altura, sostenida por cuerdas de seda, y cuya parte inferior descansaba en una garita. Colocado en ella un observador, pudo obtener chispas eléctricas en un día tempestuoso.

Romas hizo también, en 1753, la misma experiencia de Franklin, elevando en los aires, una cometa de tela de grandes dimensiones, con la cual obtuvo chispas de 9 pies de largo, una pulgada de ancho, y que hacían tanto ruido como un tiro de pistola.

Estas experiencias no deben hacerse sino tomando antes grandes precauciones. El profesor Richmann, de San Petersburgo, había colocado una barra metálica que se elevaba unos 4 pies sobre el techo de su casa; aquella barra estaba en comunicación, por medio de una cadena, con un conductor aislado que había en su gabinete de trabajo. Un día estalló una tormenta, y una nube tempestuosa descargó su electricidad sobre la barra exterior. Propagóse el fluido eléctrico por la cadena hasta el conductor aislado y, no pudiendo continuar su camino hacia el suelo, se descargó en, forma de chispa sobre la cabeza de Richmann, que se hallaba próximo, dejándole muerto en el acto.

La aplicación práctica que hizo Franklin de aquella verdad, demostrada por él experimentalmente, fue recomendar que se pusiese en los edificios y en sitio culminante una barra metálica vertical, en comunicación con el suelo. Para explicar el objeto de esta barra metálica debemos decir antes algunas palabras acerca de la electricidad de las nubes.

Por de pronto, y aun en tiempo sereno, existe siempre en la atmósfera una cantidad, que varía periódicamente, de electricidad positiva. Pruébese esto, con el

electroscopio de hojas de oro, modificado de modo que pueda recibir la influencia de la electricidad atmosférica; para ello basta con sustituir la esfera, que termina la varilla, por una punta metálica vertical. El fluido negativo del electroscopio, atraído por el positivo de la atmósfera, se escapa por la punta, y el electroscopio queda cargado de electricidad positiva, de lo cual es fácil asegurarse por los procedimientos ordinarios.

Si el aire, como acabamos de decir, está cargado de electricidad positiva, el suelo, en cambio, y por efecto, sin duda, de la influencia que el fluido positivo ejerce sobre él, se halla casi siempre cargado de electricidad negativa. Para convencernos de ello nos bastará poner el electroscopio debajo de un árbol o de un edificio y veremos que se carga de electricidad negativa.

Ahora bien, las nubes que se forman en la superficie de la tierra, y que están constituidas por vapor de agua más o menos condensado, se cargan de una u otra clase de electricidad, según la influencia que al formarse reciben. La tensión de la electricidad en ellas puede ser mayor o menor, llegando a ser muy considerable en las nubes tempestuosas. Supongamos, pues, una nube cargada de una electricidad cualquiera, positiva o negativa; si esta nube encuentra en su camino otra nube cargada de electricidad contraria, o en estado neutro, se descargará sobre ella por medio de una chispa, cuyas dimensiones son a veces enormes, y produciendo un ruido formidable. Aquélla chispa y este ruido constituyen el rayo y el trueno. Pero si la nube, antes de descargarse sobre otra, se acerca a la tierra, descompondrá por influencia el fluido neutro del suelo, atrayendo hacia sí, el fluido de nombre contrario y rechazando el del mismo nombre.

Si la tensión es bastante grande, o la distancia entre la nube y la tierra no pasa de ciertos límites, se efectuará la recomposición de los dos fluidos de una manera violenta; entonces se dice que cae el rayo. El rayo cae de preferencia sobre las partes salientes y sobre los cuerpos buenos conductores, porque en las primeras se acumula la electricidad, por la influencia de la forma, de la que ya hablamos en el párrafo 7, y porque por los segundos circula más fácilmente que por los no conductores. Según esto, Si en las partes culminantes de un edificio se colocan barras metálicas verticales, terminadas en punta, y en comunicación con el suelo, la electricidad acumulada allí por la influencia de una nube tenderá a escaparse en

forma de penacho luminoso e irá más o menos rápidamente, según sea la tensión, a combinarse con la de la nube, evitándose de este modo, y en lo posible, las descargas violentas y todos sus efectos.

Esa barra metálica vertical, aguzada en su extremo superior y puesta en comunicación con el suelo, es lo que se denomina un pararrayos. Su invención, según hemos visto, se debe al famoso físico Franklin, y los servicios que ha prestado tan eficaces y numerosos, que no podríamos calcular el número de personas que ha preservado de los efectos del rayo, ni las riquezas cuya destrucción ha impedido. En los barcos y en los edificios públicos, en los depósitos de pólvora, en las fábricas de productos inflamables, son los pararrayos absolutamente indispensables. Su empleo está hoy tan generalizado que parece inútil recomendarlo.

La construcción de los pararrayos está sujeta a reglas que los sabios han deducido de numerosas observaciones. Podemos resumirlas diciendo que ha de estar constituido por una barra de 10 metros de largo, terminada en su parte superior por una punta de cobre; la extremidad inferior de la barra ha de estar en comunicación metálica con el suelo, ya por medio de una barra de hierro cuadrada, ya por un cable del mismo metal, recubierto de un barniz aislador; este conductor ha de estar además en comunicación directa con todas las masas metálicas del edificio, con objeto de que el fluido desarrollado por influencia en aquellas masas pueda escaparse a tierra; la extremidad inferior del conductor debe introducirse algunos metros en el suelo y estar en contacto con cuerpos buenos conductores, como lo sería una corriente de agua o una capa húmeda; por último, cuando existen varios pararrayos en un mismo edificio, se debe procurar que todos estén ligados entre sí por medio de varillas metálicas.

Respecto al radio de acción de los pararrayos, se admite, aunque no se pruebe rigurosamente, que la barra preserva de los efectos del rayo un círculo cuyo radio sea el doble de la altura de la barra.

Los efectos del rayo son tan variados que casi se resisten a una clasificación. Son los mismos efectos de la chispa eléctrica, pero agrandados en proporciones colosales y con manifestaciones variadas al infinito. Sobre los cuerpos buenos conductores produce efectos muy distintos que sobre los no conductores, pues

mientras a los primeros los funde y volatiliza a los segundos los hace estallar en mil pedazos a veces arrastra pesos enormes, moviendo paredes que pesan hasta 20 toneladas. Sobre los hombres y los animales, los efectos son desastrosos. Mata instantáneamente, unas veces sin ocasionar lesión orgánica ninguna, otras dejando en el cuerpo la huella de su paso. Y no sólo mata el rayo directamente, sino que, en ocasiones, produce la muerte de hombres y animales, a una considerable distancia del sitio donde estalla. Supongamos una nube cargada de una electricidad cualquiera y próxima a la tierra. Esta nube descompone por influencia el fluido neutro del suelo, atrayendo a sí el de nombre contrario al suyo y rechazando el del mismo nombre. Si en estas condiciones la nube se descarga instantáneamente por otro lado, por ejemplo, sobre otra nube, los dos fluidos separados por influencia se recombinan bruscamente, ocasionando en los seres vivos una conmoción que puede ser muy violenta y producirles la muerte. Llaman los físicos a estos efectos indirectos del rayo, choque de retroceso, según la denominación que les dio sir Ch. Mahon, que fue quien los explicó.

## CAPÍTULO 2

### LA ELECTRICIDAD DINÁMICA

#### § 1. — Galvani y Volta

Hemos estudiado, en el capítulo anterior, una multitud de fenómenos, debidos todos a la electricidad producida por la acción mecánica del frotamiento. Era esta fuente de electricidad la única que se conocía en el siglo pasado, hasta que, en el año



*Figura 22*

1780, Galvani, sabio profesor de anatomía de la universidad de Bolonia, hizo casualmente una observación importante. Dedicábase en aquella época a hacer experimentos relativos al fluido nervioso de los animales y en cierta ocasión, en, que se hallaban sobre una mesa algunas ranas desolladas, junto a una máquina eléctrica observó que, tocando con un cuerpo conductor los nervios crurales internos de las ranas, se producían en los músculos de aquellos animales violentas convulsiones siempre que se sacaba una chispa de la máquina. Parecióle a Galvani que tales fenómenos demostraban la identidad que, en su opinión, debía existir entre la electricidad y

el fluido nervioso de los animales y guiado por esta idea se dedicó a hacer toda clase de experimentos que le condujeran a la posesión completa de la verdad. Con objeto de averiguar si la electricidad atmosférica ejercía sobre las ranas la misma influencia que la electricidad producida por las máquinas, colgó algunas ranas recién desolladas de los hierros de un balcón, ligando los miembros inferiores de aquellos animales con un alambre de cobre que pasaba por debajo de los nervios lumbares a pesar de no haber en la atmósfera ninguna serial eléctrica sensible, observó Galvani que siempre que las patas de las ranas tocaban en el balcón se contraían violentamente, y de aquí y de sus observaciones anteriores, dedujo que existía una

electricidad propia de los animales, segregada por el cerebro, y que residía en los nervios, los cuales la transmitían a los músculos, donde se acumulaba por un efecto de condensación semejante al de la botella de Leiden.

La figura 22 enseña el modo de repetir el experimento de Galvani, tal como se acostumbra hacerlo en los cursos de física. Córtase en dos pedazos la columna vertebral de una rana recién muerta, y se desuella la parte del cuerpo que queda por debajo de la región lumbar. Después de esto, se toma un alambre formado por un pedazo de cinc y otro de cobre C, Z y se introduce el cobre por debajo de los nervios lumbares. Cada vez que con el alambre de cinc se tocan los miembros inferiores de la rana, se produce una contracción, pudiendo repetirse el experimento durante algunas horas.

Las ideas de Galvani relativas al fluido nervioso de los animales, no del todo erróneas, según se cree actualmente, fueron combatidas con vigor por el célebre físico Alejandro Volta, profesor entonces de la universidad de Pavía. No quería admitir Volta que hubiese una electricidad propia de los animales; en su concepto, la electricidad desarrollada en los experimentos de Galvani era debida exclusivamente al contacto de dos metales de naturaleza diferente, de los cuales uno se carga de electricidad positiva y otro de electricidad negativa, combinándose ambos fluidos al través del medio conductor de los músculos y de los nervios y ocasionando así las contracciones observadas.

Para demostrar esta teoría del contacto, recurrió Volta a su electrómetro condensador (fig. 23). Habiendo soldado una barra de cinc a una de cobre, acercó el cobre al platillo superior de su electrómetro, teniendo el cinc en la mano; según su teoría, el contacto de los dos metales desarrolla una fuerza electromotriz que carga al cobre de electricidad negativa, mientras la positiva se escapa al suelo por la mano y el cuerpo del experimentador, y, en efecto, poniendo el platillo inferior en comunicación con el suelo, observó que el aparato indicaba una producción de electricidad negativa.

Si, por el contrario, tocaba el platillo superior con el cinc no observaba producción eléctrica ninguna, atribuyéndolo Volta, de acuerdo con su teoría, a que la barra de cinc se encontraba entre dos objetos de cobre, de modo que las fuerzas

electromotrices, desarrolladas por el contacto, obraban en sentido contrario y se neutralizaban.

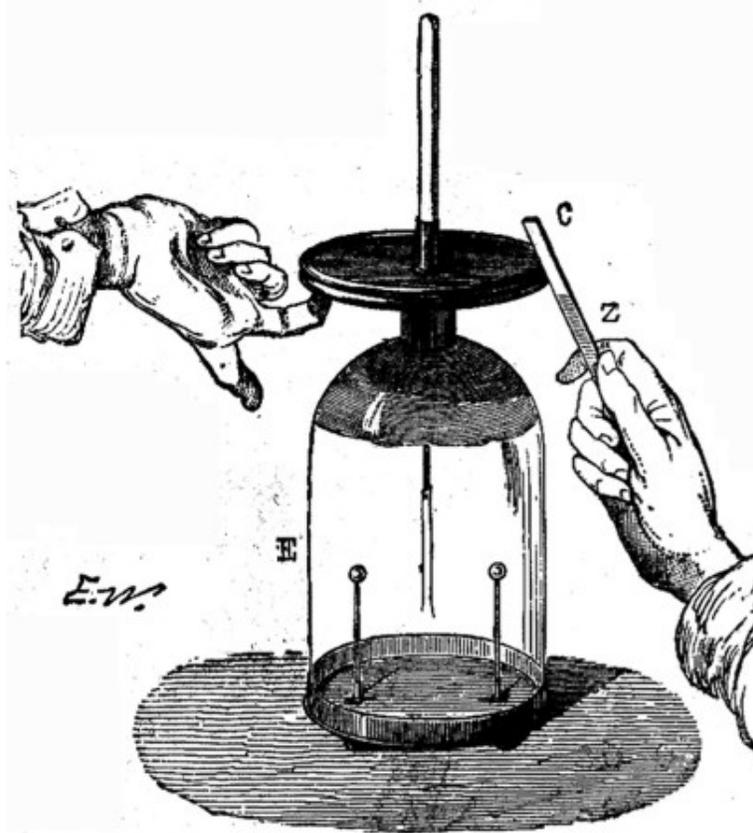


Figura 23

Pero colocando entre el cinc y el platillo un pedazo de papel mojado en agua acidulada, se observa que el cinc obra sobre el electroscopio como un productor de electricidad positiva; lo cual explicaba Volta, diciendo que el papel impedía el contacto directo entre los metales, y por consiguiente la producción de la fuerza electromotriz entre el cinc y el platillo del electrómetro, pudiendo entonces manifestarse la fuerza desarrollada en la soldadura de las dos barras.

## § 2. — La pila de Volta

Por muy ingeniosa que fuese la teoría de Volta, es necesario reconocer que no era la expresión exacta de la verdad. Volta no tenía en cuenta las acciones químicas que se manifestaban en sus experiencias; y a esas acciones químicas, sin embargo, era necesario recurrir para dar la verdadera explicación del fenómeno. En el primer caso, la oxidación del cinc, por efecto del sudor ácido de la mano, era suficiente

para la producción de la electricidad, y en el segundo, la acción del agua acidulada sobre el cinc era evidentemente la causa productora del fluido eléctrico. Pues a pesar de todo esto, fundándose Volta en una teoría a todas luces errónea, ideó un aparato que, modificado hoy de mil modos distintos, ha venido a ser uno de los más preciosos y más útiles instrumentos que posee el hombre y con el cual ha obtenido efectos maravillosos. Este aparato es la pila de Volta.

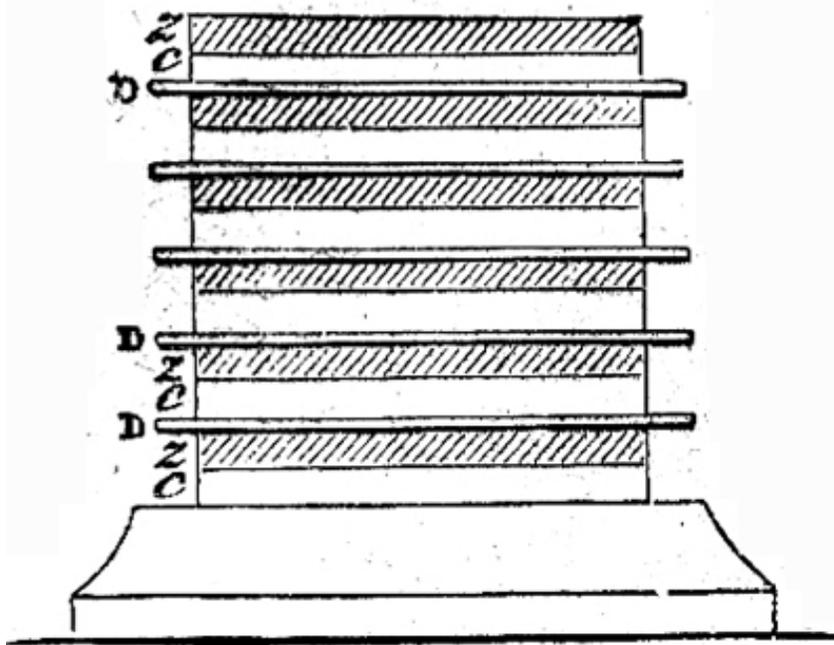


Figura 24

El ilustre físico designaba con el nombre de par electromotor al conjunto de dos discos, uno de cobre y otro de cinc, soldados entre sí para hacer más eficaz el contacto de los dos metales. Reuniendo cierto número de pares, separados unos de otros por rodajas de paño (fig. 24. D), impregnadas de agua acidulada con ácido sulfúrico, constituía Volta el aparato denominado pila, a causa de su forma. Según la teoría de Volta, cada par de cobre y cinc, desarrollaba por el contacto una cierta cantidad de electricidad, dirigiéndose el fluido negativo al cobre y el positivo al cinc; si, se admite ahora que los fluidos producidos por las acciones simultáneas de todos los pares se acumulan, como en efecto parece que sucede, en los extremos de la pila, resultará que la tensión eléctrica en cada extremo será proporcional al número de pares o elementos que componen la pila.

Los físicos denominan *polo positivo*, al extremo de la pila donde se acumula el fluido positivo y *polo negativo* al extremo opuesto. Si se ponen en comunicación ambos polos, por medio de un alambre conductor, las dos electricidades de nombre contrario tenderán a recombinarse, produciéndose, en consecuencia, dos corrientes que van en sentido contrario; una del polo positivo al polo negativo y otra en sentido inverso.

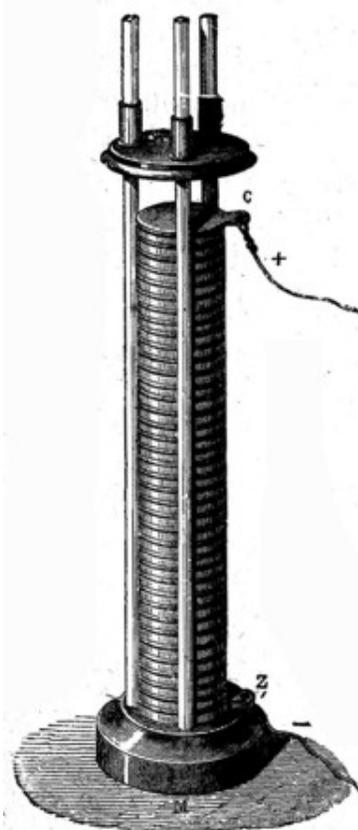


Figura 25

Y estas corrientes son constantes, porque la causa productora de la electricidad, cualquiera que sea, continúa actuando y produciendo nuevas cantidades de los dos fluidos, que seguirán combinándose a través del alambre que une ambos polos a pesar de que, en la hipótesis de los dos fluidos, es necesario admitir que se producen dos corrientes simultáneas, se ha convenido en denominar sentido de la corriente a la dirección que toma el fluido positivo, y, según esto, se admite que la corriente va del polo positivo al negativo por el circuito exterior de la pila, Volta suponía, como ya hemos dicho, que cada par estaba formado por dos discos metálicos, uno de cobre y otro de cinc, soldados entre sí. Las rodajas de paño sólo servían para separar cada dos pares. Hoy, por el contrario, se admite que cada par está constituido por un disco de cobre y otro de cinc, separados por la rodaja de paño, impregnada en agua acidulada.

La electricidad no se desarrolla por el contacto de los dos metales heterogéneos, sino por la acción química que se verifica entre el cinc y el ácido sulfúrico, dirigiéndose el fluido negativo al cinc, es decir, al metal atacado, y el positivo al agua acidulada y de allí al cobre, que sirve únicamente de cuerpo conductor. Según esto, en la pila de Volta, tal como la construía este físico, sobran los dos discos extremos; el de cobre en el extremo inferior de la pila y el de cinc en el superior. Hoy se les suprime, en efecto, construyéndose el aparato de modo que indica la figura 25. La pila de Volta presenta el inconveniente de que, por

efecto de la presión que ejercen los discos metálicos sobre las rodajas de paño, éstas se secan muy pronto, disminuyendo rápidamente, por lo tanto, la intensidad de la corriente. Para obviar este inconveniente se han propuesto una infinidad de modificaciones, de las cuales indicaremos las principales en el párrafo que sigue.

### § 3. — Pilas de un solo líquido

El mismo Volta ideó la *pila de tazas*, la cual estaba formada por una serie de vasos o tazas, llenos de agua acidulada, en la cual estaban colocadas verticalmente dos láminas metálicas, una de cobre y otra de cinc, independientes entre sí. Cada lámina de cobre, en cambio, estaba unida a la lámina de cinc de la taza adyacente por medio de un tornillo de presión, y de este modo quedaban enlazadas todas las tazas.

Uniendo el cobre y el cinc de las dos últimas con un alambre conductor, se ponía en función la pila.

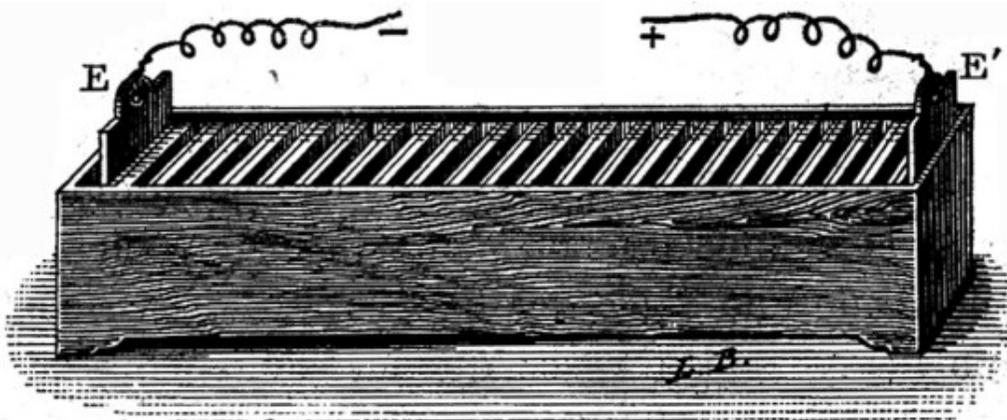
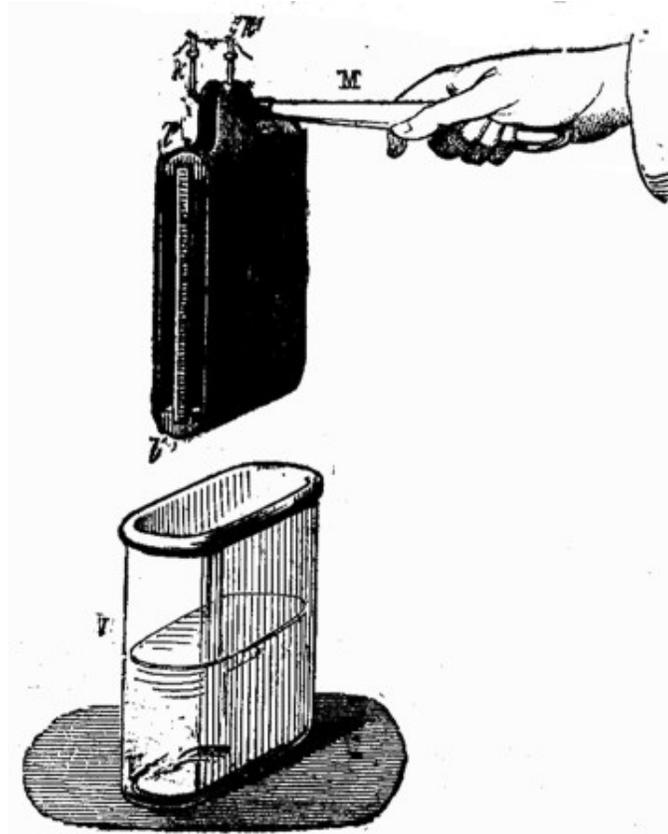


Figura 26

La *pila de artesa* (fig. 26) se compone de placas de cinc y cobre soldadas dos a dos y puestas paralelamente en una caja, de madera, de cuyas paredes se les separa por medio de un mastic aislador. En el hueco que dejan cada dos pares de placas, se vierte agua acidulada con ácido sulfúrico, y para obtener la corriente, se unen las placas extremas por medio de un alambre.

En la *pila de Wollaston* cada *par* o *elemento* está constituido por una placa de cinc (fig. 27), rodeada por una de cobre encorvada de modo que cubra las dos caras del

cinc, del cual la separan dos pedazos de madera, para evitar el contacto. El par, así constituido, va sumergido en un vaso de vidrio, lleno de agua acidulada.

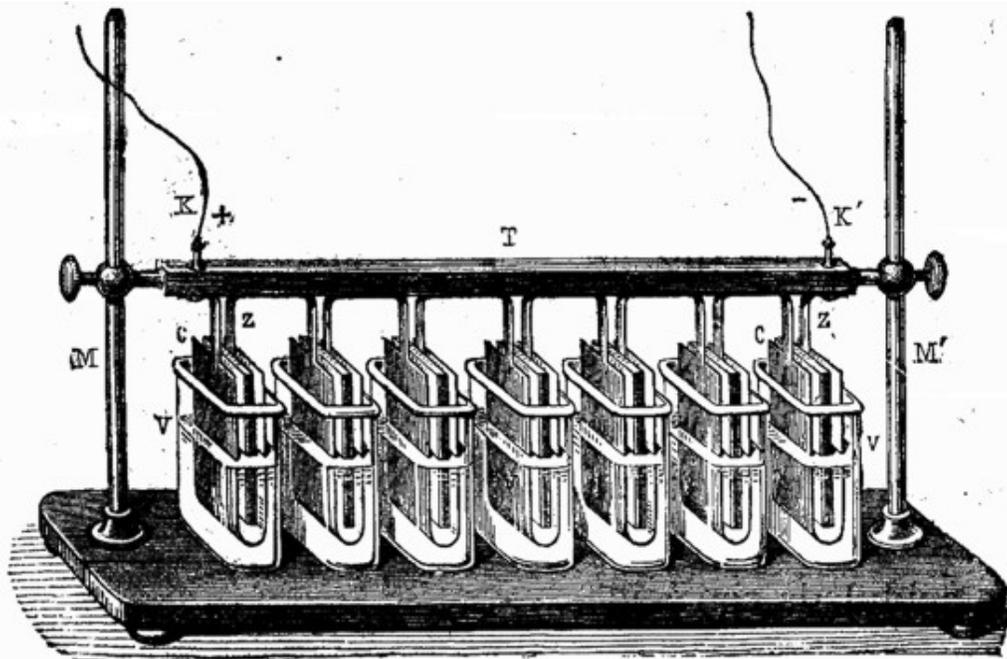


*Figura 27*

Mientras no se necesite la pila, es inútil y hasta perjudicial que el cinc esté en contacto con el ácido, y por eso es conveniente retirar el par del vaso de vidrio, sacándolo por medio de un mango aislador, como indica la figura 27. Cuando se quieren reunir varios elementos, es conveniente disponerlos de modo que todos los pares puedan ser retirados al mismo tiempo de los vasos que los contienen, y para ello se construye la pila del modo que indica la figura 28.

La producción de la electricidad en todas estas pilas es debida, como oportunamente se ha dicho, a la acción química que se produce entre el agua acidulada y el cinc. Este metal se oxida, descomponiendo el agua y apoderándose de su oxígeno; el óxido formado se combina con el ácido sulfúrico para formar sulfato de cinc y el hidrógeno que, por la descomposición del agua, queda libre, se

dirige al polo positivo, es decir, al cobre, sobre cuya superficie se deposita en forma de capa gaseosa.



*Figura 28*

De todo esto resulta que el ácido sulfúrico va desapareciendo progresivamente y su acción sobre el cinc, siendo, por consiguiente, cada vez más débil; por otra parte, la capa gaseosa de hidrógeno, depositada en la superficie del cobre, impide, por su menor conductibilidad, la circulación del fluido positivo; a cuyas causas es necesario atribuir la disminución rápida de la intensidad de la corriente en las pilas de un solo líquido.

#### **§ 4. — Pilas de dos líquidos**

En el año 1836 el físico Daniell inventó la pila que lleva su nombre, y que vamos a describir. Cada elemento de esta pila está constituido por dos vasos: uno exterior de vidrio o porcelana V (fig. 29) y otro interior D de tierra porosa. Entre los dos vasos se coloca una placa de cinc Z, enrollada en forma de cilindro y sumergida en el agua acidulada con ácido sulfúrico que llena el vaso exterior. En el interior se introduce una placa de cobre arrollada del mismo modo, y sumergida en una solución concentrada de sulfato de cobre, a la cual se añaden algunos cristales del

mismo sulfato para sostener constantemente la solución en un estado de saturación perfecta. El cinc que constituye el metal negativo debe estar amalgamado, con lo cual se consigue que no sea atacado por el ácido sulfúrico sino cuando funciona la pila.

Veamos ahora que reacciones químicas tienen efecto en esta pila. El cinc se oxida por la descomposición del agua, y el óxido obtenido se combina con el ácido para formar sulfato de cinc. El hidrógeno atraviesa el vaso poroso y ataca al sulfato de cobre, cuyo óxido se descompone, dirigiéndose el cobre libre a la placa del mismo metal. En estas dos reacciones, el cinc adquiere una tensión eléctrica negativa y el cobre la adquiere positiva. La corriente de la pila de Daniell no es

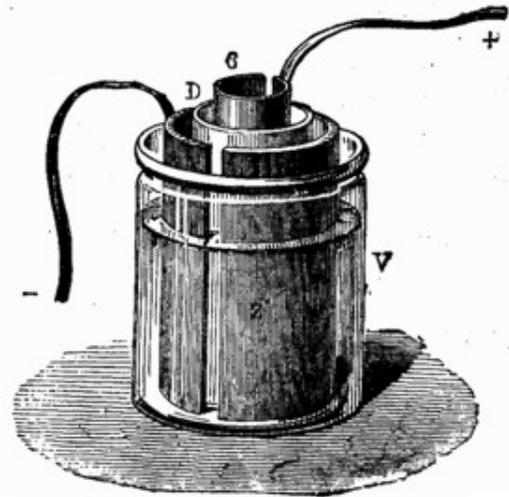


Figura 29

muy enérgica, pero es sensiblemente constante, porque a cada equivalente de ácido sulfúrico gastado en la producción de sulfato de cinc, corresponde un equivalente de hidrógeno libre, que, al combinarse con el oxígeno del óxido de cobre, deja en libertad otro equivalente de ácido sulfúrico hidratado, con lo cual se evita que el agua acidulada se empobrezca de ácido. Para conseguir este resultado es necesario echar de vez en cuando algunos cristales de sulfato de cobre en la solución de esta sustancia para mantenerla en estado de saturación perfecta.

La *pila de Bunsen* es semejante a la de Daniell, que acabamos de describir. Cada elemento (fig. 30) está constituido por dos vasos: uno exterior de porcelana y otro interior de tierra porosa; en el primero va colocado el cinc amalgamado, sumergido en agua acidulada con ácido sulfúrico; en el segundo se introduce un cilindro o prisma de carbón de retorta, sumergido en ácido nítrico. El carbón de retorta, producto que se obtiene al destilar la hulla, es una sustancia que conduce muy bien la electricidad, y que hace en la pila el mismo efecto que el cobre.

Las reacciones que se verifican en la pila de Bunsen son las siguientes: El ácido sulfúrico ataca al cinc para formar sulfato por la descomposición del agua, y el hidrógeno, que, por esta descomposición, queda libre, se dirige al ácido nítrico, al

cual ataca para formar agua, transformándose el ácido nítrico en ácido hiponítrico que queda disuelto en el líquido.

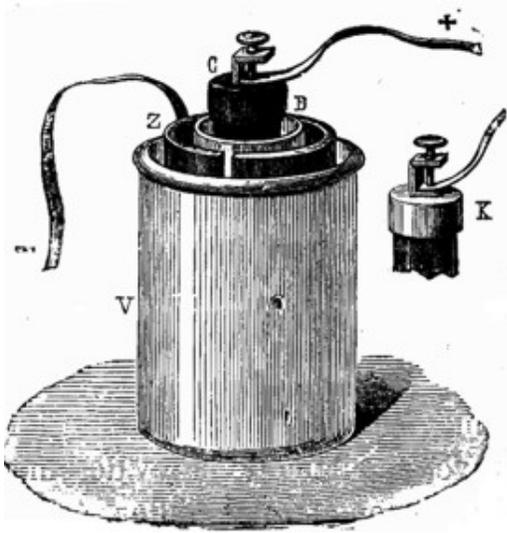


Figura 30

reacciones químicas.

El par de Bunsen es mucho más energético que el de Daniell, pero la corriente que engendra es menos constante, por efecto de empobrecimiento del agua acidulada.

El número de pilas inventadas hasta el día es tan grande que sería necesario un libro especial para describirlas todas. Nosotros nos limitaremos, pues, a las ya descritas, porque a nuestro propósito basta con lo dicho para dar al lector una idea general relativa a la producción de la electricidad por medio de

### § 5. — Pilas termoeléctricas

No son solamente las acciones mecánicas, ni las reacciones químicas, los manantiales de electricidad que poseemos. El calor es también, en determinados casos, una causa productora del mismo agente eléctrico.

Si se calienta por un punto cualquiera un hilo metálico homogéneo, no habrá producción de corriente, como es fácil prever en virtud de la ley de simetría; pero si al hilo metálico se le hacen algunos nudos, o si se le retuerce en espiral, de modo que su estado molecular sufra algún ligero cambio, y luego se le calienta por un punto cercano a la parte que ha sido retorcida, se producirá una corriente, cuyo sentido dependerá de la naturaleza del hilo y también de la temperatura a que se le someta.

Esta corriente es mucho más intensa, cuando el hilo está formado por dos metales heterogéneos soldados en un punto, el cual se somete a una temperatura inferior o superior a la del medio ambiente. El conjunto de los dos metales soldados constituye un par *termoeléctrico*. La reunión de varios pares termoeléctricos constituye una *pila termoeléctrica*. Los metales que más comúnmente se emplean

en la construcción de estas pilas son el bismuto y el antimonio, dispuestos en la forma que indica la figura 31.

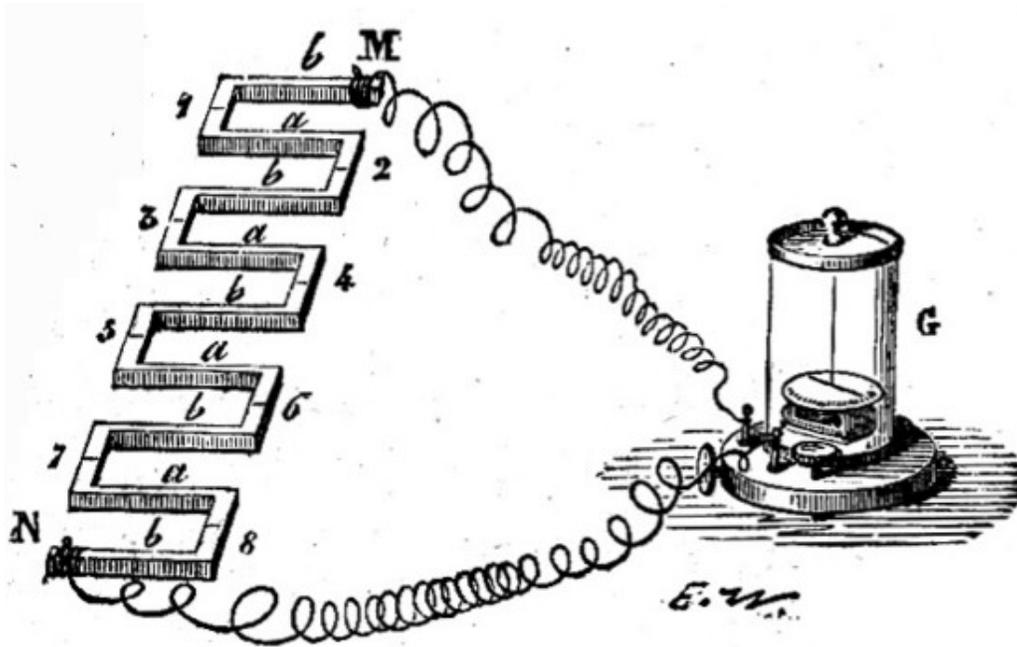


Figura 31

Como se ve por la figura, cada barra b de bismuto está soldada por sus dos extremos, encorvados en ángulo recto, a otras dos barras a de antimonio, encorvadas del mismo modo.

Si se calientan simultáneamente todas las soldaduras de un mismo lado se producirá una corriente en cierto sentido, y si, por el contrario, se enfrían a un tiempo las mismas soldaduras, se producirá una corriente en sentido inverso.

Para hacer más cómodo el manejo de la pila termoeléctrica se la dispone como indica la figura 32, formando con ella un cubo, encerrado en una caja de latón, dejando libres, a uno y otro lado, las dos series de soldaduras.

Las corrientes producidas por las pilas termoeléctricas son muy débiles, pero el aparato es tan sensible que basta el más ligerísimo cambio de temperatura para engendrar en él una corriente.

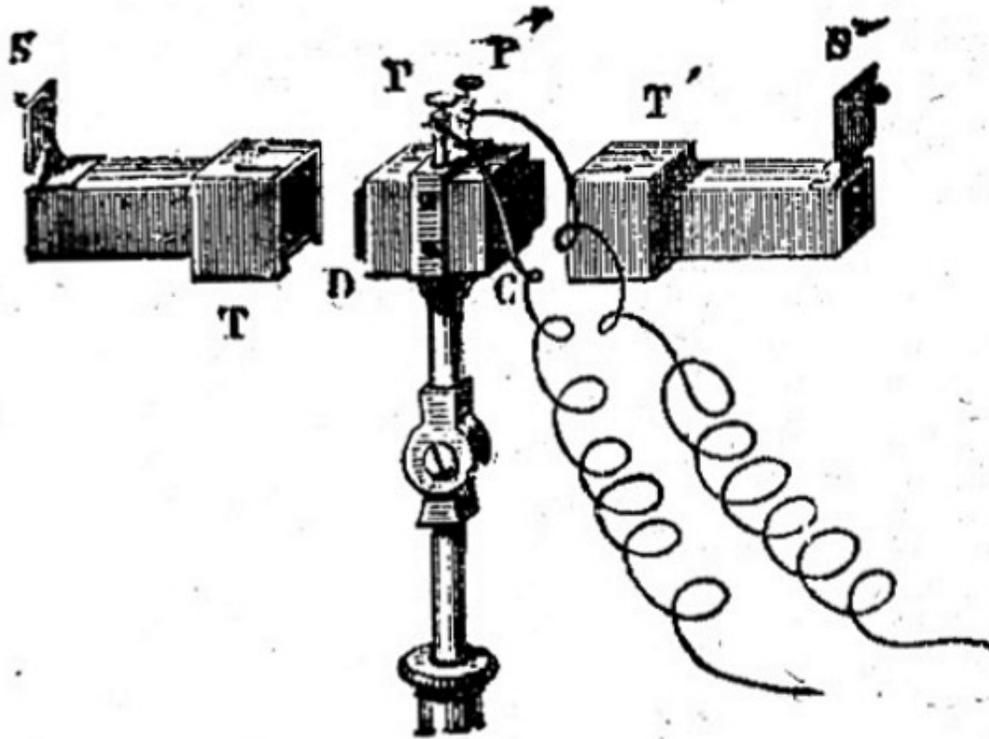


Figura 32

### § 6. — Efectos caloríficos, luminosos, químicos y fisiológicos de las corrientes.

Las corrientes eléctricas, lo mismo que las descargas, producen efectos muy variados.

La mayor o menor resistencia que la corriente experimenta al pasar por el alambre del circuito exterior de una pila, depende de la naturaleza del hilo metálico y de su sección, es decir, del grueso que el alambre tenga. Mientras más delgado sea el hilo, mayor será la resistencia que oponga al paso de la corriente, y esta resistencia se manifiesta por un aumento de temperatura que puede llegar a ser muy considerable. Empleando pilas, cuyos elementos tengan una superficie bastante grande, se consigue enrojecer, fundir y hasta volatilizar hilos metálicos de poco grueso. Tales son los principales efectos caloríficos de las corrientes.

Los efectos luminosos se manifiestan cuando se interrumpe el circuito exterior de la pila, de modo que la corriente tenga que saltar, por decirlo así, para recorrer todo el circuito. En este caso se produce, en el punto en que existe la solución de continuidad, una luz muy viva, denominada arco voltaico. La figura 33 representada

disposición que puede darse al aparato para la producción del arco voltaico. La chispa eléctrica se hace estallar entre dos conos P de carbón de retorta, los cuales están sostenidos por armaduras metálicas, aisladas convenientemente.

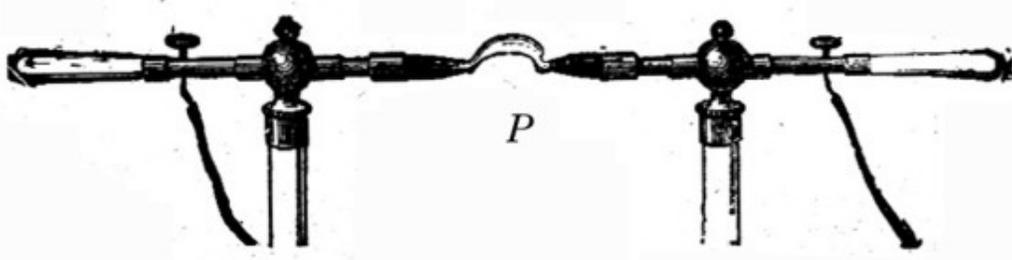


Figura 33

Estos carbones se comunican por medio de alambres con los dos polos de la pila. Para que la chispa se produzca, es necesario que las puntas de ambos se hallen muy próximas una a otra, pero tan pronto como la luz se haya manifestado, pueden separarse y alejarse sin que la luz se extinga, siempre que la separación no pase de ciertos límites.

Cuando hablemos de las aplicaciones de la electricidad, expondremos con más detalle todo lo relativo a la producción de la luz eléctrica.

Los *efectos químicos* de las corrientes consisten en la descomposición de los cuerpos en sus elementos constituyentes. Casi todas las combinaciones químicas experimentan una descomposición al paso de la corriente, dirigiéndose unos elementos al polo positivo y otros al negativo de la pila.

Hoy se admite que los cuerpos que se dirigen al polo positivo están cargados de electricidad negativa y que los que van al negativo, lo están de electricidad positiva, distinguiéndose en consecuencia todos los cuerpos por las denominaciones de electropositivos y de electronegativos según los casos; pero se ha de observar que estas denominaciones no son absolutas, pues el mismo cuerpo puede dirigirse unas veces al polo positivo y otras al negativo, según sea el otro cuerpo con el cual estaba combinado.

Para efectuar la descomposición del agua por la pila, se emplea el aparato denominado voltámetro (fig. 34), el cual está constituido por dos probetas C, D, metidas, por su extremidad abierta, en una copa y, que contiene agua acidulada

con ácido sulfúrico. Dos alambres de platino A, B, en comunicación, por medio de los tornillos de presión P, P', con los polos de la pila, van introducidos hasta cierta altura en las dos probetas C, D. Haciendo pasar la corriente, el agua se descompone, y la descomposición se manifiesta por medio de burbujillas gaseosas que se van reuniendo en la parte superior de las probetas; medidos los volúmenes gaseosos se ve que en una de las probetas, la del polo negativo, el volumen es doble del contenido en la otra, y se observa además que del lado del polo negativo no hay sino hidrógeno exclusivamente, y en el positivo, únicamente oxígeno.

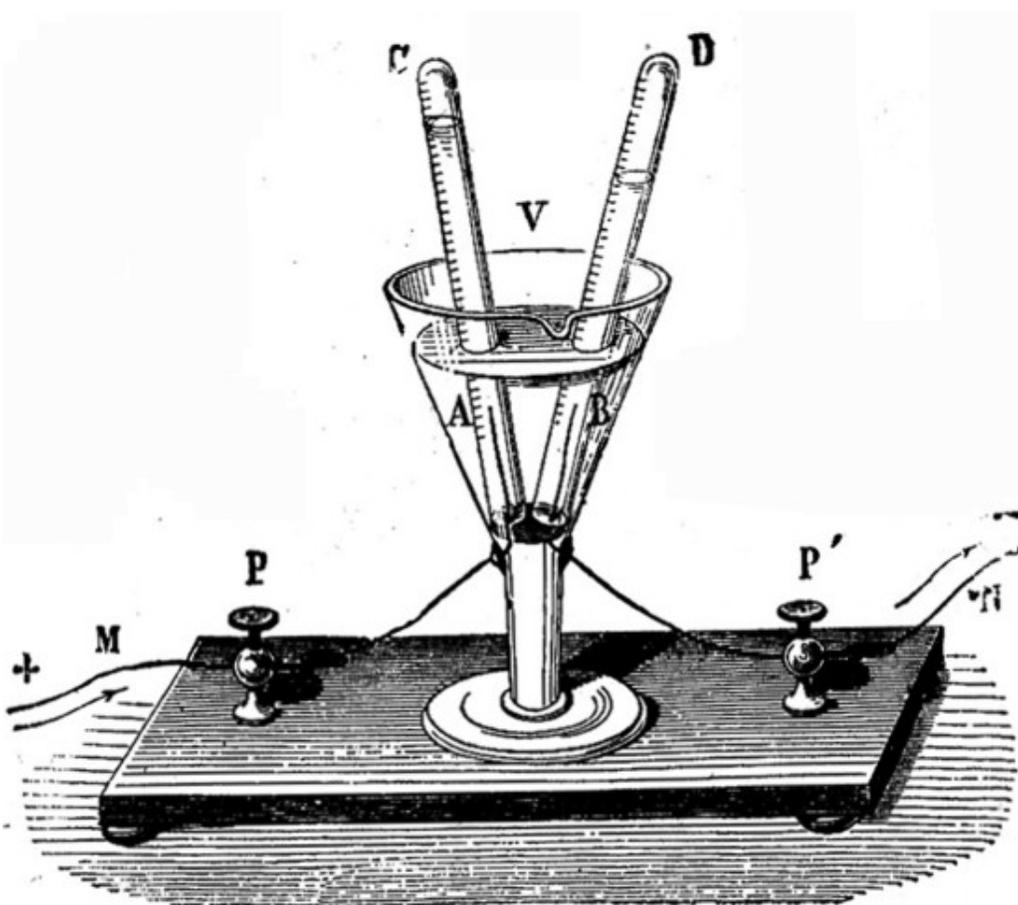


Figura 34

El volumen de los gases producidos en un tiempo dado depende de la intensidad de la corriente, de modo que este aparato puede servir para medir dicha intensidad, de donde ha venido la denominación de voltámetro que se le ha dado.

La descomposición de los cuerpos binarios, tales como los óxidos metálicos, y en general, la de cualquier combinación de un metaloide con un metal, demuestra que

todos los metales son electropositivos con, relación a los metaloides. Estas descomposiciones se efectúan por medio de procedimientos diversos, en cuya descripción no podemos entrar aquí, aunque más adelante hayamos de exponer algunos, al hablar del dorado y plateado galvánicos.

Fáltanos, para terminar este capítulo, decir algo respecto a los efectos fisiológicos de las corrientes. Estos efectos se reducen a contracciones musculares más o menos enérgicas y dolorosas según sea la intensidad de la corriente. Las contracciones se producen al establecer la corriente haciéndola pasar por el cuerpo sometido a la experiencia, y al interrumpir la comunicación con la pila, y tienen efecto, lo mismo sobre los animales vivos, que sobre los animales recién muertos. Con una pila de Bunsen de un número considerable de elementos, se puede producir la muerte de un hombre, y hasta de animales de mayor corpulencia.

## CAPÍTULO 3

### EL MAGNETISMO

#### § 1. — Notas históricas

Dijimos, en el primer capítulo de este libro, que los antiguos griegos conocían la propiedad que naturalmente tiene la piedra imán de atraer el hierro dulce, y añadimos entonces que a este hecho tan sencillo se reducían los conocimientos que aquellas gentes poseían relativos a esta materia. Ignoraban los antiguos que la propiedad atractiva de la piedra, se puede comunicar por contacto y de una manera permanente a otros cuerpos, e ignoraban, por consiguiente, que se pudiesen obtener imanes artificiales. — Plinio, sin embargo, habla de armas fabricadas con hierro, sometido previamente al contacto de un imán natural, y asegura que las heridas ocasionadas con estas armas eran más graves que las producidas por las otras.

Por lo demás, tanto en la antigüedad como en la Edad media, se atribuía, a los imanes un poder muy superior de atracción al que realmente tienen, y se contaban patrañas y absurdos de todo género relativos a aquel poder.

La polaridad magnética, y por consiguiente, la aplicación de los imanes a la indicación del norte y del sur fue desconocida completamente en Europa hasta el siglo XII, en que la introducción de la brújula y su aplicación a la navegación de altura, preparó, juntamente con otras causas, una de las revoluciones más grandes y provechosas de que hay memoria en el mundo.

Esta propiedad de orientación de los imanes era, sin embargo, conocida de los chinos desde la más remota antigüedad.

Dos tradiciones, consignadas en las obras de escritores chinos de los siglos IV y XII de nuestra era, hacen remontar el empleo de la brújula, una al siglo XXVII y otra al siglo XI antes de J. C. Designaban los chinos las brújulas con el nombre de carros indicadores del sur y se servían de ellas en sus viajes terrestres y marítimos. El carro estaba constituido por una aguja que flotaba libremente en el agua, haciendo mover una figurilla, cuyos brazos señalaban al sur, cuando la parte móvil del instrumento estaba en equilibrio. Los árabes en el siglo XII, introdujeron la brújula

en los mares de Europa, conservando su forma primitiva, hasta el siglo XV, en que empezó a usarse la aguja suspendida de un eje.

Pero los estudios, verdaderamente científicos, relativos a los imanes naturales y artificiales, no comenzaron hasta el año 1600 de nuestra era, en que el médico Guillermo Gilbert descubrió las atracciones y repulsiones recíprocas de los imanes, valiéndose para ello de agujas que hacía flotar en el agua, después de haber determinado sus polos. Este sabio fue quien primero emitió la hipótesis de que, la tierra es o actúa como un imán tiene extraordinarias dimensiones, cuyos polos están situados próximamente en la dirección norte sur.

## **§ 2. — Imanes naturales y artificiales**

La piedra imán, o imán natural, es un mineral de hierro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), que se encuentra abundantemente en muchos lugares del globo. Este óxido de hierro, designado con el nombre de óxido magnético, no tiene nada de regular en su forma, ni en la distribución de su poder magnético, es decir, en la distribución de la facultad que posee de atraer el hierro, el níquel, el cobalto, el cromo y algunos otros metales denominados sustancias magnéticas. Si se coloca la piedra imán sobre limaduras de hierro, se observa, al retirarla, que las limaduras quedan unidas y como pegadas a la piedra, pero en proporciones muy desiguales sobre los diversos puntos de ella.

Ya hemos indicado que la propiedad atractiva de los imanes naturales, puede ser transmitida, por distintos medios, y de una manera permanente, al hierro; pero no al hierro puro, sino al acero, que es el cuerpo que mejor y por más tiempo conserva aquella propiedad. El hierro puro, o hierro dulce, adquiere, sí, dicha propiedad, pero sólo mientras permanece bajo la influencia, directa e inmediata de un imán permanente; en cuanto se le separa de éste, pierde por completo la facultad de atraer las sustancias magnéticas. Designan los físicos con el nombre de imanes artificiales a los que se obtienen transmitiendo al acero el poder magnético de los imanes naturales. Difieren los artificiales de los naturales en que éstos, como se ha dicho, no guardan ley ninguna en la distribución de su poder magnético, mientras que, en los artificiales, por el contrario, hállase aquel poder distribuido según una ley bien determinada. Para dar a conocer esta ley de una manera experimental,

tomemos una barra de acero imanada<sup>2</sup> y, colocándola sobre limaduras de hierro, observemos en qué proporciones son atraídas estas limaduras por los distintos puntos de la barra. Se verá desde luego que los pedacitos de hierro se agrupan en los extremos PP' (fig. 35) del imán, y que el número de ellos va disminuyendo desde los extremos hasta la línea media MN, en la cual la atracción es nula.

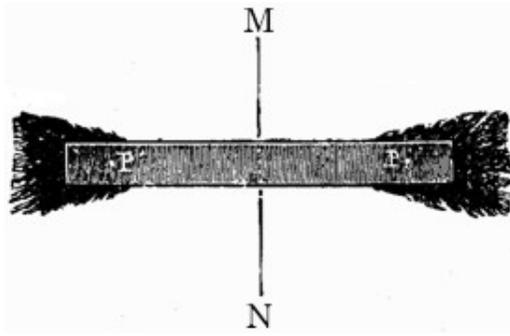


Figura 35

Según esto el poder magnético de un imán, nulo en su línea media, alcanza su máximo en los puntos extremos. La línea media se denomina ordinariamente línea neutra, y los plintos P y P polos del imán. Sucede a veces, en las barras mal imanadas, que el poder magnético se halla distribuido en varios centros de atracción, los cuales se denominan

puntos consecuentes; todavía no se ha podido explicar de una manera satisfactoria la causa original de la formación de estos centros atractivos.

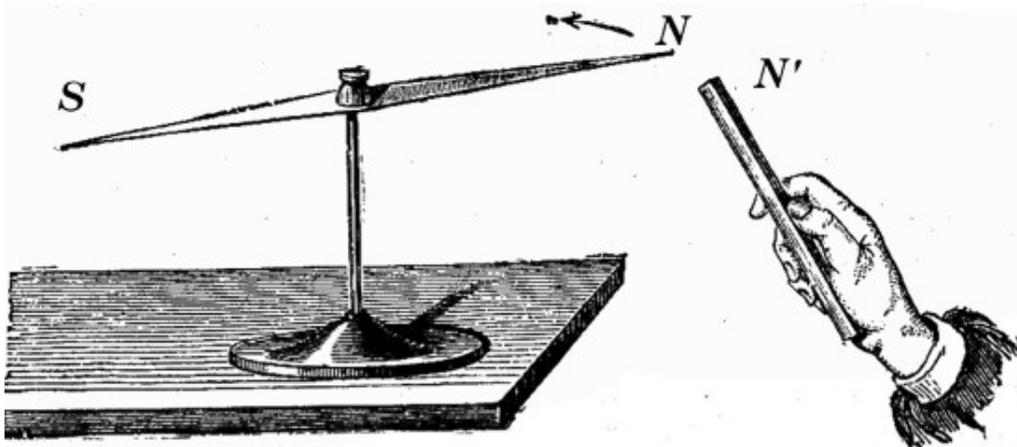
### § 3. — Orientación de los imanes por la acción de la tierra. Acciones recíprocas de los imanes

Si se suspende horizontalmente un imán por su centro de gravedad, ya sujetándolo con un hilo sin torsión, ya colocándolo en el extremo de un eje vertical, sobre el cual pueda oscilar libremente, se observará que, después de ejecutar cierto número de oscilaciones de amplitud decreciente, queda fijo e inmóvil en una posición de equilibrio, que es siempre sensiblemente la misma para todos los imanes en cada punto del globo. La recta que une los dos polos del imán se sitúa de una manera aproximada en la dirección norte sur, y a esa dirección vuelve siempre que se le aparta de ella. Si ahora hacemos recorrer medio círculo a cada mitad del imán de modo que el polo que primeramente se dirigía al norte quede vuelto al sur, y el que se dirigía al sur quede vuelto al norte, se verá que el imán desanda espontáneamente el camino recorrido, volviendo eternamente a su primitiva posición de equilibrio. Según esto, los dos polos de un mismo imán gozan de

<sup>2</sup> La Real Academia Española dice imanar, y no imantar, como escriben algunos. Le sobra razón a la Academia al combatir este último barbarismo. (Hoy, en 2012, está aceptado imantar, por la Real Academia Española, nota PB)

propiedades distintas, puesto que, suspendido el imán de modo que pueda oscilar libremente, uno de los polos se dirige, siempre al norte y el otro siempre al sur. Designemos, para más comodidad, con el nombre de polo norte al primero, y con el de polo sur al segundo, pero teniendo siempre en cuenta, como luego veremos, que estas denominaciones son convencionales y de ningún modo rigurosamente exactas.

Es evidente que la orientación de los imanes, se debe a la acción de la tierra, o a algún fenómeno que constantemente se reproduce en ella; pero cualquiera que sea la causa verdadera de esta acción, notemos que es muy semejante a la que ejerce un imán sobre otro. Para demostrarlo, estudiemos experimentalmente las recíprocas influencias que los imanes ejercen entre sí.



*Figura 36*

Supongamos, pues, un imán N-S (fig. 36) que gire libremente en un plano horizontal, alrededor de un eje fijo vertical. Acerquemos al polo norte N de este primer imán el polo norte N' de otra barra imantada, y veremos que inmediatamente se produce una repulsión entre los dos polos del mismo nombre, manteniéndose el imán N S en una posición de equilibrio distinta de la ordinaria, mientras no alejemos la barra N'. Aproximemos ahora el mismo polo N' al polo S del primer imán; aquí, por el contrario, en vez de repulsión, se observará una atracción bien marcada entre los dos polos de nombre contrario. Reproduciéndose estos fenómenos constantemente con todos los imanes, podemos formular la siguiente ley relativa a las atracciones y repulsiones magnéticas. Los polos del mismo nombre se repelen,

los de nombre contrario se atraen. Es claro que, para que una barra móvil M' (fig. 37) se mantenga en equilibrio, suspendida sobre otra barra fija M, es necesario que los polos de nombre contrario queden colocados frente a frente, el norte de la primera barra frente al sur de la segunda, y el norte de la segunda frente al sur de la primera.

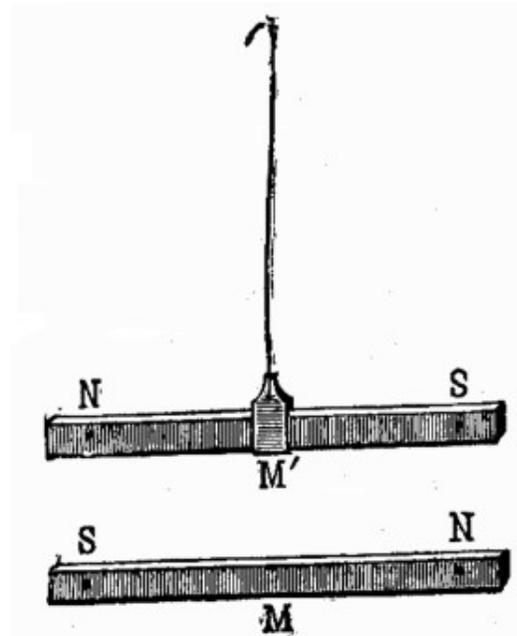


Figura 37

Ahora bien, cuando se suspende mi imán por su centro de gravedad toma, como hemos dicho, una posición de equilibrio tal, que uno de sus polos se dirige siempre al norte y el otro siempre al sur; si, haciendo abstracción de la tierra, consideramos un imán de grandes dimensiones, colocado en la dirección norte sur, es evidente que la posición de equilibrio del imán suspendido sería exactamente la misma, que en el primer caso, es decir, que tanto la tierra como el imán de grandes dimensiones que hemos supuesto, se comportan idénticamente respecto del imán

suspendido. Luego la acción de la tierra sobre los imanes es idéntica a la de un imán sobre otro, conforme a lo que queríamos demostrar.

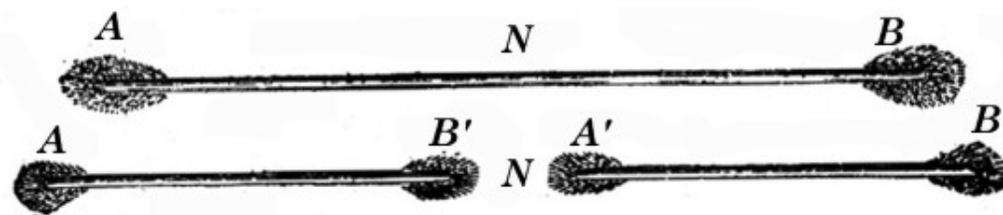
Ahora vemos claramente que las denominaciones de polo norte y de polo sur, que hemos dado a los dos polos de un imán, no son rigurosamente exactas, porque el equilibrio de un imán suspendido no puede existir mientras su verdadero polo sur no esté vuelto al norte de la tierra; de modo que aquellas denominaciones debieran ser cambiadas en el lenguaje científico.

#### § 4. — Teoría de los dos fluidos

Para explicar las atracciones y repulsiones de los imanes, han recurrido los físicos a suponer, como para la electricidad, que existen dos fluidos magnéticos de distinta especie y tales, que cada uno se rechaza a sí mismo y atrae al de la otra especie. Estos dos fluidos, naturalmente separados en la piedra imán, existen combinados y neutralizándose en el hierro, en el acero y en algunos otros cuerpos. La influencia

de un imán, natural o artificial, sobre el fluido neutro, produce su descomposición, la cual es enérgica, pero momentánea, en el hierro, y débil, pero persistente, en el acero. Suponen los físicos que la resistencia que opone el acero templado a imanarse, lo mismo que la facultad que posee de guardar casi indefinidamente el poder magnético que una vez ha adquirido, depende de una fuerza, denominada coercitiva que se opone a la circulación de los fluidos por el interior de su masa: Esta fuerza coercitiva es nula en el hierro, y de aquí la facilidad con que se imana y se desimana.

Es necesario admitir, en esta hipótesis, que los fluidos de nombre contrario no se hallan separados en la masa entera del imán, sino solamente en las moléculas de éste. En efecto, si sucediese lo contrario, al dividir un imán por su línea media, resultaría que cada mitad tendría un polo solamente, lo cual se opone por completo a los hechos, como la experiencia siguiente lo demuestra. Tómese una aguja de hacer calceta y, después de imanada convenientemente, divídase por su línea media (fig. 38); cada mitad de la aguja resultará un imán completo, con sus dos polos y su línea neutra. Dividamos ahora una de estas mitades, y sucederá lo mismo que en el caso anterior y, si se prosigue la división, se irán obteniendo constantemente los mismos resultados.



*Figura 38*

De todos modos, y cualquiera que sea la comodidad que ofrezca esta teoría para explicar cierto número de fenómenos, ello es cierto que ni explica todos los del magnetismo, ni la concepción de los dos fluidos es fácil para la inteligencia humana. A su tiempo expondremos otra teoría infinitamente más racional que ésta y que tiene la inapreciable ventaja de referir los fenómenos de la electricidad y del magnetismo a una sola y única causa, sin contar que, gracias a ella, ha podido dar

la ciencia eléctrica en este siglo un paso verdaderamente gigantesco en el camino de las aplicaciones.

### § 5. — Procedimientos de imanación

Los primitivos imanes artificiales se obtuvieron poniendo en contacto las barras de acero con imanes naturales, o bien sometiendo aquéllas a una fricción más o menos prolongada con la piedra imán. Los imanes así obtenidos, sirvieron a su vez para obtener otros más perfectos, gracias a las modificaciones ventajosas introducidas en los procedimientos de imanación.

Los métodos principalmente seguidos son el simple contacto, el doble contacto y el contacto separado.

El simple contacto consiste en someter la barra que se ha de imanar a una fricción varias veces repetida contra el mismo polo de un imán. Colocada la barra horizontalmente, se apoya contra uno de sus extremos uno de los polos del imán, manteniendo éste vertical, y luego se le pasea de un extremo a otro de la barra, siempre en el mismo sentido. La imanación obtenida no es del todo regular; la línea neutra no queda en el centro de la barra, sino más próxima a la extremidad hacia la cual se ha dirigido la fricción.

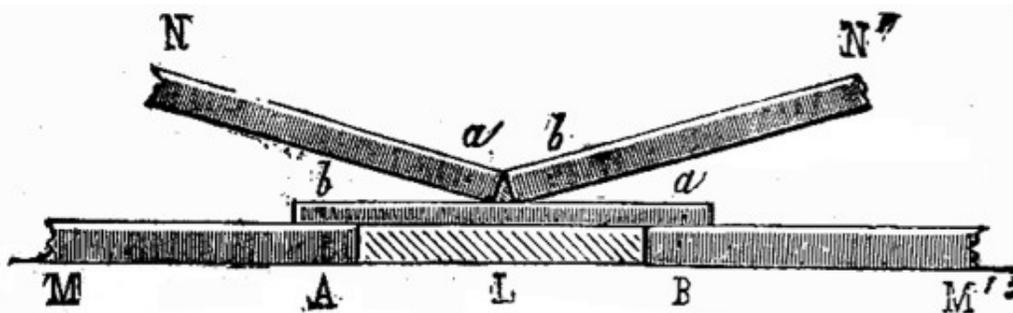


Figura 39

El doble contacto, ideado por Mitchell (1751), consiste en someter la barra, colocada horizontalmente, a la acción de dos imanes verticales, opuestos por sus polos y separados por un trocito de madera, los cuales se hacen pasear de un extremo a otro de la barra, en los dos sentidos. Este método fue modificado por OEpinus (1759), quien colocaba la barra de acero sobre los polos opuestos A y B

(fig. 39) de dos imanes, y luego paseaba por encima los polos opuestos de otros imanes, separados, como anteriormente, por un pedazo de madera, pero dispuestos de modo que formaban con el horizonte un ángulo de  $20^\circ$ . Cuando la barra por imanar es bastante gruesa, se efectúa la operación por sus cuatro caras.

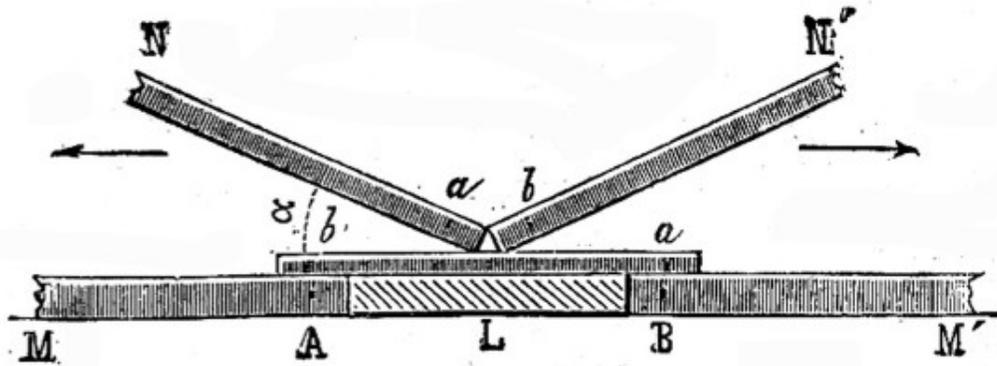


Figura 40

El método del contacto separado seguido por Knight (1751), Duhamel (1760) y Coulomb (1793) difiere del anterior en que los imanes no reciben un movimiento común, sino que, como la indican las flechas (fig. 40), cada uno se dirige en un sentido, a partir del centro. Cuando cada imán llega al extremo de la barra, se separa de ésta y se vuelve a empezar la operación.

La imanación de las barras de acero crece, pero no indefinidamente, con el número de fricciones.

Cualquiera que sea el método empleado, la barra adquiere un poder magnético superior al que ha de conservar, poder cuya intensidad disminuye poco después hasta un punto en el que permanece estacionario. Cuando este punto se obtiene se dice que la barra está imanada a saturación. El punto de saturación varía para cada barra con la dureza que ha obtenido por el temple. El poder magnético de las barras varía también con los cambios de temperatura, observándose que una barra de acero imanada pierde por completo todo su magnetismo, cuando se la enrojece al fuego.

Se construyen imanes de gran poder reuniendo en haces, algunas láminas de acero, a las cuales se da la forma de herradura, como indica la fig. 41. La pieza C, que se llama armadura del imán, sirve para mantener separados los dos fluidos.

La acción de cada polo sobre esta armadura, tiende a aumentar la imanación del otro, de modo que el poder de atracción se aumenta, siendo evidentemente mucho mayor en los dos polos reunidos por la armadura que en un polo aislado.

### § 6. — Brújulas de declinación y de inclinación

Ya hemos visto, en el párrafo 3 de este capítulo que la tierra ejerce una acción marcadísima sobre los imanes, los cuales cuando están sostenidos por su centro de gravedad, de modo que puedan girar libremente alrededor de un eje vertical; toman siempre una posición de equilibrio tal, que la línea que une sus polos sigue, de una manera aproximada, la dirección norte-sur. El plano vertical que pasa por la línea de los polos del imán, cuando éste se halla en su posición de equilibrio, es el plano meridiano magnético del lugar que se considere. No coincide el meridiano magnético con el meridiano geográfico, sino que forma con él un ángulo, variable para cada lugar, que se llama ángulo de declinación o simplemente declinación. Este ángulo experimenta en un mismo lugar variaciones diurnas, perfectamente determinadas. En Europa, la extremidad austral de la aguja, que es la que mira al norte, se dirige, desde el amanecer hasta la hora de máxima temperatura, hacia el oeste, volviendo entonces a desandar el camino recorrido a medida que la temperatura disminuye. Además de estas variaciones diurnas, experimenta la aguja una variación que se denomina secular por el tiempo que tarda en efectuarse a fines del siglo XVI, la declinación de los imanes era oriental en Europa ( $11^{\circ} 30'$  en París); comenzó entonces a disminuir hasta mediados del siglo XVII, en que se hizo nula, pasando a ser occidental desde aquella época hasta 1814, año en que alcanzó su máximo ( $22^{\circ} 24'$ ). Desde 1814 ha vuelto a decrecer sensiblemente, puesto que, en 1876, el ángulo de declinación occidental era de  $17^{\circ}$  en París.

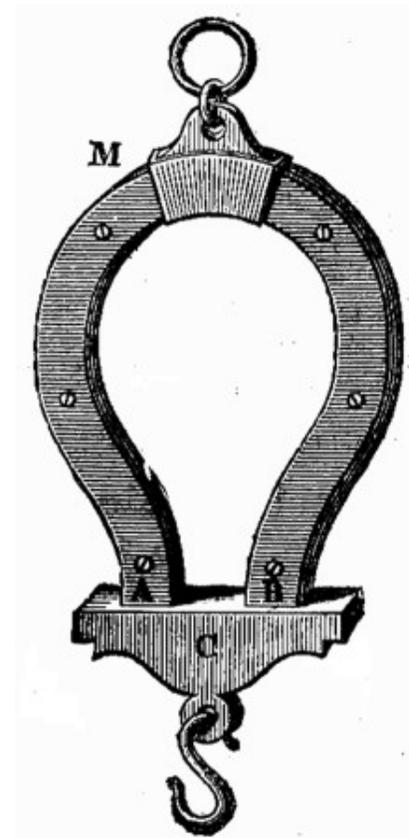


Figura 41

El ángulo de declinación se mide con el aparato denominado brújula de declinación, el cual es un auxiliar precioso en los viajes, especialmente en los marítimos, porque indica aproximadamente la dirección del meridiano del lugar donde el buque está situado. La brújula de declinación está esencialmente constituida por un imán, móvil alrededor de un eje vertical, y provisto de un círculo graduado, de papel o de talco, que, por lo general, va invariablemente unido al imán de modo que pueda girar con él, alrededor del mismo eje. En este círculo está marcada además la rosa de los vientos. En los barcos va la brújula colocada en una caja, cerca del timonel, para que éste pueda observarla fácilmente; en el fondo de la caja hay trazada una recta paralela a la quilla del barco, que se llama línea de fe; la aguja está suspendida por el sistema de Cardán, con objeto de que, cualesquiera que sean los movimientos del buque se mantenga siempre en una posición horizontal.

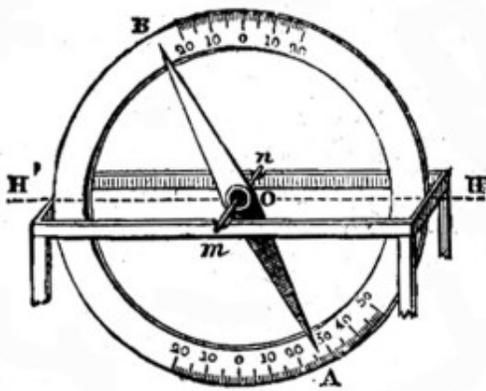


Figura 42

Si colocado un imán en el plano del meridiano magnético, se le suspende de modo que pueda girar libremente en un círculo vertical alrededor de un eje horizontal, se observará que la posición de equilibrio que toma, después de cierto número de oscilaciones, forma un ángulo, constante para todos los imanes en el mismo lugar, con el plano horizontal que pasa por aquel punto. Este ángulo se denomina ángulo de inclinación magnética del lugar que se considere, o sencillamente inclinación de aquel lugar. Para medirlo se emplea la brújula de inclinación (fig. 42), la cual se compone, de una aguja imanada AB, móvil alrededor de un eje horizontal mn, y cuyos polos A y B recorren un círculo graduado. El plano vertical que pasa por la aguja ha de coincidir exactamente con el plano del meridiano magnético, pues de lo contrario, el ángulo observado sería menor que el verdadero. La inclinación, lo mismo que la declinación, experimenta variaciones periódicas aunque de menor amplitud, al menos en apariencia; su valor absoluto no está bien determinado y, por otra parte, es difícil de apreciar con toda exactitud por la imperfección de los aparatos.

Además de las variaciones regulares y periódicas, observadas tanto en la declinación como en la inclinación de los imanes, sometidos a la acción libre de la tierra, se notan también muchas veces unas variaciones bruscas y hasta violentas en la posición de las agujas, las cuales han sido denominadas por los físicos tempestades magnéticas. La aparición del fenómeno conocido con el nombre de auroras boreales, es una de tantas causas que originan aquellas bruscas perturbaciones.

### **§ 7. — Imanación por la acción de la tierra.**

Puesto que la tierra obra como un imán, según ya hemos demostrado, es claro que su influencia debe desarrollar en el hierro y el acero el poder magnético. Para convencernos de ello, bastará colocar una barra de hierro dulce en la misma dirección que toma la brújula de inclinación del lugar que se considere, y observaremos que la barra queda imanada por la influencia de la tierra; mas como el hierro dulce no tiene fuerza coercitiva ninguna, perderá su poder magnético en cuanto se le separe de aquella dirección. El hierro ordinario y, sobre todo, el acero, adquieren, por la influencia de la tierra, un poder magnético permanente, si colocados en la dirección de la brújula de inclinación, se les golpea con un martillo en una de sus extremidades. Esto explica por qué los instrumentos de los herreros, que son de acero y están sometidos constantemente a choques y percusiones en todos sentidos, acaban por adquirir un poder magnético muy sensible. Un haz de alambres de hierro se imana, por la influencia de la tierra, cuando se les tuerce, siempre que se hallen previamente colocados en la dirección conveniente.

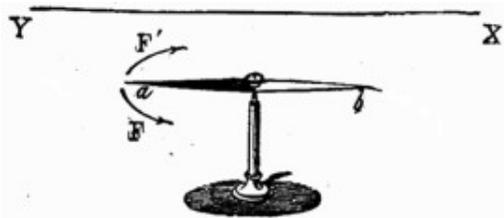
## CAPÍTULO 4

### EL ELECTROMAGNETISMO

#### § 1. — Descubrimiento de Oersted. Ley de Ampère

Al hablar, en el párrafo 6 del capítulo anterior, de las perturbaciones accidentales de las agujas, que denominamos tempestades eléctricas, nos faltó añadir que cuando las descargas eléctricas se producen en la proximidad de las brújulas éstas experimentan también cambios bruscos de dirección. Este fenómeno, observado con frecuencia a bordo de los barcos al caer el rayo, había hecho sospechar a los físicos que entre el magnetismo y la electricidad debía existir alguna relación, aunque las ideas que sobre ello tenían eran vagas y sin consistencia. Hoy la relación entre los dos agentes es tan palpable que no es posible que quepa la menor duda en este punto.

En 1820, el sabio físico danés Oersted, profesor de la universidad de Copenhague, hizo un descubrimiento importantísimo. Habiendo colocado un alambre, que formaba parte del circuito exterior de una pila, paralelamente a la dirección de una aguja imanada, móvil alrededor de un eje vertical, observó que, en cuanto pasaba la corriente, la aguja se desviaba de su posición de equilibrio, tendiendo a colocarse en una posición perpendicular a la dirección de la corriente.



*Figura 43*

Esta desviación variaba con el sentido de la corriente, es decir, que el polo austral de la aguja se dirigía hacia el oeste hacia el este según que la corriente iba del sur al norte o del norte al sur. Sucedió esto cuando el alambre *XY* (fig. 43) estaba situado por encima

de la aguja, y lo contrario, cuando se hallaba colocado por debajo.

La ley que rige las desviaciones de la aguja, por la influencia de las corrientes, fue descubierta y formulada por Ampère, sabio francés, en el mismo año en que Oersted hizo su importantísimo descubrimiento. Para definir Ampère el sentido de la corriente, suponía que el observador se hallaba colocado paralelamente a la dirección del alambre conductor, con la cara vuelta al alambre y de modo que la

corriente fuera de los pies a la cabeza. Admitida esta definición convencional, pero perfectamente legítima, la ley descubierta por Ampère puede formularse así: *Toda corriente rectilínea que obra sobre un imán, lo desvía siempre de su posición de equilibrio, de modo que el polo austral del imán se dirija a la izquierda del observador y por lo tanto, a la izquierda de la corriente.* Claro está que; si el imán está fijo, la influencia aparente de la corriente eléctrica será nula; pero en realidad tenderá siempre a desviar el polo austral hacia la izquierda. La ley de Ampère es general, cualquiera que sea la dirección de la corriente con relación a la línea de los polos del imán, y por eso una corriente curvilínea, que puede considerarse como formada por una infinidad de elementos rectilíneos infinitamente pequeños, actuará sobre la aguja, siguiendo la misma ley.

## §2. — Medida de la intensidad de las corrientes. El galvanómetro

Fácilmente se comprende que la influencia de la corriente sobre el imán debe depender de la intensidad de aquella.

Y así sucede en efecto. Las corrientes de intensidad muy débil no producen en la aguja desviación apreciable, porque se opone a ello la acción directriz de la tierra. Pero sí la ejercen, cuando una misma corriente se hace pasar varias veces: y - simultáneamente en la proximidad de la aguja, siempre que los efectos de cada porción de corriente no se contrarresten.

Supongamos una aguja  $ab$  (fig. 44), móvil alrededor de un eje vertical. Hagamos pasar, en la proximidad de esta aguja, y en el sentido que indican las flechas, una corriente  $ABCDF$ .

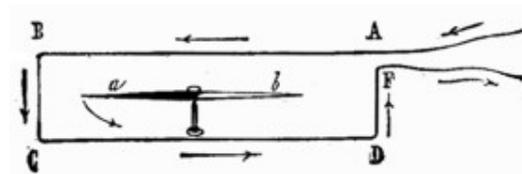


Figura 44

Consideremos las cuatro porciones rectilíneas  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  y  $DF$ ; es fácil convencerse de que cada porción de corriente tiene su izquierda hacia el mismo lado del plano vertical que pasa por la aguja. Luego, las cuatro acciones parciales se sumarán para producir el mismo efecto. Si ahora, en vez de una sola vuelta al rededor de la aguja, se hace de modo que el alambre dé el número de vueltas que sea necesario, la suma total de todas las acciones parciales llegará a vencer la acción directriz de la tierra.

Este resultado se obtiene más fácilmente, valiéndose de una disposición particular ideada por Nobili. Llámase sistema astático, al sistema de dos agujas imanadas, perfectamente iguales en poder magnético, invariablemente unidas, situadas paralelamente entre sí y colocadas de modo que sus polos opuestos queden frente a frente. La acción directriz de la tierra es nula de todo punto sobre un sistema astático, y también lo será la acción de una corriente por intensa que se la suponga. Pero si se admite que una de las agujas tiene un poder magnético algo superior al de la otra, la acción de la tierra, aunque débil, se dejará sentir sobre el sistema, el cual, abandonado a sí mismo, de modo que pueda oscilar alrededor de un eje vertical, tomará la dirección del meridiano magnético. La acción de las corrientes, en cambio, aun de las más débiles, será bastante enérgica sobre este sistema casi astático, si se les hace dar, en torno de las agujas, un número de vueltas suficiente.

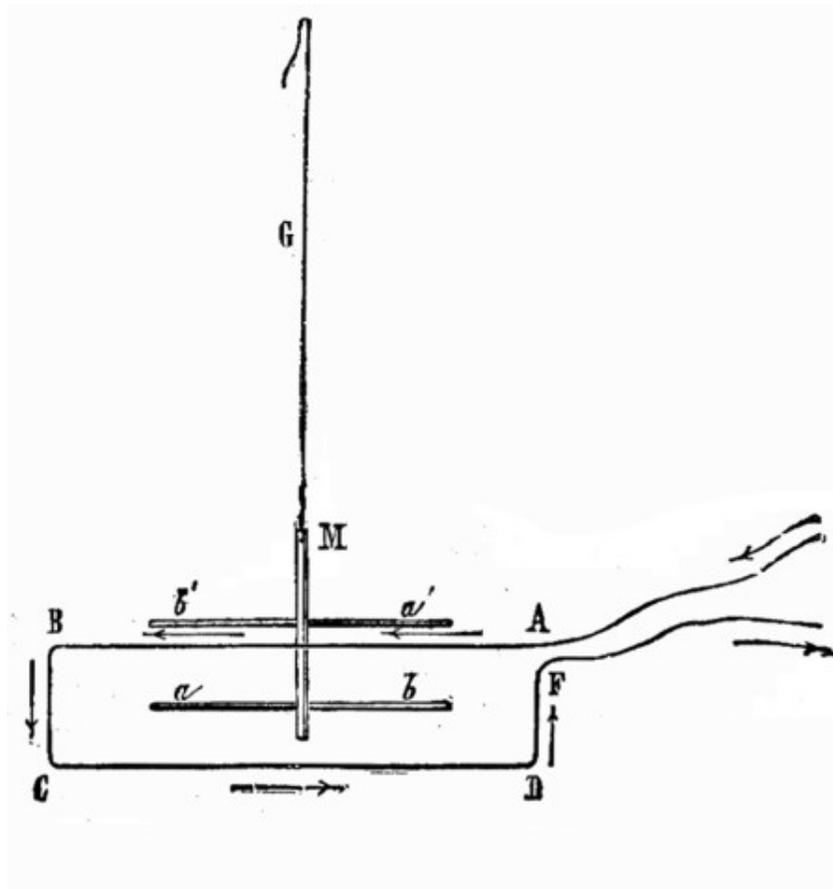


Figura 45

Para que se comprenda mejor el modo de actuar de las corrientes, consideremos el sistema de dos agujas  $ab$ ,  $a'b'$  (fig. 45) y supongamos que se halla sometido a la acción de una corriente  $ABCDF$ . Ya hemos visto que, sobre la aguja inferior, todas las porciones rectilíneas  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ,  $DF$  de la corriente, tienden a desviar el polo austral de la aguja en el mismo sentido. Sobre la aguja superior, la acción del trozo  $AB$ , concurre al mismo fin, porque si bien es cierto que la corriente pasa por debajo y no por encima, como sucede con la aguja inferior, en cambio los polos de ambas están invertidos. Las otras tres porciones de la corriente actúan sobre la aguja superior en sentido contrario, mas, por hallarse más lejanas, su acción es débil, de modo que, en último resultado, la acción total del rectángulo  $ABCDF$  sobre la aguja superior tiende al mismo fin que la acción ejercida en la aguja inferior.

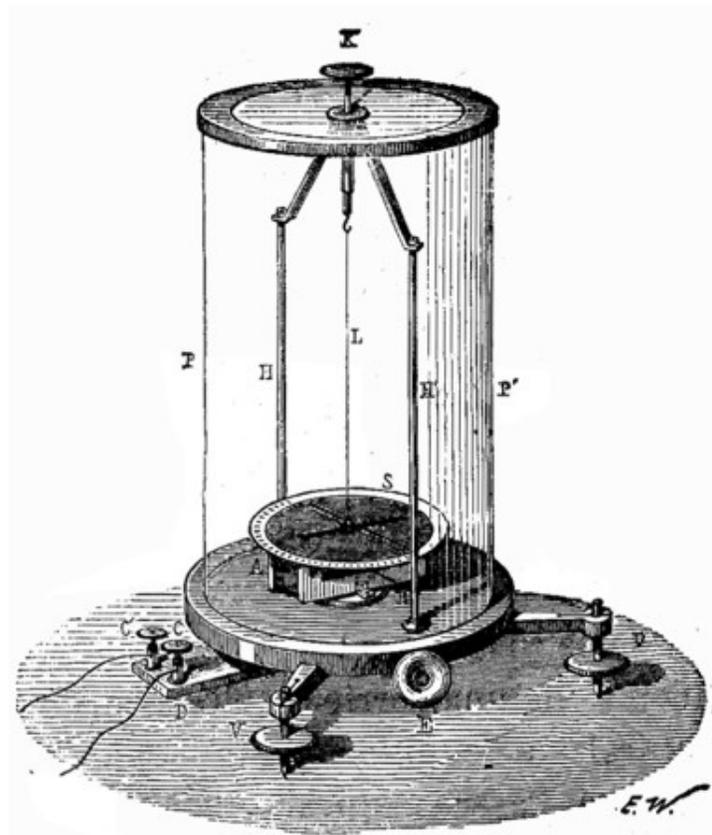


Figura 46

Fundándose en todo esto, inventó Nobili el precioso aparato denominado galvanómetro, que sirve para apreciar la dirección de las corrientes y medir su intensidad. Este aparato se compone de las partes siguientes : Un rectángulo de

marfil AB (fig. 46) en el cual va arrollado un alambre de cobre, forrado en seda, y cuyos dos extremos terminan en los tornillos de presión e c'; un sistema de dos agujas, suspendido por una hebra de algodón de la parte superior del aparato, y por último, un círculo graduado, cuyo centro coincide con el eje de rotación de las agujas, y sobre el cual la aguja superior marca las desviaciones producidas por las corrientes. Todas estas partes van metidas en un fanal de cristal para evitar las perturbaciones que ocasionaría el aire.

El galvanómetro sirve, como hemos dicho, para averiguar el sentido de una corriente y medir su intensidad. Para obtener estos resultados, se debe comenzar por dar al aparato la orientación conveniente, colocando el rectángulo de marfil en dirección paralela a la de las agujas, y haciendo girar al círculo graduado, hasta que el cero coincida con el polo austral de la aguja superior. Esto se consigue por medio del botón exterior E.

Puesto el aparato en comunicación con el manantial eléctrico, para lo cual basta fijar los extremos del alambre conductor en los dos tornillos de presión ee', es fácil averiguar, por la desviación, hacia la izquierda o hacia la derecha, de la aguja, cuál es el sentido de la corriente. La intensidad se medirá por el número de grados de la desviación. Si ésta no pasa de 30° se considera que los ángulos de desviación miden la intensidad relativa de las corrientes.

Las resistencias que opone el conductor al paso de la corriente, disminuyen su intensidad. Estas resistencias aumentan con la longitud del hilo, y también cuando disminuye su sección. La naturaleza de los alambres influye así mismo en el paso de la corriente. Para medir la resistencia alambre L, que forma el circuito exterior. En esta pila se produce constantemente una corriente que va del cobre al cinc. Si ahora acercamos a la parte superior L de la corriente un imán, colocado paralelamente al plano vertical que pasa por el alambre, se verá que éste se desvía de su posición, tendiendo a ponerse en cruz con el imán. El polo austral, según la ley de Ampère, quedará a la izquierda de la corriente.

### § 3. — Acción de los imanes sobre las corrientes.

Hemos visto que los imanes móviles, sometidos a la influencia de una corriente eléctrica, se desvían de su posición natural de equilibrio, siguiendo la ley

descubierta por, Ampère. Parece natural suponer, en virtud del principio de la igualdad entre la acción y la reacción, que si la corriente influye sobre el imán, éste a su vez influirá de una manera análoga sobre aquélla. Es más, es necesario admitir lógicamente que esta influencia estará sometida también a la misma ley. Y así sucede, en efecto. Para demostrarlo experimentalmente, basta someter una corriente móvil a la acción de un imán fijo.

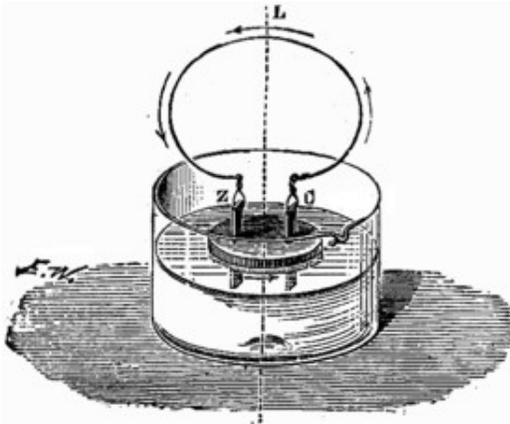


Figura 47

La figura 47 enseña la disposición que puede darse a la pila para obtener una corriente móvil. En un vaso que contenga agua acidulada con ácido sulfúrico se coloca un flotador de corcho, que lleva dos láminas Z y C de cinc y cobre respectivamente, puestas en comunicación entre sí por el alambre L, que forma el circuito exterior. En esta pila se produce constantemente una corriente que va

del cobre al cinc. Si ahora acercamos a la parte superior L de la corriente un imán, colocado paralelamente al plano vertical que pasa por el alambre, se verá que éste se desvía de su posición, tendiendo a ponerse en cruz con el imán. El polo austral, según la ley de Ampère, quedará á la izquierda de la corriente.

#### § 4. — Acción de una corriente sobre otra.

Supongamos dos corrientes paralelas, de las cuales una sea móvil. Vamos a demostrar experimentalmente que si estas corrientes paralelas son de igual sentido se atraen, y si son de sentido contrario se rechazan.

Para ello emplearemos el aparato ideado por Ampère, para el estudio de las corrientes. (fig. 48), que consiste en un rectángulo *fedg*, formado por un alambre de cobre, cuyas dos extremidades, como indica la figura, van a parar a dos capsulitas *a*, *b*, llenas de mercurio. Las dos capsulitas están colocadas una sobre otra, de modo que los extremos del alambre se hallen en la misma línea vertical, formando el eje de rotación del rectángulo.

La corriente llega al aparato por el alambre M, sube la columna metálica H y entra por la capsulita *a* en el rectángulo, recorriéndolo en el sentido indicado por las



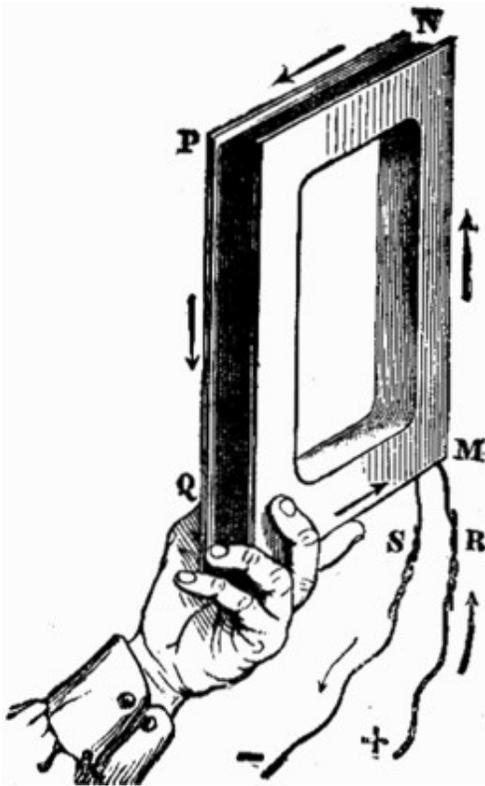


Figura 49

Para demostrarlo emplearemos los mismos aparatos que nos han servido para el estudio de las corrientes paralelas. Acercamos el lado  $PN$  de la corriente fija al lado  $fe$  de la corriente móvil (fig. 50) y se verá que tienden a hacerse paralelos, es decir que las porciones  $OP$ ,  $of$  de las corrientes tienden a acercarse, mientras las porciones  $OP$  y  $oe$  tienden a alejarse entre sí.

### § 5. — Acción de la tierra sobre las corrientes.

Influyendo los imanes sobre las corrientes, como a su tiempo se dijo, y pudiendo considerarse la tierra como un imán de extraordinarias dimensiones, es claro que influirá también sobre las corrientes, siguiendo

en todo la ley de Ampère. Y en efecto, si se abandona una corriente cerrada, móvil alrededor de un eje vertical, a la sola acción de la tierra, se echará de ver en seguida que la corriente se coloca en una posición perpendicular al meridiano magnético.

El aparato de la figura 48 puede servir para demostrarlo. Las dos porciones horizontales de corriente, influidas en sentido contrario por la tierra, neutralizan sus respectivas tendencias; pero las dos porciones verticales de,  $fg$ , deben dirigirse al este y al oeste respectivamente, según la ley de Ampère; tendiendo,

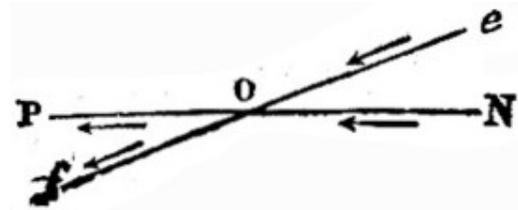


Figura 50

pues, estas dos corrientes verticales a producir el mismo efecto, es evidente que todo el sistema se pondrá en movimiento, hasta encontrar la posición de equilibrio que, como hemos dicho, es la dirección perpendicular al meridiano magnético.

### § 6. — Los solenoides.

Para la demostración anterior hicimos uso de una corriente rectangular; el resultado hubiera sido el mismo si hubiésemos empleado una corriente circular cualquiera (fig. 51).

Consideremos ahora un conductor formado por un hilo de cobre, cubierto de seda y dispuesto del modo que indica la figura 52. Como se ve claramente por la figura, la corriente que atraviesa un conductor de esta especie puede considerarse como formada por una serie de corrientes circulares y de igual sentido, situadas en planos paralelos y perpendiculares a la recta que une sus centros. En cuanto a las dos corrientes horizontales, podemos hacer abstracción de ellas, por ser iguales, paralelas y de sentido contrario. Este aparato ha recibido de Ampère, su inventor, el nombre de solenoide.

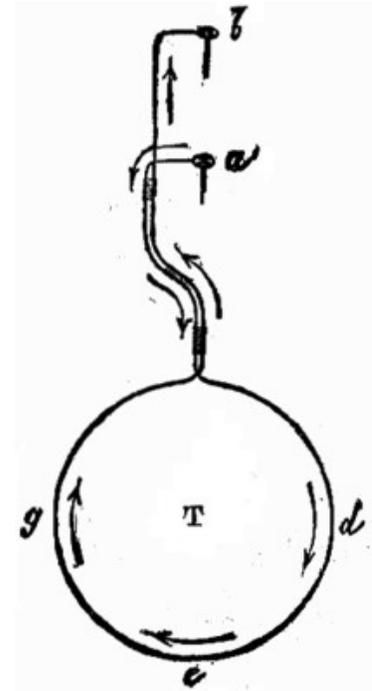
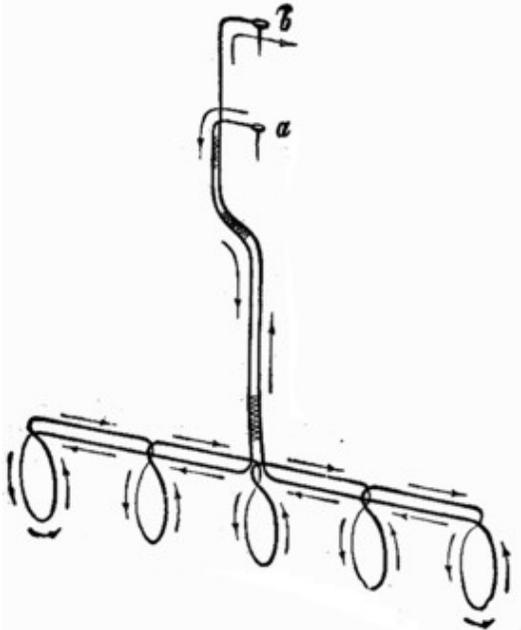


Figura 51

Aplicando las leyes que hemos encontrado precedentemente, es fácil determinar cuál es la acción de la tierra sobre un solenoide. En efecto, cada una de las corrientes circulares que componen el solenoide, tiende a colocarse perpendicularmente al plano del meridiano magnético.

Concurriendo todas al mismo fin, por ser las corrientes de igual sentido, es claro que el sistema completo girará alrededor de su eje vertical  $ab$ , hasta que el eje horizontal, o sea la recta que une los centros, coincida con la dirección del meridiano magnético. Por otra parte es fácil ver, que debiendo hallarse el polo austral de la tierra a la izquierda de las corrientes parciales que componen el solenoide, éste se orientará de modo que uno de sus extremos (siempre el mismo, mientras no cambie el sentido de la corriente) se dirija constantemente al norte. Según esto, el solenoide tiene dos polos, boreal y austral, los cuales cambian con el sentido de la corriente. Si separamos el solenoide de su posición de equilibrio, vuelve, después de cierto número de oscilaciones, a coincidir con la dirección del meridiano magnético. La acción de la tierra sobre un solenoide es, pues, idéntica a la que ejerce sobre un imán.

Sometamos ahora el solenoide a la acción de una corriente rectilínea. En virtud de las leyes ya conocidas, podemos asegurar, desde luego, que el solenoide tenderá a ponerse en cruz con la corriente rectilínea, porque cada una de las corrientes circulares que lo componen tiende a ser perpendicular a aquélla.



*Figura 52*

También podemos asegurar que su polo austral se dirigirá a la izquierda de la corriente. Por lo demás la experiencia demuestra todo lo que la teoría había previsto. Vemos, pues, que también en este caso, puede considerarse el solenoide como un imán.

Por último, si se colocan dos solenoides a corta distancia uno de otro, de modo que las corrientes que los atraviesan puedan influirse recíprocamente, se observará que los polos del mismo nombre se rechazan y los de nombre contrario se atraen. La ley de las

influencias que las corrientes ejercen entre sí, explica perfectamente este fenómeno. Cuando están, en efecto, dos polos del mismo nombre cercanos entre sí, las corrientes elementales que componen un solenoide son paralelas, y de distinto sentido que las que componen el otro, y debe, por lo tanto, haber repulsión.

### § 7. — Acción de los imanes sobre los solenoides teoría de Ampère

Para poder asimilar completamente los imanes a los solenoides, fáltanos averiguar experimentalmente cuál es la acción que aquéllos ejercen sobre éstos. Esta acción es perfectamente idéntica a la que ejercen dos imanes entre sí, o dos solenoides entre sí. Acercando, por ejemplo, el polo austral de un imán al polo austral de un solenoide, dispuesto de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje vertical, se observa una repulsión entre los dos polos del mismo nombre; pero, si los polos que se ponen en presencia son de nombre contrario, habrá atracción entre ambos., Lo mismo sucede cuando se acerca un solenoide a un imán móvil alrededor de un eje vertical.

Estos fenómenos, descubiertos por Ampère, le han llevado a formular una teoría del magnetismo, completamente distinta de la de los dos fluidos que oportunamente expusimos. Según esta teoría los imanes son haces de verdaderos solenoides; las partículas materiales que componen el imán están rodeadas por corrientes circulares, paralelas entre si y de igual sentido. En el hierro dulce y en el acero no imanado, las corrientes circulares existen naturalmente; pero no son paralelas ni de igual sentido; el trabajo de la imanación consiste en orientar todas estas corrientes de modo que concurran a constituir el solenoide. El hierro dulce vuelve a desimantarse tan pronto como cesa la influencia que había orientado las corrientes elementales; el acero, por el contrario, cuyas partículas se orientan difícilmente, conserva su imanación de una manera permanente. Tal es en sustancia la teoría de Ampère, teoría verdaderamente científica, fundada en hechos innegables y- que no sólo explica los fenómenos conocidos, sino que prevé otros nuevos.

### **§ 8. — Imanación por las corrientes**

Poco tiempo después de los descubrimientos de Oersted y Ampère, hizo Arago una observación importante; en un montón de limaduras de hierro introdujo un alambre atravesado por una corriente, y habiendo retirado el alambre, observó que salía cubierto de partículas de hierro colocadas transversalmente a la dirección del conductor. Esta orientación de las partículas podía hacer creer desde luego que no se trataba de una simple atracción de cuerpos ligeros, sino de una imanación o algo semejante. Y, en efecto, poniendo, en vez de limaduras de hierro, otras sustancias no magnéticas, dejó de producirse el fenómeno. Prosiguiendo sus experiencias, colocó una aguja de hierro dulce primero y luego una de acero, muy próximas al alambre de cobre y en cruz con él y observó que tanto una como otra se convertían en verdaderos imanes, los cuales tenían su polo austral a la izquierda de la corriente. La imanación del hierro dulce, como era fácil de prever, cesaba con la acción de la corriente eléctrica; pero la del acero llegaba a ser permanente.

La imanación del acero y la del hierro puede ser mucho más enérgica, según resulta de las experiencias de Ampère y Arago, cuando se coloca la barra que se ha de imanar en el interior de una hélice atravesada por una corriente. Ampère y Arago enrollaban en un tubo de vidrio (fig. 53) un conductor de cobre, y colocaban la

barra de acero en el interior del tubo. De este modo obtenían imanaciones muy enérgicas. El sentido de la imanación depende de la dirección de la corriente y del sentido en que se halle enrollado el hilo, conforme a la ley de Ampère.



*Figura 53*

Los antiguos procedimientos de imanación de que hablamos en el Capítulo 3 (§ 5) han sido desechados completamente, después de conocida la imanación del acero por las corrientes. Hoy, que la construcción de imanes permanentes ha adquirido extraordinaria importancia por la invención de las máquinas magneto-eléctricas, de que hablaremos a su tiempo, sería punto menos que imposible aplicar los antiguos métodos.

### **§ 9. — Los electroimanes**

Acabamos de ver que el hierro dulce se imana por la influencia de una corriente y que esta imanación es mucho más enérgica, cuando se coloca la barra que se ha de imanar en el interior de una hélice de cobre por donde pasa la corriente.

La intensidad de la imanación es tanto mayor, cuanto más puro y homogéneo es el hierro empleado; también aumenta con el número de vueltas que da el hilo conductor alrededor de la barra. El conjunto de la barra de hierro dulce y del alambre enrollado constituye lo que se llama un electroimán.

Ordinariamente se da a los electro-imanés la forma de herradura, para lo cual se toma un cilindro de hierro dulce que se encorva de modo que sus dos bases queden en un mismo plano (fig. 54); luego se enrolla un alambre en cada brazo, formando dos carretes.

El alambre ha de ir de tal manera que si se supone derecho el cilindro: de hierro, la corriente atravesase el conductor siempre en el mismo sentido; y por eso, cuando el hierro tiene la forma de herradura, parece que los carretes tienen los alambres enrollados en sentido contrario.

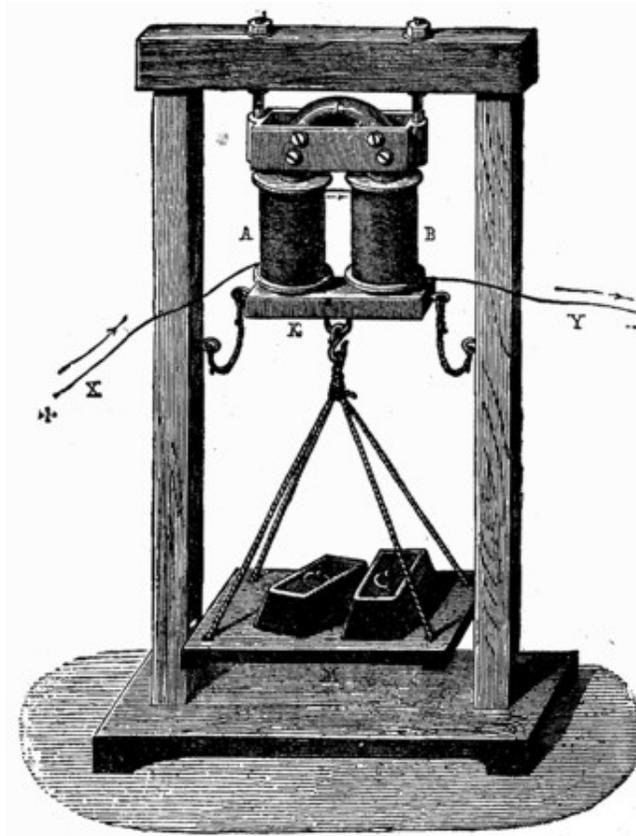


Figura 54

También se construyen electroimanes empleando dos cilindros de hierro dulce, colocados paralelamente reunidos por una placa de hierro (fig. 55).

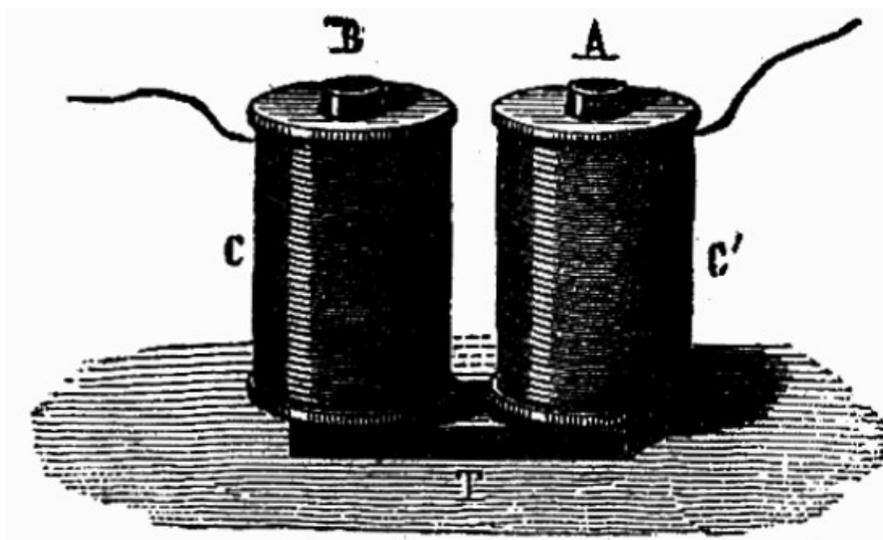


Figura 55

En cada cilindro va colocado un carrete, como en el caso anterior. Por lo demás, los electro-imanés pueden tener formas muy variadas según el objeto a que se les destina.

El poder magnético de los electroimanés es muy considerable; depende, como hemos dicho, de la calidad del hierro y del número de vueltas que da el alambre, así como también del diámetro de éste. El poder magnético es proporcional, dentro de ciertos límites, a la intensidad de la corriente; pero se comprende muy bien que ese poder no crecerá de una manera indefinida, porque cuando los elementos magnéticos están todos orientados perpendicularmente al eje de la barra, ya no es posible aumentar imanación.

## CAPÍTULO 5 LA INDUCCIÓN

### § 1. — Experimento de Faraday

En 1831 hizo el célebre físico inglés Faraday el experimento siguiente; tomó un cilindro de madera y enrolló en él paralelamente dos alambres aislados, de los cuales puso uno en comunicación con una pila de diez elementos y el otro con un galvanómetro muy sensible. Faraday esperaba que al pasar la corriente por el primer alambre se produciría en el segundo, por influencia, otra corriente, y no habiendo obtenido el resultado apetecido, aumentó el número de elementos de la pila, aunque siempre sin éxito.

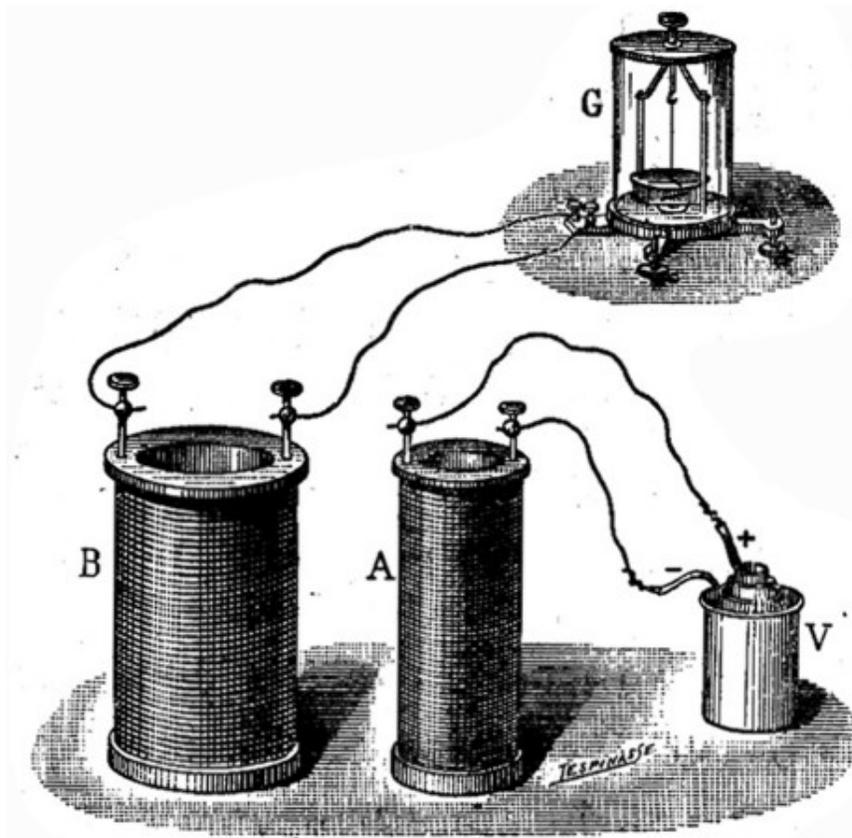


Figura 56

Pero, habiendo observado el galvanómetro en el momento preciso en que cerraba el circuito, vio que la aguja se desviaba de su posición de equilibrio; volviendo inmediatamente a ella, y manteniéndose tranquila mientras pasaba la corriente.

En cuanto se rompía el circuito, se producía una nueva desviación de la aguja, que también, como la primera, era momentánea.

## §2. — Inducción por las corrientes

El experimento de Faraday puede repetirse en mejores condiciones, tomando dos carretes *A*, *B* (fig. 56), de distinto diámetro, de modo que uno quepa dentro de otro, y poniendo en comunicación el carrete *A* con una pila de Daniell, por ejemplo, y el carrete *B* con un galvanómetro.

Metido un carrete dentro de otro, se observa que, en el momento de cerrar el circuito, se produce en el carrete *B* una corriente inversa de la corriente que da la pila; pero esta corriente inversa es casi instantánea, pues la aguja del galvanómetro vuelve inmediatamente a su posición de equilibrio. Si se rompe el circuito se produce en el acto una nueva corriente, momentánea como la primera, y a la cual llamaremos directa por ser de igual sentido que la que da la pila.

Si ahora suponemos cerrado el circuito, y los dos carretes separados, de modo que no influya uno sobre otro, observaremos que, al acercar bruscamente el carrete *A* al carrete *B*, se produce en este último una corriente inversa y que, al alejarlo, bruscamente también, se manifiesta en el galvanómetro una corriente directa.

Supongamos por último que, en cualquiera de los experimentos anteriores y mientras la aguja permanece inmóvil, se aumenta la intensidad de la corriente; en tal caso se obtendrá una corriente inversa. Si, por el contrario, la intensidad de la corriente disminuye, se producirá en el acto una corriente directa.

Estas corrientes, que se obtienen por la influencia de otras, han recibido de los físicos el nombre de corrientes inducidas. La que se produce en el momento de cerrar el circuito, se denomina corriente inducida, inversa, y la que se manifiesta en el momento de romperlo, corriente inducida directa. Corriente inductora es la que, por su influencia, produce las inducidas. Por último, el conjunto de estos fenómenos y de otros que hemos de estudiar en este capítulo, ha recibido el nombre de inducción.

## § 3. — Inducción por los imanes

Si la teoría de Ampere es cierta, es decir, si los imanes están constituidos por corrientes elementales, paralelas y de igual sentido, es necesario admitir a priori que, al acercar uno de los polos de un imán a un circuito cerrado (como el carrete  $B$  de la figura 56), ó al alejarlo de él, se ha de producir en el circuito una corriente de inducción. La experiencia, en efecto, viene en apoyo de la teoría. Desde el momento en que se acerca al circuito cerrado uno de los polos de un imán, se manifiesta en el galvanómetro una corriente inducida, opuesta a las que, según la teoría de Ampere, recorren el imán, y, cuando éste se aleja del carrete, se produce una corriente inducida directa.

Introduciendo en el hueco del carrete un cilindro de hierro dulce y acercando el imán, moviéndolo en la dirección del eje del carrete, se produce una corriente inducida inversa, de mayor intensidad que la obtenida sin el cilindro. Depende esto de que el hierro dulce se imana por influencia y ejerce una reacción sobre la hélice. La aguja del galvanómetro acusa, en efecto, la existencia de una corriente de mayor intensidad en este experimento que en el anterior. Cuando la distancia del imán al hierro dulce se cambia, varía también la intensidad del poder magnético del hierro por lo tanto, varía en proporción su influencia sobre la hélice; en este caso debe producirse y se produce efectivamente, una corriente inducida, inversa ó directa, según .que el imán se acerque ó se aleje del cilindro de hierro dulce.

#### **§ 4. — Inducción por la influencia de la tierra**

Otra consecuencia de la teoría de Ampère, que la experiencia confirma, es que, siendo la tierra semejante a un inmenso imán o, lo que es lo mismo, a un solenoide, su influencia debe producir, en los circuitos cerrados, corrientes inducidas. El ilustre Faraday hizo construir un solenoide que podía girar alrededor de un eje horizontal, perpendicular al eje propio del solenoide, y después de colocarlo en la dirección de la aguja de inclinación, de modo que girase en el plano del meridiano magnético, le imprimió un brusco movimiento de rotación alrededor de su eje horizontal. A cada semi-revolución se producía en el hiló una corriente, alternativamente directa e inversa, con el cual quedaba probada la influencia inductora de la tierra en los circuitos cerrados.

### § 5. — Carrete de Ruhmkorff

Al descubrimiento de las corrientes de inducción, siguió de cerca la idea de buscarles aplicaciones prácticas, y, tras esta idea vino después la invención de las máquinas en las cuales se aprovechan aquellas corrientes. Pueden dividirse estas máquinas en tres categorías: reo-eléctricas, magneto-eléctricas y dinamo-eléctricas. En las primeras se utiliza como corriente inductora la corriente de una pila, en las segundas es el inductor un imán permanente, y en las terceras, que sólo emplean la fuerza mecánica, el funcionamiento se obtiene aprovechando el escaso magnetismo remanente que existe en el hierro dulce de los mismos electroimanes.

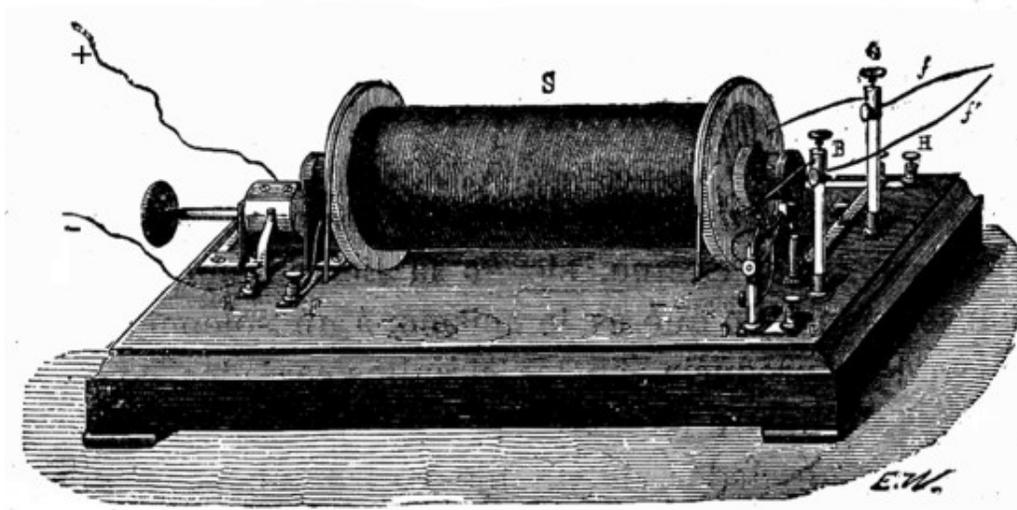


Figura 57

Al hablar de las aplicaciones de la electricidad nos extenderemos algo acerca de las máquinas magneto y dinamo-eléctricas; por ahora sólo describiremos la máquina tipo de la primera categoría que es el carrete de Ruhmkorff (fig. 57).

Compónese esta máquina de dos carretes: uno interior, puesto en comunicación con la pila, y que es el inductor, y otro exterior que constituye el carrete inducido. El primero está formado por un alambre de 2 a 3 milímetros de diámetro y de 50 a 60 metros de longitud; en el segundo el alambre es de 1/4 de milímetro, y de una longitud que puede llegar hasta 130 kilómetros. Los dos extremos del alambre inductor van a parar a los tornillos de presión *R*, y los del alambre inducido a dos columnas aisladoras de vidrio *B*, *C*. Por último, en el interior del carrete inductor hay

un haz cilíndrico de alambres de hierro dulce, terminados en sus extremos por dos chapas del mismo metal.

Cada vez que se cierra el circuito de la pila, se produce en el carrete exterior una corriente inducida inversa, por efecto de la influencia que ejerce la hélice inductora y por la imanación del haz de hierro dulce. Y del mismo modo, cada vez que el circuito se interrumpe, nace en la hélice exterior una corriente inducida directa. Sentado esto, si se consigue multiplicar el número de pasos de la corriente, abriendo y cerrando el circuito, se obtendrán una serie de corrientes instantáneas inducidas, tan seguidas e intensas, que sus efectos serán superiores a los de las baterías más enérgicas. Para obtener este resultado, se añade a la máquina un aparato denominado interruptor y que está constituido de la manera siguiente: La corriente de la pila, después de haber atravesado el alambre inductor, va a parar a la columna metálica aislada  $D$ ; en esta columna está articulado un martillete de hierro dulce, que puede oscilar entre el extremo del haz de alambres de hierro y una columnilla metálica,  $e$ ; por el martillete y la columna  $e$  sigue su camino la corriente para volver a la pila. Mientras la corriente no circula, permanece el martillo apoyado, en virtud de su propio peso, sobre la columna  $e$ ; pero, en cuanto la corriente pasa se imana el haz de alambres y atrae al martillo, el cual, al separarse de la columna en que se apoyaba, interrumpe la corriente. Desimánase entonces el haz de alambres de hierro y el martillo cae de nuevo, cerrando otra vez el circuito y produciendo una nueva atracción y una interrupción nueva. Repítense estas alternativas de una manera rápida y continua, haciendo nacer en el alambre inducido otras tantas corrientes, las cuales pueden ser numerosísimas con ciertos interruptores especiales. Con el de Gordon se obtienen hasta 6,000 interrupciones por segundo.

Las aplicaciones de esta máquina son muy numerosas; con frecuencia se le emplea en inflamar la pólvora de las minas y en otras muchas necesidades industriales. En los gabinetes de física se hacen con ella diversos experimentos, como el de los tubos de Geissler, con los cuales se obtienen efectos luminosos muy bellos.

## SEGUNDA PARTE

### LAS APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD

#### CAPÍTULO 1

#### EL TELÉGRAFO ELÉCTRICO

##### § 1. — Notas históricas

Entre todas las aplicaciones de la electricidad, la telegrafía eléctrica es, sin disputa, la que mayor suma de beneficios ha aportado al hombre. Una inmensa red telegráfica rodea, el mundo entero, permitiendo transmitir el pensamiento humano con la rapidez del rayo y a través de los continentes y de los mares, a todas las regiones del planeta. La ciencia, la política, el comercio, la administración, la policía, utilizan constantemente este maravilloso invento. Gracias al telégrafo, se pueden anunciar con anticipación las tempestades atmosféricas y prevenirse las embarcaciones contra sus destructores efectos. Si la guerra se vale del telégrafo para agrandar tal vez la magnitud de sus desastres, en la paz, en cambio, los beneficios que produce son tan inmensos que no es posible negarle la supremacía sobre todas las demás invenciones que el ingenio humano ha sabido sacar de las propiedades eléctricas de los cuerpos.

El arte de comunicarse rápidamente los hombres desde grandes distancias es muy antiguo; pero los medios puestos en práctica para conseguir aquel objeto eran tan imperfectos, que puede decirse con toda verdad, que sólo en los tiempos modernos ha llegado a adquirir dicho arte su verdadero desarrollo. Antes de la invención de la pila, se habían hecho algunos ensayos para aplicar las descargas eléctricas a la telegrafía. Lessage, en 1774, transmitía la electricidad de una máquina, por medio de alambres aislados, a otros tantos electroscopios, cuyos movimientos indicaban las distintas letras del alfabeto, de modo que se necesitaban tantos hilos como letras tiene el alfabeto. En 1798 sustituyó Bethencourt las descargas de la botella de Leiden a las de las máquinas ordinarias. Pero, tanto estas invenciones como otras de Reiser, Salvá, etc., adolecían del gravísimo defecto de no ser prácticas.

Al empleo de la electricidad estática sucedió el de la electricidad dinámica. Tan pronto como la invención de la pila fue conocida, quisieron algunos físicos

aprovechar la corriente para transmitir, por medio de la descomposición del agua, ciertas señales convenidas, valiéndose para ello de interrupciones sucesivas en el funcionamiento de la pila; pero este procedimiento tampoco podía tener grandes aplicaciones prácticas. Vino después el descubrimiento de la acción de la corriente sobre los imanes y, en el mismo año en que Oersted descubría aquella acción, propuso Ampère aprovecharla en la telegrafía. La idea de Ampère no pudo realizarse, porque exigía tantos galvanómetros como signos hubieran de transmitirse, pero el principio en que estaba fundado su telégrafo ha servido para la construcción de los telégrafos denominados de agujas.

Schilling en 1833, Richtie y Alexander en 1837, aplicaron la idea de Ampère, aunque en pequeña escala, a la construcción de telégrafos eléctricos, pero los verdaderos perfeccionamientos en los telégrafos electromagnéticos de agujas se deben a Wheatstone, que puede ser considerado como su inventor, pues fue quien los puso en condiciones de ser utilizados en la práctica.

A estos telégrafos han seguido los de cuadrante, los escritores, los impresores, etc., etc., siendo hoy tan numerosos, los sistemas inventados y las modificaciones introducidas en ellos, que describirlos todos sería punto menos que imposible.

## **§ 2. — Partes esenciales de que se compone un telégrafo. — Teoría general**

Cualquiera que sea el sistema de telegrafía que se adopte, ha de estar compuesto necesariamente de cuatro partes esenciales, que son:

1. Un aparato productor de la corriente. Por regla general este aparato es una pila, aunque a veces, por circunstancias especiales, suele emplearse alguna máquina de inducción magnetoeléctrica;
2. Un aparato transmisor de la corriente, que es un hilo metálico de cobre o hierro, tendido entre las estaciones de partida y de llegada;
3. Un aparato productor de signos, denominado manipulador; y
4. Un aparato receptor en el cual se reproducen los signos que parten del manipulador.

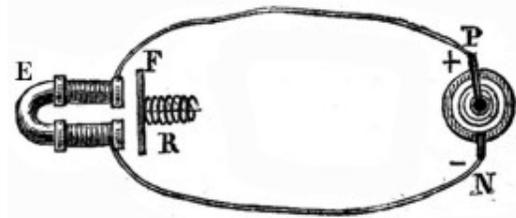
Además de estas cuatro partes esenciales, y sin las cuales no hay telégrafo posible, se emplean en la telegrafía otros aparatos secundarios que la completan y perfeccionan, tales como los timbres, los reveladores de corrientes y los pararrayos.

El principio en que están fundados la mayor parte de los sistemas telegráficos adoptados en el día es muy sencillo. Sabemos que, cuando se hace pasar una corriente eléctrica a lo largo de un hilo arrollado en un cilindro de hierro dulce, se produce en el hierro una imanación transitoria, que dura tanto como dura la corriente.

Supongamos, pues, un electroimán E (fig. 58), puesto en comunicación con la pila PN, y admitamos que la armadura F se mantiene alejada, por medio del resorte R, y mientras no pasa la corriente de los polos del electroimán.

Interrumpiendo y restableciendo sucesivamente y de una manera continua el paso

de la corriente eléctrica, se producirá una serie de atracciones de la armadura por el electroimán; y como la rapidez y la duración de aquellas atracciones pueden combinarse de muchos modos de manera que cada combinación corresponda a un signo



*Figura 58*

determinado, se comprende fácilmente la posibilidad de transmitir signos que representen letras, y combinaciones de letras que formen palabras, con las cuales dicho se está que se puede transmitir el pensamiento humano a través de todas las distancias.

Pues en tan sencillo principio están fundados los telégrafos eléctricos más usados hoy, salvo algunos en los que la corriente actúa, de una manera directa, sobre las agujas de un galvanómetro.

En la figura 58 se supone que la corriente parte del polo positivo de la pila, atraviesa las espiras del electroimán, y vuelve, por un hilo de retorno, al polo negativo N; pero un poco de reflexión basta para comprender que este hilo, de retorno o de vuelta es perfectamente innecesario. En efecto, la tierra es, como se sabe, un cuerpo conductor, y, por consiguiente, puede sustituir, sin dificultad ninguna, al hilo de retorno. Para ello es suficiente que los dos polos de la pila estén en perfecta comunicación con el suelo, lo cual se consigue, haciendo que, tanto el polo negativo (fig. 59), como el extremo del alambre que rodea al electroimán, y que constituye el polo positivo, se comuniquen por medio de alambres de cobre con el agua de un pozo.

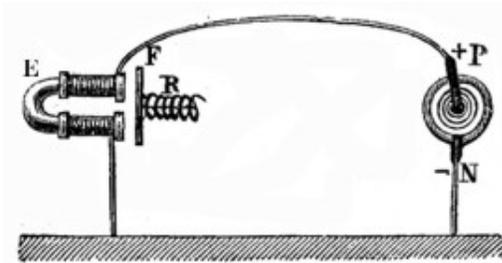


Figura 59

Los extremos de estos hilos sumergidos en el agua, llevan una placa también de cobre que facilita la comunicación. Las ventajas de la supresión del hilo de vuelta son: la economía grande que resulta de emplear la mitad del hilo que en el otro caso habría de necesitarse,

economía que puede ser muy considerable en líneas de mucha extensión, y la disminución de la resistencia del circuito, que se reduce a la mitad, con lo cual se consigue poder utilizar pilas menos enérgicas y menos costosas.

### § 3. — El telégrafo de cuadrante

En las líneas telegráficas secundarias y especialmente en las de los ferrocarriles, se emplea el telégrafo de cuadrante, con preferencia a otros sistemas más perfectos, a causa de la gran facilidad con que puede manejarlo cualquier empleado; después de un corto aprendizaje.

El más usado es el de Wheatstone, modificado por Breguet.

El manipulador del telégrafo Breguet (fig. 60) se compone de un cuadrante horizontal, en el cual están marcadas una cruz y las veinte y cinco letras del alfabeto; el centro del cuadrante está atravesado por un eje, fijo en un disco metálico, y este disco puede girar, en el sentido de las agujas de un reloj, por medio de un manubrio, A. El disco metálico lleva un surco sinuoso, formado por trece dientes y trece senos, en el cual se apoya uno de los extremos de la palanca CD, móvil alrededor del punto C.

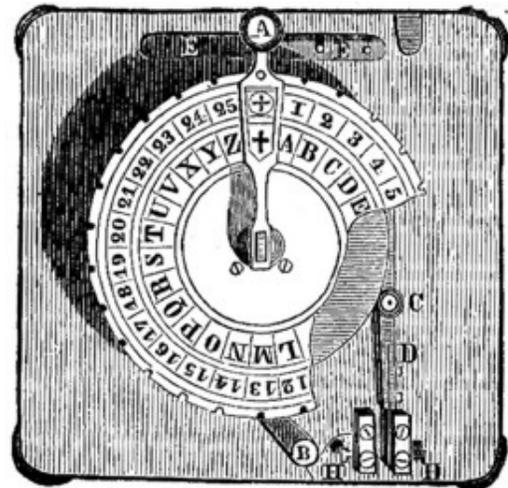
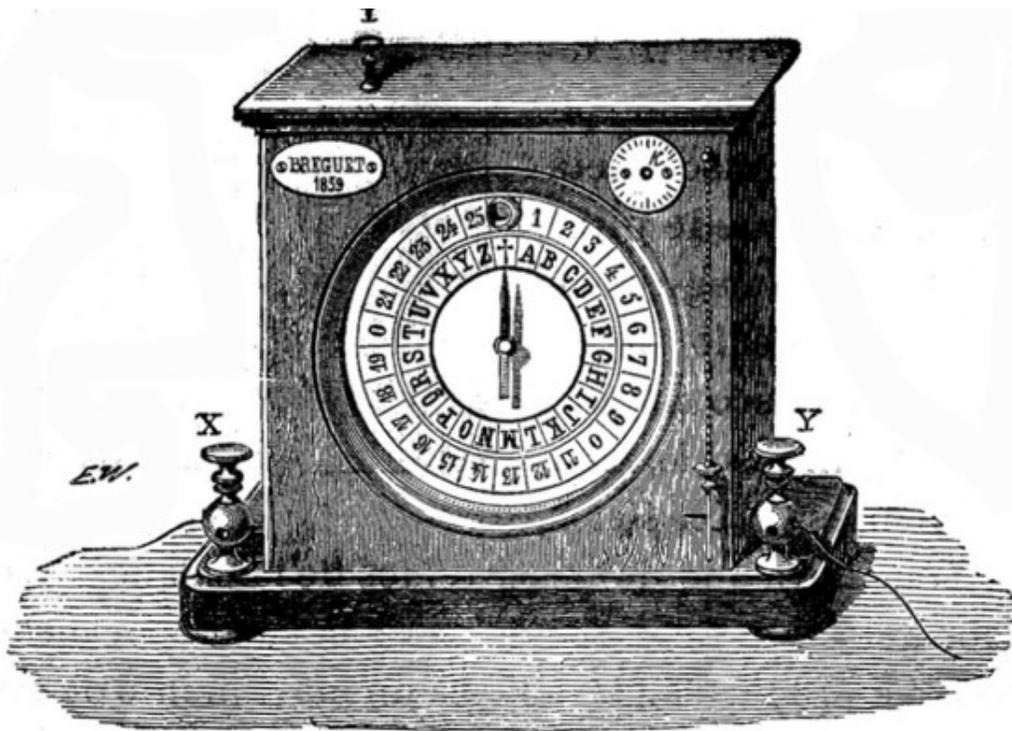


Figura 60

Haciendo girar la rueda por medio del manubrio, se produce en la palanca un movimiento de vaivén, ocasionado por los dientes y senos del surco, y este movimiento hace que una laminilla flexible, fija en D en el otro extremo de la palanca, toque alternativamente cada una de las piezas H y H', que se ven en la parte inferior de la figura. La pieza H, que está en comunicación con el

polo positivo de la pila, se hallará en contacto con la laminilla flexible, siempre que el extremo superior de la palanca lo esté con uno de los dientes de la rueda, y, en este caso, la corriente eléctrica llegará por la palanca y por la rueda al eje del cuadrante, desde el cual pasará al hilo de línea, es decir, al alambre que enlaza las estaciones de partida y de llegada. Por el contrario, cuando el extremo superior de la palanca se halle en contacto con un seno, la laminilla tocará en H', y la corriente quedará interrumpida.



*Figura 61*

Según lo expuesto, cada vuelta entera del manubrio ocasiona trece interrupciones y trece restablecimientos de la corriente eléctrica.

Supongamos, pues, que se quiere transmitir la palabra Colón, formada por las cinco letras C, O, L, O, N. Puesto el manubrio sobre la cruz, se le hace girar hasta que llegue a la letra C, donde se hará una pequeña parada; luego se continúa el movimiento hasta la letra O, y allí se detiene nuevamente; en seguida, y siempre en el mismo sentido, se hace girar el manubrio hasta llegar a la letra L, y se proseguirá del mismo modo con las restantes para transmitir toda la palabra. Los pasos e

interrupciones de la corriente, lo mismo que las paradas se reproducen en la estación de llegada en el aparato receptor que vamos a describir ahora.

Compónese el receptor del telégrafo Breguet de un cuadrante igual al del manipulador, pero colocado verticalmente en una caja (fig. 61) de madera; la aguja de este cuadrante se mueve impulsada por un mecanismo, cuyas partes esenciales representamos en la fig. 62 Cada vez que la corriente, enviada de la manera que hemos indicado por intermedio del manipulador, llega al electroimán E (fig. 62), se produce una atracción de la pieza de hierro dulce P, móvil alrededor de su eje  $vv'$ ; el movimiento de la armadura P se transmite al vástago q, a la espiga g a la horquilla F, al eje  $aa$  y al tope G, de lo cual es fácil convencerse con sólo inspeccionar, la figura.

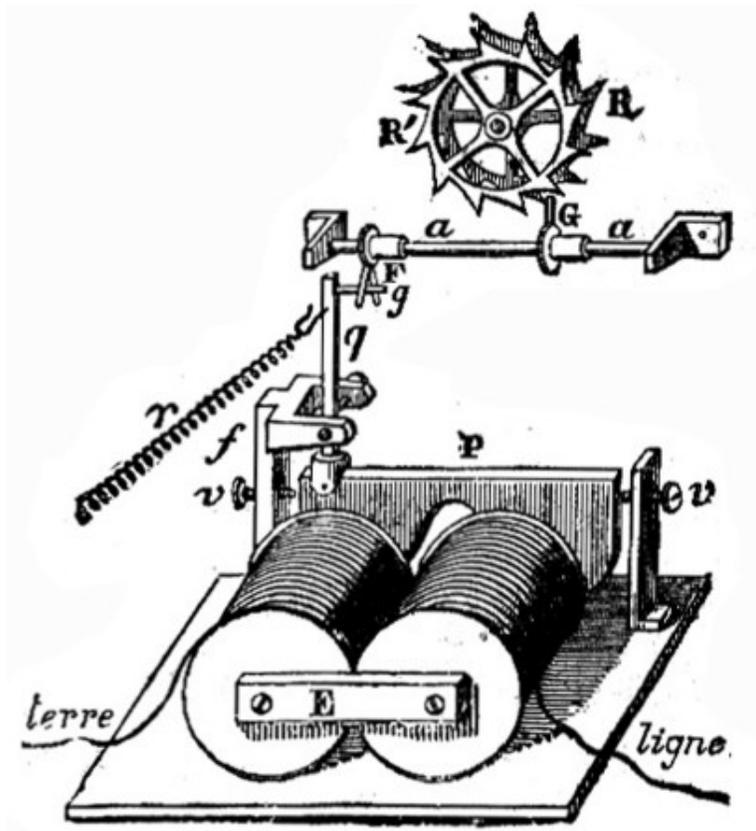


Figura 62

Fijémonos ahora en las dos ruedas R, R', invariablemente unidas y montadas en el mismo eje, las cuales tienden a moverse de una manera continua, en virtud del impulso que les comunica un aparato de relojería. Cada una de estas ruedas tiene

trece dientes, pero que no coinciden, sino que se hallan dispuestos de modo que alternen, con lo cual se consigue que el espacio que existe entre dos dientes consecutivos, es decir el escape, se reproduzca veinte y seis veces. El movimiento continuo del sistema de las dos ruedas, se halla impedido por el tope G, que, apoyándose alternativamente en uno o en otro diente de cada rueda, las obliga a detenerse en su movimiento. Fácilmente se comprende que mientras dura el paso de la corriente, o mientras está interrumpida, el movimiento de las dos ruedas R, R' es imposible, y que sólo se producirá en el momento preciso de interrumpir o restablecer la corriente eléctrica. Sólo nos falta añadir que el eje de las ruedas R, R' es el mismo que el de la aguja del: cuadrante receptor (fig. 61)

Ahora bien, los pasos e interrupciones de la corriente, lo mismo que las paradas producidas a voluntad en el manipulador, se reproducen necesariamente en el mecanismo del receptor, que acabamos de describir, y por lo tanto, las letras que, el empleado encargado de transmitir el despacho, va señalando con el manubrio, en el cuadrante del manipulador, se reproducirán en seguida en el cuadrante del receptor. Bastará, pues, que otro empleado fije su vista en el receptor y que vaya anotando las letras señaladas; para leer en la estación de llegada el despacho transmitido por la de partida.

#### **§ 4. — El telégrafo de Morse**

Si el telégrafo de cuadrante, que hemos descrito en el párrafo precedente, tiene sobre otros sistemas la ventaja de su fácil manejo, adolece en cambio de un grave defecto, cual es el de no dejar huella ninguna del despacho transmitido y recibido, de modo que es imposible comprobar, en caso de duda o reclamación de parte del público, la exactitud o inexactitud de un despacho telegráfico.

Este inconveniente desaparece con los telégrafos impresores, los cuales dejan marcadas en una tira de papel, con signos convencionales o con las letras del alfabeto, las palabras transmitidas por el manipulador. El más sencillo de los telégrafos impresores, y el más universalmente usado a causa de su misma sencillez es el de Morse.

El manipulador en este sistema se compone de una palanca F, móvil alrededor de su eje D (fig. 63), la cual lleva un tornillo G que puede ponerse en contacto con una pieza metálica I, con solo apoyar la mano en la empuñadura de madera B.

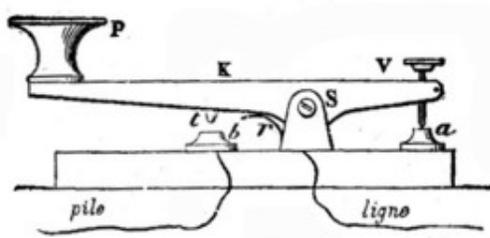


Figura 63

Retirando la mano, el resorte E levanta la palanca y el contacto se interrumpe. La corriente de la pila llega al manipulador por intermedio del tornillo de presión K, y, cuando el contacto entre la pieza I y el tornillo G se halla establecido, pasa a la palanca y se lanza a la línea por el tornillo L.

La corriente de la pila llega al manipulador por intermedio del tornillo de presión K, y, cuando el contacto entre la pieza I y el tornillo G se halla establecido, pasa a la palanca y se lanza a la línea por el tornillo L.

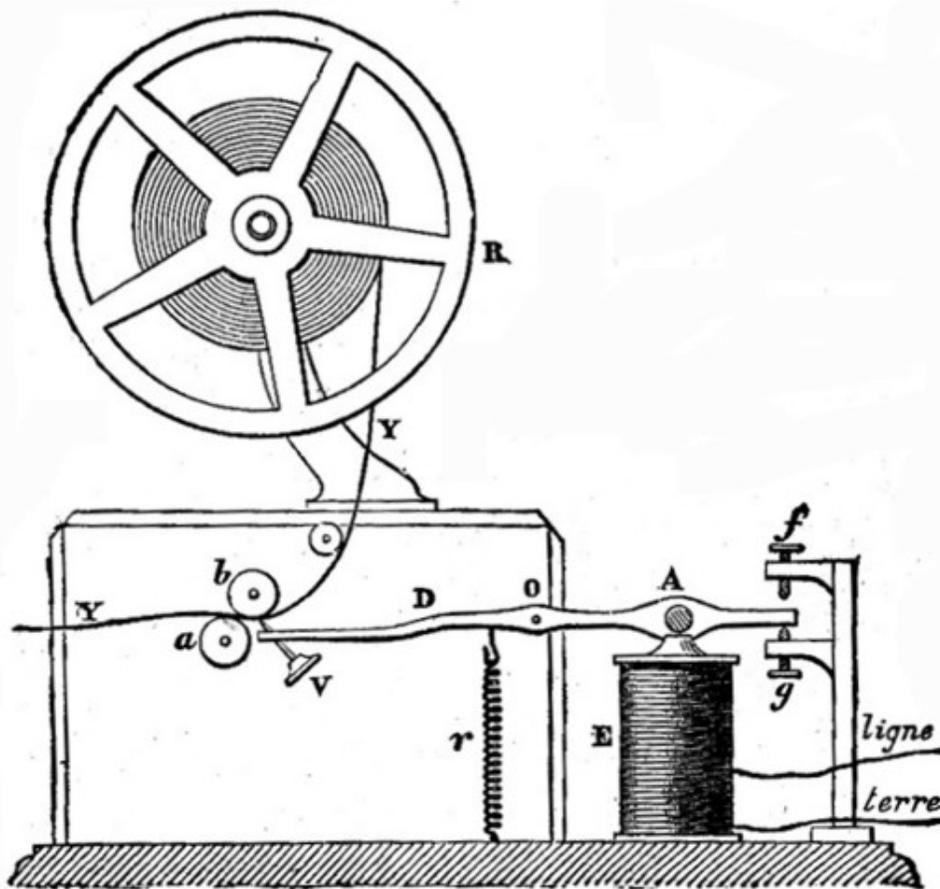


Figura 64

Fácilmente se comprende, en virtud de lo dicho, que se pueden lanzar por la línea una serie de corrientes de duración mayor o menor, según sé desee, y a intervalos

variables, con sólo establecer e interrumpir de una manera conveniente el contacto entre las dos piezas G, I, y se comprende también que se puede combinar la duración de las corrientes parciales y la de los intervalos, de tal modo que cada combinación forme un signo, representante de una letra del alfabeto o de un guarismo.

El receptor del telégrafo de Morse se compone esencialmente de una palanca DA (fig. 64), móvil alrededor de un eje, o. Esta palanca lleva en A un cilindro de hierro dulce (perpendicular al plano de la figura), el cual es atraído por el electroimán E cuando llega la corriente de la línea. Tan pronto como la corriente cesa, el resorte r tira de la palanca y el cilindro de hierro dulce se separa del electroimán. En el extremo D de la palanca hay un tornillo V provisto de un punzón, el cual se apoya en el cilindro b al pasar la corriente y verificarse la atracción en A, alejándose de b cuando la corriente se interrumpe. Entre los dos cilindros b, a, movidos por un aparato de relojería, pasa una tira de papel que se desenrolla del tambor R, y en esa tira va marcando el punzón V, por medio de puntos y rayas, los pasos sucesivos de las corrientes parciales. Cada punto corresponde a una corriente casi instantánea, y cada raya a una corriente de mayor duración; los intervalos entre los puntos o rayas denotan las interrupciones de la corriente, y las combinaciones de puntos, rayas e interrupciones, representan letras del alfabeto o guarismos.

Al principio se había adoptado un lápiz para marcar los puntos y las rayas; pero como se despuntaba fácilmente fue necesario sustituirlo por el punzón metálico. Hoy, después de importantes modificaciones introducidas en el receptor Morse por Digney hermanos, se hacen las marcas con tinta. Antes de pasar la tira de papel por entre los dos cilindros, que con su movimiento la van desenrollando, pasa por debajo de una rueda (fig. 65) impregnada de tinta de imprimir; mientras la corriente no llega al electroimán, la tira de papel no toca en la rueda; pero, al efectuarse el paso, la pieza P, que sustituye al punzón, oprime al papel contra la rueda, quedando marcado un punto o una raya, según sea la duración de la corriente eléctrica.

## § 5. — El receptor de Thomson.

Para poner en movimiento las diferentes piezas del mecanismo de un receptor cualquiera, es necesario consumir una cierta cantidad de fuerza, cuya intensidad ha de estar relacionada con la disposición misma del aparato. Esta fuerza emana, como se sabe, del generador de electricidad, es decir, de la pila; pasa por el manipulador, y llega al receptor, después de haber recorrido toda la longitud de la línea telegráfica. Ahora bien, como la intensidad de la corriente eléctrica disminuye a medida que aumenta la longitud del circuito que debe recorrer, a causa del aumento de la resistencia, resulta necesariamente que, en las líneas de gran extensión, tales como los cables submarinos que enlazan los continentes europeo y americano, habría que emplear pilas sumamente enérgicas para obtener efectos relativamente débiles. Habría, pues, un gasto considerable de fuerza consumida en pura pérdida, lo cual va contra las leyes de la buena economía, y para evitarlo, se han ideado algunos receptores sensibles a la acción de las más débiles corrientes con lo que se consigue utilizar, en esas grandes líneas, pilas de potencia mucho menor.

En la figura 66 representamos la disposición teórica del receptor ideado por mister W. Thomson.

Compónese este receptor de un espejo circular, sumamente pequeño, que lleva unido por detrás un imán *NS*, y que está suspendido verticalmente por medio de una hebra de seda. Rodeando el espejillo se observa un marco, en el cual se enrolla un alambre recubierto de seda, constituyendo todo el sistema un galvanómetro muy sensible. El espejo se mantiene en una posición fija, en virtud de la acción directriz del imán *NS*,

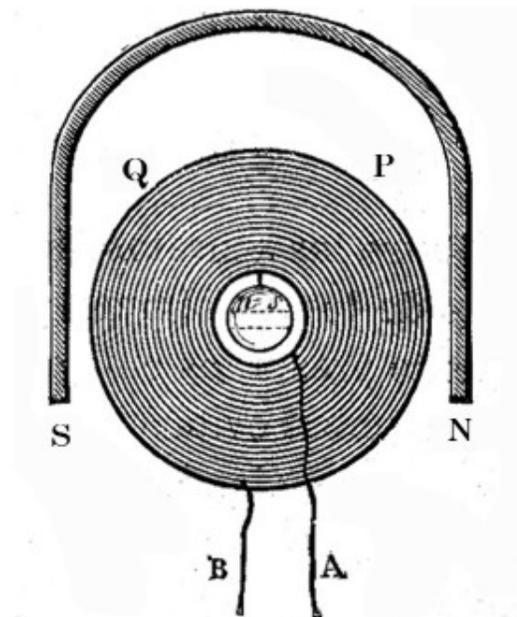


Figura 66

mientras no pasa alguna corriente; pero, en cuanto el paso se efectúa, se produce una desviación a la derecha o a la izquierda, según sea la dirección de la corriente eléctrica que circule por el alambre. Bastará, según esto, poner el hilo de línea en comunicación con el polo positivo o con el negativo de la pila para obtener una desviación en el sentido que se desee.

Veamos ahora como se reproducen en este receptor los signos, que el manipulador transmite. Frente al espejillo del galvanómetro se coloca una luz fija que le envía un rayo de luz; el rayo reflejado permanece inmóvil mientras el espejo no se mueve, pero tan pronto como éste se desvía a la derecha o a la izquierda, la imagen, recogida por una pantalla, recorre una línea bien sensible; la posición de esta línea luminosa indica claramente el sentido de la desviación, y así como en el receptor de Morse la combinación de puntos y rayas forma las distintas letras del alfabeto, en este receptor que ahora describimos, la combinación de las desviaciones a la derecha o a la izquierda indica del mismo modo cuantos signos se quiera transmitir.

### § 6. — Aparatos secundarios.

Entre los aparatos secundarios de los sistemas telegráficos, uno de los más importantes, por los servicios que continuamente presta, es el timbre.

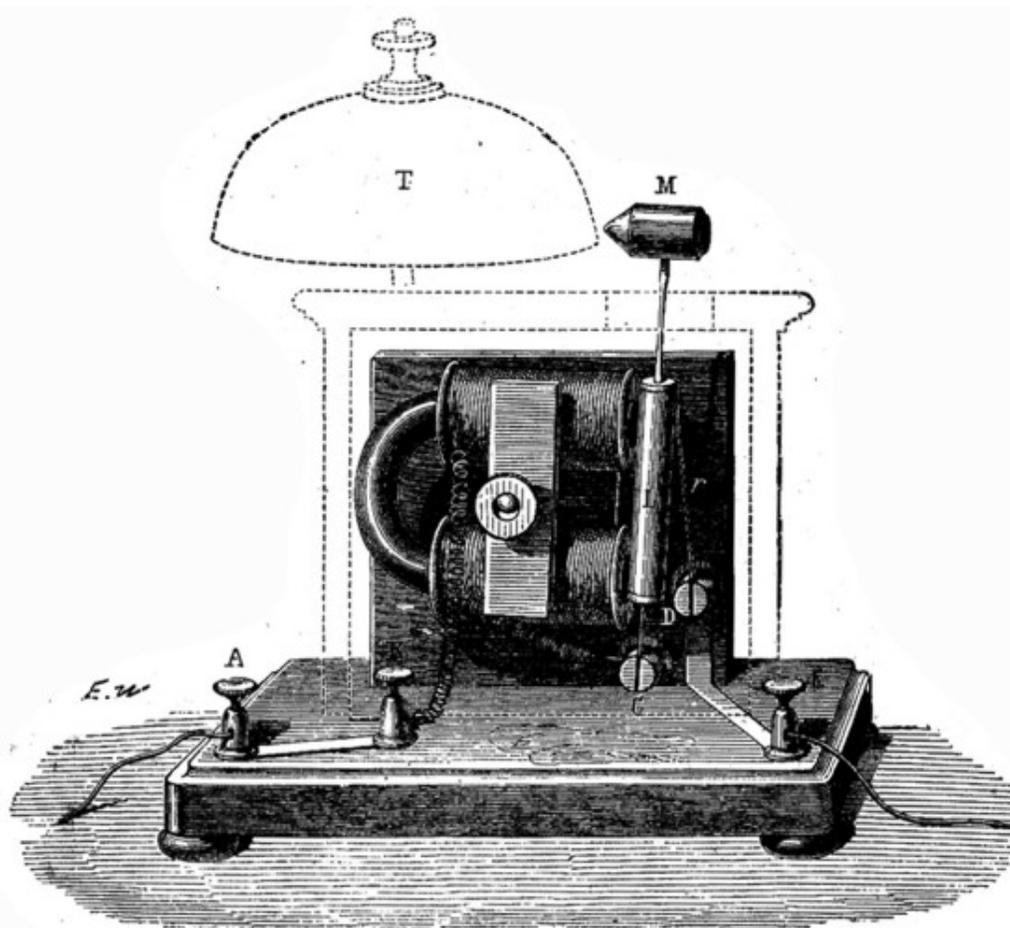


Figura 67

El timbre evita a los empleados de las estaciones el cuidado de estar vigilando constantemente los aparatos de recepción, pues el sonido de la campanilla le avisa en cada caso la llegada de un despacho.

Hay varios sistemas de timbres eléctricos; el más usado es el de Breguet, denominado *timbre de temblor*. Frente a los polos de un electroimán (fig. 67) se encuentra un cilindro L de hierro dulce que sirve de armadura, el cual va montado sobre un resorte fijo en C; en la parte superior del cilindro va colocado un martillo M que ha de golpear en la campanilla T; el cilindro se apoya, en estado de reposo contra el resorte r, fijo en D. La corriente eléctrica, que viene por el hilo de línea, entra en el aparato por el tornillo de presión A, recorre las espiras del electroimán, pasa por el tornillo C, sube por la armadura L y baja por el resorte r, saliendo al fin por el tornillo de presión E. Al pasar la corriente, se produce una atracción de la armadura por el electroimán, y el martillo M va a chocar contra la campana; pero al acercarse la armadura al electroimán se separa, del resorte r, interrumpiéndose en el acto la corriente, con lo cual la atracción cesa y el cilindro de hierro dulce vuelve a su posición primitiva. Efectúase entonces un nuevo paso de la electricidad, una nueva atracción del cilindro y otro golpe contra la campana, seguido de nueva interrupción de corriente, y como el fenómeno se reproduce de una manera rápida y continua, se obtiene un sonido también continuo que dura todo el tiempo que el aparato esté en comunicación con la línea.

Otro de los aparatos secundarios más importantes que van unidos a los diferentes sistemas telegráficos es el pararrayos. Sabido es que las perturbaciones eléctricas de la atmósfera, tales como las tempestades y las auroras boreales, producen, en las líneas telegráficas, corrientes parciales que interrumpen la circulación de los despachos, ocasionando también desperfectos no menos sensibles, como el desimanarse las agujas y la imanación permanente que suelen adquirir las piezas de hierro dulce de los electroimanes. En las tempestades muy violentas, los desperfectos ocasionados pueden ser mucho mayores, si no se evita de algún modo que las enérgicas descargas de las nubes penetren en las estaciones telegráficas, después de haber recorrido los alambres del circuito exterior; la descarga ha llegado a romper los aparatos, lanzando los pedazos a gran distancia, e hiriendo y matando

con ellos a los empleados. Para evitar estas desgracias se han inventado unos aparatos, denominados pararrayos, con los cuales se consigue que las descargas de electricidad estática pasen a la tierra, sin recorrer los aparatos de la estación.

El más sencillo de estos pararrayos es el de Breguet. Compónese de dos placas metálicas, colocadas verticalmente contra un muro y muy próximas una a otra; los lados de estas placas, que van frente a frente, llevan unas puntas para facilitar el paso de la electricidad cuando llegue el caso. Una de estas placas está en comunicación con la línea y con los aparatos de la estación; la otra con el suelo. La electricidad dinámica, que producen las pilas, no tiene bastante tensión para saltar de una placa a otra, y por lo tanto sigue su camino hasta los aparatos; pero la electricidad atmosférica, cuya tensión es infinitamente mayor, vence la resistencia del aire y, saltando de una placa a otra, va a perderse en la tierra.

Para el caso de que este camino fuese insuficiente y la descarga se efectuase parcialmente por el hilo que enlaza la primera placa con los aparatos, se coloca un alambre capilar en un tubo de vidrio por donde la electricidad ha de pasar, la cual, fundiéndolo y volatilizándolo, interrumpe toda comunicación de los aparatos con la línea.

## **§ 7. — Las líneas terrestres.**

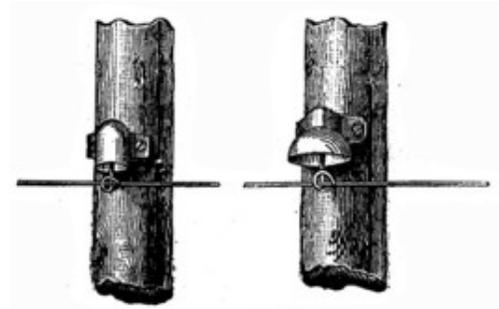
Las líneas telegráficas terrestres son de dos clases: aéreas y subterráneas.

Las primeras, que se han usado hasta el presente y que se usan todavía mucho, van siendo remplazadas poco a poco por las segundas, pues éstas tienen la ventaja de no estar expuestas a la acción de los agentes atmosféricos y son menos fáciles de cortar en caso de revolución o guerra.

Las líneas aéreas están constituidas por alambres, ordinariamente de hierro, suspendidos de postes verticales de madera. Cuando el tiempo es muy seco estos postes son de por sí aisladores; pero, si está húmedo, se convierten en buenos conductores de la electricidad. Es necesario, pues, que los alambres se hallen aislados de los postes mismos, para evitar las pérdidas de fluido eléctrico, y esto se consigue interponiendo entre ambos cuerpos un aislador de porcelana (fig. 68) que va fijo en el poste por medio de tornillos y del cual está suspendido el alambre.

Por lo general, los postes se hallan colocados a 100 metros de distancia unos de otros, menos en las curvas, donde la distancia es menor, y en los valles donde puede alcanzar hasta 500 metros.

En las ciudades se colocan los hilos en montantes sobre los tejados y azoteas, lo cual suele ocasionar no pocos desperfectos en los edificios, cuando los alambres son muchos y para evitar estos daños se va adoptando el sistema de líneas subterráneas.



*Figura 68*

Cuando se establecieron las primeras líneas aéreas se usaron de preferencia los alambres de cobre por ser este cuerpo muy buen conductor de la electricidad. El diámetro de cada alambre era de dos milímetros. Hoy se ha desechado el cobre porque es muy caro y porque los cambios bruscos de temperatura a que está expuesto le vuelven quebradizo, y en su lugar se han adoptado alambres de hierro galvanizado de 3, 4, 5, 6 y 6, 5 milímetros de diámetro, según los casos.

Hemos dicho que las líneas aéreas van siendo sustituidas poco a poco por otras subterráneas, y en efecto, este sistema que en un principio se adoptó, por no inspirar gran confianza el de los alambres suspendidos al aire libre y que luego fue desechado porque los resultados no correspondieron a la teoría, ha sido resucitado en estos últimos años en Alemania y Francia y va extendiéndose por todas partes.

Varios son los métodos o procedimientos que se siguen para aislar convenientemente los alambres subterráneos. Uno de ellos consiste en usar alambres de hierro galvanizado, reunidos en grupos de cuatro o seis y aislados entre sí por medio de capas de betún, colocando el cable así formado en una zanja llena del mismo betún. Otro procedimiento consiste en aislar los alambres por medio de dos capas de gutapercha, recubiertas de tela embreada, y encerrar el cable en un tubo de plomo o de hierro.

### **§ 8. — Los cables submarinos.**

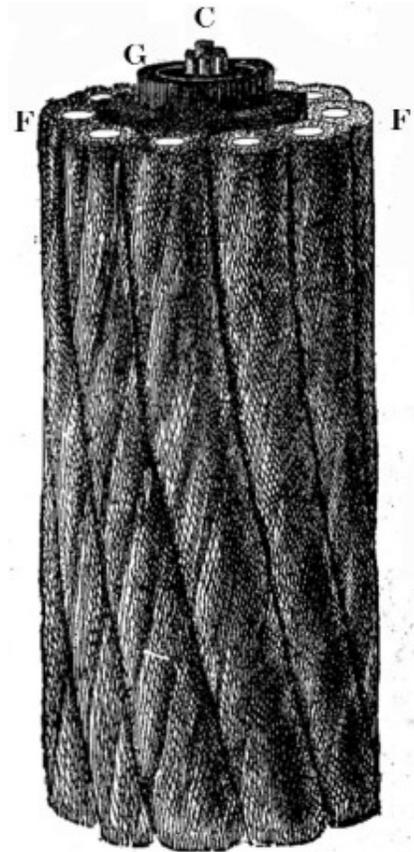
El problema de transmitir los signos de la telegrafía eléctrica a través de los mares, parecía a primera vista imposible de resolver, a causa de la extrema conductibilidad

del agua, por cuya masa era lógico creer que se perdiera el fluido eléctrico. Este problema, sin embargo, ha quedado satisfactoriamente resuelto desde hace muchos años. Después de un primer ensayo, efectuado en la India en 1839, con un cable que enlazaba las dos orillas de un río, propuso Wheatstone unir los puertos de Douvres y Calais, por medio de un hilo telegráfico submarino; pero su proyecto no llegó a realizarse hasta 1850 en que Mr. Brett tendió un cable entre las costas francesa e inglesa, el cual comenzó a funcionar con bastante regularidad, llegando a 400 el número de despachos que por él se transmitieron.

Roto este cable por ignorancia de un pescador que lo había sacado en sus redes, se tendió otro en 1851, quedando demostrada la posibilidad de la comunicación telegráfica submarina. Quince años más tarde se colocó un enorme cable entre Irlanda y Terranova, el primero que ponía en comunicación eléctrica os continentes lejanos, y, ante el lisonjero éxito obtenido, no podía dudarse ya de que el problema estaba definitivamente resuelto. Hoy existen, en efecto, una infinidad de cables submarinos que ponen en comunicación instantánea las más apartadas regiones del planeta, y en su construcción se han introducido tantos perfeccionamientos que puede decirse con verdad que todas las dificultades han quedado vencidas.

Un cable submarino se compone de las tres partes siguientes (fig. 69):

1. El conductor que consiste en un alambre de cobre, o mejor en una cuerda de varios alambres muy finos, retorcidos en espiral, para prevenir en la medida de lo posible las roturas.
2. La cubierta o envoltura aisladora, constituida por varias capas de gutapercha, que impiden la pérdida del fluido eléctrico.



*Figura 69*

3. La cubierta protectora, formada por un forro de cáñamo embreado, rodeado de una serie de alambres de hierro galvanizado, cuyo objeto es prevenir los efectos del rozamiento del cable contra las rocas.

El conductor y la envoltura aisladora constituyen lo que se llama el alma del cable. El grueso de un cable submarino no es uniforme en toda su extensión, construyéndose de tres diámetros distintos, según la profundidad a que ha de ser colocado. El más grueso es el cable de costa por ser el que está constantemente expuesto a todos los accidentes que resultan de la acción de las olas, así como a ser levantado y roto por las anclas de los buques. El cable de profundidades medias, menos expuesto que aquél a roturas, es de un diámetro algo menor. Por último, al cable de fondo, que ha de ser colocado a grandes profundidades, se le da el grueso mínimo, tanto porque la agitación de la superficie del mar no llega, ni con mucho, hasta aquellos parajes, cuanto porque su peso enorme haría punto menos que imposible el tendido, pues es seguro que el cable habría de romperse en la operación.

Para dar una idea del peso de un cable, citaremos el que se tendió entre Douvres y Calais en 1851, el cual pesaba más de 480 mil kilogramos, en una longitud de 41 kilómetros. El cable transatlántico, que parte de Valentia y va a América, pesa 865 kilogramos por cada 1000 metros, es decir, en total 4,300 toneladas.

## CAPÍTULO 2

### EL TELÉFONO

#### § 1. — Notas históricas.

Maravilla de las maravillas denomina el ilustre físico inglés sir William Thomson la invención del teléfono. No bastaba, en efecto, que se pudiera transmitir el pensamiento humano, con rapidez vertiginosa, y a distancias inmensas, por medio de sencillas combinaciones de signos; era necesario para que el hombre pudiera darse por satisfecho, transmitir la palabra, perfectamente articulada y con todas las inflexiones individuales de la voz, a través de distancias considerables. Y este efecto prodigioso se ha podido realizar por medio de un aparato de sencillez maravillosa: el teléfono. Apenas hace diez años que se presentó el primer teléfono en la Exposición Universal de Filadelfia y ya se ha generalizado tanto su uso, sobre todo en las grandes ciudades, que no hay hotel, casa de comercio de importancia, ni oficina que no lo utilice constantemente.

Desde el año 1837 había observado Page, distinguido físico americano, que cuando se acercan rápidamente los polos de un imán a una espiral atravesada por una corriente, se produce un sonido musical; observaciones análogas hicieron por aquella época y posteriormente otros físicos, entre ellos de la Rive, quien dio una explicación científica del fenómeno, sin cuidarse de las aplicaciones prácticas que pudiera tener en lo sucesivo. El sonido que se produce en una barra de hierro dulce, rodeado por una hélice, en el momento de pasar una corriente, es mucho más intenso, cuando se hace experimentar a la corriente intermitencias muy seguidas. Según de la Rive, este sonido era producido por la orientación de las moléculas del hierro dulce al ser imanadas y desimanadas por los pasos e interrupciones de la corriente eléctrica, que al forzar las moléculas, para hacerlas abandonar su posición de equilibrio, y al dejarlas luego en libertad, las hacían vibrar rápidamente en virtud de su elasticidad propia.

Sea como quiera, los primeros sonidos que se pudieron transmitir a lo largo de un hilo conductor fueron los musicales, y con este objeto inventó Reiss, en 1860, un teléfono que daba por resuelto el problema; pero como las aplicaciones prácticas de

un teléfono de esta especie, son casi nulas, no, nos detendremos en su descripción que aquí resultaría ociosa.

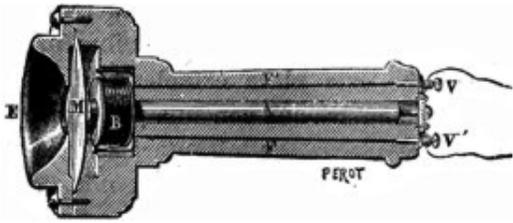
A los teléfonos musicales, como el de Reiss que acabamos de citar, siguieron algunos años después los llamados de articulación, que transmiten la palabra articulada, y, entre estos, es necesario distinguir, tanto por su sencillez, cuanto por haber sido el más antiguo, el de Graham Bell, presentado, en 1876, en la Exposición de Filadelfia. Según parece, al mismo tiempo que Graham Bell presentaba su teléfono en la oficina de patentes para reclamar el privilegio de invención, otro distinguido físico también americano, Mr. Elisha Gray, de Chicago presentaba, en la misma oficina, el proyecto de un nuevo teléfono, entablándose con este motivo una querrela entre ambos físicos, acerca del derecho de prioridad. Por mucho interés que esta disputa haya tenido para los dos sabios, es seguro que la ciencia no gana ni pierde nada con que uno u otro haya llegado primero a la oficina de patentes. Lo curioso es ver cómo una misma idea ha estado preocupando al mismo tiempo a muchos sabios, y de qué manera los estudios y las observaciones de todos vienen a perfeccionar de un golpe el invento de uno solo. Por lo demás, en estos tiempos, es casi imposible averiguar quién concibió la primera idea del teléfono eléctrico, ni de casi ninguno de los grandes inventos modernos. Desde 1854 decía Mr. Bourseul:

« ... Figurémonos que se habla junto a una placa movible y bastante flexible para no perder ninguna de las vibraciones producidas por la voz; que esta placa establezca e interrumpa sucesivamente la comunicación con una pila: podremos tener a distancia otra placa que ejecutará al mismo tiempo las mismas vibraciones. Es verdad que la intensidad de los sonidos producidos será variable en el punto de partida, donde la placa vibra por la voz, y constante en el punto de llegada, donde vibra por la electricidad; pero está demostrado que esto no puede alterar los sonidos.» Como se ve Mr. Bourseul tenía, desde 1854, una idea clara del teléfono eléctrico.

## **§ 2. — El teléfono de Graham Bell.**

Todos los teléfonos, de cualquier sistema que se les suponga, se componen, como los telégrafos, de cuatro partes esenciales: el transmisor, el receptor, el hilo de línea, y el productor de la corriente eléctrica. Pero en la mayoría de los sistemas

telefónicos, el productor de la corriente eléctrica suele ser el mismo transmisor, como sucede en el teléfono de Bell que vamos a describir.



*Figura 70*

El transmisor y el receptor de este teléfono son dos aparatos exactamente iguales, de tal modo que cada uno de ellos puede servir indistintamente para transmitir y recibir los sonidos. Están constituidos por un imán cilíndrico A (fig. 70), metido, como indica la figura, en un cilindro de madera, en el cual puede moverse a voluntad mediante un tornillo. En uno de los polos del imán se encuentra un carrete B, formado por un hilo enrollado en espiral y cuyos extremos terminan en los dos tornillos de presión V, V', por los cuales se comunican con el hilo de línea. Frente al mismo polo del imán se ve una placa delgada de hierro M, fija en una caja de madera que lleva una boquilla E, a, donde se aplican los labios, si el aparato ha de servir de transmisor, o el oído, si ha-de servir de receptor.

Cuando se quiere hablar, se acerca la boca a la abertura E del teléfono y se pronuncian con claridad las palabras que han de ser transmitidas. La vibración del aire se transmite a la placa de hierro, la cual su a vez vibra, acercándose y alejándose alternativamente del polo del imán ; pero estas aproximaciones y alejamientos no son perfectamente uniformes, sino que varían en amplitud y en tiempo, según sean las variaciones de tono y timbre de la voz. El efecto inmediato de las vibraciones de la placa elástica, es modificar la distribución del magnetismo en el cilindro y, como consecuencia, la producción en el carrete B de una serie de corrientes de inducción de sentido e intensidad variables que se transmiten al receptor por medio del hilo de línea.

Veamos ahora lo que en el receptor sucede al llegar las corrientes producidas en el transmisor. Es natural suponer que dichas corrientes (cuya intensidad, no siendo el alambre conductor de desmesurada extensión, no ha debido variar mucho) producirán en el imán del receptor, al pasar, por el carrete, variaciones de distribución del poder magnético sensiblemente idénticas a las que produjeron en el imán del transmisor la vibración de la placa elástica. Estas variaciones en la distribución del magnetismo, producirán a su vez, en la placa del receptor,

vibraciones idénticas a las que se produjeron en la del transmisor, las cuales, al vibrar la placa, se transmitirán al aire encerrado en la boquilla, reproduciendo al fin los sonidos, las palabras y frases que se pronunciaron junto al primer aparato.

Tal es la primera explicación de los fenómenos que han dado los físicos respecto al teléfono de Graham Bell. Esta explicación, por lo que se refiere al transmisor es exacta, pero en cuanto al receptor, si no es inexacta, es cuando menos incompleta.

Hoy se atribuyen las vibraciones de la placa del receptor, no a las atracciones y repulsiones magnéticas del cilindro, sino a causas muy distintas. Se supone que la masa del receptor vibra, en virtud de movimientos moleculares de la barra, producidos, al imanarse y desimanarse sucesivamente, por efecto de las corrientes inducidas, y que estas vibraciones de la masa del receptor se transmiten por contacto a la placa elástica. Multitud de experimentos prueban, en efecto, que las acciones moleculares, si no son la causa única de la transmisión de los sonidos por el teléfono, contribuyen mucho para obtener este resultado. Sea como quiera, puede decirse con verdad que, si el aparato de Bell es sencillísimo en cuanto a su construcción y al modo de usarlo, es sumamente complicado por lo que a la teoría se refiere, y que esta teoría no se halla aún formulada de una manera satisfactoria.

Hemos dicho más atrás que, siendo exactamente iguales el transmisor y el receptor, cada uno de ellos puede servir indistintamente para desempeñar las funciones de transmitir y recibir los sonidos. Aunque esto es perfectamente cierto, en las estaciones bien montadas suele haber dos aparatos, uno dedicado siempre a transmisor y el otro siempre a receptor. La razón de esto es que los aparatos, aunque exactamente iguales, no están arreglados del mismo modo para los dos casos. El imán, como sabemos, puede moverse dentro de su caja, por medio de un tornillo, que lo acerca a voluntad a la placa vibrante o lo aleja de ella. Para hablar, la distancia del imán a la placa, en un mismo aparato, es distinta que para escuchar, y según esto, será necesario, si se desea obtener una audición perfecta, arreglarlo cada vez que se le haya de emplear de un modo o de otro. Por eso es conveniente, según acabamos de decir, tener en cada estación dos aparatos, arreglados cada uno de ellos de modo que pueda cumplir exactamente las funciones a que se le destina. El procedimiento que se sigue para arreglar un teléfono es muy sencillo. Si debe servir únicamente para oír, se hace que la persona encargada en la

otra estación de transmitir un despacho, lea un trozo cualquiera siempre en el mismo tono, y se va dando vuelta al tornillo mientras tanto hasta obtener una audición perfecta. Si se destina el aparato a transmisor, habla o lee el que lo maneja, arreglándolo al mismo tiempo con el tornillo, hasta que la persona que recibe el despacho asegure que oye con toda claridad lo que se le dice. Debemos advertir que este arreglo de los aparatos no es definitivo, pues diversas causas de perturbación los desarreglan con frecuencia, por lo cual es conveniente rectificarlos de vez en cuando.

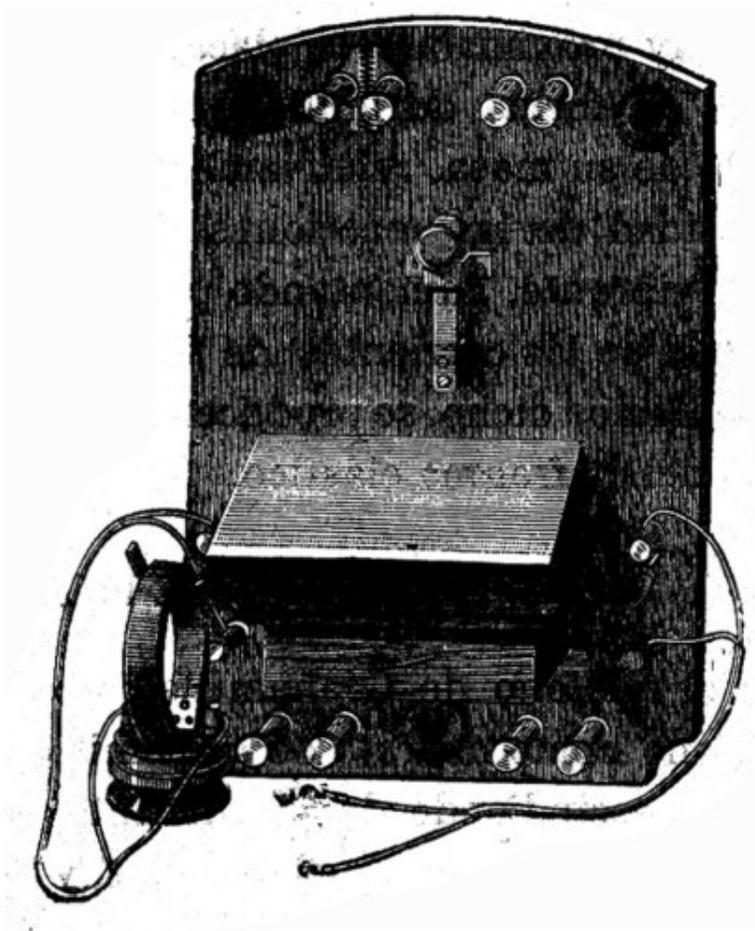
En las estaciones en que no existe sino un solo aparato como transmisor y receptor, se arregla primero como si no hubiera de servir sino para transmitir el sonido, y luego como si sólo se le hubiera de utilizar para recibirlo, y se marcan las dos posiciones del tornillo, que son siempre muy próximas, adoptándose en seguida, para los dos casos, una posición intermedia.

El teléfono de Bell puede servir para que varias personas oigan a la vez una misma conversación. Si la distancia que separa las dos estaciones es larga se emplea una caja sonora, cerrada por dos membranas, y provista de tubos acústicos a los cuales aplican el oído los asistentes. Una de estas membranas está en contacto con la placa vibrante del teléfono. Si la distancia es corta se pueden emplear tantos teléfonos como personas quieran oír, puestos en comunicación por medio de alambres con el hilo de línea.

En el teléfono, lo mismo que en el telégrafo, cuando la distancia que separa las dos estaciones es algo considerable, se suprime el alambre de retorno, como innecesario, pero cuidando de que uno de los extremos del hilo de cada carrete esté en perfecta comunicación con la tierra.

### **§ 3. — El teléfono de Ader.**

El teléfono de Ader es una modificación del de Graham Bell. En la figura 71, se ve, a la izquierda del lector, este teléfono que, ordinariamente, sólo se usa como receptor, aunque también puede servir de transmisor. El imán de este teléfono, no es recto como el de Bell, sino circular, según lo indica la figura. Sus dos polos van rodeados de un alambre enrollado en hélice, y se hallan situados frente a la placa vibrante.



*Figura 71*

En la boquilla, y muy próxima a esta placa, hay una armadura de hierro dulce, en forma de anillo, que sirve de excitador, pues, por efecto de su masa, relativamente considerable, disminuye la intensidad de las reacciones magnéticas entre, el imán y la placa vibrante, aumentando por consiguiente también la intensidad de las corrientes de inducción que, como oportunamente hemos dicho, se producen en los alambres por las vibraciones del diafragma elástico.

#### **§ 4. — Los teléfonos de pila.**

Al describir el teléfono de Graham Ball nos limitamos a hablar del teléfono como aparato de transmisión y recepción de los sonidos, prescindiendo de las distintas causas exteriores de perturbación que en muchos casos, y especialmente en las líneas de alguna extensión, se oponen a su perfecto funcionamiento. Estas causas son principalmente las derivaciones o pérdidas de corriente que se verifican por los

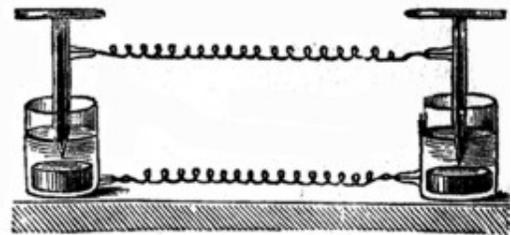
postes, y por la tierra y la influencia que las corrientes de los alambres inmediatos, sobre todo de los telegráficos, ejercen en /a corriente propia del teléfono. Como estas corrientes telefónicas son sumamente débiles, no es raro que, modificadas por la influencia de otras más enérgicas, vengan al fin y al cabo a transmitir la voz de una manera insuficiente e irregular.

Los dos teléfonos que hemos descrito, y otros muchos; fundados en el mismo principio, adolecen de igual defecto; y, para evitarlo, se ha procurado dar otro destino a la placa del transmisor, es decir, que en vez de utilizarla para producir directamente una serie de corrientes eléctricas, como hemos visto que sucede en el sistema de Graham Bell, se las emplea ,en producir idénticas variaciones en tina corriente más enérgica como es la corriente de una pila.

### § 5. — El teléfono de mercurio de Breguet.

Aunque los mejores teléfonos son aquéllos en que la voz se transmite por intermedio de cuerpos sólidos, no deja de tener interés el aparato inventado par Mr. Breguet y que vamos a describir inmediatamente.

El transmisor y el receptor de este teléfono son exactamente iguales; cada uno de ellos está formado por un tubo vertical de vidrio (fig. 72) terminado, en su parte inferior por una punta capilar y cerrado en su extremidad superior por una membrana. El tubo va lleno de mercurio, hallándose en comunicación el del transmisor con el del receptor por medio de un alambre de platino. Ambos tubos se introducen verticalmente en vasos de vidrio, que tienen en el fondo un poco de mercurio cubierto con una cierta cantidad de agua acidulada, y el mercurio de ambos vasos se halla en comunicación eléctrica por medio de un hilo de platino. La punta capilar de los tubos no toca la superficie del mercurio contenido en los vasos, pero se halla situado a muy corta distancia. Ahora bien, si se "habla junto a la membrana que cierra la extremidad superior de cada tubo, el nivel del mercurio en la punta capilar se moverá a tenor de las vibraciones del diafragma, y estas variaciones de nivel ejercerán una presión correspondiente en la superficie del metal encerrado en el vaso, cuyo menisco se



*Figura 72*

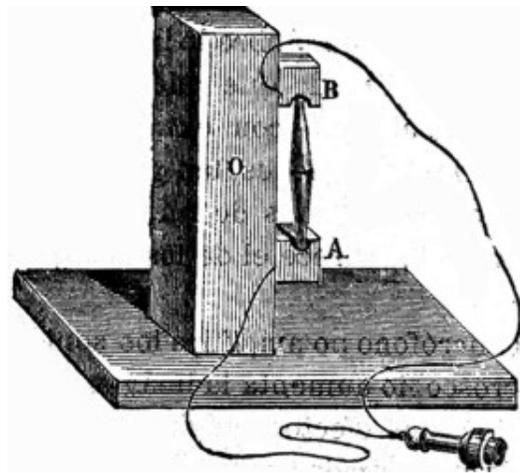
deformará en consecuencia. Pero la experiencia demuestra que toda presión, toda acción mecánica que tienda a deformar el menisco, ocasiona en el acto una corriente eléctrica, la cual, transmitida por intermedio del hilo de platino al mercurio del otro vaso, reproduce en su superficie los movimientos del primero; estos movimientos se transmiten a su vez a la punta capilar del tubo receptor y de allí a la membrana superior, dando lugar a la reproducción de los sonidos.

## CAPITULO 3 EL MICRÓFONO

### § 1. — El micrófono de Hughes.

Tratando de averiguar Mr. Hughes la influencia que ejercen las vibraciones sonoras en la conductibilidad eléctrica de los cuerpos, vino a dar, de experimento en experimento, en la invención de uno de los aparatos más interesantes, tanto desde el punto de vista científico como respecto de sus aplicaciones, de cuantos hasta ahora se habían inventado. Este aparato es el micrófono que, como su nombre lo indica, sirve para amplificar los sonidos, de tal modo que ruidos tenues, y hasta imperceptibles, llegan al oído con extraordinaria sonoridad. La sensibilidad del micrófono es tan grande que el ruido ligerísimo producido por las patas de un insecto, al andar sobre el soporte del aparato, parece el de los pasos de un caballo.

Debemos advertir que el micrófono no amplifica los sonidos del mismo modo que el microscopio aumenta la imagen de los objetos situados en su campo. Los efectos son análogos, seguramente; pero el principio en que cada aparato está fundado es esencialmente distinto del otro. En realidad no puede decirse que él micrófono amplifica los sonidos, pues, aunque la teoría de este instrumento no- esté formulada de una



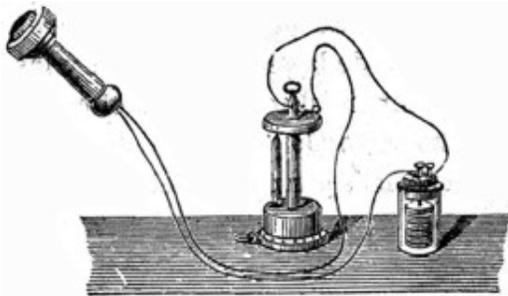
*Figura 73*

manera satisfactoria, casi puede, asegurarse que los sonidos que llegan al oído no son los mismos que se produjeron junto al micrófono, sino otros, originados por aquellos, por efecto de movimientos moleculares transformados después en vibraciones sonoras.

Uno de los experimentos que sugirieron a Mr. Hughes la invención del micrófono es el siguiente. Colocó sobre una tabla horizontal dos clavos de hierro, en comunicación cada uno con uno de los polos de una pila, y cerró el circuito poniendo sobre ambos clavos un tercero que, los enlazaba y ejercía sobre ellos una débil presión. Interpuso además en el circuito un receptor telefónico. Al producirse un

ruido, por débil que sea, cerca de los clavos, las vibraciones sonoras se transmiten a los dos primeros por el contacto imperfecto del que los enlaza, y de aquéllos a los conductores de la pila, originándose variaciones en la presión y la conductibilidad de los puntos de contacto, y modificaciones subsecuentes en la corriente de la pila. Estas modificaciones de corriente las denuncia en el acto un aparato tan sensible como es el receptor telefónico interpuesto en el circuito exterior de la pila.

Este aparato, dispuesto en la forma descrita, constituye de por sí un micrófono completo y muy sensible; pero la disposición últimamente adoptada por Mr. Hughes difiere mucho de aquélla, lo mismo que las sustancias de que está hecho el instrumento. En vez de emplear sustancias metálicas utiliza Hughes lo que él denomina carbón metalizado, es decir, carbón en el cual se ha hecho penetrar por procedimientos especiales una gran cantidad de mercurio o de otro metal sumamente dividido. En cuanto a la disposición del aparato es la siguiente. En un prisma vertical de madera O (fig. 73) se hallan fijos dos soportes cúbicos A., B de carbón, que llevan cada uno una cavidad en la cual se introducen los extremos de un lápiz o huso de carbón, de unos cuatro centímetros de largo. El lápiz se apoya en el cubo inferior y se mueve en la cavidad superior menor sacudida que se le imprima. Ambos cubos están en comunicación con uno u otro de los poleas de una pila (fig. 74) en cuyo circuito se halla interpuesto un teléfono.



*Figura 74*

Hemos dicho que este aparato tiene una gran sensibilidad, por lo cual es conveniente, cuando se le quiere utilizar, colocarle sobre un cuerpo blando que conduzca mal los sonidos como una almohadilla, a fin de evitar que transmita los ruidos que pudieran llegar al instrumento por medio de los soportes. La

sensibilidad del micrófono no se manifiesta, sino para los sonidos transmitidos mecánicamente por cuerpos sólidos; pues, en cuanto a las vibraciones que se propagan por el aire es muy poco sensible.

## § 2. — El transmisor microfónico de Ader

Al hablar del teléfono de Ader (cap. 2, § 3) dijimos que, por lo general, se le usaba sólo como receptor, aunque podía servir también como transmisor. Probemos ahora a describir el transmisor microfónico del mismo inventor. Este aparato está representado en la figura 71. Debajo de la placa vibrante colocada como un pupitre, que se ve a la mitad de la figura, se halla el micrófono, el cual está formado por dos series de seis barras de carbón cada una, dispuestas como una doble parrilla, y sostenidas por otras tres barras también de carbón, provistas de agujeros por donde van metidas las primeras. El sistema entero está en comunicación eléctrica con un carrete de inducción, y éste con una pila que se halla en el suelo. La persona que quiere transmitir una noticia, habla cerca de la placa vibrante, y las vibraciones de la placa se transmiten al micrófono, el cual a su vez modifica, como ya se ha visto, la corriente de la pila. La recepción de la noticia se hace por medio del aparato oportunamente descrito.

### **§ 3. — Las aplicaciones del teléfono y del micrófono.**

El teléfono ha llegado a ser tan necesario en las grandes ciudades como el correo y el telégrafo. Para el comercio, especialmente, es hoy un instrumento absolutamente indispensable. Los que viven en poblaciones de alguna importancia, donde el uso del teléfono se halle generalizado, no necesitan de seguro que se les pruebe la utilidad de este medio de comunicación, porque en mil casos lo han visto prácticamente; para aquéllos que no lo conozcan citaremos algunos ejemplos.

Un individuo se presenta en la sucursal de una casa de comercio a proponer un negocio de importancia; los empleados de la sucursal no quieren o no deben aceptar ni rechazar el negocio y dicen al individuo que lo propone : vaya usted a la casa principal y allí resolverán; mientras el proponente se dirige a donde le indican, los empleados se ponen al habla, por medio del teléfono, con el jefe de la casa, y cuando el individuo del cuento llega a exponer sus pretensiones, ya el jefe ha tenido tiempo de pensar y resolver lo que juzgue conveniente.

Entre las casas de comercio de alguna importancia, las compras y ventas de los artículos de catálogo se hacen por medio de aparatos telefónicos, con lo cual se consigue ahorrar un tiempo precioso. En Manchester, por ejemplo, los

comisionistas, desde su escritorio, comunican a las fábricas las órdenes que reciben de sus corresponsales.

Un individuo, desde el hotel en que vive, pregunta la lista de los platos al restaurant que mejor le place, y pide luego a medida de su gusto los que le parece.

Las consultas a los abogados que tienen bufete de cierta categoría se hacen, desde la fonda o desde la casa habitación del cliente, por medio del teléfono, pudiendo conferenciar abogado y cliente con tanta facilidad cómo si se hallaran mano a mano en el bufete del jurisconsulto.

En las oficinas de la administración, en las redacciones de los periódicos, en los talleres, en las minas, en los grandes hospitales, en todo centro de importancia donde hayan de recibirse noticias abundantes o transmitirse órdenes numerosas, es imposible prescindir hoy del teléfono, y así vemos que, en las ciudades populosas, se han creado compañías con objeto de establecer redes telefónicas, perfectamente instaladas, y de utilidad incontestable.

La instalación de estas redes telefónicas se hace estableciendo primeramente una oficina central, la cual se pone en comunicación directa, con los que se quieren abonar, por medio de alambres especiales que van a parar desde la oficina a la casa del suscriptor. Cuando un suscriptor quiere ponerse en comunicación con otro, avisa a la oficina central, y entonces se establece el enlace eléctrico de los dos alambres, pudiendo verificarse así la conferencia entre los abonados.

En estas aplicaciones del teléfono y demás aparatos teléfono-microfónicos se ha llegado seguramente a una gran perfección.

Pero no sucede lo mismo con otras aplicaciones, también importantes, aunque no tanto, económicamente consideradas, como las anteriores: Nos referimos a las audiciones teatrales, por ejemplo, que en un principio se consideraron como el principal desiderátum de la telefonía. Científicamente el problema está resuelto.' En la Exposición de electricidad celebrada en París en 1881, oyó el autor de este libro, desde una de las salas del Palacio de la Industria, una función del teatro de la Ópera, distinguiendo la voz de los artistas, el acompañamiento de la orquesta y los aplausos del público. En Inglaterra, en la iglesia de Halifax, se han establecido, delante del púlpito, aparatos microfónicos, que transmiten la palabra del sacerdote, por medio de alambres terminados en teléfonos hasta el lecho de personas ancianas

o enfermas, las cuales, desde su cama oyen los cánticos religiosos y la palabra sagrada. Pero, lo repetimos, estas instalaciones in pueden hacerse todavía en condiciones verdaderamente económicas, por cuyo motivo puede decirse que, prácticamente, el problema no está todavía definitivamente resuelto, aunque los perfeccionamientos del teléfono sean muchos y muy importantes, no se crea que puede luchar con ventaja con el telégrafo. Solamente en condiciones especiales, como es el caso de las comunicaciones en una gran población, puede sustituirlo ventajosamente, gracias, entre otras cosas, a la facilidad con que cualquiera puede manejar los instrumentos telefónicos, por no necesitar para ello de aprendizaje ninguno. Pero, además de que el teléfono no deja rastro de las palabras transmitidas, sucede también que ni sirve para hablar a distancias enormes, como el telégrafo, ni puede obtenerse con él la rapidez en las comunicaciones que con los más, perfectos sistemas telegráficos se obtiene. Por otra parte, ya hemos visto que las líneas telefónicas están sujetas a varias causas de perturbación, tales como las pérdidas de, corriente y la influencia de otras más enérgicas; que hacen que los despachos sean a veces perfectamente ininteligibles, de modo que, en último resultado, en la comparación entre el teléfono y el telégrafo, siempre saldrá este último más favorecido.

## CAPÍTULO 4

### LOS GENERADORES DE ELECTRICIDAD

#### § 1. — Notas históricas.

Debiendo hablar, en el capítulo siguiente, de una de las principales aplicaciones de la electricidad, cual es el alumbrado eléctrico, parécenos conveniente, y aún indispensable, describir en este capítulo los principales generadores de electricidad, sin los cuales la producción de la luz eléctrica sería imposible.

Los generadores eléctricos son de tres clases: las pilas de ácidos, las pilas termoeléctricas y las máquinas de inducción. Descrietas las pilas, tanto las químicas como las termoeléctricas, en el capítulo correspondiente (ver parte I, cap. 2), sólo nos falta describir los generadores de electricidad, denominados máquinas de inducción, acerca de los cuales algo hemos dicho ya en el capítulo y de la primera parte.

Recordará el lector que entonces dividimos aquellas maquinas en tres categorías: reo-eléctricas, magneto-eléctrica y dinamoeléctricas, y que hicimos allí una descripción bastante detallada de la principal máquina reo-eléctrica, que es, como sabemos, el carrete de Ruhmkorff. Nos quedan, pues, por describir las máquinas magneto y dinamo-eléctricas, que son las más usadas en la producción de la luz, por las condiciones relativamente económicas con que se la obtiene.

La primera máquina de inducción magneto-eléctrica de que se tiene noticia estaba constituida por un disco vertical de madera, en el cual iban incrustados, perpendicularmente al plano del disco, seis imanes permanentes de herradura, colocados de modo que la línea de los polos fuese un radio de la rueda, y que cada dos imanes consecutivos tuviesen sus polos invertidos, es decir que, si el polo boreal de un imán era el que se hallaba más lejos del centro, el polo boreal del otro se hallaba más cerca del centro del disco que el polo austral correspondiente. La rueda podía girar delante de seis armaduras fijas de hierro dulce, rodeadas de alambre aislado, de tal manera que los polos de los imanes permanentes, que sobresalían de la superficie del disco, producían la imanación transitoria de las armaduras, y daban lugar por su influencia a la producción en los alambres de corrientes de inducción.

El autor anónimo de esta máquina hizo la descripción de ella en una carta, fechada en 26 de julio de 1832, dirigida a Faraday, y que fue publicada poco después en el *Philosophical Magazine*, pero hubo de contentarse con esta descripción no habiendo expuesto al público su aparato.

Algunos días después, el 3 de setiembre del mismo año, presentó Hachette a la Academia de Ciencias de Paris, una máquina magneto-eléctrica, ideada por H. Pixii, y que estaba constituida por un electroimán en forma de herradura, delante de cuyos polos giraba un imán permanente de la misma forma, produciendo corrientes alternativamente invertidas. Esta máquina, en la disposición en que estaban sus diversos órganos, presentaba un inconveniente; y era que el peso enorme del imán permanente exigía un gasto considerable de fuerza para moverlo, por lo cual fue necesario hacer que el imán permanente quedase inmóvil y que fuese el electroimán el que girase.

A la máquina de Pixii sucedió la de Ritchie, presentada a la Real Sociedad de Londres el 20 de marzo de 1833, y a ésta la de Saxton, que era una modificación de la de Pixii y que fue presentada en Cambridge en junio del mismo año, pero cuya descripción no fue publicada sino en 1836. En noviembre de este año publicó Clarke la descripción de una máquina muy semejante a la de Saxton, con cuyo motivo se entabló una viva discusión entre ambos inventores, que reclamaban la prioridad cada uno para su invento, quedando el campo por Saxton a pesar de lo cual las máquinas llevan todavía el nombre de Clarke. Es claro que, entre las dos máquinas, existían algunas diferencias, si no esenciales, por lo menos muy importantes, debiendo reconocer que la disposición dada por Clarke a la suya es la más conveniente.

Todas las máquinas que hemos citado no pueden ser más sencillas y los efectos que producen, relativamente enérgicos, no lo son tanto que puedan ser aplicados a la obtención de la luz eléctrica en grande escala y en condiciones económicas. Por- eso se pensó desde luego en aumentar la energía de dichos aparatos, aumentando sus dimensiones, multiplicando el número de imanes permanentes y de electroimanes y combinando los diversos órganos de tal manera que, en el menor espacio posible, se pudiese obtener un considerable efecto útil.

Entre las primeras máquinas industriales que se inventaron, figura la denominada de la Alianza, ideada por Nollet, y construida y perfeccionada por Joseph van Malderen. No creemos necesario entrar en la descripción de esta máquina, sustituido hoy en la industria por otras más perfectas; basta a nuestro propósito decir que, aplicada en un principio, con éxito desgraciado, nada menos que a la extracción de gas del agua, para lo cual se formó una sociedad, La Alianza, que hubo de liquidar al poco tiempo, fue luego destinada, con éxito más lisonjero, a la producción de la luz eléctrica; y a algunas otras aplicaciones industriales.

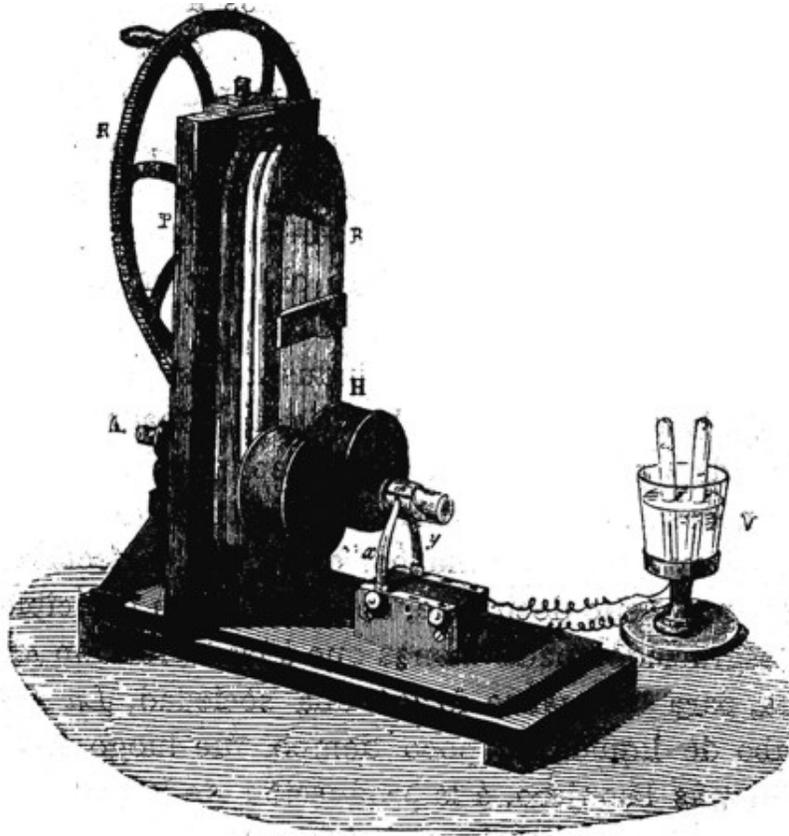
Acabamos de decir que hoy se halla sustituida la máquina de Nollet por otras más perfectas. El número de sistemas de máquinas magneto y dinamo-eléctricas es, en efecto, tan considerable, que describirlas todas, en un tomo de estas dimensiones, es completamente imposible. Nos limitaremos, pues, a dar en este capítulo la descripción de algunas de las más importantes, empezando por la de Clarke, por ser ésta, en cierto modo, la máquina tipo de donde se han derivado muchas de las máquinas magneto-eléctricas que hoy se utilizan.

## **§ 2. — La máquina de Clarke**

La máquina magneto-eléctrica conocida con el nombre de máquina de Clarke es, según hemos indicado, una modificación de la de H. Pixii, en la cual, en vez de ser móvil el imán permanente, es fijo, mientras que el electroimán que, en aquella era fijo, es en ésta móvil.

Compónese la máquina de un poderoso imán B (fig. 75), formado por la reunión de varios imanes de herradura, y colocado verticalmente en una tabla de madera, en la cual se halla fijado con la solidez necesaria. Frente a los polos de este imán permanente y fijo, se encuentra un electroimán móvil, constituido por dos carretes, provistos ambos de su correspondiente cilindro de hierro dulce, cilindros que van unidos en la parte de fuera con una barra también de hierro dulce y en los polos por una placa de cobre. Atraviesa ambas placas, la de hierro y la de cobre, un eje horizontal que, por detrás de la tabla vertical de madera, engrana con una cadena sinfín, puesta en movimiento por una rueda de manubrio. Los alambres de los carretes están enrollados en sentido contrario, con objeto que las corrientes inducidas, que simultáneamente se producen en ellos al acercarse los polos del

electroimán, cuando éste gira, a los polos del imán permanente, sean del mismo sentido.



*Figura 75*

Es claro que, al alejarse los polos del electroimán de los del imán permanente, ambas corrientes cambian de sentido, de modo que son alternativamente directas e inversas; pero la máquina tiene un órgano especial, denominado conmutador; y destinado a conservar a voluntad el sentido de la corriente o a hacer que esta cambie de sentido a cada media vuelta del electroimán, si se juzga necesario.

Cuando se desea descomponer, con la corriente producida en la máquina de Clarke, el agua de un voltímetro, es indispensable que la corriente eléctrica no cambie de sentido, pues dirigiéndose siempre el hidrógeno al polo negativo y el oxígeno al positivo, es evidente que, si los polos cambian constantemente de posición, se obtendrá en cada probeta del voltímetro una mezcla de ambos gases, y de ningún modo la separación deseada. Para otras aplicaciones, en cambio, no es indispensable, ni mucho menos, que las corrientes conserven siempre el mismo

sentido. Tal es el caso, por ejemplo, de que se quiera enrojecer un alambre metálico, o producir conmociones eléctricas en el organismo, pues entonces es indiferente que las corrientes sean alternativamente de opuesto sentido.

### § 3. — La máquina magneto-eléctrica de Siemens

La máquina que vamos a describir en este párrafo es también una modificación de la máquina primitiva de Pixii, ó, si se quiere, de la de Clarke; pero, modificación tan profunda y perfeccionamiento tan importante, que bien puede decirse que constituye de por sí un sistema nuevo de máquinas magneto-eléctricas.

Lo que esencialmente distingue la máquina de Siemens de las otras es la disposición particular del electroimán móvil que, en vez de ser de la forma ordinaria, está constituido por un cilindro de hierro dulce, que lleva una doble ranura longitudinal, es decir, paralela al eje, en la cual va enrollado el alambre inducido, de modo que las espiras son paralelas al eje, y no perpendiculares a él. Este electroimán especial, denominado armadura Siemens, va colocado entre los dos polos, y perpendicularmente al plano vertical, de un poderoso imán permanente de herradura, y allí gira, movido por un manubrio o por un motor cualquiera, al rededor de su propio eje. Ya se comprende, por lo dicho, que las extremidades polares de esta armadura no se hallan en las dos cabezas del cilindro, sino en la superficie longitudinal de éste que el alambre deja al descubierto, y por eso, colocada la armadura entre los dos polos del imán permanente, recibe toda la inducción de que es capaz, mientras que con los electroimanes ordinarios, sólo se aprovecha el magnetismo de los polos y de las extremidades polares del imán fijo.

En la figura 76, que representa la máquina de Wilde, se observa que esta última máquina está constituida por la combinación de otras dos. La superior que es la más pequeña, es, ni más ni menos, que la máquina magneto-eléctrica de Siemens, en la cual M es el imán permanente, entre cuyas ramas gira, movida por una correa sin fin, la armadura, que se halla encerrada en las dos piezas de hierro dulce m y n. Estas dos piezas constituyen, evidentemente, los dos polos del imán fijo. Los extremos del alambre inducido, que rodea la armadura, van a parar al conmutador r, cuyo oficio es el mismo que el del órgano análogo de la máquina de Clarke.

En otra disposición adoptada por Siemens para su máquina, se sustituyen los imanes de herradura por dos series de imanes rectos, colocados Verticalmente en una larga pieza de hierro, y de tal manera que, las extremidades libres de cada serie, sean de nombre contrario.

La máquina de Siemens posee, relativamente a su volumen, una energía muy considerable. En la Exposición de Electricidad celebrada en París en 1881, la empleó Mr. Marcel Desprez como electro-motor, y obtuvo resultados que llamaron poderosamente la atención de los mecánicos. La estabilidad de la máquina, debida a su forma, permite comunicar a la armadura una gran velocidad de rotación, y esto, agregado a la cualidad, ya indicada, de que la armadura recibe del imán permanente toda la inducción de que es susceptible, hace que la energía desarrollada por la máquina sea muy grande.

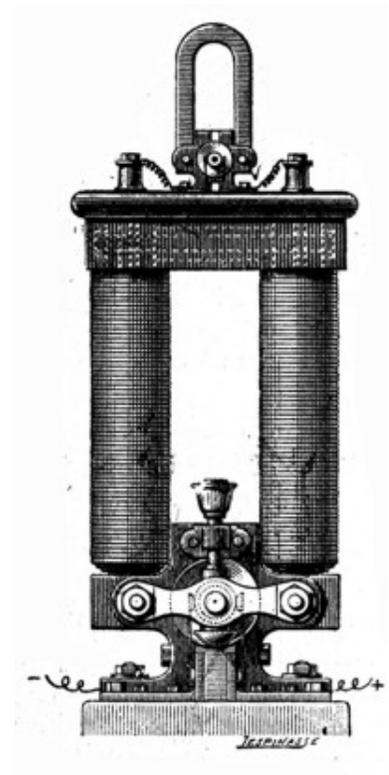


Figura 76

#### § 4. — La máquina magneto-eléctrica de Wilde

Acabamos de decir que la máquina magneto-eléctrica de Wilde (fig. 76) está constituida por la combinación de otras dos, de las cuales la superior, que es la más pequeña, es exactamente una máquina magneto-eléctrica de Siemens, en la cual se ha sustituido el imán permanente por un poderoso electroimán entre cuyos polos gira una gran armadura del mismo sistema.

La corriente, engendrada por la maquineta superior, se utiliza únicamente en animar el electroimán de la inferior, y el magnetismo comunicado por dicha corriente al, electroimán, obra por influencia sobre la armadura, ocasionando en ésta una enérgica corriente de inducción.

El principio en que la máquina de Wilde está fundada fue descubierto por Sinsteden en 1851, pero Wilde no construyó su máquina sino en 1864. Según Sinsteden, si la corriente producida por la máquina de Clarke, se utilizaba en imanar un electroimán poderoso, delante de cuyos polos se hiciese girar una armadura semejante a la

primera, se obtendría así una nueva corriente cuya intensidad sería por lo menos doble de la primera, la cual, a su vez, podría obrar sobre un tercer electroimán y sobre una tercera armadura, multiplicándose de este modo y de una manera indefinida la energía de la corriente.

En la máquina de Wilde, la pequeña maquineta de Siemens de que hemos hablado, se halla colocada sobre una placa de hierro,  $p$ , que sirve de enlace a los dos carretes constituyendo así el electroimán de la máquina inferior. Los dos carretes tienen por núcleo una lámina de hierro, en la cual va enrollado el grueso alambre por donde la corriente circula. La comunicación eléctrica entre ambos aparatos se establece por intermedio de los tornillos de presión  $p$ ,  $q$ , en los cuales terminan los alambres que parten del conmutador de la primera máquina. Las dos piezas de hierro  $T$ ,  $T$ , separadas por la de cobre  $i$ , constituyen las extremidades polares del electroimán, y entre ellas gira la armadura, movida por una correa sinfín.

La velocidad de rotación de las dos armaduras es distinta para cada una, girando la superior con velocidad mucho menor. La armadura inferior llega a alcanzar desde 1600 a 2500 vueltas por minuto, lo que da lugar a que se eleve la temperatura de una manera perjudicial para la conservación de la máquina. Para evitar esto, se hace circular una corriente de agua fría por un conducto abierto en el interior de la pieza de cobre  $i$ , que separa las extremidades polares del electroimán.

La máquina de Wilde y otras análogas han sido denominadas de sobre-excitación, a causa del empleo que en ellas tiene la pequeña máquina que sirve para excitar el magnetismo del hierro dulce en el electroimán inductor. Ahora vamos a hablar de otros aparatos, con los cuales se demuestra que no es necesaria, para poner en acción dichas máquinas, de ningún excitador especial, bastando a aquel fin el magnetismo remanente del hierro.

## § 5. — Las máquinas dinamoeléctricas

El principio en que están fundadas las máquinas dinamoeléctricas fue enunciado por Hjorth de Copenhague desde 1854, pero no ha venido a realizarse completamente sino en estos últimos años en que tales máquinas se han generalizado, hasta el punto de ser casi las únicas que se emplean en el alumbrado eléctrico. En 1866, Mr. Siemens, haciendo experiencias con la máquina de Wilde, observó que para hacerla

funcionar, no tenía necesidad de la maquinita excitadora, pues bastaba, para producir una débil corriente inducida en la segunda parte de la máquina, el magnetismo remanente del hierro de la armadura. Aquella débil corriente se reforzaba a sí misma, al pasar a través del alambre del electroimán inductor, y como la potencia de éste se aumentaba a su vez por el paso de la misma corriente resultaba un aumento constante de intensidad, que sólo podía tener por límite el punto de saturación del hierro.

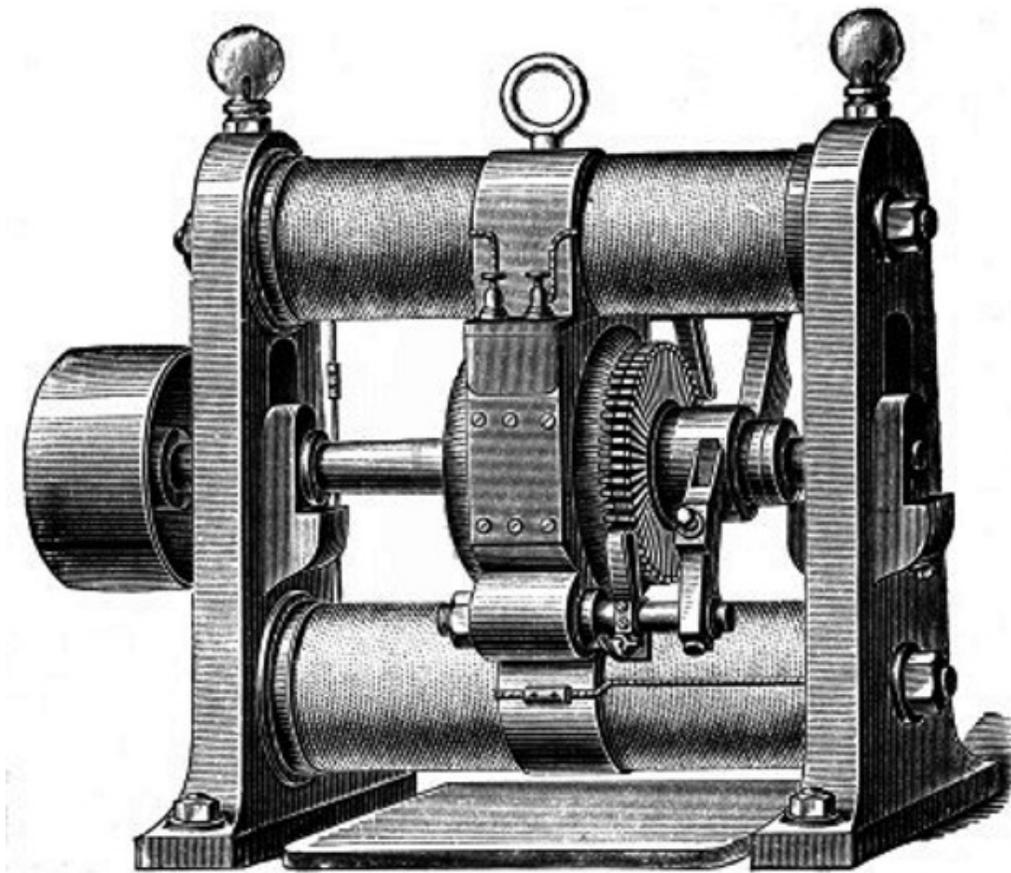
En el mismo año hacía Wheatstone análogos experimentos con otra máquina, de Wilde, a la que hizo funcionar, excitándola con una pila de Daniell, y, fundándose en estas experiencias, mandó construir una máquina, cuya descripción leyó el 14 de febrero de 1867 en la Real Sociedad de Londres, precisamente el mismo día en que Siemens leía en la misma sociedad la descripción de una máquina semejante. Ya, al hablar de la invención del teléfono, tuvimos ocasión de señalar una coincidencia, como la que ahora dejamos apuntada. Dos sabios reclaman el mismo día y en la misma oficina privilegio de invención por dos instrumentos análogos y destinados al mismo fin; la prioridad corresponde legalmente al que llega primero; mas ¿quién puede decir cuál de los dos es el inventor? En este caso de Siemens y Wheatstone, parece que Siemens había leído su descripción en Berlín el 17 de enero de aquel año y que, por lo tanto, a él corresponde el derecho de prioridad; pero sucede que Mr. Varley, en 24 de diciembre de 1866, había pedido privilegio de invención para una máquina de la misma naturaleza; de modo que bien podemos decir que el derecho de prioridad no es sino de quien primero publica una idea, nueva y original, que más tarde utilizan otros en importantes aplicaciones prácticas. La idea primera de las máquinas dinamo-eléctricas la concibió el físico Hjorth, de Copenhague, habiéndola realizado, aunque de una manera, en cierto modo, imperfecta; a este físico corresponde pues, el derecho de prioridad.

A las máquinas de Hjorth, Siemens, Wheatstone y Varley, sucedió la de Ladd, que no era sino una modificación de la de Wilde, pero que llamó considerablemente la atención de los mecánicos en la Exposición de 1867, porque, a pesar de sus pequeñas dimensiones, se obtenían con ella resultados relativamente enérgicos. Por lo demás, la máquina de Ladd no realiza ningún progreso, por lo cual juzgarnos innecesario detenernos en su descripción, pareciéndonos más útil entrar desde

luego a describir las principales, máquinas modernas y que son de uso más frecuente.

### § 6. — Las máquinas dinamo-eléctricas de Gramme

Desde 1861 había concebido y ejecutado el físico italiano Pacinotti una máquina electromagnética, cuya armadura difería completamente de las de todos los otros sistemas conocidos. En esta máquina la armadura consistía en un anillo de hierro, en el cual se hallaban enrollados cierto número de alambres aislados que formaban otros tantos carretes.



*Figura 77*

El principio en que estaba fundado el aparato de Pacinotti es el mismo que el que ha servido para la construcción de las máquinas de Gramme, y, sin embargo, nadie lo había utilizado, hasta que este constructor combinó, nueve años más tarde, la máquina que lleva su nombre.

Las máquinas de Gramme son de varias formas y dimensiones, según el fin a que se las destina; pero todas tienen de común la disposición general de la armadura, la cual, análoga, como hemos dicho, a la del sistema Pacinotti, se compone de un anillo que gira entre los polos de dos electroimanes poderosos (fig. 77).

El anillo está formado por una rueda de madera, rodeada exteriormente por un haz de alambres de hierro, cubiertos con una serie de hélices de alambre de cobre. Las hélices o carretes se hallan enlazados de modo que, el extremo interior del alambre de uno de ellos, se halle soldado a la extremidad exterior del alambre del que tiene al lado. En cada punto de soldadura va fija una lámina de cobre, cuyo plano pasa por un radio de la rueda y por el eje de rotación constituyendo entre todas una parte del colector de la máquina, que es el órgano donde se recoge la corriente. La otra parte del colector la forman los frotadores que transmiten la corriente al circuito exterior. Los dos electroimanes, están constituidos por los pilares de hierro que sostienen la máquina y por los carretes horizontales que claramente se indican en la figura, y están dispuestos de modo que los polos del mismo nombre quedan frente a frente y reunidos por las piezas de hierro que rodean la armadura.

Hemos dicho que las máquinas de Gramme son de varias formas y dimensiones, adaptándose cada modelo a las necesidades para la que ha sido creada. El tipo representado en la figura 77, denominado tipo A, o máquina de taller, es uno de los que más empleo tienen en la producción de la luz eléctrica. La armadura gira alrededor de un eje horizontal, movida por una polea que se halla enlazada con el motor por una correa sinfín.

Al moverse la armadura, girando entre los polos de los dos electroimanes, se engendra una corriente de inducción, que se hace pasar por los mismos carretes inductores, cuya energía refuerzan, y de éstos pasa a los frotadores del colector que a su vez la transmiten al circuito exterior del aparato.

La primera máquina Gramme que Mr. Jamin presentó a la Academia de Ciencias de Paris, en julio de 1871, era un modelo de pequeñas dimensiones, y movido a brazo, cuyos efectos, relativamente enérgicos, no podían, ni remotamente, compararse con los de las máquinas que actualmente fabrica aquel constructor. La del tipo A, que representa nuestro grabado, tiene unos 6,5 metros de largo por 4,1 de ancho y 5,0 de altura. Con una fuerza de 2 caballos y medio, lo que da una velocidad de

rotación de 850 vueltas por minuto, produce una luz eléctrica equivalente a 270 lámparas Carcel.

Hay otro modelo de máquina Gramme, designado con el nombre de máquina octógona; que se emplea especialmente para transportar la fuerza a distancia, en el cual los inductores, en vez de ser dos, como en el tipo anteriormente descrito, son cuatro, dispuestos alrededor de la armadura anular; de tal modo que cada uno obra aisladamente sobre un punto del anillo. Esta máquina, cuya armadura es de grandes dimensiones, desarrolla una fuerza electromotriz muy considerable.

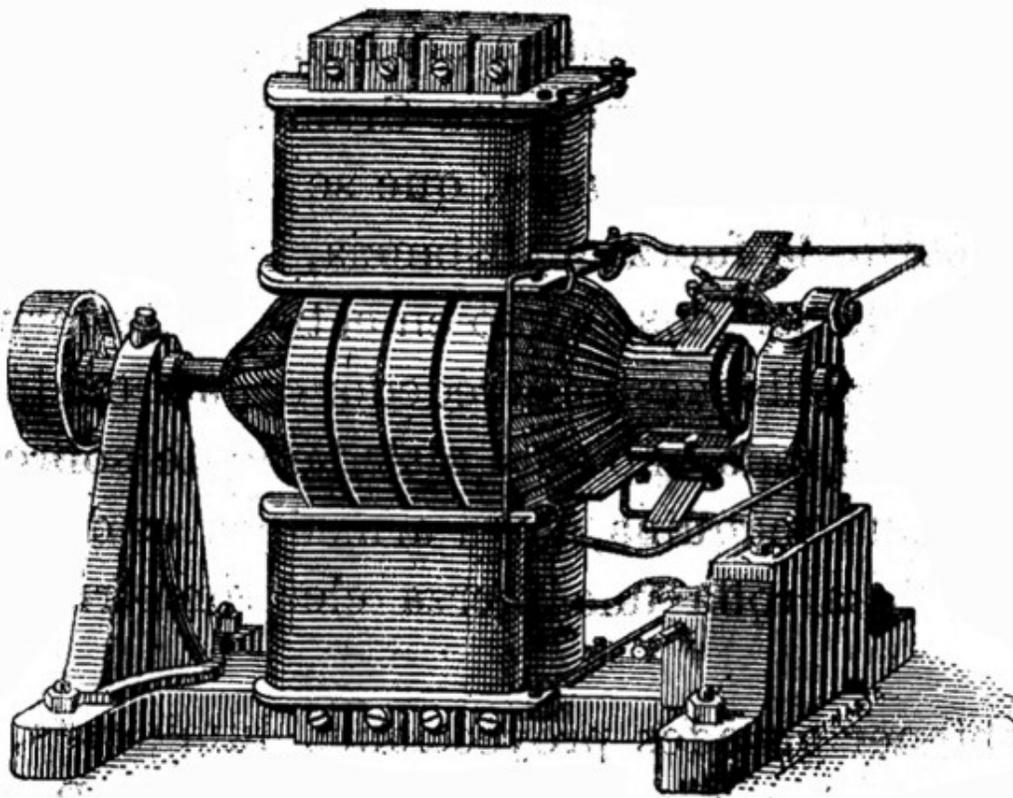
Para obtener grandes proyecciones luminosas, se emplea con frecuencia la máquina Gramme del tipo D, movida directamente por una máquina de vapor de gran velocidad, de las conocidas con el nombre de Brotherhood.

La teoría completa de la máquina de Gramme, es decir, de la producción de las corrientes inducidas en la armadura anular, es harto complicada para ser expuesta en una obra elemental como la presente. Podemos decir, sin embargo, y esto es fácil de comprender, que, si en la parte del anillo que está próxima a uno de los polos, suponiendo el anillo en movimiento, se engendran corrientes directas, al irse acercando cada carrete a dicho polo, en la parte diametralmente opuesta se irán engendrando corrientes inversas, en virtud de las leyes de inducción que oportunamente hemos expuesto.

### **§ 7. — Las máquinas dinamoeléctricas de Siemens**

Seria competencia han hecho a las máquinas de Gramme las inventadas, cuatro años después de aquellas, por el ingeniero Hafner-Alteneck, de la casa Siemens, de Berlín. Por la disposición general de estos aparatos, especialmente la de los modelos más recientes, pudiera creerse que no son sino modificaciones, más a menos acertadas, de la máquina de Gramme; pero un examen detenido demuestra que el principio en que está fundada la producción de la corriente inducida difiere lo bastante del que se realiza en la armaduras anular de Gramme, para constituir con las máquinas Siemens un tipo nuevo y bien determinado; del cual se han derivado después otros muchos sistemas o simples modificaciones con pretensiones de originales.

Las máquinas de Siemens, como las de Gramme, son de distintos modelos y tamaños, según el efecto que se desee obtener con ellas. Existen, pues, unos nueve o diez tipos diferentes, designados, para abreviar, con la letra D seguida de un subíndice numérico. Una de las más usadas es la que se designa por la notación  $D_4$  que es la que representamos en nuestro grabado (fig. 78).



*Figura 78*

Como se ve, está constituida por, dos electroimanes, verticalmente dispuestos, entre cuyos polos gira la armadura, con una velocidad de 4400 a 4380 vueltas por, minute. Esta armadura está sostenida por un eje horizontal en dos fuertes pies de hierro, invariablemente unidos a la base de la máquina.

Lo que esencialmente caracteriza la máquina Siemens es la armadura, la cual está formada por un cilindro de cobre de diámetro bastante grande, donde se hallan enrollados, paralelamente al eje, varias hélices sobrepuestas y en la misma disposición que las hélices de los galvanómetros. La unión y enlace de las hélices entre si es como la del anillo de Gramme, es decir, que la extremidad interior del

alambre de una de ellas va soldado al extremo exterior del alambre de la que le sigue. Unida a cada punto de soldadura se encuentra una lámina metálica, y todas estas láminas van a dar a una serie de placas colocadas alrededor de un cilindro de ebonita que se halla cubriendo una parte del eje de rotación de la armadura. Contra dichas placas, a semejanza de lo que sucede en las máquinas de Gramme, se apoyan dos frotadores o pinceles, encargados de transmitir al circuito exterior las corrientes producidas en el aparato. En el interior del cilindro de cobre que constituye la armadura se halla otro cilindro formado por un rollo de alambre de hierro, el cual, por su influencia, aumenta la intensidad de los efectos inductores. En vez de este rollo de alambres de hierro se suele colocar, en algunos otros modelos Siemens, una armadura también de hierro, cuyo objeto es excitar considerablemente la potencia del sistema electromagnético inductor, pero, según parece, en los últimos tipos de máquinas construidos, se ha renunciado a esta clase de excitador. Las corrientes de inducción que se producen en esta máquina, son debidas, como en los demás generadores dinamoeléctricos, al movimiento de las hélices frente a los polos de los electroimanes inductores; pero los dos polos de cada inductor obran simultáneamente sobre cada hélice, y, efectuándose esta doble acción en las dos partes opuestas de la hélice, en las cuales la corriente tiene dirección contraria con relación al eje de figura, y siendo, por otra parte, inversos los efectos que en igualdad de condiciones tienden a producir los polos de nombre contrario, resulta necesariamente que, combinados ambos efectos, vienen al fin y al cabo a obrar en igual sentido.

Para obtener corrientes en el sentido que se desee se hallan dispuestos los frotadores de esta máquina en una especie de báscula, de tal modo que, inclinándolos a un lado o a otro y permutando los hilos se produzcan los efectos deseados.

La corriente que con la máquina Siemens que hemos descrito, se obtiene, es bastante enérgica para alimentar dieciséis bujías Jablochkoff, y hemos de hacer observar que este modelo  $D_4$  es el más pequeño de todos los adoptados por aquellos constructores, a pesar de lo cual produce efectos de una energía asombrosa. Los modelos mayores son los designados por las notaciones  $D_0$  y  $D_{00}$ .

En el tipo  $D_0$ , pues se emplea para producir grandes fuerzas, los electroimanes inductores se hallan dispuestos horizontalmente, lo que da mucha mayor estabilidad a la máquina, puesto que ambos inductores se encuentran directamente apoyados en el basamento del aparato, y, porque la forma general de este tipo, mucho más ancho que alto, se presta más a hacerlo estable. Por lo demás, ninguna diferencia esencial existe entre este modelo y el que hemos descrito más atrás.

La casa de Siemens ha presentado, además de las máquinas de que venimos hablando, algunos otros modelos completamente distintos de aquéllos, tanto por su forma como por la disposición general de los diversos órganos que los constituyen. Uno de los que más han llamado la atención, y que por falta de espacio no podemos describir aquí con detalle, es el que se denomina de armadura plana. En esta máquina se ha procurado obtener el máximo de acción sobre las hélices del anillo Gramme, reduciéndolas a una sola capa de espiras y disponiéndolas de modo que presenten la mayor superficie posible a los inductores. Los electroimanes, en número de cuatro, se hallan dispuestos horizontalmente, como en las máquinas dinamoeléctricas de Gramme. Por último, las máquinas de anillo plano o de armadura plana, se destinan especialmente a la galvanoplastia (de la cual hablaremos a su tiempo), y como, en esta clase de aplicaciones de la electricidad, es conveniente reducir todo lo posible la resistencia de las hélices, se han formado éstas por barras de cobre, separadas entre sí por medio de hojas aisladoras de amianto.

Para terminar con la exposición de los varios sistemas Siemens, fáltanos hablar de una nueva máquina, fundada en distinto principio que las anteriormente descritas y designada con el nombre de máquina unipolar. El principio en que el aparato se funda es el de que, cuando un cilindro de cobre se mueve cerca de uno de los polos de un imán, se producen en el acto corrientes inducidas. Utilizando este principio, construyeron los señores Siemens una máquina que estaba constituida por un electroimán vertical, al rededor de cuyos polos giraban dos cilindros de cobre. Los efectos que con esta máquina se obtenían no eran muy enérgicos, sobre todo si se tienen en cuenta las dimensiones del aparato, pero se ha podido aumentar bastante la fuerza electromotriz producida, dividiendo los cilindros de cobre en cierto número de bandas longitudinales, colocadas sobre una sustancia aisladora y disponiendo los

frotadores de tal modo que se sumen las fuerzas electromotrices producidas en cada banda de cobre.

Claro está que esta máquina nueva necesita numerosos perfeccionamientos para que pueda competir, si acaso es posible, con sus predecesoras.

### **§ 8 — Las máquinas dinamo-eléctricas de Edison**

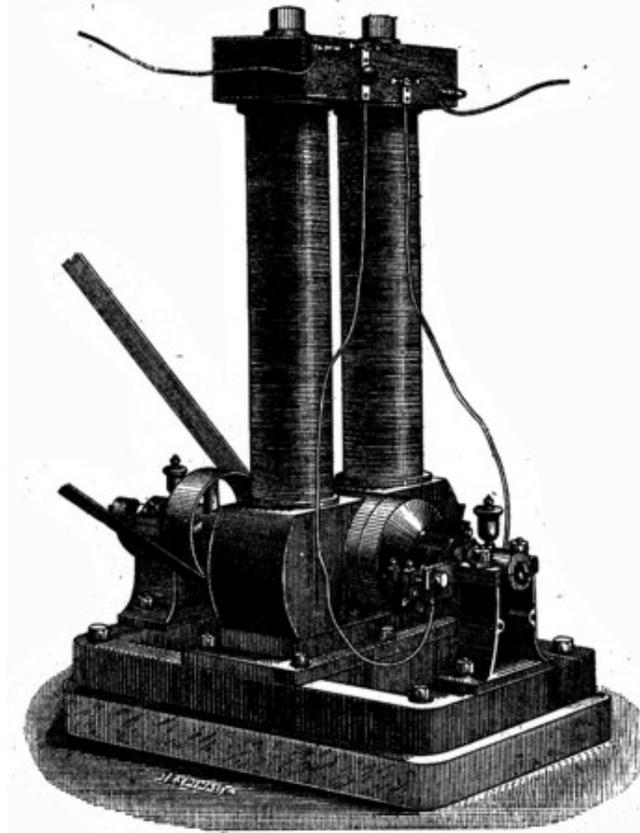
Las máquinas dinamo-eléctricas del famoso electricista americano Mr. Edison, difieren de todas las que hemos descrito en los párrafos precedentes, no sólo por su forma general y por la disposición especial de su armadura, sino también por la feliz aplicación que en ellas se hace de una idea, debida a Wheatstone, y que el mismo Siemens había ya estudiado desde 1880. En las máquinas de Edison, la excitación de los electroimanes inductores se hace por medio de una corriente derivada, que parte de uno de los alambres del circuito exterior, a la salida del colector de la máquina, y va a parar al otro alambre, después de haber recorrido las hélices de los inductores. La principal ventaja que, con esta disposición particular, se obtiene, consiste en la gran constancia que adquiere la corriente; mas, para conseguirlo, es necesario disminuir todo lo posible la resistencia de los alambres de la armadura de la máquina y la del alambre del circuito exterior y aumentar las de los cornetes del electroimán inductor. La corriente que recorre el circuito exterior de la máquina, y que se llama corriente de trabajo, puede, en efecto, de pronto y por causas imprevistas, encontrar un aumento de resistencia, en cuyo caso se debilitará necesariamente; pero, como entonces la corriente derivada adquiere mayor energía por aquella misma debilitación de la corriente exterior, resulta que los imanes inductores ejercen también una acción mucho más enérgica sobre la armadura de la máquina, tendiendo, por lo tanto, a aumentar la fuerza de la corriente de trabajo, con lo cual ven a establecerse el equilibrio. Si, por el contrario, sucediese que la resistencia del circuito exterior llegase a disminuir, tendería en parte la corriente derivada a recorrerlo, con lo cual se debilitaría la acción de los imanes inductores, debilitándose también en consecuencia la corriente de trabajo. Se ve, pues, que adoptando y aplicando a las máquinas dinamoeléctricas la idea de Wheatstone, se consigue que toda variación de la resistencia del circuito exterior sea automáticamente compensada por la misma máquina, lo cual es sumamente

ventajoso en los trabajos que requieren la mayor constancia posible en la intensidad de la corriente, tales como la galvanoplastia y la producción de la luz eléctrica.

Hemos dicho que, para obtener ese efecto de la constancia de la corriente, convenía disminuir todo lo posible la resistencia de las hélices de la armadura. Otra razón ha tenido también el constructor Edison para procurar la disminución de la resistencia de la armadura, y es la siguiente; en el sistema de alumbrado eléctrico por medio de lámparas de incandescencia, inventadas por el mismo Edison y de las cuales hablaremos a su tiempo, está probado que es conveniente alimentar cada lámpara por medio de una corriente derivada del circuito principal; ahora bien, para obtener este resultado, demuestra la experiencia que es necesario disminuir cuanto se pueda la resistencia de las hélices de la armadura, y he aquí por qué el Inventor Edison ha debido imaginar una disposición especial para este órgano esencialísimo en las máquinas electro-magnéticas y dinamo-eléctricas.

Aunque decimos que la armadura Edison tiene una disposición especial, hemos de reconocer que, en el fondo, esta disposición es análoga a la de la armadura Siemens; pero difieren lo bastante en muchos detalles para que pueda formarse con ellas categorías distintas. En las grandes máquinas Edison las hélices no están constituidas por alambres, sino por barras de cobre, dispuestas paralelamente a las generatrices del cilindro de la armadura y unida cada una por sus extremos a anillos delgados de cobre, apretados entre sí, y que constituyen con las barras un solo circuito, Este circuito se halla enlazado por cada dos barras con las láminas metálicas de un colector análogo al del anillo de las máquinas de Gramme. El interior del cilindro que constituye la armadura está formado por el eje de rotación, por un cilindro de madera que envuelve al eje, y por una serie de anillos de hierro, separados entre sí por otros de papel, que rodean al cilindro de madera. El tubo que forman los anillos de hierro se hallan terminados en sus extremidades por anchas piezas también de hierro. Con esta disposición de la armadura se consigue disminuir considerablemente la resistencia, lo cual, como hemos dicho más atrás, permite obtener con facilidad las corrientes derivadas que se destinan a alimentar las lámparas de incandescencia.

Veamos ahora cuál es la disposición general de uno de los principales tipos de máquinas del sistema Edison. La figura 79 representa con todo detalle uno de estos aparatos.



*Figura 79*

El electroimán inductor, cuyas ramas son mucho más largas .que las de las demás máquinas dínamo-eléctricas que hemos descrito en el presente capítulo, se halla colocado verticalmente sobre dos grandes piezas de hierro, unidas a las demás piezas también de hierro que forman el basamento de la máquina, y que con ellas constituyen las extremidades polares del inductor. Entre estas piezas gira la armadura, alrededor de un, eje horizontal, y movida por la correa sin fin de una máquina de vapor. El peso total de este aparato Edison es de 1230 kilogramos, y tiene 1,95 m de altura por 1,40 m y 0.75 m de base. Con una fuerza de 8 caballos puede alimentar 60 lámparas del tipo A ó 120 del tipo B.

Los constructores de las máquinas Edison, como Gramme y Siemens, han adoptado varios tipos de máquinas, acomodados por sus dimensiones y otras particularidades

a la calidad e intensidad de los efectos que quieren producir. Los cuatro tipos principales de estas máquinas se designan respectivamente por las letras E, Z, L y K. El menor, que es el primero, gasta dos caballos y medio de fuerza, y alimenta 17 lámparas modelo A. Pesa 290 kilogramos y tiene 0,83 m. de altura por 0,63 m y 0,435 m en la base. El tipo designado con la letra Z es el que hemos descrito y que está representado en la figura 79. El tipo L alimenta 150 lámparas A con un gasto de fuerza de 18 caballos; pesa 250 kilos y tiene 1,97 m de altura por 1,60 m y 0,70 m de base. El modelo K, por último, alimenta 250 lámparas A con 30 caballos de fuerza y tiene de altura 2.02 m por 1,83 m y 0,74 m de base. En este último tipo la armadura gira entre seis ramas de electroimán que forman tres poderosos inductores.

Además, de estos cuatro modelos de máquinas, ha construido Mr. Edison otras mucho más poderosas y que pueden alimentar hasta 1200 lámparas. En estas grandes máquinas la disposición general varía algo de la de las que hemos descrito o citado. El motor en ellas forma cuerpo con el generador eléctrico, al cual está invariablemente unido. La armadura, igual a la descrita, tiene 0,70 m de diámetro, y lleva 98 barras de cobre que constituyen el circuito. Esta armadura se halla encerrada en un pedestal de hierro, formado de dos piezas que constituyen las extremidades polares de los inductores, los cuales están a su vez constituidos por doce cilindros horizontales de hierro de 1,35 m de largo, rodeados por carretes de 30 centímetros de diámetro. La armadura gira con una velocidad de 325 vueltas por minuto, que le comunica la máquina de vapor unida al aparato dinamoeléctrico.

Con esta máquina poderosa, hemos dicho, se pueden alimentar 1200 lámparas. Últimamente, y a consecuencia de considerables perfeccionamientos que se han hecho en su construcción, se ha conseguido reducir las dimensiones de la máquina, aumentando al mismo tiempo el trabajo útil, de modo que, el modelo descrito, ha llegado á. alimentar hasta 2000 lámparas.

El objeto de construir máquinas de potencia tan considerable es proporcionar una gran economía en el costo pues el cálculo y la experiencia demuestran que el efecto eléctrico útil es tanto mejor cuanto mayores son las máquinas y menor la velocidad con que giran. Máquinas de mayor potencia que las descritas son las que

actualmente alimentan los millares de lámparas colocadas en las casas de uno de los barrios más populosos de New York.

### **§ 9. — De algunas otras máquinas electromagnéticas**

El número de aparatos generadores de electricidad es hoy tan grande, que nos sería imposible, no sólo describirlos, pero ni siquiera enumerarlos todos. De los tipos principales se han derivado una infinidad de modificaciones, imitaciones y hasta verdaderos plagios, con pretensiones de originales, que, ni presentan nada nuevo, ni traen el más ligero perfeccionamiento a la producción de la luz eléctrica ni a ninguna otra de las aplicaciones de la electricidad. Debemos, sin embargo hablar, siquiera sea de pasada, de algunos otros sistemas verdaderamente nuevos y que se aplican con ventaja al alumbrado eléctrico. Nos referimos a las máquinas de corrientes alternativas y a las de división de la corriente eléctrica.

En todas las máquinas que hemos descrito, la corriente eléctrica va siempre en el mismo sentido, y esto, que puede ser y es efectivamente una ventaja para ciertas aplicaciones de la electricidad, tales como la galvanoplastia, etc., no lo es de ningún modo para la producción de la luz eléctrica, cuando, para obtenerla, se emplean las lámparas de dos carbones, ya sea en forma de bujías, ya en cualquiera otra disposición de las adoptadas. En el capítulo siguiente, en que trataremos con algún detalle del alumbrado eléctrico, veremos de qué modo, los carbones, entre los cuales se produce la luz, se deforman al paso de la corriente. Al gastarse los carbones, si la corriente va siempre en el mismo sentido, lo hacen de una manera desigual, mientras que, si pasa alternativamente en un sentido y en otro contrario, se obtiene un gasto igual, lo cual, como se verá, es sumamente ventajoso. Y no son éstas las únicas ventajas que se obtienen, pues que los, transportes eléctricos de un carbón al otro quedan suprimidos, y, como consecuencia, las irregularidades de brillo en la luz.

Entre las máquinas de corrientes alternativas que actualmente se usan en la producción de la luz eléctrica, una de las más importantes es la de Mr. de Meritens, de la cual sólo podemos dar una ligera idea. Los inductores en esta máquina son imanes permanentes de herradura, dispuestos horizontalmente en una armadura cilíndrica de bronce, de tal manera que las ramas de los imanes sean como las

generatrices del cilindro. Frente a los polos de estos imanes, gira un anillo vertical, del género Pacinotti, dividido en cuatro secciones aisladas magnéticamente y que constituyen, por consiguiente, cuatro electroimanes arqueados. Las hélices están dispuestas en tensión, es decir, que el extremo interior del alambre de una de ellas va soldado a la extremidad exterior del alambre de la hélice siguiente.

Una de las principales ventajas que esta máquina tiene sobre las dinamoeléctricas es que, para la producción de la corriente, no, se exige una gran velocidad de rotación y por lo tanto, se calienta, poco, lo que demuestra que, el trabajo eléctrico se utiliza mejor. Además las corrientes obtenidas, son muy constantes lo, cual es, seguramente, ventajosísimo, en la producción de la luz, Mas, si para obtener la fuerza de inducción no es preciso trabajo, ninguno por ser permanentes los imanes, en cambio, como el acero no puede imanarse tan enérgicamente como el hierro dulce, se necesitan masas de metal mucho mayores para obtener los mismos efectos de inducción, y por eso estas máquinas han de ser de grandes dimensiones, si se las compara con los pequeños y poderosos aparatos dinamoeléctricos que hemos descrito. Haciendo pues, un estudio comparativo de estos distintos sistemas, se ha venido a dar todavía la preferencia a las máquinas dinamoeléctricas, salvo ciertos casos, en que la constancia y regularidad de la luz es esencial, como en los faros, y en los cuales se han preferido las máquinas de corrientes alternativas de que venimos hablando.

Digamos ahora, para terminar este capítulo, algunas palabras acerca de las máquinas de división de la corriente, que han venido a resolver un problema muy importante en la cuestión del alumbrado eléctrico. Todos los aparatos que hasta el presente hemos descrito, tienen la desventaja de que, por sí solos, no pueden alimentar sino un corto, número de lámparas, y el problema que los constructores querían resolver, aunque sin éxito, era el de combinar una máquina que pudiese dar la electricidad suficiente, en varios circuitos derivados, para alimentar un gran número de focos luminosos. Este problema ha quedado definitivamente resuelto por Mr. Lontin, desde 1876, pues con su máquina de división se puede, no solamente dividir la luz en muchos focos distintos, sino dar a cada uno la intensidad luminosa que convenga. Debemos advertir que estos aparatos de división no son, verdaderos generadores de electricidad, sino máquinas alimentadas por generadores

dinamoeléctricos, de cualquiera de los sistemas descritos, o por simples generadores voltaicos.

La máquina de Lontin se compone esencialmente de un sistema inductor móvil, alimentado por un generador dinamo' eléctrico, y de un sistema inducido. El sistema inductor forma una especie de piñón magnético, compuesto de un cilindro de hierro en el cual se hallan colocadas una serie de láminas también de hierro, dispuestas como los dientes de un piñón, las cuales llevan cada una su correspondiente hélice magnetizante. El sistema inducido se compone de un anillo de hierro fijo, provisto interiormente de una serie de láminas de hierro, colocadas como los dientes de una rueda de engranaje interno, y rodeadas de hélices que forman otros tantos carretes inducidos. En el interior de este anillo gira el inductor, el cual está dispuesto de modo que los núcleos magnéticos de ambos sistemas pasen muy cerca unos de otros, pero sin tocarse. Las extremidades libres de los alambres del sistema inducido llegan individualmente al conmutador de la máquina, de modo que las corrientes parciales que sucesivamente se van engendrando, pueden ser destinadas cada una a alimentar una lámpara distinta, y hasta se puede dirigir a una misma lámpara una corriente doble o triple o como se quiera, con lo cual se consigue que la intensidad luminosa de esta lámpara sea mayor que la de otra de las alimentadas por la misma máquina.

En la imposibilidad de dar más detalles acerca de estos aparatos, nos limitaremos a recomendar al lector estudioso las obras especiales que tratan de la materia, dando por terminado, en este punto, el largo capítulo que hemos consagrado a los generadores de electricidad.

## CAPÍTULO 5

### LA LUZ ELÉCTRICA

#### § 1. - Notas históricas.

Vamos a tratar en este capítulo de una de las grandes y principales aplicaciones de la electricidad: la del alumbrado eléctrico. Teóricamente se halla resuelto este importantísimo problema; en la práctica, y considerado principalmente desde el punto de vista de sus condiciones económicas, hemos de confesar que todavía no lo está de una manera satisfactoria. Eso no obstante, no es difícil profetizar un éxito prodigioso para un plazo breve, sobre todo si se tienen en cuenta los inmensos progresos realizados en estos últimos años, tanto en la cuestión de los generadores de luz, de que hemos hablado en el capítulo anterior, como en la disposición de las lámparas, donde las luces han de producirse, de que hablaremos en el presente capítulo.

Para comprender bien la inmensa diferencia que existe entre los primitivos sistemas de alumbrado y las espléndidas iluminaciones eléctricas modernas, es necesario haber contemplado la avenida de la ópera de París en la época en que estaba iluminada por numerosas lámparas Jablochhoff, y pasar luego a vivir a cualquier mísero rincón de provincias, donde las calles están de trecho en trecho irrisoriamente alumbradas por ruines candilejas de petróleo. Es como pasar de la luz del día a la más oscura noche. Y cuenta que la aplicación del petróleo al alumbrado fue en su tiempo un notable progreso. Pues comparemos ahora los potentes focos eléctricos con las primitivas antorchas de ramas secas, resinosas y humeantes, de que se servía el hombre en los comienzos de la civilizaciones y de que, aun hoy, parece mentira, se sirve en algunos pueblos, y se adivinará hasta dónde puede llegar el progreso en lo porvenir.

Ya la luz eléctrica se aplica con éxito a cierta clase de trabajos en los cuales la verdadera economía consiste en no reparar en gastos. En las obras públicas, tales como la construcción de los puertos de mar, donde es urgente y económico aprovechar las horas de la noche, en los trabajos de minas y galerías subterráneas, en los faros, en la marina de guerra, en las operaciones de los ejércitos y en otras varias aplicaciones, se utiliza con ventaja considerable el alumbrado eléctrico. Es

más, sin la luz eléctrica sería imposible de todo punto realizar ciertas operaciones, porque ningún, otro foco luminoso, excepto el sol, es tan intenso como el producido por la electricidad. Sólo falta, pues, que pueda obtenerse esta luz en tales condiciones que sea económico aplicarla al alumbrado de calles y plazas y al del interior de las habitaciones a eso tienden los esfuerzos de los constructores y no es absurdo esperar, dados los progresos que constantemente se realizan, que antes de pocos años el problema quedará definitiva y satisfactoriamente resuelto.

En los primitivos tiempos, hemos dicho y. aun hoy en ciertos pueblos muy cercanos a los principales centros de civilización utilizaron los hombres, para alumbrarse, las antorchas fabricadas con ramas secas. a este sistema de alumbrado siguió el de las lámparas, en el cual se emplea han sustancias oleaginosas líquidas que ardían en una mecha humeante, colocada en vasos especiales de barro cocido o de bronce, y de los cuales se conservan notables muestras en los museos de antigüedades egipcias, griegas y romanas, Lujosas y artísticas son seguramente muchas de estas lámparas, pero si se considera la clase de alumbrado mezquino y pebre que con ellas podía obtenerse, hay que convenir en que hoy no lo querrían los más atrasados campesinos.

Allá en el siglo XII de nuestra era, inventaron los ingleses las velas de sebo, que todavía en algunos pueblos atrasados se usan, y que tan molestas son por lo escasa y mala luz que proporcionan, y, sobre todo, por lo mal que huelen a pesar de estas desventajas, aquella invención pudo considerarse como un progreso inmenso realizado sobre los primitivos sistemas, en la cuestión del alumbrado que pudiéramos llamar doméstico.

En cuanto al alumbrado público, es relativamente moderno, pues sólo empezó a usarse en algunos pueblos de Europa en el siglo XVII, empleando para ello farolillos provistos de candilejas de aceite, que, si no alumbraban, en el verdadero sentido de la palabra, servían, cuando menos, para señalar el camino a aquellos a quienes la necesidad de las malas costumbres, obligaban a salir a la calle después de las oraciones. En el siglo XVIII se inventaron los reverberos o lámparas de reflector que hasta principios de este siglo existían en muchos pueblos, suspendidos en medio de las calles, y que, en realidad, iluminaban un poco más que las antiguas candilejas. Vinieron luego, a fines del siglo XVIII, las lámparas inventadas por

Argant, y que se denominan quinqués, porque fue Quinquet quien introdujo en ellas el perfeccionamiento de añadirles el tubo que sirve de chimenea. Estas lámparas, cada vez más perfeccionadas, se utilizan todavía hoy, y se usarán seguramente por algún tiempo, mientras el problema del alumbrado eléctrico en el interior de las habitaciones no se halle definitivamente resuelto. En los pueblos pequeños y no muy adelantados, en los cuales el alumbrado por el gas no ha llegado a introducirse, todavía existe el alumbrado público de petróleo, que es, por cierto, muy insuficiente.

También subsistirán por mucho tiempo las bujías esteáricas inventadas por Chevreul y Gay-Lussac en 1825, las cuales están hechas con materias extraídas del sebo, del cual se separan la glicerina y el ácido oleico que son sustancias líquidas, utilizando solamente las materias sólidas o inodoras. Lo mismo decimos de las modernas bujías de parafina que prestan idénticos servicios que las esteáricas; su uso se extenderá todavía y durará algunos años.

Entre los perfeccionamientos introducidos en las lámparas de líquidos, uno de los más importantes es el que se debe al relojero Cárcel, el cual ha dado su nombre al aparato inventado por él. Esta lámpara, no sólo ha prestado los servicios que prestan las demás, sino que ha servido, y sirve hasta el presente, como unidad de medida de intensidad luminosa. Cuando se quiere medir la intensidad de un foco cualquiera, se le compara con el de la lámpara Cárcel, y se dice que vale tanto como una, dos, tres o diez lámparas Cárcel. La que Edison designa con la letra A vale tanto como 16 bujías inglesas o como 1,72 Cárcel. El problema que Cárcel se propuso resolver con su lámpara, fue el de mantener el líquido en el recipiente a un nivel constante para, de este modo, conservar la constancia de la intensidad de la luz. Para ello, aplicó al pistón de una bomba impelente un bien combinado aparato de relojería, y el problema quedó resuelto. Hoy se consigue igual resultado con procedimientos más sencillos.

Todos estos perfeccionamientos que sucesivamente han ido introduciéndose en la cuestión que nos ocupa, han sido seguramente muy importantes y han realizado en su época notables progresos. Pero la primera y gran revolución que en este orden de ideas se ha verificado, es la introducción del alumbrado de gas en calles y plazas, en todos los establecimientos abiertos al público y hasta en las casas

particulares. La primera idea referente a este alumbrado se debe al ingeniero francés Lebon, quien, desde 1785, proponía utilizar para el alumbrado el gas procedente de la destilación de la madera en vasos cerrados. Más tarde indicó la posibilidad de alumbrarse con el gas obtenido al destilar la hulla, idea que fue aplicada en Inglaterra por Murdoch desde 1805, y que después le ha realizado en todo el mundo. Hoy es raro el pueblo de alguna importancia donde el alumbrado de gas no exista, y tales y tan profundas raíces ha echado en todas partes, que este sistema combate al alumbrado eléctrico que, por las condiciones económicas, no puede todavía luchar con él.

Desde cualquier otro punto de vista, que se le considere, el alumbrado eléctrico es infinitamente superior al de gas.

La idea de aplicar la luz eléctrica a la iluminación de las calles y plazas no es muy antigua, aunque ya de antiguo se conociese el poder luminoso considerable del arco voltaico y se hubiese pensado en utilizarlo en cierta clase de trabajos, en los cuales se necesita una luz intensa que, no de otro modo que con la corriente eléctrica, puede producirse. Solamente en 1842, y a consecuencia de algunos experimentos notables que se hicieron en París, en la plaza de la Concordia, se entrevió la posibilidad de que la luz eléctrica fuese algún día, aplicada al alumbrado público. Pero en aquella época el problema estaba, se puede decir, en mantillas; los medios de regularizar la luz eran elementalísimos; la fijeza no podía obtenerse; en dividirla y distribuirla ni siquiera se soñaba, y por último, exigía su producción gastos muy considerables. En tales condiciones, y no pudiendo prever los notables progresos que en algunos años habían de realizarse, no es extraño que las personas competentes dudasen de que la electricidad pudiese ser aplicada al alumbrado público. Más adelante, cuando las máquinas magneto-eléctricas de la compañía la Alianza, de que hablamos oportunamente, fueron aplicadas, después de numerosos perfeccionamientos, a la producción de la luz eléctrica, y cuando se vieron los magníficos resultados que se obtenían con ellas, en condiciones relativamente económicas, volvieron las gentes a pensar en este sistema de alumbrado. Sin embargo, la dificultad, o mejor dicho, la imposibilidad de dividir la luz, subsistía, lo mismo que la irregularidad de acción de las lámparas, y por estas razones y otras no menos poderosas, hubo de aplazarse la solución del problema, hasta estos

últimos tiempos en que, si no está completamente resuelto, promete serlo en breve plazo. Las máquinas generadoras de luz en efecto, lo mismo que las máquinas de división se han perfeccionado tanto que, desde ese punto de vista, apenas puede exigirse más; las lámparas donde la luz se produce también han llegado a una perfección verdaderamente notable, sobre todo, después de los progresos realizados en la fabricación de los carbones, y en su aplicación a las bujías eléctricas, y después de, la invención de las lámparas de incandescencia, que han venido a resolver el problema de la, aplicación de la electricidad al alumbrado doméstico. ¿Qué falta, pues, para que el, alumbrado por la luz eléctrica sea un, hecho? Vencer algunas dificultades económicas y destruir interesadas preocupaciones. De ello se encargarán los constructores, perfeccionando su obra, y la opinión pública, ejerciendo sobre los retrógrados una presión siempre avasalladora.

## **§ 2. — Naturaleza de la luz eléctrica**

Difiere la luz eléctrica por su naturaleza de todas las demás luces artificiales que podamos producir; en éstas el foco luminoso se obtiene generalmente por la combustión de un cuerpo en el aire que nos rodea; en aquella no existe combustión, puesto que se puede obtener la luz en el vacío, en el agua y en el seno de gases incomburentes. La luz eléctrica es la transformación de la fuerza productora de la corriente en luz, transformación que se opera cuando el paso de la corriente por el circuito se halla cortado en un punto o cuando, sin que el circuito presente solución ninguna de continuidad, se interpone al paso del fluido eléctrico una resistencia considerable. En ambos casos se determina en aquel punto del circuito una elevación brusca de tensión, que a su vez produce un efecto de incandescencia, es decir, una manifestación luminosa.

Claro está que la incandescencia es debida al calor desarrollado por la resistencia que la corriente encuentra en su camine, pero el efecto luminoso no crece proporcionalmente al aumento de temperatura, sino mucho más rápidamente. De este hecho, y de la propiedad que tiene la corriente eléctrica de concentrar en pequeño espacio una gran cantidad de calor, se deduce, una consecuencia muy importante para la producción de la luz, y es que si se divide la corriente para

obtener un gran número de focos luminosos, como en cada uno de ellos no podrá concentrarse una gran cantidad de calor, el efecto luminoso total será mucho menor que si la misma corriente se aplicase a un número más pequeño de lámparas. Por esta, si se quiere obtener en ambos casos igual efecto será necesario consumir en el primero mayor cantidad de fuerza que en el segundo, es decir, que en el primero el costo será mayor.

Dada la naturaleza de la luz eléctrica, será suficiente, para producirla, que la descarga pase a través de un medio poco conductor, el cual puede ser o un cuerpo gaseoso como el aire, o cuerpos sólidos, especialmente los que sean infusibles y malos conductores a la vez, como el platino y el carbón. En el caso de que la luz se haya de manifestar en seno de sustancias gaseosas, es conveniente que los electrodos, además de provocar una elevación de temperatura suficiente para que se efectúe el paso de la corriente por el medio gaseoso, permitan la producción y el arrastre de partículas, materiales muy divididas que, calentadas al rojo blanco, determinan por su propio brillo la manifestación luminosa. En este principio están fundadas las lámparas que se denominan de arco voltaico, de las cuales hablaremos en breve. Si el conductor que se emplea es sólido, basta, como hemos dicho, que sea infusible a la temperatura máxima que con una corriente dada se obtenga, y que conduzca mal la electricidad, es decir, que posea una resistencia específica considerable. El carbón y el platino se hallan en este caso, siempre que las dimensiones de los que se empleen satisfagan a ciertas condiciones. Las lámparas denominadas de incandescencia están fundadas en éste modo de producción de la luz eléctrica.

Estudiemos, pues, con algún detalle estas dos clases de luz, la de arco voltaico y la de incandescencia, para hacer luego la descripción de las principales clases de lámparas que de uno y otro sistema se usan.

### **§ 3. — La luz producida por el arco voltaico.**

La denominación de arco voltaico que se da a la luz producida entre dos conductores, separados por un medio gaseoso, proviene de la curvatura que adquiere la chispa eléctrica al atravesar la capa aeriforme. Esta curvatura depende de la tendencia a elevarse del medio gaseoso por efecto del gran calor desarrollado

al pasar la corriente de un conductor al otro. La naturaleza de los electrodos, la de la capa gaseosa, y la intensidad de la corriente influyen en el brillo y en el color del arco voltaico. La forma de los conductores o electrodos influye en el aspecto de la luz, la cual es cónica cuando se produce entre una punta y una superficie, y globular cuando se manifiesta entre dos puntas de carbón. La tensión de la corriente ejerce una gran influencia en la longitud máxima del arco; además el arco voltaico es más largo cuando el carbón positivo se halla por encima del negativo, suponiéndolos verticales, y, si los carbones se hallan colocados horizontalmente, el arco es menor que cuando, lo están verticalmente por la tendencia a elevarse del aire caliente. La temperatura del carbón positiva es mucho más elevada que la del carbón negativo, si, para obtener la luz, se han empleado corrientes voltaicas, es decir, producidas por la pila; mas, si se emplean corrientes inducidas de alta tensión, no se nota aquella gran diferencia de temperatura entre los dos electrodos. Empleando carbones puros, la luz, es azulada, si se utilizan corrientes de débil intensidad eléctrica, pero con corrientes más enérgicas se produce una llama, tanto más considerable, cuanto más impuros sean los carbones. Si el medio gaseoso que separa los electrodos es el aire, los dos carbones se gastan rápidamente, pero en distintas proporciones, pues, mientras el carbón positivo se consume como 2 el negativo no se gasta sino como 1. Proyectando el arco voltaico sobre una pantalla se obtiene una imagen de los dos carbones, como la representada en la figura 80, en la cual se observan, sobre la superficie de los electrodos, unos globulillos líquidos incandescentes, formados por sustancias minerales (silicatos alcalinos y otras) que se encuentran con frecuencia en los carbones de retorta y que se funden por efecto de la alta temperatura del arco. Estos glóbulos son una de las causas de perturbación en la fijeza y constancia de la luz. Observando atentamente la imagen del arco en la pantalla se les ve moverse y resbalar, y saltar por último de un electrodo al otro. El brillo de cada electrodo, si los carbones son cónicos, es distinto para cada uno; el negativo apenas es rojo en la punta, mientras que el positivo es rojo blanco hasta cierta distancia de su extremidad. La forma de las puntas también varía de un electrodo al otro; el negativo se aguza, el positivo se ensancha y ahueca en el extremo formando una especie de cráter. Pero debemos advertir que estas diferencias en la forma y en el brillo de los dos carbones, lo mismo que la

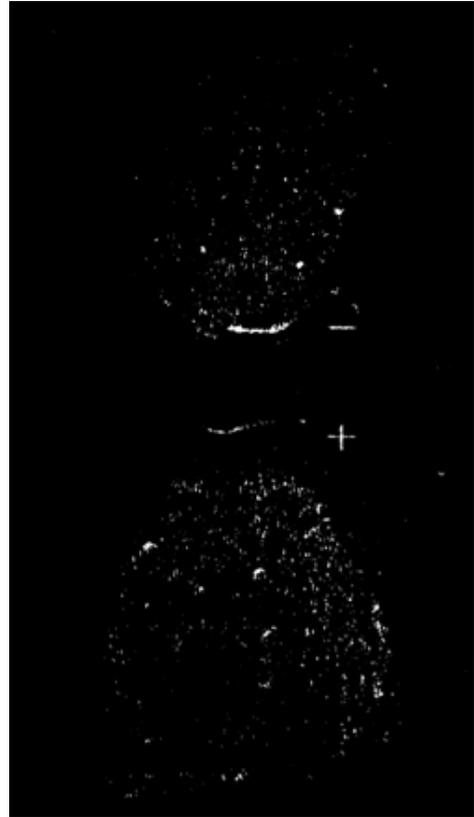
desigualdad en el gasto de cada uno, de que hablamos poco ha, no tienen efecto sino con las corrientes que van siempre en el mismo sentido, pues, con las corrientes alternativamente invertidas, como la polaridad de los carbones cambia constantemente, se encuentran ambos en idénticas condiciones, siendo cada uno alternativamente positivo y negativo y gastándose, por consiguiente, en cantidades iguales.

En el vacío puede aumentarse mucho la longitud del arco voltaico. En el seno de diferentes gases varía algo el aspecto de la luz, sobre todo si algunas reacciones químicas secundarias se producen; entonces pueden variar la longitud del arco y el color de la luz. Si ésta se produce en medio de gases incomburentes, los carbones se desagregan, como en los demás casos; pero no se queman, y el brillo de la luz es menor.

Sabido es que, cuando la luz del sol atraviesa un prisma de cristal, se descompone en los siete colores elementales, cuyo conjunto constituye la luz blanca. Pues bien, la luz eléctrica, que tiene una gran analogía con la del sol, es blanca como ella, pero tiene más rayos químicos, lo que la hace algo dañosa para la vista. Estos rayos químicos, son rayos oscuros que, junto con los

caloríficos, que también son oscuros, y los luminosos, constituyen la luz completa. Para evitar el daño que a la vista puede ocasionar la luz eléctrica se han propuesto algunos medios que tienen todos el defecto de disminuir la potencia luminosa del foro, por lo cual han sido desechados.

En todo lo que hemos dicho, acerca de la luz producida por el arco voltaico, hemos supuesto que los electrodos, entre los cuales se manifiesta, eran de carbón. Rara es, en efecto, la lámpara eléctrica de arco voltaico en que no se emplee el carbón para los electrodos, y la razón es muy sencilla: el carbón es el cuerpo que en más facilidad se desagrega, el que más uniformemente se quema, y en una palabra, el



*Figura 80*

que hasta el presente, ha dado mejores resultados. Por eso vamos a hablar ahora de su fabricación y de los distintos procedimientos que para prepararlos se han seguido y se siguen hasta el presente, a fin de completar el estudio que venimos haciendo, relativo a la luz de arco voltaico. Desde 1800 indicó Davy, en carta escrita a Nicholson, la ventaja que habría de emplear el carbón como órgano excitador de la luz eléctrica. En las experiencias que el mismo Davy hizo en, aquella época y en las que se siguieron haciendo después, el carbón que se empleaba era el de madera, pero se gastaba muy pronto y era poco duro. Foucault propuso más tarde que se emplease el carbón de retorta, obtenido al destilar la hulla para producir el gas, y pudo conseguir de este modo arcos de más duración; pero el carbón de retorta presenta algunos inconvenientes, por no ser compacto de una manera uniforme y por encontrarse mezclado con sustancias terrosas y en partículas con materias silíceas que hacen la luz muy poco estable. Estas materias, al fundirse, desagregan los electrodos, los hacen estallar y romperse en pedazos, produciendo además otros daños, por cuyos motivos se han desechado los carbones de este género. En vista de tales inconvenientes, se han propuesto los físicos encontrar el medio de fabricar carbones especiales, tan duros como los de retorta, más puros respecto de su composición química y más homogéneos físicamente considerados. El problema propuesto ha quedado resuelto, si no de una manera que pueda llamarse perfecta, por lo menos, con, bastante aproximación. Los medios que se siguen en la preparación de estos carbones son los que vamos a indicar ligeramente.

Los primeros carbones para los cuales se solicitó privilegio de invención fueron los de los señores Staite y Edwards (1846); componíanse de una mezcla de coke pulverizado y azúcar, sometida, después de moldeada y comprimida, a tina cocción con un jarabe concentrado, y luego a una segunda cocción al calor blanco. A estos carbones sucedieron los de Mr. Lemolt (1849), compuestos de 2 partes de carbón de retorta, 2 de carbón de madera y 1 de alquitrán líquido. Hecha una pasta con estas sustancias se les comprimía fuertemente y se les cubría con una capa de jarabe, cociéndolos después durante 30 horas, y purificándolos al fin con varias inmersiones en ácidos. Vino luego el procedimiento de Mr. Jacquelain, que daba carbones excelentes unas veces y otras carbones muy inferiores; consistía el

procedimiento, en su parte esencial, en obtener carbono puro, sometiendo ciertas sustancias orgánicas, tales como el alquitrán de hulla, de turba etc., a una ebullición en un aparato ad hoc y recogiendo luego el negro de humo formado en aquella especie de destilación.

Mr. Carré ha obtenido por otro procedimiento más económico carbones mucho más perfectos compónense estos carbones de 15 partes de coke puro muy bien pulverizado, de 5 partes de negro de humo calcinado y de 7 partes de jarabe de azúcar y goma (5 de, azúcar y 2 de goma). Agréganse al todo de 1 a 3 partes de agua y se tritura fuertemente, formando una pasta, que se comprime y pasa por la hilera. Los carbones así obtenidos se colocan en crisoles donde se les somete a una temperatura elevada. El precio a que se obtienen hoy estos carbones es tan económico, que bien puede decirse que, gracias a ello se ha conseguido dar más extensión a las aplicaciones de la luz eléctrica. Según Mr. Carré sus carbones son 3 o 4 veces más tenaces y mucho más rígidos que los de retorta; se les obtiene de longitud ilimitada; los de 10 milímetros de diámetro, pueden ser empleados hasta de 50 centímetros de largo, sin temor de que se rompan ni se doblen. Su homogeneidad química y física, añade, dan una gran estabilidad al punto luminoso. No presentan el inconveniente de estallar al ser encendidos como sucede a veces con los de retorta, a causa de la dilatación instantánea de los gases contenidos en las celdillas cerradas que existen en estos últimos. Dándoles una misma densidad media, se consumen regularmente, gastándose una misma cantidad a igualdad de sección; sin adición de materias distintas del carbono, son más luminosos que los de retorta en la proporción de 1,25 a 1.

Algunos otros procedimientos se siguen para fabricar los electrodos de carbón empleados en la producción de la luz eléctrica.

#### **§ 4. — Las lámparas de arco voltaico.**

Los electrodos de carbón, entre los cuales se produce la luz eléctrica, se van gastando y consumiendo poco a poco, según hemos dicho en el párrafo anterior. Por efecto de este gasto de los electrodos, las dos puntas van quedando cada vez más separadas, y puede llegar un momento en el que, siendo la distancia mayor de lo justo, se interrumpa la corriente y la luz se apague. Es necesario, pues, si se

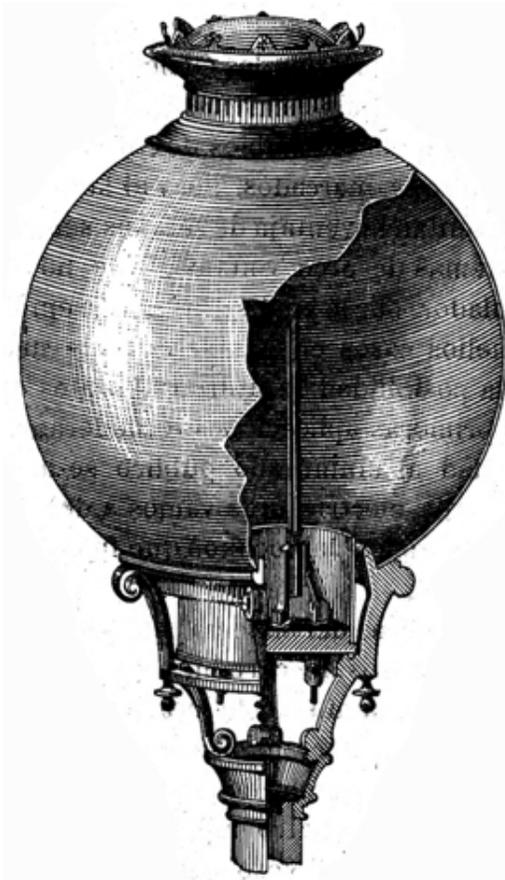
quiere obtener una luz constante, que la distancia de los dos carbones, a pesar del gasto inevitable de éstos, no varíe mientras dure la luz, y esto se consigue por medio de un aparato regulador que aproxime los electrodos con la misma rapidez con que ellos se consumen. Los reguladores son, por lo general, mecanismos de relojería, movidos por la misma corriente generadora de la luz, que obra sobre ellos por intermedio de un sistema electro-magnético. Además de este modo de aproximar los electrodos, existe otro, si se quiere más ingenioso, que consiste en colocar los carbones paralelamente entre sí, de tal manera que, gastándose por igual y manteniéndose, siempre las puntas a igual distancia, no sea necesario el regulador de relojería. Este sistema se ha denominado de bujías, eléctricas, porque el conjunto de los dos carbones se gasta, en efecto, y se consume, a la manera de las bujías ordinarias.

Imposible sería, en una obra de esta naturaleza, y siendo tan grande el número de lámparas eléctricas inventadas hasta el presente, tratar de describirlas todas con el suficiente detalle para que las descripciones que de ellas hiciéramos, fueran comprendidas por nuestros lectores. Nos limitaremos, pues, a describir la lámpara inventada por Jablochhoff, distinguido oficial del ejército ruso, inventor de las bujías eléctricas y autor de importantes trabajos teóricos y prácticos relativos la electricidad y a sus aplicaciones. Respecto de los reguladores nos contentaremos con decir que pueden agruparse en cuatro categorías: los de movimientos progresivos; los de efectos diferenciales; los de carbones circulares, y los de reacciones hidrostáticas. El estudio de estos varios sistemas es algo complicado y necesita cierta clase de conocimientos que sería aventurado suponer en los jóvenes lectores de esta biblioteca, por cuya razón no debemos extendernos más acerca de este particular.

En realidad las lámparas en las cuales se utilizan las bujías eléctricas no son las más perfectas ; no son completamente fijas, y presentan a veces cambios de coloración que, aunque duren poco, son muy marcados. Pero al lado de estos inconvenientes, presentan la ventaja de ser más sencillas que todos los demás sistemas de arco voltaico, y de no exigir aparato ninguno regulador, por lo cual se las puede emplear de preferencia en aquellos casos en que se necesite una luz intensa que excluye la posibilidad de utilizar aparatos delicados. Por lo demás, las

primeras aplicaciones verdaderamente prácticas de la electricidad al alumbrado público se hicieron con las lámparas de bujía eléctrica que vamos a describir, y, precisamente con la lámpara Jablochkoff que fue la primera inventada de este género.

Las bujías eléctricas del sistema Jablochkoff están constituidas por dos cilindros de carbón, colocados paralelamente y separados por una lámina aisladora, susceptible de volatilizarse o fundirse al calor intenso desarrollado en el arco voltaico. Los carbones empleados son los de Carré, de 25 centímetros de largo por cuatro milímetros de diámetro y la sustancia aisladora es el yeso, que forma una lámina de 3 milímetros de ancho por 2 de grueso.



*Figura 81*

Cada carbón lleva, en su parte inferior, un tubo de cobre que lo pone en comunicación con el circuito, y los dos tubos están sólidamente ligados por una pasta aglomerante que los envuelve, y que sirve para mantener unidos los carbones a la sustancia aisladora. En las primitivas bujías, los dos carbones estaban unidos, en su parte superior, por intermedio de una aguja de plumbagina, sostenida con una tira de papel de amianto, y destinada a servir de conductor para provocar la luz. Tal es la disposición adoptada en la lámpara que representa la figura 81. Hoy se prefiere introducir el extremo de la bujía en una mezcla de plumbagina y goma, que forma una capa susceptible de producir los mismos efectos

Cada bujía Jablochkoff como las descritas, tarda hora y media en consumirse, de modo que, para un alumbrado que haya de durar más tiempo, se hace necesario renovarlas cada hora y media, a fin de que la lámpara no se apague. Para conseguirlo, se colocan en un mismo candelero varias bujías, hasta doce, si se quiere, disponiendo al mismo tiempo un sencillo

conmutador, por medio del cual se pueda hacer que la corriente abandone la bujía próxima a extinguirse y pase a otra de las no gastadas.

Veamos ahora cuál es la disposición en que está colocada la bujía. La figura 81 representa una lámpara del sistema Jablochhoff que, como se ve, lleva una bomba de vidrio muy opaco, destinada a difundirla luz, lo que la hace más propia para el alumbrado. En la parte inferior de la lámpara se ven dos soportes, entre los cuales se fija la bujía; uno de ellos es rígido, el otro tiene dos articulaciones y un fuerte resorte que sirve para comprimir la bujía contra el soporte rígido de modo que aquella permanezca en posición invariable. Cada soporte está en relación por una parte con el alambre conductor y por la otra con el tubo de cobre situado en la parte inferior del carbón correspondiente.

El empleo del globo de vidrio opaco tiene el inconveniente de que una gran cantidad de luz permanece encerrada dentro de la bomba, sin producir, por lo tanto efecto útil. Se calcula en 45 por 100 la pérdida de luz experimentada con las bombas que generalmente se usan. Hoy se construyen, sin embargo, globos opacos, en los cuales la pérdida no es sino de 35 por 100, y se hacen esfuerzos para perfeccionarla fabricación de modo que la cantidad de luz no aprovechada sea mínima.

Según lo que oportunamente hemos dicho acerca del gasto de los carbones, es evidente que las bujías Jablochhoff no pueden funcionar si, para ello, se emplean corrientes que vayan siempre en el mismo sentido, porque gastándose uno de los carbones en doble proporción que el otro resultaría un aumento progresivo en la distancia de las dos puntas, hasta producir la completa extinción de la luz. Pudiera tal vez evitarse este inconveniente, haciendo que el carbón positivo fuese doblemente grueso que el negativo, pero este método, indicado por el mismo Jablochhoff, no se ha ensayado todavía. Es necesario, pues, emplear máquinas que produzcan corrientes alternativamente invertidas, o interponer aparatos especiales que hagan el mismo efecto. Al utilizar los generadores de Gramme en el alumbrado de la avenida de la ópera en París, se combinó una máquina especial para obtener corrientes invertidas y para permitir al mismo tiempo la división de la corriente en varios circuitos.

Además de este sistema de bujías se han inventado algunos otros tales como los de Wilde, Siemens, Jamin, etc., en los cuales se han propuesto sus inventores evitar las pérdidas de calor debidas a la fusión de la sustancia aisladora. En estos nuevos sistemas la lámina de yeso se halla reemplazada por una simple capa de aire.

### **§ 5. — La luz producida por la incandescencia.**

Cuando se coloca entre dos electrodos buenos conductores un cuerpo de escasa conductibilidad, se produce en este cuerpo, al pasar la corriente eléctrica, una elevación tan grande de temperatura, que determina en el acto la incandescencia de la sustancia interpuesta. En este principio están fundadas, como hemos dicho más atrás, las lámparas denominadas de incandescencia que tanta aplicación tienen al alumbrado del interior de las habitaciones. La historia de la invención de estas lámparas es sumamente curiosa, por lo cual vamos a exponerla, siquiera sea ligeramente y a grandes rasgos, antes de entrar en la descripción de los principales modelos de lámparas adoptados hasta el presente.

El primero que hizo trabajos serios y continuados para aplicar la luz eléctrica producida por la incandescencia fue Mr. de Changy, de Bruselas, el cual comenzó (en 1844) por emplear cilindros pequeños de carbón de retorta, lo más delgados posible, encerrados en ampollas de vidrio, en donde se había hecho el vacío y puestos en comunicación con los conductores de un generador eléctrico. Desde el punto de vista práctico, los resultados que obtuvo no le animaron mucho a seguir sus experiencias, y abandonó por algunos años aquel género de trabajos. Los señores King y Starr hicieron por la misma época experiencias análogas con lámparas de platino y de carbón, pero hubieron de interrumpir sus ensayos por causas muy ajenas a los estudios científicos.

En 1855 volvió Mr. de Changy a emprender sus trabajos en otras condiciones. Esta vez empleaba alambres de platillo y, para evitar la fusión del metal lo preparaba convenientemente, calentándolo de una manera lenta, hasta que llegara a la temperatura suficiente para ser luminoso. Empleó también platino carburado, haciéndolo calentar, antes de pasarlo por la hilera, en carbón pulverizado. Para evitar la fusión probable del platino, por efecto del paso de corrientes muy enérgicas, inventó un regulador automático que desviaba, la corriente de la

lámpara, cuando la intensidad de aquélla era excesiva. En 1858, después de haber ensayado la fabricación de filamentos de carbón de varias materias, sin obtener un éxito completo, abandonó de nuevo sus trabajos.

Por mucho tiempo, el problema de las lámparas de incandescencia, permaneció en el mismo estado en que lo había puesto Mr. de Changy, pues sólo en 1874 fue cuando los señores Lodyguine y Kosloff idearon un perfeccionamiento que tendía a impedir el paso brusco de la corriente, desde un cuerpo buen conductor a uno de pequeña sección y escasa conductibilidad. Para ello empleaban cuerpos intermediarios, de conductibilidad media y de sección mayor, fabricando carbones que eran delgados en la parte donde había de producirse la luz y gruesos en los puntos de contacto con los conductores metálicos. Estos carbones se colocaban en recipientes privados de aire o herméticamente cerrados para que el oxígeno no se renovase, con objeto de impedir la combustión. El principal inconveniente que presentaban estas lámparas consistía en la gran facilidad con que se rompían los carbones y en la gran dificultad que había para remplazarlos, y a pesar de las diversas modificaciones introducidas en ellas con objeto de evitar aquel inconveniente, es lo cierto -que, hasta la fecha, no se ha podido dar a dichas lámparas una verdadera aplicación práctica.

La solución completa del problema estaba reservada al famoso electricista americano Edison. Como todos los inventores, Mr. Edison ha sido rudamente atacado en su obra por la gente envidiosa que, no pudiendo desconocer que el problema estaba definitivamente resuelto, ha tratado cuando menos de disputar a su inventor el mérito de la originalidad. Ciertamente que Edison se ha aprovechado de la experiencia de los demás y que la primera idea de las lámparas de incandescencia no es suya; pero ¿quién le puede negar que la solución práctica del problema a él y a ninguno otro se debe?

Los primeros ensayos de este inventor fueron hechos con alambres de platino enrollados en espiral y encerrados en recipientes purgados de aire para evitar la oxidación. La intensidad de la corriente se regulaba de una manera automática, pero, en fin de cuentas, las lámparas funcionaban bastante mal. Con la idea de perfeccionarlas, sometía el platino a un procedimiento, cuyo objeto era expulsar las burbujas gaseosas encerradas en el metal, y para ello lo hacía enrojecer al paso de

la corriente al mismo tiempo que hacía el vacío en la lámpara, y luego aumentaba la temperatura hasta el rojo blanco. Los resultados, a pesar del ruido que hicieron los admiradores de Edison, no fueron más satisfactorios que los precedentemente obtenidos.

En vista- del poco éxito alcanzado con los metales, y convencido Edison de que, en aquellas condiciones, no servían para el caso, volvió a la idea, que seguramente no era nueva, de emplear, en vez de alambres de platino, filamentos de carbón capaces de enrojecer sin fundirse. Al principio usaba filamentos de cartón bristol, cortados en forma de herradura, que carbonizaba fuera del contacto del aire. Después, y a causa de algunos inconvenientes que estos carbones presentaban, ensayó diferentes fibras vegetales, llegando por último a descubrir que los mejores filamentos eran los que se obtenían con las fibras corticales del bambú del Japón. Hecho este descubrimiento importantísimo y habiendo introducido en la construcción de sus lámparas perfeccionamientos numerosos y atinados, sin contar los trabajos relativos a la buena división y distribución de las corrientes; pudo Edison dar por completa y definitivamente resuelto el problema del alumbrado eléctrico por medio de las lámparas de incandescencia.

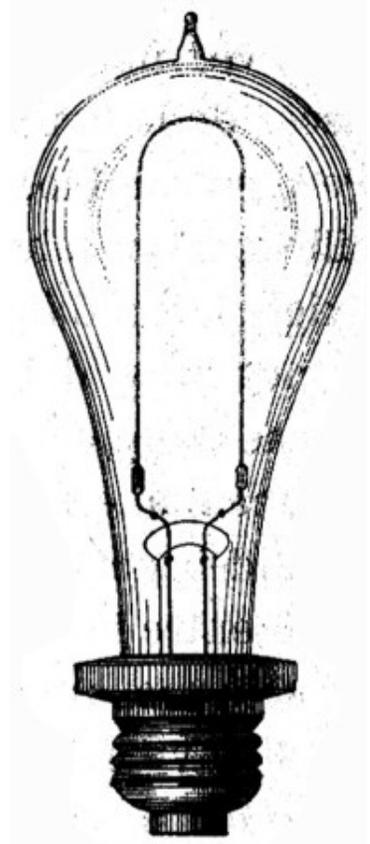
Hablemos ahora de la disposición de estos aparatos de luz y de algún otro sistema derivado del sistema Edison.

### **§ 6. — Las lámparas de incandescencia.**

La disposición de la lámpara de Edison es sumamente sencilla. Se compone de una ampolla de vidrio (fig. 82) en la cual va colocado un filamento de carbón de bambú, tan delgado como un cabello y encorvado en forma de herradura. Este filamento se halla fijo por sus extremidades en dos alambres de cobre, soldados por su parte inferior a otros tantos, alambres de platino, que ponen en comunicación el sistema interior con el circuito eléctrico. Los hilos de platino están como forrados por tubos de vidrio, que penetran en la ampolla y que van soldados a la parte inferior de ésta, cerrándola herméticamente. La armadura metálica; que en la figura se ve, sirve para atornillar la lámpara a un candelabro, a un brazo acodado, a una lucerna, o a cualquiera otro sistema de colocación de luces que se adopte.

Por último, el vacío más perfecto que pueda obtenerse ha sido hecho en la ampolla de vidrio, para evitar la combustión de la fibra de bambú, que se quemaría seguramente al contacto del aire.

Se ve, pues, por la ligera descripción que acabamos de hacer de la lámpara Edison, que ésta no es muy complicada. Pero en cambio, si la lámpara, después de fabricada, es sencillísima, su fabricación no puede ser más difícil y compleja, exigiendo cada aparato de éstos un sin número de operaciones muy delicadas para obtener y combinar las distintas piezas de que se compone. Solamente por haber organizado de una manera tan perfecta la fabricación de sus lámparas de incandescencia, merecería Mr. Edison un puesto distinguidísimo entre los más famosos inventores antiguos y modernos. La sola preparación de los filamentos carbonizados de bambú constituye de por sí una obra maestra de ciencia, de paciencia y de ingenio. Y tan importante ha sido este asombroso descubrimiento, que las lámparas de incandescencia,



*Figura 82*

que han surgido como por encanto de todas partes después del invento de Edison, son infinitas. Claro está; resuelto un problema y divulgado el procedimiento, a cualquiera le ocurre el modo de imitar lo que otro primeramente ha hecho; modificando un poco la forma, cambiando ciertos detalles, empleando este cuerpo en vez de aquel, salen inventores por docenas; pero en el fondo no se trata sino de falsificaciones y de ningún modo de verdaderos inventos.

Las fibras de bambú que se utilizan para la preparación de los filamentos carbonosos son las exteriores, escogidas en plantas de mediana edad que son las que las pueden sus ministras más resistentes y vigorosas. Estas fibras se exportan del Japón a las fábricas de New-York e Ivry (Francia) en pedazos de unos 20 centímetros de largo por uno de ancho. Sométeseles en la fábrica a una primera operación, que consiste en adelgazarlas pulimentarlas y darles las dimensiones necesarias; luego se cortan con un instrumento especial, de modo que presenten

en sus extremos una parte más ancha que sirve para hacer -más fácil su empalme con los conductores de cobre de que hemos hablado; y, en fin, se repasan varias veces hasta conseguir que sean de un grueso uniforme en toda su longitud. Las fibras así preparadas, apenas tienen un milímetro de grosor, y, en cuanto a su longitud, se preparan de dos tamaños, uno doble de otro, para los dos distintos tipos de lámparas que más se usan.

Después de estas operaciones preliminares, que necesitan un sistema completo e ingenioso de instrumentos variadísimos, para hacer más fácil y más perfecto el trabajo, se procede, en talleres especiales, a la carbonización de las fibras. Colócanse primeramente en moldes planos de níquel, encorvándolas en forma de herradura, y, para economizar, se ponen en cada molde dos fibras, una grande y otra pequeña, de modo que la mayor quede rodeando a la segunda. En seguida reúnen cada 400 moldes en cajas especiales, herméticamente cerradas, procurando acabar de llenar las cajas con plombagina, y se introducen de este modo en una estufa, donde se les calienta por algún tiempo, hasta producir la carbonización completa de las fibras. Se les deja luego enfriar lentamente y se procede a sacar los moldes y abrirlos para retirar los filamentos. La última operación a que se les somete es a sucesivas incandescencias, después de colocado cada uno en su lámpara respectiva y mientras se hace el vacío en la ampolla de vidrio; el objeto de esta operación es expulsar los gases encerrados en la fibra, con lo cual se da más dureza al filamento.

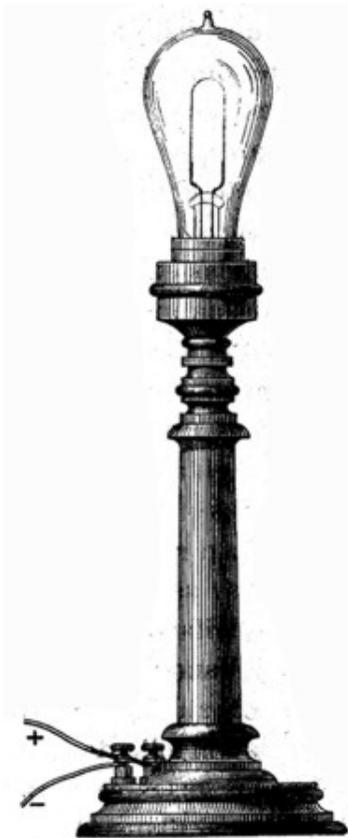
Tales son, expuestas ligeramente y sin entrar en minuciosos detalles, las principales operaciones que es necesario ejecutar para obtener los delgados filamentos de carbón que constituyen la parte más esencial de las lámparas de incandescencia. La fabricación de la lámpara misma exige también multitud de operaciones distintas en cuya descripción no podemos entrar.

Después de fabricada la lámpara, es preciso todavía someterla a un nuevo trabajo que es el ensayo de ella, para ver cuál es la intensidad luminosa que es susceptible, pues bien se comprende que cualquiera que sea la perfección a que en su fabricación se haya llegado, no es posible conseguir nunca igualdad absoluta entre todas las de un mismo tipo. Esta última operación no la podemos describir aquí porque exige conocimientos muy profundos para ser fácilmente comprendidas

Solamente la citamos para completar la idea apuntada más atrás de lo difícil y complicado que es el fabricar de todo punto una lámpara de incandescencia.

La duración mínima de estas lámparas del sistema Edison es de 800 horas ; sin embargo, ha habido algunas que han llegado a funcionar 6000 horas, sobre todo después de los perfeccionamientos numerosos que incesantemente se han introducido en su fabricación, y en, varias experiencias se ha demostrado que, por lo menos , pueden actuar hasta 2000 horas.

Hemos dicho que el tornillo que se ve en la parte inferior de la figura 82 servía para colocar la lámpara en un candelabro o pernada, o en cualquiera otro aparato que se adoptase. La figura 83 representa un candelabro provisto de su correspondiente lámpara. En la parte inferior de la figura se ven los dos tornillos de presión por donde la lámpara se comunica con el circuito eléctrico.



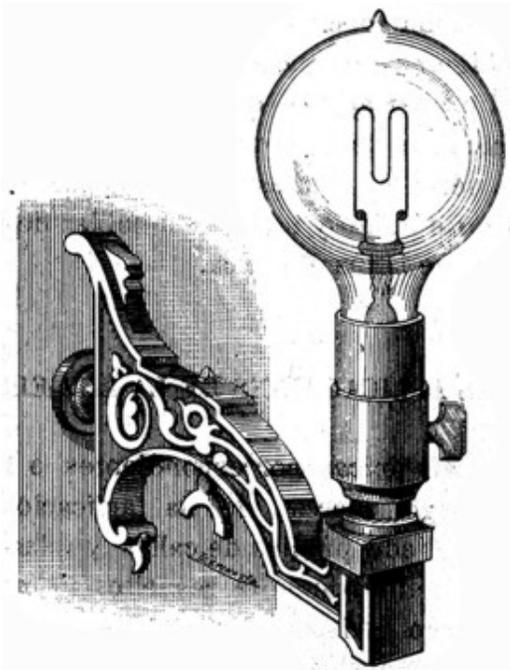
*Figura 83*

Además del modelo sencillo que hemos descrito y que corresponde a los dos tamaños de lámparas que Mr. Edison designa con las letras A y B, ha dispuesto aquel constructor algunos otros modelos, con carbones dobles o múltiples, para satisfacer a los pedidos que se le han hecho y que se aplican en determinadas circunstancias. El uso de estas últimas lámparas no se ha generalizado lo bastante para que creamos necesario entrar en más pormenores.

Para terminar con todo lo relativo a las lámparas de incandescencia, diremos algo acerca de la lámpara Maxim, que es una de las que más éxito han obtenido. En este sistema, el filamento de carbón, más grueso que el de bambú, es producido por una débil carbonización del cartón bristol, el cual se recorta en forma de M, después de carbonizado (fig. 84), sometiéndolo en seguida a la acción de una atmósfera de hidrógeno carburado, con objeto de que se forme un depósito de carbón en la superficie del filamento que tape perfectamente sus poros y le dé la conductibilidad necesaria. Colocado el carbón en la lámpara, se hace el vacío en ésta y, una vez extraído el

aire, se hace enrojecer el filamento al paso de la corriente, con lo cual acaba de carbonizarse, al mismo tiempo que expulsa los gases que pudiera contener y que se van extrayendo de la lámpara por el mismo procedimiento neumático.

Si alguno de nuestros jóvenes lectores nos pregunta ahora que cuál es la diferencia esencial entre la lámpara de Maxim y la de Edison, contestaremos sin vacilar que absolutamente ninguna. Lo mismo decimos de las lámparas Swan, Lane-Fox y otras. Ligeras diferencias de detalle no son diferencias esenciales. El primer aparato de incandescencia que se puede llamar perfecto es el de Edison; los demás, que han aparecido después, serán originales, pero no lo parecen. Dejemos, pues, esto en este punto y pasemos a hablar de las principales aplicaciones de la luz eléctrica.



*Figura 84*

### **§ 7. — Las aplicaciones de la luz eléctrica.**

En las notas históricas correspondientes a este capítulo, hemos dicho algo acerca de la aplicación de la luz eléctrica al alumbrado público de calles y plazas, problema que, si no está definitivamente resuelto, promete estarlo en plazo no muy largo. Existen hoy unas 50 poblaciones en las cuales, por circunstancias favorables, se ha podido establecer aquel alumbrado en condiciones ventajosas. Estas circunstancias son, por ejemplo, la facilidad de utilizar como motor, para poner en acción las máquinas generadoras, grandes caídas de agua que de otro modo quedarían sin aplicación y se consumirían en pura pérdida; el no tener que luchar con las compañías monopolizadoras del gas, que se oponen abiertamente a todo progreso, y otras muchas circunstancias por el estilo, favorables, como éstas a la aplicación de la luz eléctrica. En América, principalmente, el alumbrado público ha adquirido en un corto número de años un desarrollo considerable, empleándose para ello la mayor parte de los sistemas inventados. En San José de California el alumbrado se

hace por medio de verdaderos soles eléctricos, compuesto cada uno de seis focos luminosos de gran intensidad, colocados en armaduras de hierro de 60 metros de altura, que dominan por completo la población. En New-York existe un populoso barrio iluminado por la compañía Edison, con las poderosas máquinas de este inventor, aplicadas a sus lámparas de incandescencia. En Europa y principalmente en Londres, en París, en Berlín, etc., se han hecho numerosos ensayos, muchos de ellos bastante satisfactorios y se han formado poderosas compañías que poco a poco van introduciendo el alumbrado eléctrico en determinados sitios, tales como estaciones de caminos de hierro, ferrocarriles subterráneos, avenidas y calles principales, grandes establecimientos comerciales, etc., etc. El puerto del Havre ha sido iluminado de este modo.

Pero no es ésta la única aplicación de la luz eléctrica que merezca ser citada; en la iluminación de los faros, en operaciones militares, en la navegación, en los trabajos submarinos, en las señales marítimas, en los experimentos de física, en los grandes talleres, en las imprentas, en las representaciones teatrales, en las casas particulares, en las galerías de minas, en todos los trabajos nocturnos de ingeniería y en otra infinidad de casos, cuya sola enumeración sería enojosa, se puede aplicar y se aplica ventajosamente el alumbrado por la luz eléctrica. Dedicemos, pues, algunas páginas a decir algo acerca de las más importantes de estas aplicaciones.

La primera de que debemos hablar es la de la producción de la luz en los faros. Desde 1857 comenzaron los ensayos, por instigación del ilustre Faraday, en el faro, de Blackwall continuaron luego en 1858 en el de South-Foreland, y en 1862 en Dungeness. Estos ensayos no fueron del todo satisfactorios, lo cual debe atribuirse principalmente a la imperfección de los generadores, lo mismo que a la de las lámparas. En el año de 1863 se hicieron cerca del Havre, en los faros de la Hève, nuevos ensayos de iluminación por la luz eléctrica, empleando para ello las máquinas magneto-eléctricas de la Alianza, en vez de las de Holmes, ensayadas en Inglaterra. Los resultados correspondieron en esta ocasión a las esperanzas y, desde entonces, los numerosos perfeccionamientos introducidos en todos los aparatos de producción de la luz eléctrica han permitido la resolución completa y práctica del problema. Sucesivamente se ha ido estableciendo la luz eléctrica, en los faros de Gris-Nez y de Odessa, en 1886; en los de South-Foreland, en 1872; en

el del cabo Lizard, en 1878; en el de Macquerie, en 1881, y en el de la isla de Planier en igual fecha. No se crea, sin embargo, que el número de faros iluminados por la luz eléctrica, que actualmente existe, es muy considerable. Cualesquiera que sean las ventajas que ofrezca el nuevo sistema de iluminación sobre los antiguamente usados, es el caso que, la transformación de los primitivos faros, alumbrados con lámparas de aceite, en los modernos, iluminados por la luz eléctrica, es empresa sumamente costosa para realizada en pocos años. Tal es la razón por la cual, hasta fecha muy reciente, no existían en todo el mundo sino unos catorce faros, en donde se hubiese instalado definitivamente la luz de arco voltaico. Si la instalación es costosa, la luz obtenida es, en cambio, más barata que la del gas y la del petróleo, siempre que el poder luminoso pase de 800 a 1600 lámparas cárcel. En estos casos, el precio de coste es igual a los 6 décimos o a los 3 décimos del precio correspondiente al gas.

Otra ventaja de la luz eléctrica, que la hace propia, más que ningún otro sistema, a la iluminación de los faros, es el gran poder de concentración de sus rayos luminosos, y tanto que se puede decir que, por esta sola circunstancia, la iluminación de los faros es a principal de sus aplicaciones.

El alcance de la luz eléctrica es variable, según el estado de la atmósfera y así se observa que disminuye considerablemente, y en mayor proporción que las otras luces, en tiempo de niebla. En el Mediterráneo alcanza, con tiempo sereno, hasta cerca de 28 millas marinas, en el Océano de 22 a 26 1/2, y en el canal de la Mancha de 19 a 21.

Los generadores eléctricos empleados para la producción de luz en los faros eran primitivamente las máquinas magneto-eléctricas de Holmes, las de la Alianza, y las de Meritens, que todavía se usan. Empleábanse estas máquinas, de preferencia a las dinamo-eléctricas, porque dan corrientes alternativamente invertidas, lo cual se estimaba ventajoso para el caso. Hoy, sin embargo, se utilizan también las segundas, de corriente continua, dando a los carbones una disposición especial que permite obtener, según opinión de los ingenieros ingleses, mayor intensidad luminosa aprovechable. La cuestión, por lo demás, no está suficientemente debatida para que se pueda dar la preferencia a uno o a otro de los dos procedimientos. Las lámparas más usadas en los faros son las de Siemens en

Inglaterra y las de Serrin en Francia. Van dispuesta estas lámparas de modo que el foco luminoso quede en el centro de una especie de caja de vidrio, constituida por cierto número de lentes escalonadas de Fresnel. La caja, movida por un mecanismo de relojería, gira lentamente alrededor de un eje vertical, con lo cual se producen las intermitencias de luz y de oscuridad que se observan en los faros, y que sirven para distinguirlos entre sí, y de las luces ordinarias. El regulador de las lámparas empleadas en los faros es doble, es decir, que son, propiamente hablando, dos reguladores en vez de uno, provistos ambos de su correspondiente par de carbones; el objeto de esta disposición es prevenir las extinciones de luz que accidentalmente pudieran producirse y que ocasionarían, de ser continuadas, graves siniestros. Cuando en el regulador que está funcionando se apaga la luz, el vigilante del faro lo retira inmediatamente de la caja lenticular, y hace entrar el otro aparato, en el cual la luz se produce por sí misma, sin necesidad de conmutador ni de ninguna otra disposición análoga.

Pasemos ahora a hablar de otra aplicación muy importante de la luz eléctrica, cual es la que se hace a las operaciones militares. Lo que hace más propia la luz eléctrica que otra luz artificial cualquiera para las operaciones de guerra, es la facilidad con que se le puede hacer aparecer y desaparecer instantáneamente, así como también la gran intensidad que puede alcanzar con aparatos convenientes. Gracias a estas dos propiedades es muy a propósito para transmitir señales a gran distancia, para practicar reconocimientos nocturnos, o para descubrir los trabajos del enemigo en los sitios.

Como medio de comunicarse entre sí los distintos cuerpos que componen un ejército, es seguramente el mejor, sin excluir por eso los demás sistemas telegráficos adoptados, que serán siempre indispensables en determinadas circunstancias. Pero además de esta aplicación, hay otros muchos casos, dice Mr. Martín, en los cuales la luz eléctrica puede prestar grandes servicios. Para reconocer una fortificación para apuntar a objeto determinado, para iluminar el campo, por donde pudiera el enemigo asaltar la brecha abierta aquel día, para dar el asalto, y en otra infinidad de casos que sería inútil enumerar, la luz eléctrica puede prestar y presta servicios importantísimos.

Para la defensa de los puertos es muy útil también el empleo de la luz eléctrica, porque permite iluminar fuertemente los barcos enemigos para tirar sobre ellos. Otra ventaja que ofrece en los puertos la luz eléctrica, es la observada en el bombardeo de Sphax, en Túnez, cuando los franceses se apoderaron de aquel territorio, pretextando un protectorado; y fue que, proyectando un intenso foco luminoso sobre un barco, se le impedía maniobrar con la seguridad necesaria.

En la navegación se aplica actualmente con mucho éxito la luz eléctrica. La marina, sobre todo la marina de guerra, se oponía en un principio a adoptar este sistema de alumbrado; pero hoy todos reconocen que presta grandes servicios. Para iluminar el camino que el buque sigue y poder evitar los choques que tan funestos resultados, producen, para explorar con seguridad los pasos difíciles a la entrada de los puertos, y en muchos otros casos, es útil y casi necesario, emplear los poderosos focos luminosos producidos por la corriente eléctrica. A pesar de estas ventajas su empleo no es todavía muy frecuente y sólo en los barcos de guerra de cierto porte es reglamentario. Los ataques de los torpederos serían tan inevitables como son desastrosos, si no fuera posible explorar el mar en todas direcciones, para descubrir desde gran distancia aquellos poderosos medios de destrucción. Por eso la marina de guerra ha acabado por aceptar la luz eléctrica como medio indispensable de defensa.

Los generadores que se emplean ordinariamente en la marina de guerra son las máquinas Gramme del tipo D, citado en el capítulo anterior. El foco luminoso, que puede ser producido por cualquiera de las lámparas de arco voltaico que existen, va colocado en un aparato proyector, del cual existen varios modelos, tales como los de Sautter y Lemonier, Siemens, etc. Este proyector gira alrededor de un eje vertical, para poderlo dirigir fácilmente sobre el punto que se desee, y va provisto de un anteojo para examinar con él el punto iluminado.

Otra de las aplicaciones que en la marina de guerra, y aun en la marina mercante, puede tener la luz eléctrica, y respecto de la cual se hacen numerosos ensayos, es la de la transmisión de las señales náuticas. La ventaja que presentará este sistema de telegrafía sobre los antiguos, además de la que resulta de la mayor intensidad de la luz, será la de que el comandante del barco podrá desde su cámara, o el oficial de guardia desde su sitio, dar o transmitir las órdenes necesarias a los

demás buques de una escuadra, sin que sea preciso emplear cierto número de hombres en manejar los faroles de señales ; bastará, para conseguir el objeto deseado; hacer funcionar las lámparas por medio de un simple conmutador. Los buques mercantes que pasen de noche cerca de los semáforos, podrán también transmitir los despachos que deseen con tanta facilidad como la que tienen hoy para hacerlo de día. Sólo falta, para que este medio de comunicación sea un hecho realizado, conseguir que el procedimiento sea suficientemente práctico y económico. Por lo demás, es seguro que la solución se encontrará en breve.

Para iluminar el camino que recorren los trenes de ferrocarril y señalar la presencia o la aproximación de dichos trenes, sería utilísima la aplicación de la luz eléctrica. Los ingenieros de las compañías no parecen, sin embargo, muy dispuestos a adoptar semejante procedimiento, a causa de los gastos enormes que sería preciso hacer para proveer cada locomotora de su correspondiente generador eléctrico, y de los gastos anuales de entretenimiento que serían muy cuantiosos. Eso no obstante, numerosos ensayos se, han hecho, con éxito bastante satisfactorio en Francia y en Alemania, y es de esperar que, poco a poco, vaya introduciéndose un perfeccionamiento tan importante como el que nos ocupa, y que puede producir beneficios muy considerables. La presencia de un tren se puede notar a 1500 metros de distancia, y ya se comprende que, para evitar choques, siempre funestísimos, esta circunstancia es sumamente favorable.

En las experiencias hechas en distintas ocasiones para aplicar la luz eléctrica a los trenes de ferrocarril, se ha comprobado la ventaja de mover el generador eléctrico por máquinas especiales, independientes de la gran máquina de tracción.

Si los ingenieros de las compañías de ferrocarriles no son muy propicios a la adopción de la luz eléctrica en los trenes, con el objeto que hemos indicado, son en cambio muy partidarios de la aplicación de las lámparas de incandescencia al alumbrado interior de los vagones. Para producir esta luz el medio más adecuado parece ser el empleo de acumuladores, aunque, algunos han propuesto utilizar el movimiento mismo de las ruedas de los coches. Pero este último procedimiento ofrece una desventaja manifiesta, proveniente de la diferencia de velocidad de que los trenes van animados en las distintas partes de la línea, diferencia que ocasionaría variaciones considerables en la intensidad de la luz producida.

Únicamente se podría utilizar el movimiento de las ruedas aplicándolo, por combinaciones apropiadas, a cargar los acumuladores, y destinar luego éstos a la producción de la luz eléctrica. Otro procedimiento se sigue que parece el más recomendable de todos, y que consiste en colocar un generador eléctrico, movido por una maquina Brotherhood, en uno de los coches, y poner en comunicación el generador con las distintas lámparas por los medios ordinarios. Así se evita el peso y el volumen considerable de los condensadores.

Hablemos ahora de una de las bellas y más humanitarias aplicaciones que hasta el presente se han podido dar a la luz eléctrica. Conocidas son las tremendas catástrofes -ocurridas en las galerías de minas, cuando una corriente de hidrógeno carbonado encuentra, por descuido de algún pobre minero, la llama de una lámpara. Prodúcese entonces una explosión formidable, que destruye el trabajo de muchos meses y sepulta, bajo montañas enteras, los cuerpos de los infelices obreros. Antes de la adopción de la luz eléctrica al alumbrado del interior de las minas, se habían inventado lámparas de seguridad, como la famosa lámpara de Davy, que prevenían, en la medida de lo posible, aquellos daños, pero que no respondían, como las modernas lámparas eléctricas, a todas las necesidades. Hoy, gracias a los aparatos de incandescencia de Edison, de Swan y otros, no sólo se previenen los peligros de explosión, sino que, por estar más intensamente iluminadas las galerías, se obtiene de los obreros mayor cantidad de trabajo. Y es lo curioso que los obreros no se quejan de este aumento de trabajo, sino que lo aceptan con gusto a trueque de la mayor -facilidad que encuentran al ejecutarlo, y, sobretudo, en cambio de la seguridad casi absoluta que tienen de que sus vidas no corren el riesgo inminente de perderse.

Las lámparas de Edison, que se aplican a las galerías de minas, son las mismas lámparas ordinarias de incandescencia, que oportunamente hemos descrito, modificadas convenientemente para el caso. Con objeto de evitar que se produzcan chispas en el punto de enlace del circuito exterior con el aparato de incandescencia, chispas que, de ser producidas en el aire, ocasionarían los mismos daños que se trata de prevenir, se ha colocado la lámpara propiamente dicha en el interior de una cubeta llena de agua estableciendo el enlace de que hablamos en el seno mismo del líquido. De este modo no hay peligro ninguno de explosión, ocasionada

por la lámpara. En el aparato de Swan, que no difiere esencialmente del de Edison, se ha introducido una modificación análoga, para aplicarlo al alumbrado interior de las minas, obteniéndose, por consiguiente, los mismos resultados con uno que con otro de cualquiera de los dos sistemas.

Pudiéramos hablar todavía, y muy largamente, acerca de una infinidad de aplicaciones de la luz eléctrica; pero como el espacio de que disponemos no es muy grande, debemos necesariamente limitarnos a las que hemos indicado y que de seguro son las principales. Ahora pasaremos a describir, en el siguiente capítulo, algunas otras aplicaciones interesantes de la electricidad.

## **CAPÍTULO 6**

### **LA TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE LA FUERZA.**

#### **LOS MOTORES ELÉCTRICOS**

##### **§ 1. — La transmisión de la fuerza.**

El problema que se trata de resolver con la transmisión eléctrica de la fuerza es de suma trascendencia para lo porvenir. Propónense los físicos, en electo, no solamente transmitir a distancia, por medio de conductores eléctricos, la fuerza desarrollada en los motores ordinarios, sino aprovechar las enormes fuerzas naturales que hoy se pierden totalmente por producirse a distancias considerables de los grandes centros de población. La fuerza colosal desarrollada en las asombrosas cataratas del Niágara, por ejemplo, podría tal vez ser utilizada en parte, y de seguro lo será algún día, si fuera posible recogerla, por decirlo así, en máquinas magneto-eléctricas, y enviarla luego, a través de largos conductores, a los centros industriales más importantes. La fuerza de las mareas, cuando los progresos de la mecánica lleguen a convertirla en trabajo útil, podrá también ser llevada a todas partes y convertirse en manantial inagotable de riqueza. Hasta el calor del sol, que hoy empieza a utilizarse directamente en los motores solares, podría ser recogido en determinados lugares y trasportado después a largas distancias para convertirlo en trabajo.

Y no son éstos, aunque lo parecen, sueños irrealizables de imaginaciones exaltadas. Toda fuerza, cualquiera que sea su procedencia, puede ser recogida en máquinas apropiadas y transformada luego del modo que se estime conveniente. El problema que se trata de resolver, estriba tan sólo en el modo más adecuado de transmitir la mayor parte que sea posible, de aquella fuerza, desde un punto, hasta otro más o menos distante. Pues bien, este problema está en vías de ser completa y definitivamente resuelto. La cuestión está en vencer algunas dificultades, de escasa importancia relativa, pero que se oponen a que la solución del problema pueda realizarse en condiciones económicas, y ya sabemos por experiencia que la mayor parte de las cuestiones que se resuelven en el terreno científico no tardan en ser magnificas realidades en la práctica.

Veamos, pues, de qué modo han resuelto los físicos en el terreno científico este problema. La teoría formulada es la siguiente: según el principio de la reversibilidad, descubierto por Carnot, si, aplicando a una máquina dinamo eléctrica la fuerza desarrollada en un motor cualquiera se obtiene una corriente de determinada intensidad, haciendo llegar esta corriente, u otra igual, a una máquina dinamo- eléctrica semejante a la primera, se la pondrá a su vez en Movimiento. Es decir, que el movimiento del primer generador se convierte en corriente eléctrica, y la corriente eléctrica así obtenida se convierte a su vez en movimiento en el segundo generador. Esta teoría, perfectamente científica, por estar fundada en un principio comprobado siempre en, sus aplicaciones, no podía menos de ser realizada prácticamente. Y, en efecto, en la exposición universal de Viena (1873) hizo Mr. Fontaine una experiencia tan notable como decisiva; enlazó, por medio de un alambre de 1000 metros de largo, dos máquinas de Gramme, y puso en movimiento una de ellas con un motor de gas; la corriente producida en la primera máquina, llegaba a la segunda por intermedio del hilo conductor, poniéndola, en movimiento, y este movimiento era transmitido, por los medios mecánicos ordinarios, a una bomba centrífuga que funcionaba perfectamente de aquel modo. De este hermoso experimento se deduce una consecuencia importante, y es que todas las máquinas dinamo-eléctricas de movimiento continuo pueden usarse indistintamente como motores o como generadores de electricidad.

Se ve, por lo expuesto, que el problema de la transmisión eléctrica de la fuerza está resuelto científica y prácticamente. Las dificultades que en sus aplicaciones pueda encontrar, son más bien de detalle que dificultades de primer orden, y, como comprobación de lo dicho, podemos citar algunos ejemplos por los cuales se verá cómo se han hecho algunas aplicaciones prácticas de la transmisión de la fuerza que han alcanzado un éxito bastante lisonjero.

Antes de citar estos ejemplos, y para dar idea de los resultados que se pueden obtener, supuesto el estado actual de la cuestión, diremos que, según los cálculos de Mr. Marcel Des-prez, con dos máquinas Gramme, tipo C, y empleando 16 caballos de fuerza motriz inicial, es posible obtener un trabajo útil de 10 caballos a 50 kilómetros de distancia, transmitidos por medio de un hilo telegráfico ordinario. Y estos cálculos, han sido comprobados con experimentos hechos en la línea de.

Munich a Miesbach, en Baviera; pues, se ha conseguido transmitir la fuerza entre dos máquinas Gramme idénticas, enlazadas por un alambre de 4,5 milímetros de diámetro y de 57 kilómetros de longitud, perdiendo en la transmisión menos del 40 por ciento de la fuerza inicial empleada.

## **§ 2. — Las aplicaciones de la transmisión de la fuerza a los tranvías eléctricos y a las faenas agrícolas**

Recientemente se han hecho en Bruselas algunas interesantísimas experiencias, relativas a la tracción de los tranvías por medio de la electricidad, aplicada como fuerza motriz. Pero en estas experiencias la fuerza eléctrica se halla como almacenada en aparatos acumuladores que van colocados en el coche mismo, debajo de los asientos de los viajeros: En realidad, y considerado el problema lógicamente el sistema de los acumuladores nos da un medio de trasportar la fuerza a distancia, medio que tal vez, andando el tiempo y perfeccionándose los procedimientos, pueda llegar a ser aplicado en grande escala para utilizar esas grandes fuerzas naturales que en la actualidad se pierden, faltas de conveniente aplicación. Mas dejando a un lado, por ahora, este modo de transmitir la fuerza, vamos a tratar de la aplicación que se ha hecho del principio de transmisión, tal como lo hemos explicado en el párrafo anterior, a la tracción de los tranvías.

Las primeras experiencias relativas a este problema fueron hechas en Berlín en 1879 por los señores Siemens, quienes dispusieron para ello un tren pequeño formado por una locomotora y tres coches de seis asientos cada uno. En la locomotora iba una máquina Siemens puesta en comunicación eléctrica con otra máquina fija, igual a la primera, por medio de un carril central, perfectamente aislado del suelo. Los resultados obtenidos con esta primera experiencia fueron bastante satisfactorios, pero no resolvían, ni mucho menos, el problema propuesto. Algún tiempo después, los señores Siemens y Halske hicieron nuevos ensayos, estableciendo un ferrocarril entre el Instituto central de Cadetes y la estación de Lichterfelde, pero disponiendo las cosas de otro modo que en los primeros experimentos. La diferencia consistía en que, en este segundo caso, la comunicación eléctrica entre la máquina fija y la móvil se hacía por los mismos carriles que soportaban las ruedas, quedando, por consiguiente, suprimido el carril

central, y en que la locomotora era un coche ordinario de tranvía, que llevaba la máquina, entre los dos pares de ruedas, cuyos ejes movía simultáneamente por medio de correas. Los carriles estaban convenientemente aislados del suelo, por traviesas de madera sobre las cuales descansaban.

Es fácil ver que tampoco, con este sistema, queda resuelto el problema que se habían propuesto los señores Siemens y Halske especialmente si se trata del establecimiento de tranvías en el interior de las poblaciones, por cuyas calles circulan constantemente carruajes y vehículos de todas suertes. El sistema de vías aéreas sería tal vez el que habría de responder mejor que ningún otro a las necesidades de la cuestión, porque de este modo el aislamiento sería perfecto y la circulación de gentes, carros y coches no encontraría obstáculos de ninguna clase. Así lo pensaron los constructores solicitando en consecuencia la autorización necesaria para el establecimiento de líneas aéreas, autorización que les fue negada por quien de derecho podía hacerlo. En otra línea de tranvías establecida entre Charlottenburg y Spandau, adoptaron los concesionistas una modificación de cierta importancia, que consistía en efectuar la comunicación eléctrica entre el tren y la máquina generadora fija por medio de un contacto móvil, que corría a lo largo de un conductor aéreo sostenido en postes. La corriente salía de la máquina, recorría el conductor aéreo y volvía al punto de partida por los carriles. En la Exposición, de Electricidad, celebrada en París en 1881, figuraba un tranvía eléctrico que debía funcionar como el de la línea de Charlottenburg, que acabamos de citar, con la sola diferencia de que los carriles no servían como conductor de regreso, sino que tanto el conductor de ida como el de vuelta se hallaban sostenidos sobre postes. Otra diferencia había también y era que, a pesar de todos los esfuerzos que se hicieron; no llegó nunca a funcionar con regularidad, lo cual debe atribuirse a que la instalación de aquella vía era provisional y no se hicieron probablemente en ella los gastos necesarios para que fuera perfecta.

Sea de ello lo que quiera, el ejemplo citado demuestra bien a las claras la posibilidad de transmitir y aprovechar la fuerza a distancia. Pongamos ahora otro ejemplo, no menos interesante, que acabará nuestra demostración. Aquí se trata de aplicar el principio de la transmisión de la fuerza a ciertas faenas agrícolas, tales

como arar un terreno de extensión considerable, o ejecutar cualquiera otra operación de igual importancia.

La experiencia fue hecha en 1879 por Mr. Felix, en una explotación de azúcar. En este experimento, la máquina de vapor, establecida en la fábrica, ponía simultáneamente en movimiento dos generadores Gramme, los cuales enviaban las corrientes producidas en ellos a otros dos generadores idénticos, situados en el campo que se había de arar. Estos últimos generadores, colocados frente a frente, a una distancia igual a la del surco, iban colocados en carros, en los cuales había además dos cabrias o tornos, movidos por las máquinas Gramme, los cuales servían para enrollar y desenrollar sucesivamente un cable de acero que arrastraba el arado. Sin entrar en más detalles relativos a la parte mecánica de la cuestión, que de nada nos servirían para el caso y que serían tal vez de comprensión difícil para inteligencias jóvenes, diremos qué, según Mr. Felix, con su sistema, convenientemente aplicado, se pueden labrar de 3 a 4 hectáreas de terreno en 40 horas. El mismo sistema de transmisión de la fuerza ha sido aplicado con éxito por Mr. Felix a la carga y descarga de los barcos que llevan la remolacha a la fábrica, y a la refinería.

Con el ejemplo de los tranvías, con este de la labranza de los terrenos y con otros muchos que podríamos citar, en los cuales se ha utilizado la transmisión eléctrica de la fuerza, queda demostrada la posibilidad de aprovechar algún día todas esas grandes Tuerzas naturales de que hemos hablado; que vendrán, convertidas en trabajo útil, a aumentar el bienestar y la riqueza de las sociedades de lo por venir. Muchas veces se ha pensado en que los grandes depósitos hulleros que existen en el mundo, y que algunos creen inagotables, puedan extinguirse por completo. Si esta suposición llega a ser una realidad, antes de haber encontrado el modo de sustituir ese gran manantial de fuerza por otro equivalente o superior, es seguro que la humanidad llegará a caer en la miseria para volverá la barbarie de donde penosamente ha salido. Por fortuna, si hoy utilizamos el calor del sol, condensado en la hulla, y sepultado por tantos siglos en las entrañas de la tierra, mañana se utilizará el calor directo de los rayos solares, convertido en fuerza expansiva del vapor de agua, en corriente eléctrica "y en trabajo útil. Y se utilizará también,

parece un sueño! la fuerza de atracción entre la tierra, y la luna, porque esta fuerza produce las mareas, y porque la fuerza de las mareas, que está al alcance de nuestras manos, no aguarda más, sino a que la mecánica diga el modo de transformarla, para venir a prestarnos innumerables servicios.

### § 3. — Los motores eléctricos.

Hemos dicho que las máquinas electro-magnéticas pueden usarse indistintamente como generadores de electricidad y Como motores, y hemos comprobado nuestro aserto con varios ejemplos. Si nos fijamos en el carácter de estos motores, veremos que la fuerza que los pone en acción es la que les transmite la corriente eléctrica que hasta ellos llega. Ahora bien, esta corriente eléctrica puede dimanar o de, un generador análogo, y éste es el caso citado, o de cualquier otra fuente de electricidad, tales como la pila voltaica, la termo eléctrica, etc. La cuestión estriba, en que la intensidad de la corriente sea proporcional al efecto que se ha de producir; en cuanto a su origen, es indiferente para el caso. Es cierto que, para llegar a poner en movimiento una máquina de Gramme, por ejemplo, utilizando la corriente de la pila, sería necesario emplear un número de elementos tan considerable, que el problema, económicamente considerado, resultaría irrisorio; pero el principio no es por eso menos verdadero. Por lo demás, la primera idea que guió a físicos y mecánicos en la resolución de este problema, era independiente por completo de la fuente de electricidad que les había de servir como fuerza motriz, y con tal idea se construyeron los primeros motores eléctricos, de los cuales vamos a decir ahora algunas palabras, antes de cerrar este capítulo.

Dicen que el primer ensayo de máquina electromotriz se debe a Salvator del Negro, de Padua, que construyó una, en 1831, en la cual se hacía oscilar un imán permanente entre los polos de un electro-imán de herradura. Un alemán construyó después una máquina de rotación directa, y el ruso Jacobi ensayó sobre el Neva, en 1839, una máquina electromotriz que ponía en movimiento una lancha. Los resultados fueron poco satisfactorios. Lo mismo diremos de algunas otras máquinas inventadas más tarde, tales como la de Bourbouze y la de Froment, que si bien han podido ser aplicadas, especialmente la última, a la ejecución de ciertos trabajos delicados, no han respondido por completo a las necesidades de la cuestión. Estas

dos últimas pertenecen cada una a un tipo distinto: la prima es de las llamadas oscilantes y la segunda de las rotatorias.

La de Bourbouze se compone esencialmente de dos electroimanes verticales de herradura, entre los cuales oscila, atraída sucesivamente por un electro-imán o por el otro, una palanca, móvil alrededor de un eje situado en un árbol vertical. El movimiento oscilatorio de esta palanca o balancín se transmite, por intermedio de una biela, a un volante, convirtiéndose de ese modo en movimiento de rotación. El paso alternativo de la corriente por cada electro-imán se efectúa gracias a un conmutador, movido por la máquina misma. Como esta máquina no ofrece gran interés, no la describiremos con más detalle.

La de Froment es algo más interesante. Pertenece al tipo de los motores de rotación continua, es decir, que producen directamente un movimiento continuo de rotación. Esta máquina se compone de seis electro-imanes, colocados según los radios de un círculo vertical y sostenidos en una armadura de hierro de forma hexagonal.

Las ruedas interiores son dos, iguales entre sí, montadas en el eje horizontal del árbol motor, y enlazadas por ocho barras de hierro dulce, paralelas al eje. Como las barras son ocho y los electro-imanes nada más que seis, cuando dos de aquéllas se hallen frente a frente de los polos de dos imanes situados en el mismo diámetro, las barras restantes ocuparán los espacios libres entre los otros imanes, y si se hace que la corriente de la pila pase por estos últimos, dejando los primeros inactivos, se efectuará la atracción de las barras libres por los imanes activos y las ruedas se pondrán en movimiento en cierto sentido; conmutando ahora el paso de la corriente de modo que llegue a los dos primeros electroimanes y abandone los otros, se efectuará una nueva atracción de las barras de hierro dulce y se continuará el movimiento. Ahora bien, como las conmutaciones se suceden sin interrupción, por medio de un mecanismo que la máquina misma pone en actividad, resultará que el movimiento de las ruedas será continuo y uniforme, que es lo que el inventor de la máquina se había propuesto conseguir.

Económicamente considerado, este motor eléctrico no podría jamás competir con los grandes motores modernos, ni aun con otras máquinas electromotrices, también modernas, que actualmente se utilizan en cierta clase de operaciones; pero por la regularidad pasmosa de su acción, se prestaba como ninguna otra a ciertos trabajos

mecánicos que exigen una delicadeza y una precisión extremas. Mr. Froment la había aplicado con éxito asombroso a ciertos trabajos de mecánica científica, tales como el mover las delicadas máquinas de dividir, que llegan hasta producir en un tubo de vidrio 1000 trazos iguales, e igualmente separados, en el espacio de un milímetro. Desde este punto de vista puede considerarse como maravillosa la máquina electromotriz de Mr. Froment.

Posteriormente, y haciendo aplicación del principio de la reversibilidad, de que tratamos al hablar de la transmisión de la fuerza, se han inventado motores más económicos que los ya descritos. Entre éstos se cuentan los motores de Mr. Desprez y los de Mr. Trouvé. El motor de Desprez es ni más ni menos que una máquina magneto-eléctrica de Siemens en la cual se ha introducido una modificación importante en la colocación relativa del imán permanente y de la armadura. El imán está colocado horizontalmente, y la armadura paralelamente a los brazos del imán. Según los trabajos experimentales de Mr. d'Arsonval los motores de imán permanente dan un producto mayor que los de electro-ímanes, por cuya razón, en la mayor de los modelos de máquinas electro-motrices, se utilizan de preferencia los ímanes permanentes; eso no obstante, existen algunas máquinas, y el motor Trouvé es un ejemplo, en las cuales se ha empleado el electroimán en vez del imán de acero.

Mr. Trouvé ha aplicado su motor a poner en acción la hélice de una lancha que navegaba en el Sena a razón de un metro por segundo al remontar el río, y de dos metros y medio al descenderlo, demostrando con aquel experimento la posibilidad de aplicar algún día a la navegación la fuerza motriz de la corriente eléctrica; con el motor de Mr. Trouvé, sin embargo, no se resolverá el problema, ni siquiera para embarcaciones de escaso porte, porque la pila generadora es cosa que cuesta cara y que ocupa más espacio del que es lícito conceder a un motor. Los acumuladores, en cambio, resolverán tal vez esta cuestión de una manera satisfactoria, si las experiencias, que ya han comenzado, continúan con éxito creciente. En el capítulo siguiente y último hablaremos de los acumuladores y de sus aplicaciones.

## **CAPÍTULO 7**

### **DE ALGUNAS OTRAS APLICACIONES DE LA ELECTRICIDAD**

#### **§ 1. — Los acumuladores eléctricos**

Al hablar, en la primera parte de este libro, de las pilas de un solo liquido, no hicimos mención de una de las causas que más contribuyen a debilitar gradualmente la corriente eléctrica obtenida en ellas; esta causa es le producción de depósitos gaseosos, ácidos o alcalinos en las planchas metálicas. Por efecto de la formación de estos depósitos, originanse en las pilas ciertas corrientes, denominadas secundarias, que son de sentido inverso que las principales. Obsérvanse también las corrientes secundarias en las planchas de platino que sirven de electrodos, al descomponer el agua por la pila, observación que fue hecha por vez primera el año 1826 por el famoso físico de Ginebra Mr. de la Rive. Ya desde 1803 había descubierto Ritter esas corrientes, enlazando entre sí dos pilas de columna. una de las cuales se componía exclusivamente de discos de cobre, separados por rodajas húmedas; en esta pila se producía, al interrumpir la corriente engendrada en la otra, una corriente secundaria, débil, y poco durable. Algunos otros físicos se han ocupado también en el estudio de estas corrientes, debiendo citar especialmente a Mr. Planté, que ha sido el primero en buscar y encontrar las aplicaciones prácticas de esta nueva manifestación de la electricidad.

Actualmente son tantos los sistemas de acumuladores que existen, derivados todos del primitivo acumulador Planté, que sería empresa superior a nuestras fuerzas el tratar de describirlos; pero a nuestro propósito basta con lo dicho para que se tenga una idea clara del principio en que están fundados y del modo como se construyen. Fáltanos sólo hablar, siquiera sea brevemente, de sus principales aplicaciones.

En cuanto a la duración de la carga en estos aparatos, parece ser indefinida, si se considera la cuestión de una manera puramente teórica; en la práctica no sucede así, porque, gracias a ciertas acciones locales, al cabo de algún tiempo se produce la descarga. Con acumuladores bien contruidos, sin embargo, se ha conseguido mantener la carga durante algunas semanas y hasta meses, sin pérdida ninguna sensible.

## § 2. — Las aplicaciones de los acumuladores.

Aunque un acumulador no es, bien considerado, sino un aparato que transforma en cierto modo la energía eléctrica de los generadores, condensando y guardando el trabajo de éstos, puede sin embargo, mirársele, desde el punto de vista de sus aplicaciones, como un verdadero generador eléctrico, susceptible de ser utilizado a la manera de los demás aparatos de esta especie. Debe tenerse en cuenta, no obstante, para no hacer cálculos mal fundados, que los instrumentos intermediarios, como es el acumulador, no devuelven toda la energía que se les ha comunicado, sino que una parte de esta energía se consume en trabajo interior, resultando perdida para el efecto útil que se quiera obtener. Lo dicho basta para comprender que la aplicación de los acumuladores, aparte de algunos casos muy especiales, no debe hacerse sino cuando no sea posible utilizar directamente la energía eléctrica de un generador.

Citemos, como ejemplo, la aplicación de los acumuladores a la producción de la luz eléctrica, que se ha hecho en el Teatro de Variedades en París. La falta de local a propósito - para la instalación de la máquina de vapor que debía poner en movimiento el aparato dinamo-eléctrico, hubiera hecho desistir de emplear este sistema de alumbrado, si los acumuladores no hubieran dado solución satisfactoria al problema. En vez de grandes máquinas, se instalaron otras más pequeñas, con las cuales se cargan los acumuladores durante el día, y luego por la noche se aplica la electricidad acumulada a la producción de la luz, en condiciones relativamente económicas. También podemos citar el caso del alumbrado interior de los coches de ferrocarril, del cual hablamos en las aplicaciones de la luz eléctrica. Dijimos entonces que uno de los medios propuestos era el de cargar acumuladores por medio del movimiento mismo de las ruedas, no empleando directamente este movimiento en la producción de la luz por todo ser continuo y uniforme.

Se han aplicado también los acumuladores a poner en acción las pequeñas máquinas electro-motrices de que hicimos mención en el capítulo anterior y todo el que haya visitado alguna exposición de electricidad, habrá visto funcionar un sin número de artefactos, tales como máquinas de coser, tornos; etc., utilizando, para producir el efecto deseado, la electricidad acumulada en las pilas secundarias. En la

tracción de los tranvías se han ensayado los acumuladores con éxito bastante lisonjero, y las experiencias hechas recientemente en Bruselas permiten esperar una solución satisfactoria de este problema. También se han hechos ensayos en estos últimos tiempos de la aplicación de los acumuladores a la navegación marítima, habiendo obtenido en el Canal de la Mancha una velocidad de cinco millas con un barco provisto de cierto número de baterías secundarias.

En los frenos eléctricos de los trenes, el empleo de los acumuladores es ventajosísimo, y, en general, siempre que se desee obtener, en un instante dado, una gran energía eléctrica, puede ser muy conveniente su uso.

Otras muchas aplicaciones tienen estos aparatos tales como en las cauterizaciones obtenidas con alambres de platino enrojado etc., etc.; pero no entraremos en detallarlas porque ya el espacio de que podemos disponer es muy pequeño. Diremos, sin embargo, que si son numerosísimas e importantes dichas aplicaciones, mucho más numerosas serán con el tiempo, y que no será la menos importante de todas las de la transmisión eléctrica de la fuerza.

### **§ 3. — La galvanoplastia**

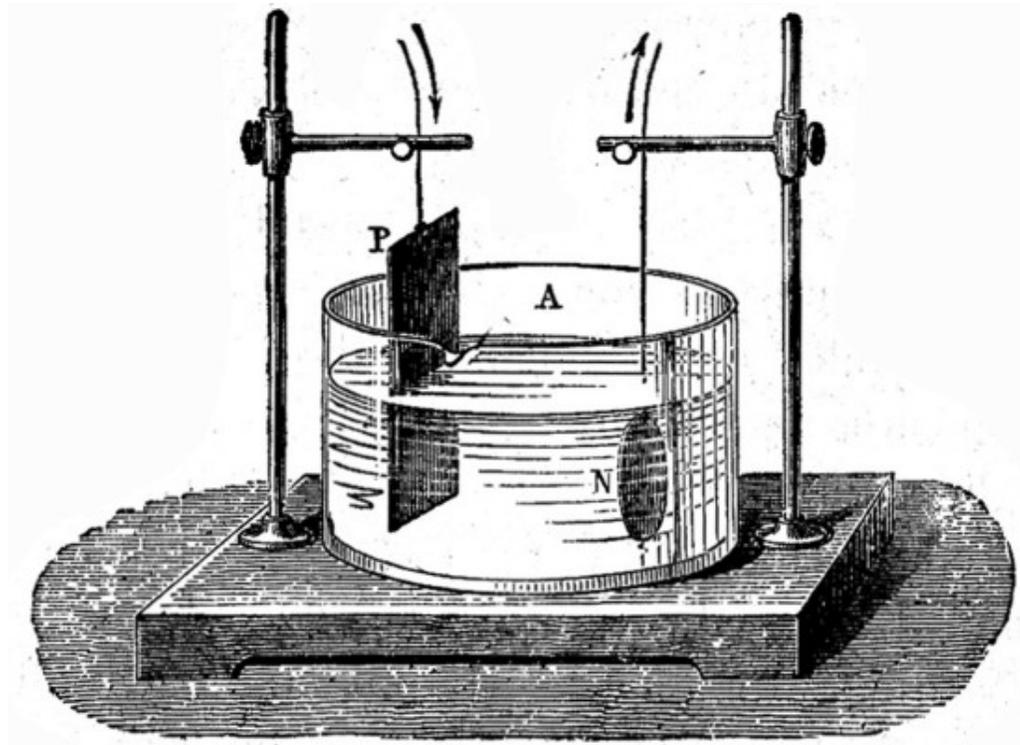
Al hablar, en la Parte Primera de este libro, de los efectos químicos de las corrientes, indicamos algo respecto a la descomposición de los cuerpos binarios, manifestando que, en las descomposiciones efectuadas los metales aparecían siempre como electro-positivos respecto de los metaloides, porque se dirigían constantemente al polo negativo del voltámetro. Prometimos entonces exponer con algún detalle las aplicaciones de estos efectos químicos de las corrientes, y, en cumplimiento de aquella promesa, vamos a hablar ahora de la galvanoplastia y de la electro-química, nombres con los cuales se designan dos órdenes de hechos que, aunque fundados en un mismo principio, requieren, en la práctica, diferentes procedimientos.

El fenómeno de la descomposición de los cuerpos binarios, tales como los óxidos metálicos, lo mismo que el de la descomposición de las sustancias salinas, fue conocido por los físicos desde la invención de la pila de Volta; pero el depósito metálico, que se formaba, era pulverulento y poco adherente, e impropio, por lo tanto, para aplicaciones industriales. Científicamente, sin embargo, era muy

importante aquel hecho, gracias al cual se han aislado metales nuevos, enriqueciendo con su descubrimiento las ciencias químicas. Las pilas de dos líquidos producen depósitos más consistentes y homogéneos que las otras, y observando estos depósitos, y variando los experimentos, fue como el ilustre físico ruso Jacobi llegó a descubrir la galvanoplastia. Había empleado, en sus experiencias relativas a los motores eléctricos, pilas de Daniell, formadas de placas de cobre muy puro para el electrodo positivo, y de platino para el negativo, y hubo de notar, no sin sorpresa, que sobre el platino se había formado un depósito rugoso de hojuelas de cobre, cuya superficie interna reproducía en hueco, con matemática exactitud, los relieves e irregularidades del platino. Variando, como hemos dicho, los experimentos, obtuvo depósitos más homogéneos y consistentes, y sustituyendo la lámina de platino por moldes de medallas, grabados en hueco, etc., llegó a reproducir las medallas y grabados originales con toda perfección.

Los procedimientos que se siguen en la actualidad para la reproducción de medallas, alhajas, estatuas y bajorrelieves no difieren esencialmente de los que empleaba el ilustre inventor de este arte, pero en todos los detalles se han introducido perfeccionamientos importantes que facilitan el trabajo y lo hacen mejor y más económico. Cuando se quiere reproducir un objeto cualquiera, lo primero que debe hacerse es obtener el molde, y esto se consigue siguiendo los procedimientos ordinarios del moldeado. Por lo general, los moldes se hacen de cera, yeso, azufre, gelatina o gutapercha; luego se metalizan interiormente, extendiendo sobre su superficie una delgada capa de plumbagina, o una disolución de nitrato de plata en alcohol; y en este último caso se expone la parte humedecida a las emanaciones del ácido sulfhídrico para que se forme una capa muy tenue de sulfuro de plata. Preparado el molde de la manera que hemos dicho, se procede a la preparación del baño, el cual es de composición distinta, según sea el metal que ha de reproducir el objeto. Ordinariamente es el cobre el metal empleado, y en este caso, se hace uso de una disolución de sulfato de cobre, puesta en una vasija de vidrio A (fig. 85), en la cual van introducidos los dos reóforos de la pila. El negativo lleva el molde N, y el positivo una lámina de cobre P. En cuanto la corriente se establece, comienza a depositarse en el molde el cobre de la disolución, y a formarse, a expensas de la lámina P, una cantidad de sulfato, equivalente al sulfato descompuesto por la acción

eléctrica, con lo cual la disolución se mantiene sensiblemente en el mismo grado de concentración que tenía.



*Figura 85*

Al principio se empleaba exclusivamente la pila como generador eléctrico; hoy, en los talleres de galvanoplastia, se usan de preferencia las máquinas dinamo - eléctricas, convenientemente modificadas y apropiadas al caso. Ya indicamos, al describir las máquinas dinamo-eléctricas de Siemens, que estos señores habían construido máquinas especiales, destinadas a la galvanoplastia, en las cuales se había procurado todo lo posible reducir la resistencia de las hélices, construyendo éstas con barras de cobre separadas entre sí por hojas aisladoras de amianto.

Una de las principales aplicaciones de la galvanoplastia es la fabricación de clisés. Sabido es que los grabados en madera, por ejemplo, no pueden servir para hacer con ellos tiradas numerosísimas, porque la prensa los va desgastando y deteriorando con harta rapidez. A lo sumo pueden tirarse ocho o diez mil ejemplares con un grabado en boj.

Pues bien, la galvanoplastia da el modo de reproducir un grabado un número indefinido de veces, sin que el original en madera se altere en lo más mínimo. Para ello se comienza por sacar un molde en hueco del grabado, metalizando éste previamente con plumbagina, y aplicándole después la gelatina o gutapercha que debe reproducirlo ; este molde, también metalizado, se introduce en el bario galvano plástico y sobre él se deposita, al paso de la corriente eléctrica, una tenue capa de cobre que reproduce con maravillosa exactitud todas las líneas del grabado primitivo, Unas veinte y cuatro horas se necesitan para obtener una lámina de cobre de 0,05 de milímetro, lo cual es suficiente, si se cuida de reforzar la laminilla con la aleación de plomo y antimonio que se denomina metal de imprenta. El clisé así obtenido, se fija en un pedazo de madera de grueso apropiado, y sirve para tirar con él, sin alteración sensible, hasta ochenta mil ejemplares, y como, por otra parte, el número de clisés que se pueden sacar de un mismo grabado en boj es muy considerable, resulta que el número de ejemplares sobre papel es, como decíamos antes, indefinido.

Todos los lectores conocen perfectamente el modo con que están dispuestos los sellos de correos en los pliegos en que se venden. Parece como si hubiera sido preciso grabar, en una sola lámina, tantos sellos iguales, cuántos son los ejemplares que contiene el pliego. Difícil sería que, con semejante procedimiento, pudiesen obtenerse sellos idénticamente iguales, como es absolutamente indispensable que lo sean; pero la galvanoplastia se ha encargado de resolver este problema de una manera por demás satisfactoria. El procedimiento es análogo al que acabamos de describir, pero el molde mismo se obtiene también galvanoplásticamente, y en este caso es necesario someterlo, antes de usarlo, a los vapores de yodo, para evitar la adherencia entre el molde y el clisé. La importancia de esta aplicación del arte galvanoplástico se comprende fácilmente, teniendo en cuenta que diariamente se imprimen en Europa muchos millones de sellos de correos.

En los grabados de mapas, planos, etc., ocurre con frecuencia, que es necesario modificar la plancha original para hacer en ella rectificaciones importantes. Pues la galvanoplastia se ha encargado también de facilitar este trabajo, que antiguamente era bastante difícil y expuesto a inutilizar las planchas, El procedimiento que se sigue hoy, consiste en raspar la parte que debe ser corregida, y en depositar

después en el mismo sitio, por medio de la galvanoplastia, una capa suficientemente gruesa de col" Se aplanan y alisan con cuidado la superficie metálica y se saca una prueba, en la cual, la parte por corregir resulta en blanco. En la prueba hace entonces el dibujante las rectificaciones necesarias, y al grabador a su vez le pasa a la plancha, con todo lo cual queda, ésta perfectamente corregida y dispuesta para hacer la tirada.

Otras muchas aplicaciones de la galvanoplastia podríamos describir, si dispusiéramos de espacio suficiente para ello; pero esas descritas, que son seguramente las principales, bastan, a nuestro juicio, para dar clara idea de la importancia de este arte, y para completar la que el lector debe tener ya de las maravillas que podemos todos esperar de la prodigiosa fuerza eléctrica.

#### **§ 4, — El dorado y el plateado galvánicos**

Siguiendo el orden histórico, debíamos haber expuesto la teoría y los procedimientos electroquímicos del dorado y plateado galvánicos, antes que los de la galvanoplastia propiamente dicho, porque la invención de aquellos métodos fue anterior al de éstos. Pero, aunque desde 1805 había descubierto Brugnatelli el modo de dorar galvánicamente ciertos objetos, es el caso que su descubrimiento permaneció ignorado, basta que la invención de la galvanoplastia llamó la atención de los físicos hacia aquel orden de ideas.

El método de Brugnatelli consistía en someter medallas de plata y algunos otros objetos, introducidos en un baño de cloruro de oro disuelto en amoníaco, a la acción de una pila eléctrica.

Mr. de la Rive, empleando procedimientos semejantes, pero modificados en algunos detalles, consiguió dorar con la pila metales y aleaciones. El objeto que perseguía el ilustre físico de Ginebra era librar a los doradores del empleo del mercurio, objeto humanitario que merecía la recompensa del éxito; pero ni el procedimiento de Mr. de la Rive, ni los de otros físicos resolvieron la cuestión industrial y práctica. La verdadera solución se debe, en primer término, al inglés Mr. Elkington, que desde 1840 indicó el procedimiento y obtuvo un privilegio de invención y, en segundo lugar, al francés Ruolz, que hizo, aunque posteriormente, idéntico descubrimiento y obtuvo también su correspondiente privilegio.

Ya hemos dicho que el principio en que está fundada la electroquímica es el mismo que al que ha servido para las operaciones galvanoplásticas: este principio es la descomposición de una solución alcalice, por efecto de la corriente eléctrica, descomposición que va seguida de un depósito de metal en el polo negativo de la pila.

Pero, así como en la galvanoplastia es conveniente que el metal depositado no se adhiera al electrodo, en el dorado y plateado galvánicos es indispensable producir esa adherencia, sin la cual la operación resultaría inútil de todo punto. Compréndese, pues, perfectamente que los procedimientos que para uno de estos dos artes se siguen deben diferir en algo de los que en el otro se utilizan. Y, en efecto, salvo los aparatos que son los mismos, la preparación del baño y todos los detalles de la operación son diferentes. El baño, para el dorado, consiste en una solución de cianuro potásico, y, para el plateado, en cianuro de plata y cianuro potásico. En este baño se introduce una lámina de oro o de plata que hace de polo positivo, y que está destinada a mantener el licor en el mismo grado de concentración que tenía al principio. El objeto que se ha de dorar o platear va introducido en el mismo baño y hace de polo negativo. Para que el dorado tenga un hermoso color es necesario que la temperatura del baño sea de 70° a lo menos; en el plateado se puede operar a la temperatura ordinaria. El objeto que se ha de dorar o platear debe sufrir, antes de ser introducido en el baño, una preparación conveniente. En primer lugar se pule perfectamente su superficie y se le limpia de toda materia extraña. Luego se le somete a una operación que varía con la naturaleza del metal empleado; si es de hierro, acero o zinc se le cubre, por medio de la galvanoplastia de una capa de cobre, para que el oro o la plata, puedan adherirse a su superficie; si es de bronce es necesario recocerlo; si de latón, lavarlo en una disolución concentrada de sosa, y someterlo, después de lavado, a la acción de un baño ácido que haga desaparecer la capa de óxido formado en la superficie.

Después de efectuada una u otra de estas operaciones, según los casos, se le somete en el baño a la acción de la pila. El espesor de la capa de oro o plata que se deposita sobre el objeto depende, como podía preverse, del tiempo que dura la operación, y la cantidad de metal depositado se puede medir fácilmente, pesando el objeto antes de sumergirlo en el baño y después de sacarlo de él; la diferencia de

peso indica con toda exactitud la cantidad de metal que se ha gastado en la operación.

La adherencia del depósito depende en parte de la fuerza de la corriente, y así es necesario graduar ésta de una manera conveniente para que la adherencia sea perfecta. Al sacar los objetos del baño, después de dorados o plateados, no tienen el brillo con que los encontramos luego en el comercio. Este brillo lo adquieren por medio de pulimentos que nada tienen que ver con la electricidad y de los cuales, por consiguiente, no debemos tratar aquí.

Las aplicaciones de la electro-química, o sea del dorado y plateado galvánicos y aún del niquelado, cobreado, etc., son tan importantes como numerosas. Respecto a la importancia nos bastará recordar que la cantidad de cubiertos plateados galvánicamente, que se fabricaron en una sola casa (Christofle) en 1865 fue de 5.600,000. Citemos también los alambres galvanizados que se emplean en las líneas telegráficas aéreas y daremos idea del enorme desarrollo que ha adquirido una industria, nacida hace cuarenta años nada más, y que hoy pone en circulación millones y millones de pesetas. El niquelado galvánico ha adquirido en estos últimos años extraordinaria importancia. Preserva los objetos de la oxidación y hace su aspecto más bello; por eso los instrumentos de cirugía que actualmente se fabrican, y una multitud de otros objetos de todos clases, son sometidos, antes de ser entregados al comercio, a los procedimientos del niquelado.

## **§ 5. — Conclusión**

Hemos llegado al término de nuestro viaje. Después de haber expuesto, en la Primera Parte de este libro, los fenómenos eléctricos y magnéticos, como preparación necesaria e indispensable para comprender las aplicaciones de la Electricidad, hemos presentado, de la manera más clara y sencilla que nos ha sido posible, las más importantes de esas aplicaciones, lamentando que el corto espacio de que podíamos disponer no nos permitiera detenernos más en la descripción de cada una. Solamente las principales, las más importantes, hemos expuesto; porque son tantas y tan variadas las aplicaciones de la Electricidad que la exposición completa de todas ocuparía muchos volúmenes.

Citemos, como ejemplo, la radiofonía o lo que es lo mismo, la transmisión del sonido por medio de la luz, que es sin duda una de las más maravillosas

aplicaciones de la electricidad; la construcción de los aparatos meteorológicos que anotan por sí mismos, y gracias al fluido eléctrico, las observaciones de temperatura, de presión atmosférica del estado higrométrico del aire, de la evaporación del agua, etc., etc.; citemos los relojes eléctricos 1 los contadores electro-cronométricos, los aparatos indicadores de incendios, los contadores del gasto de electricidad, las plumas eléctricas ; citemos en fin, las cada vez más numerosas aplicaciones de esta hermosa ciencia a la medicina y a la cirugía y habremos dado idea de la extensión que ha adquirido en pocos años una ciencia joven, nueva, moderna, que no parece sino que se ha propuesto sobrepujar a las demás ramas de la física que ya, a su lado, comienzan a aparecer pequeñas.

Y es de notar que, para realizar tantas maravillas, no ha necesitado el físico conocer la causa primera de esta fuerza, causa misteriosa que tal vez permanecerá eternamente oculta para nosotros. Le ha bastado el conocimiento exacto de los fenómenos y de las leyes por que se rigen, adquirido por la observación y la experiencia, para hacer aplicación de aquellas leyes y obtener resultados importantísimos. ¿Quién es capaz de prever lo que será en lo por venir una Ciencia que con pasos agigantados marcha, sin detenerse, de progreso en progreso?

**F I N**