

le han sugerido una teoría que difiere en muchos puntos de la adoptada por M. de la Rive. Digamos algo acerca de ella.

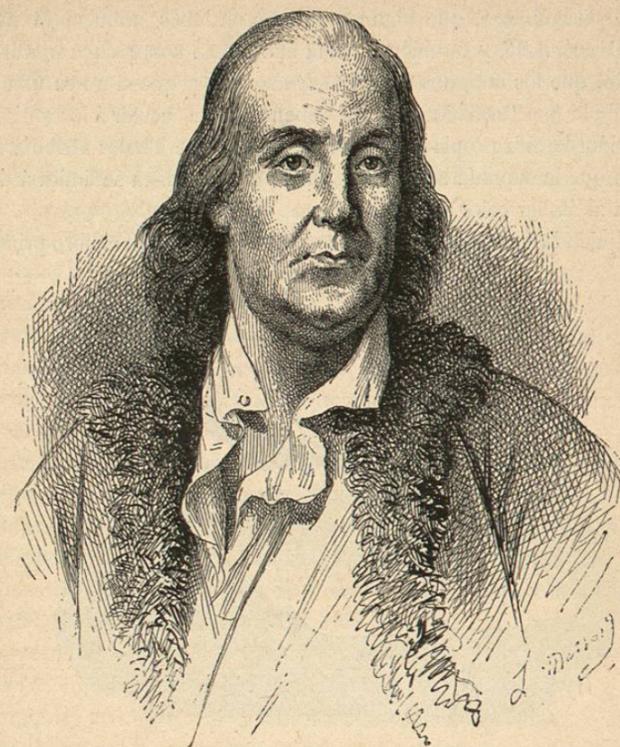
He aquí, según M. Planté, en qué consisten los experimentos en cuestión: "Si se pone el electrodo positivo de la poderosa batería secundaria de que hago uso en contacto con las paredes húmedas de una vasija llena de agua salada en la que se ha introducido de antemano el electrodo negativo, se observa, según la mayor ó menor distancia del líquido, ó una corona formada de partículas luminosas dispuestas en círculo alrededor del electrodo, ó un arco orlado de una franja de rayos brillantes, ó bien una línea sinuosa que se pliega y replega sobre sí misma con rapidez. Este movimiento ondulatorio, en particular, presenta gran analogía con el que se ha comparado en las auroras con los repliegues de una serpiente ó con un cortinaje agitado por el viento.,"

La luz es amarilla á causa del agua salada, pero se observan en ella tintas purpúreas y violadas allí donde el agua procedente del vapor condensado está menos cargada de sal.

Según Planté, el segmento oscuro de las auroras tiene su análogo en el segmento húmedo que rodea al electrodo y en torno del cual se dilata el arco voltaico. Cuanto más penetra este electrodo en el líquido, tanto más agitada está la corriente por el flujo eléctrico, de lo cual resulta una ebullición luminosa que dicho físico compara con las fluctuaciones de las auroras polares. El zumbido que se nota explica el que han creído percibir ciertos observadores en las auroras. Por último, las perturbaciones magnéticas de que van éstas acompañadas tienen sus análogas en las agitaciones de una aguja imanada que se coloca cerca del circuito.

"Resulta además de estos hechos, dice M. Planté, que las auroras deben tener por causa un flujo de electricidad *positiva*, porque los fenómenos luminosos son los mismos que los del electrodo positivo en el voltámetro, y el negativo no ofrece nada semejante., Así lo admite también M. de la Rive; pero las auroras polares ¿son como se supone una descarga entre la electricidad positiva de la atmósfera y la de la Tierra supuesta negativa? No es tal la opinión de Planté, el cual piensa, por el contrario, que la electricidad positiva marcha hacia los espacios planetarios y no hacia el suelo, al través de las brumas ó de las nubes heladas que flotan sobre los polos. Finalmente, no considera las regiones ecuatoriales como el manantial en que se produce la electricidad positiva que se supone acumulada en los polos, "sino que debe proceder de una carga primitiva ó provisión de electricidad propia de la Tierra misma, adquirida por ella en el origen de su formación y que tenderá á disiparse, lo propio que el calor que posee, con extraordinaria lentitud en razón de su masa considerable.,"

Tales son las teorías propuestas para explicar el magnífico fenómeno de las auroras, y tales los ingeniosos experimentos con los cuales se ha procurado reproducir las circunstancias que las acompañan. Nosotros nos limitamos á exponerlas, dejando á los físicos la tarea de discutir las y de juzgar del fundamento que puedan tener.



BENJAMÍN FRANKLIN

LIBRO SEGUNDO.—LA ELECTRICIDAD

CAPÍTULO PRIMERO

FENÓMENOS GENERALES DE LA ELECTRICIDAD

I

ATRACCIONES Y REPULSIONES ELÉCTRICAS

Un pedazo de succino ó ámbar amarillo, ligeramente frotado con un paño, atrae cuerpecillos leves, como briznas de paja, barbas de pluma, fragmentos de corcho, de médula de saúco, de papel, etc., viéndose cómo se precipitan estos cuerpos hacia los puntos de la superficie del ámbar que ha sufrido la fricción, cual si los empujara una fuerza misteriosa. Este hecho, conocido desde la más remota antigüedad, si es cierto que Thales de Mileto, que vivió 600 años antes de la era vulgar, hace mención de él, es el punto de partida de la ciencia de la *Electricidad*. Pero la propiedad del ámbar,

así como la del imán, ha seguido siendo por espacio de dos mil años una simple curiosidad, una singularidad de la Naturaleza; y hasta Guillermo Gilbert (1600), á nadie se le había ocurrido convertirla en objeto de estudio ni de observación continuada y metódica. Dicese, sin embargo, que algunos autores antiguos notaron la misma virtud atractiva en el azabache, y también en una substancia sobre cuya naturaleza no se está de acuerdo, que los antiguos llamaban *lyncurium*, y que si no es una variedad de ámbar, es sin duda una turmalina (1). No debemos, pues, acudir á los antiguos para tener la explicación de esta propiedad atractiva. Dicese que Thales atribuía alma al succino, lo mismo que la suponía en el imán. Plinio el naturalista se limita á decir que "el frotamiento da al ámbar calor y vida."

Gilbert, á quien la ciencia es deudora, según hemos visto en el libro primero, del des-

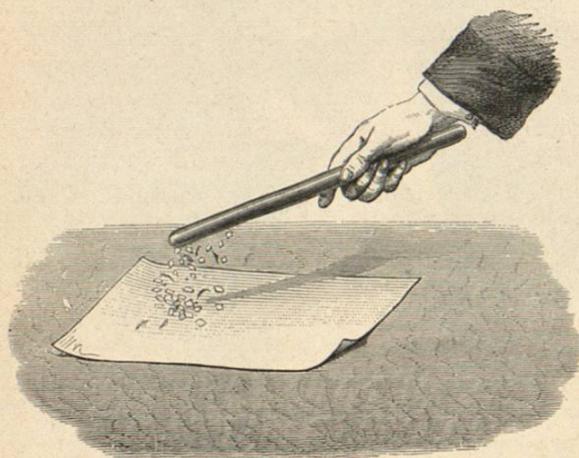


Fig. 59.—Atracción de los cuerpos leves

cubrimiento de muchas de las propiedades del imán, reconoció hacia el año 1600 en el vidrio, en el azufre, en la resina y en varias piedras preciosas la propiedad atractiva del ámbar. Desde aquella época, muchos físicos ampliaron los descubrimientos de Gilbert, haciendo patente una porción de fenómenos curiosísimos, hasta entonces completamente ignorados, y contribuyeron así á fundar esa rama de la física que con el nombre de *Electricidad* ha adquirido en nuestros días tanta extensión é importancia. La palabra *electricidad* designa más en particular la causa, hoy todavía desconocida, de los fenómenos que vamos á describir; palabra derivada de *electron*, nombre griego del ámbar amarillo (2).

Es sumamente fácil producir los fenómenos de atracción de que acabamos de hablar. Se coge una barrita de ámbar, de resina ó de vidrio, y se frota viva, pero ligeramente, con un pedazo de paño: si se aproxima entonces á las partes frotadas pajitas ó

(1) "Díocles y Teofrasto atribuyen al *lyncurium* las mismas propiedades atractivas que al succino," dice Th. H. Martín en su obra *El Rayo, la Electricidad y el Magnetismo en la antigüedad*. "Solín y Prisciano, al hablar de las islas Británicas, atribuyen estas mismas propiedades al azabache (*gogates*) que según ellos es un objeto precioso que se encuentra en dichas islas." (*Ibid.*)

(2) El ámbar amarillo ó succino es una especie de resina fósil que se encuentra en gran abundancia en las costas del mar Báltico. A causa de la belleza de su color y de su transparencia, se le usó por espacio de mucho tiempo como objeto de ornamento en los prendidos y en las joyas de lujo.

pedacitos de papel á unos cuantos centímetros de la barra, se verá cómo se acercan estos fragmentos á la superficie del ámbar ó del cristal, poco más ó menos como las limaduras de hierro se precipitan sobre el imán; cuando ha habido contacto, algunos de ellos se quedan adheridos á la barra; para otros la atracción se convierte en repulsión, y los cuerpos leves se retiran. Cuando se pasa la barra frotada á corta distancia del rostro, se experimenta una sensación parecida á la que causa el roce de una telaraña. Si la barra de resina es un poco voluminosa y el frotamiento enérgico y prolongado, al acercar el dedo hasta tocarla casi se oirá un chasquido seco, y en la obscuridad se verá brotar una chispa entre el dedo y la parte más próxima de la barra. Todos estos fenómenos cesan si se pasa la mano por las partes frotadas.

Dicen que un cuerpo está *electrizado* cuando en cualquier grado manifiesta las propiedades indicadas en estos experimentos, y en *estado natural* cuando no da señal alguna de atracción ni de repulsión.

Sentadas estas definiciones, ocupémonos ya, por el orden con que se han descubierto, de los principales fenómenos eléctricos, insistiendo en las circunstancias de su modo de producirse y entrando en algunos detalles históricos sobre el descubrimiento de cada uno de ellos.

Gilbert no conoció el fenómeno de la repulsión eléctrica que tan fácilmente se observa tan luego como hay contacto entre el cuerpo electrizado y el cuerpo leve al cual atrae primeramente (1), ni la reciprocidad de la atracción entre el cuerpo frotado y el que ha servido para la fricción. Esto es tanto más chocante cuanto que para el estudio de estos fenómenos se valía de agujas suspendidas sobre un eje como las imanadas. Si hubiera suspendido del mismo modo una varilla de vidrio ó de azufre frotada de antemano, habría reconocido la reciprocidad de la atracción, como se hace para comprobar que el hierro dulce atrae al imán. Pero Gilbert aumentó en demasía la lista de los cuerpos susceptibles de electrizarse por frotamiento, como el ámbar; á los que ya hemos mencionado agregó la goma laca, la sal gema, el alumbre y el cristal de roca. Reconoció también que la atracción eléctrica no actuaba solamente sobre fragmentos de cuerpos leves, sino también sobre cualesquiera sólidos, sobre gotitas líquidas y sobre materias gaseosas, como densas humaredas. Por último, reconoció la influencia del estado atmosférico en los fenómenos eléctricos, que son mucho más marcados cuando reinan vientos secos de la región Nordeste en Europa, que cuando soplan vientos húmedos del Sur y del Oeste.

Boyle descubrió la reciprocidad de atracción de los cuerpos no electrizados por los que lo están. Un sencillísimo experimento pone de manifiesto esta reciprocidad, que no es otra cosa sino un caso particular del principio de mecánica que establece que toda acción va forzosamente acompañada de una repulsión. Sobre un eje vertical se coloca una aguja de goma laca, y se la electriza frotándola con una piel de gato. Acercando el dedo á cierta distancia de uno de sus extremos, se atrae y desvía la aguja. Otto de Guericke, que inventó la primera máquina eléctrica de frotamiento, fué también el primero que observó los fenómenos de repulsión y que hizo brotar del globo de azufre de sus máquinas chispas acompañadas de un chasquido seco que constituía el ruido de la

(1) La forma de los cuerpos atraídos influye en el fenómeno. Si se tiene cuidado de emplear granitos redondos ó discos, es decir, cuerpos cuya superficie no tenga ningún ángulo saliente, ninguna punta, ocurrirá la repulsión inmediatamente después del contacto. Si, por el contrario, los fragmentos son angulosos, si se trata de barbas de pluma, de papelitos recortados en punta, no hay repulsión. Más adelante veremos la razón de esta diferencia en el modo de ocurrir el fenómeno.

descarga eléctrica. No cabe duda de que mediaba todavía gran distancia entre estas modestas experiencias y la producción de las vivísimas luces que forman el arco voltaico, el más poderoso de todos los procedimientos artificiales de alumbrado. Los experimentos del célebre burgomaestre de Magdeburgo datan de mediados del siglo xvii. A principios del xviii, en que debían hacerse tan brillantes descubrimientos en electricidad, el físico inglés Wall logró producir chispas más intensas y chasquidos más fuertes, habiendo presentado el gran descubrimiento que hizo famoso á Franklin. "Esta luz y este chasquido, dice, son en cierto modo la representación del relámpago y del trueno.,, La analogía era en efecto sorprendente, y no pasó mucho tiempo sin que se viera demostrada y confirmada.

Además de interesantes experimentos sobre la luz producida en el vacío ó en un medio enrarecido cuando se introducen en él cuerpos y se desarrolla en su superficie la electricidad por frotamiento, ó cuando se frota exteriormente el globo de vidrio en cuyo interior se hace el vacío, débense al físico Hauksbee muchas observaciones de fenómenos eléctricos, y en especial la de la influencia que tiene el calor en el desarrollo de la fuerza atractiva ó repulsiva, habiendo visto que las atracciones y las repulsiones de pedazos de latón por un tubo de vidrio fuertemente frotado con papel eran tanto más enérgicas cuanto más caliente se ponía el tubo de resultas de la fricción. Los experimentos del propio Hauksbee, de Dufay y de Gray pusieron también fuera de duda la influencia de la humedad del aire y la de su temperatura, reconocidas ya por Gilbert. En los *Experimentos físico-mecánicos* del primero se lee lo siguiente:

"Cuando á consecuencia de una fricción violenta se ha puesto el tubo á un grado de calor muy considerable, la fuerza de los *effluvia* es sensible al tacto, y entonces no tan sólo producen de un modo notable todos los efectos de que hemos hablado (los movimientos de atracción y repulsión), sino que se puede notar su acción en el rostro ó en cualquier otra parte delicada del cuerpo, cuando se acerca á ella el tubo frotado. Parece entonces como si esos *effluvia* descargasen golpecitos en la piel, y que producen en ella una sensación semejante á la que excitarían si se pasara por la piel algunos cabellos finos y flexibles.,,

Ya hemos dicho que se ha comparado la sensación mencionada por Hauksbee con la impresión causada por una telaraña, ó un fino plumón ó un velloncito de algodón en rama.

II

CONDUCTIBILIDAD ELÉCTRICA

Los experimentos de que nos hemos ocupado en el artículo anterior parecen probar desde luego que se deben dividir los cuerpos en dos clases, según que sean ó no susceptibles de electrizar por frotamiento. Cierta es que la primera clase, reducida primeramente al ámbar y al azabache, y luego al azufre, etc., comprendió en breve un crecido número de sustancias; pero otras, mucho más numerosas, resistieron largo tiempo á las tentativas de los físicos para descubrir en ellas indicios de la propiedad eléctrica, y cuando se sometía al frotamiento á los metales, á las piedras, á la mayor parte de las materias vegetales y animales, y en especial al cuerpo humano, no presentaban los mismos fenómenos de atracción ó repulsión que los cuerpos de la primera clase. Así fué que se dió el nombre de *idío eléctricos* á estos últimos, y el de *aneléctri-*

cos á los que no se había podido electrizar por frotamiento. Esta distinción pareció tanto más natural cuanto que presentaba sorprendente analogía entre los fenómenos del magnetismo y los de la electricidad, y que correspondía á la división de los cuerpos en *magnéticos* y *no magnéticos*, según que son ó no susceptibles de imanación, ya temporal ó ya permanente.

Pero el descubrimiento de la *conductibilidad eléctrica*, hecho á principios del siglo xviii por Stephen Gray, demostrando la causa de la diferencia que existe entre las dos clases de sustancias, allanó el camino para la averiguación de una verdad general, á saber, que todos los cuerpos sin excepción son susceptibles de electrizarse, y que la diferencia indicada en un principio dependía únicamente de las condiciones particulares en que se habían efectuado los experimentos.

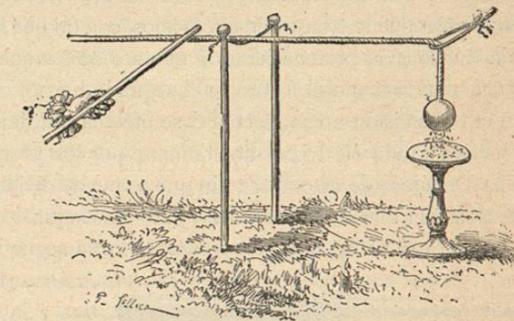


Fig. 60.—Experimentos de Gray sobre la conductibilidad eléctrica

Describamos rápidamente las circunstancias que condujeron á Gray á hacer tan importante descubrimiento.

Habiendo electrizado del modo ordinario un tubo de cristal tapado en sus dos extremos con tapones de corcho, observó con sorpresa que el corcho, que no había sido frotado, atraía y luego rechazaba los cuerpos leves, como lo hacía el mismo tubo. Por consiguiente, la virtud eléctrica se había comunicado del vidrio al corcho. Gray prosiguió el experimento, añadió á los tapones varillas de marfil, de madera, de metal, y siempre advirtió los mismos fenómenos en el extremo de estas varillas que remataban en una bola de marfil.

Suspendida ésta á la parte exterior de un balcón de un largo cordel enrollado al tubo, se electrizó también. Varió estos experimentos de diferentes modos y pudo comprobar que la virtud eléctrica se comunica á distancias cada vez mayores, habiéndola notado en el extremo de una cuerda de 765 pies de largo.

Mas, para que saliera bien la prueba,

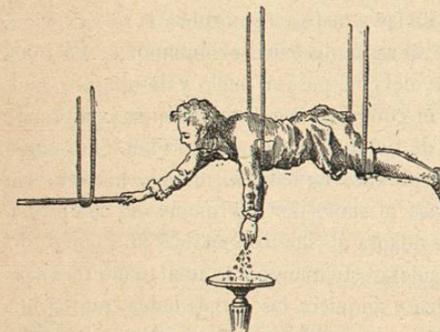


Fig. 61.—Conductibilidad eléctrica del cuerpo humano. Experimento de Gray

observó Gray que era preciso llenar ciertas condiciones: la cuerda que transmitía la electricidad debía estar colgada de cordones de seda, pues no presentaba indicio alguno de electrización si reemplazaba la seda con hilos metálicos. Un postrer experimento de Gray que se repitió muy en breve en todos los gabinetes de física, probándole que el cuerpo humano conduce la electricidad, nos explica la imposibilidad en que hasta entonces se había estado de electrizar toda una serie de cuerpos, por ejemplo los metales.

Habiendo suspendido de cuerdas de crin un niño, como se ve en la figura 61, y tocándole en seguida con su tubo electrizado, vió que todas las partes del cuerpo del mu-

chacho, sus manos, su rostro y hasta su ropa, habían adquirido la propiedad de atraer y de repeler en seguida los cuerpos leves que se le acercaban. Lo propio sucedía cuando, en lugar de suspender de cuerdas al niño, se le ponía sobre un taburete formado de una substancia *idio-eléctrica* (según la expresión de la época), por ejemplo, si sus pies descansaban en una torta ó disco de resina.

De estos experimentos, que los físicos variaron en seguida de todos modos, resultaban dos hechos de la mayor importancia: primero, que la electricidad desarrollada por frotamiento puede transmitirse á lo lejos, con tal que los cuerpos intermedios encargados de la transmisión pertenecieran al número de los que no se podía electrizar, cuando se los tenía en la mano al frotarlos; el segundo hecho, correlativo del primero, consiste en que la transmisión no se efectúa ó se efectúa difícilmente por medio de los cuerpos que se había logrado electrizar directamente por los procedimientos hasta entonces adoptados. Dedújose de esto ante todo que se puede dividir los cuerpos en dos clases ó categorías, según que son aptos ó no para transmitir ó conducir la electricidad á lo lejos. La primera clase fué la de los *conductores*; la segunda la de los *no conductores* ó *aisladores*.



Fig. 62.—Electrización de un metal.

Esta última denominación es relativa á la propiedad que tienen los cuerpos no conductores de oponerse á la pérdida rápida de la electricidad cuando el cuerpo electrizado, que es conductor á su vez, no está en comunicación con el suelo por medio de un cuerpo no conductor.

El descubrimiento de la *conductibilidad eléctrica* y de las condiciones en que tiene efecto, así como la distinción que motiva y que acabamos de mencionar, produjeron importantes consecuencias que la experiencia justificó muy pronto. Entremos en algunos detalles acerca de este asunto.

Siendo el vidrio, el ámbar, la resina, etc., cuerpos malos conductores, la electricidad no debe desarrollarse sino en las partes frotadas, y así lo comprueba la observación. Pero si se les toca con la mano, que, como el resto del cuerpo humano, es un buen conductor, la electricidad se esparce por éste, del cual pasa al suelo y desaparece, aunque sólo en los puntos en que ha ocurrido el contacto. Por esta razón se comprende que cuando se frota un cilindro metálico no dé señal alguna de electricidad, pues como los metales son excelentes conductores, si se produce aquélla, se difunde instantáneamente por toda la superficie del metal, y pasa al suelo por intermedio del cuerpo del operador. Lo que así lo prueba es que, si se adapta al cilindro metálico un mango formado por un cuerpo mal conductor, y si se sujeta este mango con una mano mientras se frota el metal con la otra, éste se electriza y adquiere las propiedades que hemos descrito más arriba al reconocerlas en el vidrio, en la resina y en el ámbar. Por esta razón se da el nombre de *aisladoras* á las substancias que conducen mal la electricidad. Aislando un cuerpo cualquiera, se reconoce que es susceptible de electrizarse por frotamiento.

Se pueden hacer de muchos modos estos experimentos. Una persona puesta sobre un taburete sostenido por pies de vidrio se electriza cuando se la fricciona con una piel de gato; acercando el dedo á cualquier parte de su cuerpo, se pueden sacar de ella chispas, y mientras dura la electrización, experimenta la persona en el rostro la sensación singular causada al acercarle una barra electrizada.

Hicimos mención anteriormente del primer experimento hecho por Gray, que demostró la conductibilidad eléctrica del cuerpo humano. Dufay, físico francés, individuo

de la Academia de Ciencias, fué quien sacó de él la primera chispa. "Habiéndose suspendido de cordones de seda y héchose electrizar, observó que si cualquier persona acercaba la mano á corta distancia de su rostro, experimentaba un leve dolor parecido al pinchazo de un alfiler, y que la persona que había acercado la mano sentía la misma impresión; y además que resonaba al mismo tiempo un ligero chasquido y brillaba cierto resplandor en la obscuridad.,,

Gray repitió los experimentos de Dufay, reconociendo á su vez que se pueden sacar chispas de otros cuerpos aislados á los que se ha electrizado por el contacto de un tubo de vidrio; si estos cuerpos terminan en punta, se ve en el extremo un cono luminoso acompañado de un leve zumbido. Con tal motivo repitió Gray la comparación hecha ya por Wall entre la chispa y el chasquido eléctrico y el relámpago seguido del trueno.

El agua es un cuerpo buen conductor, poseyendo la misma propiedad en estado de vapor. Por esto se debe tener gran cuidado, cuando se trata de desarrollar la electricidad en un cuerpo, no tan sólo de aislarle si es buen conductor, sino de enjugar y secar el mango ó los soportes de vidrio, ó cualquier otro aislador. He aquí también por qué se produce la electricidad más fácilmente cuando el tiempo está seco que si está húmedo; y por esto, la habitación en que se opera debe haberse secado previamente todo lo posible, á fin de que el aire que haya en ella contenga muy poco vapor de agua. Para evitar la pérdida de electricidad por los soportes aisladores de vidrio, que son los que se emplean generalmente, se los barniza con una capa de goma laca, cuya superficie no es higrométrica como la del vidrio.

En resumen, se pueden dividir todas las substancias, por su orden de conductibilidad, en dos clases, la de los buenos y la de los malos conductores ó aisladores; pero la propiedad conductora tiene en cada una de ellas diferentes grados, de suerte que ninguna substancia carece en absoluto de ella y que se puede formar una tercera clase, compuesta de los cuerpos cuya conductibilidad es intermedia entre la de los extremos; será la de los cuerpos semiconductores. En el cuadro siguiente se continúa cierto número de substancias clasificadas por el orden de su conductibilidad decreciente:

CUERPOS CONDUCTORES

Metales usuales.	Acidos diluidos.	Agua de lluvia.	Sales solubles.
Carbón calcinado.	Disoluciones salinas.	Nieve.	Lienzo.
Grafito.	Agua de mar.	Vegetales vivaces.	Algodón.
Acidos concentrados.	Agua de fuente.	Organos de los animales	

CUERPOS SEMICONDUCTORES

Alcohol.	Flor de azufre.	Mármol.	Paja.
Eter.	Madera seca.	Papel.	Hielo á 0°.
Vidrio pulverizado.			

AISLADORES

Oxidos metálicos secos.	Polvo de licopodio.	Cuero.	Agata.
Aceites grasos.	Caucho.	Pelos.	Cera.
Cenizas vegetales y animales.	Alcanfor.	Plumas.	Azufre.
Hielo á -20°.	Resinas.	Lana.	Ambar.
Fósforo.	Porcelana.	Seda teñida y cruda.	Goma laca.
Cal.	Papel seco.	Piedras preciosas.	Aire y gases secos.
Creta.	Pergamino.	Mica.	
	Vegetales secos.	Vidrio.	