Finalmente, se colocan algunas veces sobre el edificio varillas horizontales, mas ó menos inclinadas, que comunican con el conductor, y que sirven para preservar al edificio de la accion de nubes tempestuosas que los vientos pudieran arrojar sobre sus paredes.

La distancia á que un pararayos extiende su accion no es exactamente conocida, y depende de varias circunstancias locales; sin embargo, segun las observaciones de Charles, una varilla aguda protege contra el rayo un espacio circular, cuyo rádio es doble de su altura. Si el edificio tiene grandes dimensiones es necesario colocar varios pararayos, y su distancia debe ser cuatro veces mayor que su altura. Cualquiera que sea el número de pararayos colocados sobre un edificio, se los fija estableciendo una comunicacion íntima entre los pies de todas las varillas por medio de barras de hierro de las mismas dimensiones que los conductores.

LECCION LXXX.

Electricidad atmosférica; sus orígenes.—Fenómenos que produce.—Granizo.

302. Estudiados ya los violentos efectos producidos por las descargas de las baterías eléctricas, no deben admirarnos los que producen los rayos en las grandes tempestades, puesto que son debidos, como los de las baterías, á una fuerte descarga eléctrica,

La identidad del rayo con la electricidad fué sospechada á un mismo tiempo por varios físicos; pero Franklin, despues de observar el efecto de las puntas, sospechó que una varilla de hierro, colocada sobre un edificio, podria extraer la electricidad de los nublados.

Dalibard fué el primero en Francia que comprobó esta conjetura, haciendo construir una cabaña que tenia una varilla de hierro de 17 pies de longitud, aislada por la parte inferior. Cuando pasó por cerca de esta cabaña una nube tempestuosa dió la barra chispas muy vivas aproximando un cuerpo conductor, con las cuales se cargaron botellas de Leyden; y se observó que la electricidad de la nube era enteramente igual á la que se producia con la máquina eléctrica, y que unas veces era positiva y otras negativa.

Poco tiempo despues Franklin, que ignoraba los experimentos de Dalibard, construyó una cometa armada con una punta en su extremidad, y la lanzó cerca de Filadelfia á una nube tempestuosa.

El primer indicio de electricidad que obtuvo fué la elevacion de los filamentos de cáñamo esparcidos por la torsion de la cuerda; pero luego que una ligera lluvia mojó la cuerda de cáñamo y aumentó su conductibilidad, pudo, aproximando un dedo á la cuerda, sacar chispas vivísimas, con las cuales inflamó el alcohol y cargó botellas de Leyden.

En la misma época Romas, que cultivaba la física en Lila, lanzó hácia una nube tempestuosa una cometa cubierta de tafetan, de siete pies y medio de largo sobre tres de ancho, armada de una varilla de hierro puntiaguda; la cuerda estaba entretejida con un hilo metálico hasta cierto punto, y el resto era un cordon de seda destinado á preservar al observador que la tenia en la mano. Se sacaron chispas de diez pies de longitud aplicando un excitador aislado con dos mangos de vidrio, y de dos piés de largo, haciendo comunicar una de sus extremidades con el suelo.

Todos estos experimentos son sumamente peligrosos, habiendo producido violentas conmociones á varios físicos, y la muerte al célebre Richman, profesor de física en San Petersburgo.

303. No solamente las nubes están frecuentemente cargadas de electricidad, sino que el aire atmosférico lo está tambien aun en los dias serenos. El aparato que comunmente se usa para reconocer la electricidad de la atmósfera se roduce á un electróscopo de pajas ó panes de oro armado de una varilla metálica bastante larga y terminada en punta, y cuya campana está graduada de manera que permite medir la divergencia de los conductores móviles.

Los experimentos hechos por Saussure, Gay-Lussac y Arago con este aparato han dado los resultados siguientes.

Cuando el cielo está sereno existe siempre en la atmósfera un esceso de electricidad positiva libre. Esta electricidad no empieza á ser sensible en campo raso, sino á tres ó cuatro pies sobre el nivel del terreno, aumentando de intensidad á medida que nos elevamos en la atmósfera. Se demuestra esto último atando á la varilla del electróscopo por medio de un hilo de seda recubierto de oropel el hierro de una flecha, y lanzando ésta en la direccion vertical. A medida que la flecha se eleva se observa un aumento de divergencia en los panes de oro del electróscopo. Si la flecha se lanza horizontalmente la divergencia no tiene lugar de una manera sensible, lo que prueba que el efecto obtenido en el primer caso proviene de la electricidad atmosférica, y no del rozamiento de la flecha contra el aire, como pudiera creerse.

La electricidad positiva de la atmósfera en los dias serenos experimenta variaciones diurnas en su intensidad, siendo mas fuerte en invierno que en estío. Saussure ha observado tambien que la electricidad es mas abundante en los sitios elevados, y nula en las casas, en las calles, sobre los árboles, en los patios, y en general en los sitios abrigados; pero que ya es sensible sobre los puentes y plazas de las ciudades. Finalmente, en tiempos tempestuosos la electricidad del aire cambia á cada instante de signo y de intensidad.

304. Las circunstancias que contribuyen á la produccion de la electricidad atmosférica son la evaporacion y la vegetacion. En efecto, Pouilet ha demostrado que la evaporacion del agua pura no altera jamas el equilibrio de los fluidos eléctricos; pero si este líquido contiene en disolucion sustancias extrañas, como ácidos, álcalis ó sales, aun en cantidades pequeñas, al desprenderse el vapor acuoso arrastra consigo una cantidad de electricidad libre, la cual puede hacerse sensible por medio del electrómetro condensador. Esta electricidad es siempre positiva si la disolucion es ácida ó salina, y negativa si la disolucion es alcalina, en tanto que el

ácido y el álcali quedan constantemente con las electricidades de nombre contrario. Ahora bien, como las aguas que se encuentran en la superficie de la tierra contienen siempre en disolucion sustancias salinas, su contínua evaporacion debe comunicar al aire una gran cantidad de electricidad positiva.

Respecto á la vegetacion, los experimentos del mismo físico demuestran que las plantas bajo la influencia de la luz descomponen el ácido carbónico del aire, absorven el carbono, y emiten el oxígeno, el cual se desprende siempre cargado de una cantidad notable de electricidad positiva.

305. Lo que precede explica el estado eléctrico del aire en los tiempos serenos; pero falta explicar la formacion de las nubes tempestuosas, y las variaciones de electricidad que experimentan.

Conduciendo el vapor de agua el fluido eléctrico con mas facilidad que el aire seco, se concibe que al reunirse los vapores para formar las nubes deben arrastrar consigo una gran parte de la electricidad que se encuentra en el espacio en que están diseminadas. Estas nubes no se hacen tempestuosas hasta tanto que han adquirido suficiente densidad para que el fluido eléctrico, que en un principio permanecia alrededor de cada glóbulo, se reuna en totalidad en la superficie de la nube.

Respecto á la electricidad negativa, de que están algunas veces cargadas las nubes, debe provenir indudablemente de la accion que por influencia ejercen las nubes positivas colocadas sobre ellas, mientras las primeras comunican con el depósito comun por las rocas, por los árboles ó por los vapores.

306. Cuando una nube tempestuosa pasa por encima de la superficie de la tierra, ejerce una accion por influencia sobre todos los cuerpos colocados en su esfera de actividad. Si la nube se aleja sin explosion, los cuerpos electrizados por influencia vuelven á recobrar su estado natural sin experimentar ningun efecto; pero si la electricidad de la nube se combina, por medio de un relámpago, con la electricidad contraria de un cuerpo situado en la superficie de la tierra, este cuerpo es herido por el rayo.

Finalmente, cuando el relámpago tiene lugar entre la nube tempestuosa y otra mas ó menos próxima, ó entre una de las extremidades de la primera y un cuerpo colocado en la superficie del suelo, la influencia de la nube cesa de repente, y los cuerpos á quienes el rayo no ha tocado recobran instantáneamente su estado natural. De aquí una recomposicion súbita de los fluidos, ú un choque llamado de *retroceso*, cuyos efectos, aunque menos temibles que los del choque directo, son sin embargo, en algunos casos, bastante violentos para causar la muerte de los hombres y de los animales. Segun esto el rayo no es una cosa que cae como vulgarmente se cree, porque la electricidad no se trasporta nunca de un extremo á otro del relámpago; sus efectos son únicamente debidos á una série de descomposiciones y recomposiciones que se verifican en las moléculas eléctricas de la nube, del cuerpo, y del fluido que los separa.

El rayo se dirige siempre con preferencia á los cuerpos buenos conductores y á los mas próximos á la nube tempestuosa, como los edificios elevados, los campanarios y los árboles, cuyas hojas y ramas hacen hasta cierto punto el oficio de puntas,

y cuyas raices se introducen á bastante profundidad en el suelo. La imperfecta conductibilidad de estos cuerpos nos obliga á considerarlos como asilos peligrosos, porque no encontrando el fluido eléctrico un paso fácil al través de ellos, se separa de su direccion, trasladándose á los cuerpos conductores que se encuentran en sus inmediaciones. Este fenómeno se verifica muy especialmente en los campanarios y mucho mas a causa de la preocupacion tan generalmente extendida en las poblaciones pequeñas de tocar las campanas para conjurar la nube.

Cuando el rayo atraviesa el cuerpo de los animales produce lesiones en sus órganos, y muy principalmente en el sistema vascular, atribuyéndose á esta causa la pronta putrefaccion de los cadáveres; sin embargo, el rayo no siempre mata á los animales sobre quienes se dirige, la electricidad puede en algunos casos deslizarse sobre la superficie de los cuerpos sin penetrar en ellos, produciendo á lo mas en ella quemaduras ó escaras mas ó menos profundas. Un simple vestido de seda suele ser las mas veces un preservativo suficiente contra sus estragos.

El rayo puede ademas fundir y volatilizar los metales, reduce á fragmentos pequeños los cuerpos malos conductores, inflama las sustancias combustibles, produciendo en algunos casos incendios de consideracion, rompe los espejos, hiende los muros, arranca y trasporta piedras á bastante distancia, y vitrifica las sustancias minerales sobre quienes se dirige; finalmente, por caprichosos que parezcan sus efectos pueden sin embargo, referirse todos á los principios primitivamente establecidos.

307. Entre los fenómenos que acompañan á las tempestades hay uno que las mas veces produce estragos temibles; tal es el granizo. Este metéoro precede á las lluvias de las tempestades, muchas veces las acompaña, y rara vez cae despues. Las nubes que le despiden están generalmente poco elevadas, son de un color gris ceniciento, y tienen sus bordes escotados. La duracion de este metéoro es muy corta, pues que rara vez llega á un cuarto de hora; sin embargo, la cantidad que cae en tan corto tiempo suele ser en extremo grande; ordinariamente se verifica de dia, y su caida va por lo general acompañada de fenómenos eléctricos.

Dos son las dificultades principales que se presentan para dar una explicacion satisfactoria de la formacion del granizo: consiste la primera en averiguar de la manera cómo se produce el frio que congela el agua, y la segunda en explicar cómo un granizo voluminoso, que ha adquirido un peso bastante considerable para caer á la superficie de la tierra, permanece todavía suspendido en el aire por bastante tiempo.

Volta, para resolver la primera dificultad, suponia que las nubes tempestuosas en razon á su espesor absorvian casi en totalidad los rayos solares; que esta absorcion daba lugar á una evaporacion rápida, y que esta misma evaporacion era la causa del frio. Pero Bellani ha hecho ver la insuficiencia de esta razon, porque el frio necesario para congelar el agua supone una evaporacion muy rápida; y esta evaporacion, bien que se produzca por el calor radiante ó por el recibido en el contacto, no puede verificarse sin que el líquido se caliente en vez de enfriarse.

El mismo Volta resolvia la segunda dificultad, y explicaba el aumento de volúmen que experimenta el granizo de la manera siguiente. Suponia dos nubes car-

gadas de electricidad contraria, inmediatas una á otra, de las cuales la mas elevada contenia los granizos ya formados; estos pequeños granizos de la nube superior tienden á caer en virtud de su peso, y son rechazados por la nube inferior tan luego como se han repartido su electricidad. La nube superior los atrae y rechaza del mismo modo, y en este movimiento reiterado de una nube á otra, encontrando los granizos vapor acuaso, le condensan y aumentan de volúmen por capas concéntricas, hasta que la accion de la gravedad los hace caer. El ruido que siempre precede á la caida del granizo, parecido al choque de los cuerpos duros agitados por movimientos rápidos, apoya la teoría de Volta. Pero no se concibe cómo no se verifica la explosion entre las dos nubes cargadas de electricidad contraria estando tan próximas y con una tension eléctrica capaz de sostener y elevar masas de hielo cuyo peso llega á veces hasta una libra.

Vemos pues que si estas objeciones no destruyen la teoría de Volta, pueden por lo menos hacernos dudar de ella; y aun cuando posteriormente Lecoq ha presentado otra nueva, no está tampoco al abrigo de objeciones, siendo por consecuencia necesario, para explicar este fenómeno en todos sus detalles, hacer nuevas y numerosas observaciones.

LECCION LXXXI.

Electricidad desenvuelta por calor y por presion.

308. El primer experimento que condujo á reconocer la presion como uno de los medios de desarrollar la electricidad se debe á Libes. Este físico descubrió que comprimiendo un disco metálico aislado contra un tafetan engomado adquiria éste la electricidad positiva y el disco metálico la negativa. La electricidad desenvuelta en este experimento no puede atribuirse á la frotacion del disco sobre el tafetan, porque en este caso adquiere este último la electricidad negativa. Posteriormente Hahüy ha llegado á desarrollar la electricidad en un gran número de cuerpos de superficies lisas y pulimentadas, y en circunstancias tales que el fenómeno no puede atribuirse mas que á la presion. Así pues, comprimiendo entre los dedos un fragmento de espato de Islandia, de caras paralelas, adquiere una carga bastante considerable de electricidad positiva; observándose el mismo fenómeno en la cal fluatada, en la mica, en el topacio y en otras varias sustancias.

Becquerell se sirve para estudiar el desarrollo de la electricidad por presion de dos discos aislados, los cuales somete á una presion mútua é instantánea. Un solo contacto es suficiente para desenvolver en ellos una electricidad apreciable al electróscopo; pero repitiendo los contactos, y sobre todo aumentando la presion, la carga eléctrica se hace bastante enérgica para atraer los cuerpos ligeros. Este físico ha observado tambien que dos cuerpos aislados, de los que uno es poco conductor, se constituyen siempre por la presion en dos estados eléctricos diferentes, y que la especie de electricidad adquirida por un cuerpo depende de la naturaleza de aquel contra el cal se oprime; así pues un disco de corcho oprimido sobre el espato de Islandia, la cal fluatada, y el yeso adquiere la electricidad negativa, en tanto que

se electriza positivamente sobre el cobre, el zinc y otras sustancias. Cuando uno de los cuerpos no está aislado y es buen conductor pierde su fluido, y solo el otro es el que da señales de electricidad.

309. El desarrollo de la electricidad por presion está modificado por varias circunstancias, tales como la naturaleza de los cuerpos, el estado de su superficie, la temperatura, el grado de presion y la velocidad de separacion.

Los cuerpos buenos conductores conservan muy poca electricidad despues de su separacion, pérdiéndola completamente si poseen una conductibilidad perfecta. La cantidad de fluido eléctrico, desarrollada por la presion, depende en gran parte de la elasticidad; lo cual se prueba fácilmente comprimiendo un disco de corcho sobre una fruta mas ó menos seca, una naranja por ejemplo.

El estado de la superficie de los cuerpos influye notablemente sobre la electricidad por presion; el espato de Islandia si está pulimentado conduce muy mal el fluido eléctrico; pero cuando su superficie es escabrosa adquiere bastante conductibilidad, siendo en este caso necesario aislarle para que conserve la electricidad despues de la presion. El agua higrométrica que recubre la superficie de los cuerpos impide con frecuencia que estos conserven la propiedad eléctrica despues de la separacion; así pues es necesario cuidar de secarlos lo mejor posible antes de someterlos á los experimentos.

La temperatura ejerce una gran influencia en el desarrollo de la electricidad por presion; el espato de Islandia, que como hemos visto adquiere por la presion la electricidad positiva, toma la negativa cuando su temperatura se ha elevado lo suficiente. Los cuerpos de la misma naturaleza, comprimidos, rara vez se electrizan; pero cuando uno de ellos se calienta, se encuentran ambos, despues de la separacion, electrizados de diferente modo: pero si la presion permanece hasta que se haya establecido el equilibrio de temperatura, los cuerpos no aparecen electrizados despues de su separacion.

Por último, la velocidad de separacion influye tambien notablemente sobre estos fenómenos; la cantidad de electricidad crece con la presion, siendo proporcional á ésta, siempre que la presion no exceda de cierto límite; si disminuye con lentitud, las electricidades separadas volverán á combinarse con tanta mas facilidad cuanto mas lentamente se verifique la separacion y mayor sea la facultad conductriz de los cuerpos; así, pues, se obtiene siempre una tension eléctrica tanto mas grande cuanto mas rápida sea la separacion.

310. Los cuerpos electrizados por presion conservan por bastante tiempo su propiedades eléctricas. La cal carbonatada es, bajo este punto de vista, la sustancia mas notable, pues que posee esta facultad despues de once dias, por pequeña que sea la fuerza comprimente á que se la haya sujetado.

En esta propiedad está fundado el electróscopo de Hahüy, reducido á un hilo metálico muy fino, terminado en una de sus extremidades por un pequeño prisma de espato de Islandia, y provisto hácia su parte media de una chapa de ágata que se coloca sobre un pivote. Conservando este electróscopo perfectamente su fuerza primitiva, es uno de los mas sencillos y mas cómodos para averiguar la especie

de electricidad de los cuerpos y comparar aproximadamente sus tensiones eléctricas.

311. Existen algunos fenómenos que tienen ó parecen tener analogía con los anteriores. Cuando se separan en la oscuridad dos láminas de mica se nota un desprendimiento de luz; y si antes de la separacion se fijan las láminas á dos cuerpos aisladores, cada una de ellas se encuentra electrizada de diferente modo. La cal sulfatada presenta el mismo fenómeno, pero para observarlo es preciso privarla de su agua higrométrica y elevar la temperatura; separando las hojas de un naipe dan tambien resultados análogos. Sin embargo, el desarrollo de electricidad por esfoliacion no parece convenir, salvo algunas excepciones, sino á sustancias cristalizadas regularmente, porque los fragmentos de un cilindro de vidrio ó de resina no poseen electricidad ninguna.

Finalmente, produciendo el choque entre dos cuerpos una compresion rápida, debe necesariamente desarrollar electricidad, siendo probable que la luz que le acompaña algunas veces provenga de la combinacion repentina de las electricidades separadas por la presion.

312. Ya hemos visto que el calor tiene una gran influencia sobre la electricidad desarrollada por la presion y por el frotamiento; pero ademas este agente obra por sí solo sobre ciertos cuerpos cristalizados para separar las dos electricidades, las cuales se reunen principalmente en las dos extremidades del cristal donde adquieren tensiones iguales, pero signos contrarios.

Este fenómeno se observa perfectamente en la turmalina, calentándola y presentando sucesivamente sus dos extremidades á un péndulo pequeño, el cual será atraido por ambos lados si está en su estado natural; pero será atraido por uno y repelido por otro si le hemos comunicado préviamente cualquiera de las dos electricidades.

Si queremos descubrir las mas pequeñas señales de polaridad eléctrica en las turmalinas, se suspende una de éstas á un hilo de seda sin torsion; se la rodea con un cilindro de cristal, abierto por ambos lados, y se hace apoyar la extremidad inferior del cilindro sobre una lámina metálica, que se calienta por medio de una lámpara de alcohol. Un termómetro colocado en el cilindro á la misma altura que la turmalina sirve para indicar la temperatura; y para reconocer la especie de electricidad que se desenvuelve en el cristal, se introduce por la parte superior del cilindro un cuerpo débilmente electrizado, sostenido por un mango aislador, el cual se presenta á los dos extremos de la turmalina.

313. De la multitud de experimentos hechos por varios físicos, y últimamente por Becquerell, resulta:

1º Que no todas las turmalinas adquieren la electricidad por el calor, aun cuando sean del mismo criadero; y que hay otras que no la adquieren sino por una elevacion muy rápida de temperatura.

2º Que para cada turmalina hay dos límites de temperatura, entre los cuales se verifican los fenómenos eléctricos; encima del límite superior y debajo del inferior no se manifiesta el desarrollo de los polos. Estos límites son ordinariamente 10 y

150 grados para turmalinas de la misma dimension; pero varian con las longitudes de éstas y las dimensiones trasversales del cristal.

3º La electricidad polar no se manifiesta sino cuando la turmalina se calienta ó se enfria en toda su extension. Cuando su temperatura permanece estacionaria la polaridad desaparece; y cuando se calienta ó se enfria una de sus extremidades solamente la turmalina no posee mas que una especie de electricidad. Los polos eléctricos, que se manifiestan cuando la temperatura se eleva, cambian de naturaleza cuando el cuerpo se enfria.

4º Si cuando una turmalina está electrizada por el calor se la corta en dos ó mas pedazos, cada uño de ellos posee la propiedad de adquirir dos polos por el calor.

5º Cuando una turmalina se ha electrizado por la accion del calor, no pierde su electricidad por el contacto de los cuerpos conductores.

6º Finalmente, se ha observado que las turmalinas que mejor se electrizan por el calor son las trasparentes, y que el extremo que contiene mayor número de facetas es el que adquiere la electricidad positiva por enfriamiento.

314. El desarrollo de la electricidad por el calor se reconoció desde luego en la turmalina; pues parece que desde un tiempo inmemorial se habia observado en la India y en la isla de Ceylan que echada esta piedra en el fuego adquiria la propiedad de atraer las cenizas. Esta clase de piedras ha sido por mucho tiempo muy rara en Europa, pero al presente es muy comun, especialmente desde que se descubrió en España una formacion que contiene grandes cantidades.

Los cristales electrizables por el calor son numerosos, contándose entre ellos el diamante, el azufre, el granate, la esmeralda &c.

Los fenómenos que presenta la turmalina, y que probablemente ofrecerán todas as otras sustancias electrizables por el calor, no pueden explicarse satisfactoriamente en el estado actual de la ciencia.

LECCION LXXXII.

Electricidad voltáica.—Diferentes especies de pilas.

315. En 1789 estando Galvani, médico y profesor de Bolonia, preparando una rana para hacer varios experimentos, observó que poniendo en contacto los músculos y los nervios por medio de un arco metálico experimentaban estos órganos violentas convulsiones. Galvani atribuia este efecto á la existencia y desarrollo instantáneo de los dos fluidos eléctricos existentes en la rana, asemejando ésta á una botella de Leyden; cuyas armaduras suponia él que fuesen los músculos y los nervios, verificándose la descarga tan luego como se ponian en comunicacion por medio de un cuerpo conductor. Volta, por el contrario, habiendo repetido los mismos experimentos, y considerando que las convulsiones eran mas violentas cuando la comunicacion entre los nervios y los músculos se establecia con dos me-

tales heterogéneos puestos en contacto, se atrevió á afirmar que la electricidad observada en los fenómenos galvánicos se desarrollaba únicamente por el contacto de los metales heterogéneos, y que las ranas no hacian otro papel que el de electróscopos, muy sensibles para apreciar pequeñísimas cantidades de fluido eléctrico.

Es preciso confesar que semejante idea es una de las mas atrevidas, mas notables y fecundas que ha habido en las ciencias.

Volta, empleando su electrómetro condensador, probó ademas por experimentos directos que el contacto de dos cuerpos heterogéneos, y sobre todo de dos metales, da lugar á un desarrollo de electricidad. Estos experimentos se hacen de la manera siguiente. Despues de secar perfectamente el aparato se pone el platillo inferior en contacto con una lámina de zinc que comunica con el suelo por medio de la mano, y se toca al propio tiempo el platillo superior con los dedos húmedos. Verificado el contacto se suprimen las comunicaciones, y al levantar el platillo superior se observa una divergencia en los panes de oro, la cual es debida indudablemente á la electricidad negativa, puesto que aproximando al electrómetro una barra de lacre frotada, aumenta la divergencia de los conductores móviles. La electricidad desenvuelta en este experimento no puede atribuirse al frotamiento ó á la presion del zinc con el cobre, porque no se obtiene efecto alguno en los panes de oro del electrómetro cuando se sustituye á la lámina de zinc otra de cobre. Voltá dedujo de estos experimentos que en el contacto de los dos metales heterogéneos se desarrolla una fuerza que, descomponiendo su fluido natural, dirige el fluido positivo al zinc y el negativo al cobre del platillo del electrómetro, donde se acumula en cantidad suficiente para producir la divergencia de las láminas de oro.

La causa, sea cual fuere, que hace que se desenvuelva electricidad en el contacto de las sustancias heterogéneas, es lo que Volta llama *fuerza electromotriz*. Esta fuerza tiene orígen en el contacto, reside en las superficies unidas de las dos placas, produce la descomposicion de los fluidos naturales, ó impide su recomposicion. Por el primer efecto del fluido vítreo es como hemos dicho impelido al zinc, sobre cuya extension se dispersa en virtud de su propia repulsion; al paso que sucede lo mismo al fluido negativo sobre la placa de cobre. Por el segundo efecto los fluidos contrarios se mantienen en presencia uno de otro á derecha é izquierda de la superficie de contacto, sin poder atravesar esta superficie y recomponerse en virtud de su atraccion mútua.

La fuerza electromotriz tiene un límite como obstáculo á la recomposicion; es decir, que no es capaz de retener cualquier carga de fluido positivo en el zinc, ó de fluido negativo en el cobre; así que cuando las cargas adquiridas naturalmente por el contacto ó dadas artificialmente lleguen á tener una fuerte tension, pueden atravesar la superficie de union para recombinarse; pero aun en este caso la fuerza electromotriz detiene ó fija la que puede fijar.

En la teoría de Volta se admite que representando por $+a$ la tension del fluido positivo que se halla sobre el zinc, y por $-a$ la tension del fluido negativo que se

encuentra sobre el cobre, la diferencia $2a$ de las dos tensiones es constante, cualesquiera que sean las cantidades de fluido positivo ó negativo que contengan los metales.

Si uno de los cuerpos puestos en contacto comunica con el suelo, su tension será nula; pero la del otro se hará doble para que la diferencia algebráica $2a$ de las dos tensiones sea siempre la misma.

Como causa de descomposicion, la fuerza electromotriz es instantánea y permanente; es permanente porque está siempre dispuesta á obrar tan luego como la tension no es la que debe ser para que exista el equilibrio galvánico; y es instantánea, porque no necesita mas que un instante inapreciable para hacer que la tension llegue á su maximum.

Las tensiones eléctricas, desenvueltas y retenidas por la fuerza electromotriz, no son las mismas en el contacto de todos los cuerpos; así, pues, se han dividido estos en *buenos* y *malos electromotores*.

Los metales son buenos electromotores, aunque se observan entre ellos diferencias muy marcadas; y aun cuando se dice generalmente que las otras sustancias no son electromotrices, porque producen en el condensador efectos muy poco sensibles; si se hacen los experimentos con aparatos mas delicados, se nota que desenvuelven tambien electricidad por el contacto, si bien las tensiones que producen son incomparablemente mas pequeñas ó débiles que las de los metales.

316. La pila de Volta se construye con tres cuerpos diferentes, dos de los cuales son metálicos y buenos electromotores, y el tercero, aunque no es metálico, es buen conductor y electromotor muy débil.

Los metales que se emplean con preferencia en su construccion son el zinc y el cobre. El primero constituye los elementos positivos de la pila, y el segundo los negativos: dos elementos de nombre contrario, reunidos ó soldados, es lo que se llama par. El cuerpo no metálico es el conductor, y está formado de un disco de paño ó de carton empapado en una disolucion ácida, compuesta de 1/60 de ácido nítrico y 1/40 de ácido sulfúrico; otras veces es la misma disolucion sin trapo ni carton, y finalmente en las pilas secas se emplea un conductor seco.

Esto supuesto, vamos á examinar con algun detenimiento la formacion de la pila. Concibamos una placa de cobre (*fig.* 158) ó un elemento electronegativo, que comunique con el suelo por un hilo conductor, y coloquemos sobre su superficie una placa de zinc de la misma dimension. En el momento que se verifica el contacto la fuerza electromotriz ejerce su accion, el fluido negativo que desenvuelve pasa al cobre y se marcha al depósito comun, y el fluido positivo, por el contrario, pasa sobre el zinc y se acumula en él hasta que haya adquirido la tension máxima que la fuerza electromotriz pueda retener.

Representando por una cantidad cualquiera esta tension, v. gr. por e, diremos que el cobre se encuentra en su estado natural, al paso que el zinc contiene una cantidad e de electricidad positiva. Si por cualquier medio quitamos al zinc una parte del fluido que contiene, no tendrá el espesor e que debe tener: pero la fuerza electromotriz le reproducirá al instante por un nuevo desarrollo, que reparará

exactamente la pérdida, y por un desarrollo igual de fluido negativo que se marchará al depósito comun. Si se coloca un disco húmedo encima del zinc, es evidente que el fluido positivo del zinc se dividirá con él; pero como la pérdida que experimenta se repara inmediatamense, la cantidad *e* será la misma que antes para el disco y para la placa. Lo mismo sucederá si colocamos una placa de cobre sobre el disco húmedo, supuesto que no existe fuerza electromotriz entre estos dos cuerpos. Pero si colocamos una segunda placa de zinc sobre la segunda placa de cobre, el fenómeno será mas complicado, y en este caso es donde se muestra el verdadero principio de la acumulacion de la electricidad de la pila.

Supongamos por un momento que la accion de la fuerza electromotriz se suspende en este segundo par: es evidente que entonces el zinc tomará una cantidad *e* de fluido positivo como le ha sucedido al disco húmedo y á la placa de cobre; pero en el momento en que la fuerza electromotriz empieza á obrar, la cantidad de fluido sobre este segundo zinc será 2*e*, supuesto que debe haber siempre I de diferencia entre él y la placa de cobre con quien está en contacto. Al mismo tiempo el fluido negativo que se desenvuelve en el segundo cobre se destruirá por el fluido positivo que contenia, y se verificará en el primer par un nuevo desarrollo, por el cual el primer zinc, el disco de paño y el segundo cobre volverán á tener la cantidad *e* de fluido que antes tenian. Por medio de esta coordinacion el segundo zinc debe tener para estar en equilibrio una cantidad de fluido doble del que se encuentra en el primero.

El mismo raciocinio se aplica al tercer par y á los siguientes; solo que el tercer zinc tendrá 3*e* de tension, el cuarto 4*e*, el quinto 5*e*, y así sucesivamente, encontrándose en este caso la pila cargada de electricidad positiva.

Si la pila se montase en sentido contrario, es decir, si el zinc comunicase con el suelo, la distribucion de la electricidad seria la misma, solo que seria negativa.

Los dos extremos de la pila se llaman polos; siendo el positivo el terminado por el zinc, y el negativo el terminado por el cobre.

317. Si la pila, en lugar de comunicar con el suelo, estuviese aislada, se cargaria á expensas de sí misma de las dos electricidades; una mitad contendria la positiva y la otra mitad la negativa. Las tensiones de los discos igualmente distantes del centro serán iguales, é irán creciendo desde el medio, en donde será nula hasta las extremidades, en donde tendrá el maximum; porque si cuando se montan dos pilas iguales en sentido contrario comunicando por sus bases inferiores con el suelo, están en su estado natural los discos inferiores de naturaleza diferente, lo mismo sucederá si se supone que las pilas comuniquen por su parte inferior por medio de un buen conductor que no sea electromotor, por ejemplo, un disco de paño húmedo. En este caso se tendrá una pila, en cuyas dos mitades estará la electricidad repartida del mismo modo que en una pila que estuviese en contacto con el suelo; pero la tension de los polos será dos veces menor que en una pila del mismo número de elementos que comunicase por su extremidad con el suelo.

Esta explicacion está fundada ó reposa en dos hipótesis: la primera es que la diferencia de tension en los elementos es una cantidad constante, lo cual no está demostrado; y la segunda que el líquido no obra mas que como conductor, lo cual no es exacto.

318. Si se reunen los dos polos de una pila por medio de un hilo conductor, los dos fluidos contrarios acumulados en las extremidades de la pila se recompondrán al través de este cuerpo, y desaparecerá el equilibrio eléctrico en el aparato; pero á cada momento la fuerza electromotriz tenderá á reproducirle, y el hilo metálico que une los polos estará contínuamente atravesado por dos corrientes contrarias, la una de electricidad positiva, la otra de electricidad negativa.

Desde este momento la electricidad deja de existir en la pila en el estado de tension, puesto que no es sensible á los electróscopos mas delicados. Antes que se reuniesen sus polos, la pila aislada obraba por atraccion ó por repulsion sobre los cuerpos electrizados que se la presentaban, producia chispas si su tension era suficiente, y aun podian cargarse con ella instantáneamente botellas de Leyden poniendo en comunicacion una de sus armaduras con el polo positivo y la otra con el negativo; pero en el momento que se reunen sus polos, todos estos fenómenos desaparecen para dar lugar á otros tanto ó mas sorprendentes, pudiendo citar entre ellos la incandescencia, fusion y aun volatilizacion de hilos metálicos muy finos, la desviacion de la aguja imantada, la descomposicion del agua, de los ácidos, de los óxidos y de las sales.

319. La pila de Volta se dispuso primeramente en forma de columna, colocando los discos entre tubos verticales de vidrio, fijos sobre una roldana de madera y terminados por otra en su extremidad superior; pero esta disposicion presenta algunos inconvenientes, no solo por la necesidad de armarla y desarmarla, sino que por su posicion vertical y el aumento de presion que resulta de la sobreposicion de los pares, hace que el líquido contenido en los pedazos de paño se exprima y establezca una comunicacion entre los discos, resultando ademas que los pedazos de paño se secan pronto; de modo que en ambos casos se disminuye la fuerza de la pila.

Este inconveniente se evita disponiendo la pila en el sentido horizontal, soldando el zinc con el cobre, y fijando cada par con mastic dentro de una caja rectangular (*fig.* 159), evitando que se comuniquen, y dejando intervalos de uno á otro par para llenarlos de un líquido conductor. Estas pilas son las que se conocen con el nombre de *pilas de artesa*. Para hacer comunicar los dos polos, se sumergen en los dos últimos huecos placas de cobre, á las cuales se sueldan hilos metálicos que se conocen con el nombre de *reóforos* ó *eletrodos*.

Una de las mejoras mas notables que se han hecho en estas pilas es la disposicion de cada par, discurrida por Wollaston (*fig.* 160). AB es una barra de madera sostenida horizontalmente por dos sustentáculos; *a s* es una placa de cobre encorvada, que está soldada en *s* á una placa ancha de zinc *z*. Alrededor de esta placa rectangular de zinc hay una lámina delgada de cobre de la misma superficie, que la rodea enteramente sin tocarla, la cual, despues de fijarse en la barra de madera, se encorva de nuevo verticalmente para soldarse á una segunda placa de zinc semejante á la primera, y rodeada como aquella por una placa de cobre, y así

de los demas. Debajo de estos pares se disponen unos vasos de vidrio VV que contienen el agua acidulada en la que se sumergen aquellos.

En estas pilas se consigue que la electricidad que se acumula en el zinc pueda desprenderse de todos los puntos de su superficie, y solo tenga que atravesar una capa delgada de líquido, que en las pilas horizontales anteriores se alteraba pronto y se quedaba en contacto con el cobre: en la nueva disposicion se puede renovar y se renueva por sí mismo, mezclándose ó extendiéndose en la masa líquida que contiene el vaso donde se sumergen los pares.

Muchas veces se emplean pilas reunidas, lo cual puede hecerse de dos maneras: primero, poniendo en contacto bien sea sus polos negativos ó bien los positivos: segundo, reuniendo el polo negativo de la primera con el positivo de la segunda. En el primer caso se aumenta la extension de los elementos; al paso que en el segundo se produce el mismo efecto que con una pila cuyo número de pares fuese igual á la suma de los que contienen las dos pilas.

La primera disposicion se emplea para producir los efectos físicos que dependen de la extension de los pares, y por consecuencia de la cantidad de electricidad que puede dar y trasmitir la pila en un tiempo dado; y la segunda para producir efectos químicos, los cuales dependen de la tension ó del esfuerzo que hace la electricidad en los dos extremos de la pila para reunirse.

Como el desarrollo de la electricidad de la pila es tan sumamente rápido, no hay necesidad para aislarla de emplear las precauciones que se necesitan para aislar los cuerpos cargados de electricidad por los otros medios; de aquí resulta que puede aislarse por todos los cuerpos que no sean muy buenos conductores.

320. Vemos, pues, que en todas estas diversas disposiciones de la pila el sistema es siempre el mismo; pero la causa de la electricidad voltáica es todavía objeto de controversia entre los físicos. Volta, como ya hemos manifestado, consideraba al líquido simplemente como un cuerpo conductor, y miraba como insensible la cantidad de electricidad desarrollada por el contacto del agua con los metales, y la producida por la accion química que sobre estos ejercen los ácidos. Segun este físico, la fuerza electromotriz existía únicamente en el contacto de las sustancias metálicas.

No es, pues, extraño que una teoría tan exclusiva fuese á poco tiempo atacada por otros físicos, y especialmente despues que se observó que la energía de los fenómenos voltáicos aumentaba á proporcion que la accion química entre los metales y los líquidos conductores era mas enérgica. No tardó mucho tiempo en demostrarse por experimentos directos y decisivos el desarrollo de electricidad en todas las acciones químicas, tales como la combustion, la combinacion de los ácidos con las bases, la accion de los ácidos sobre los metales &c., observándose ademas que en estas circunstancias la electricidad debida á las acciones químicas sobrepujaba generalmente á la desarrollada en el contacto de los metales; y finalmente se ha llegado hasta el punto de explicar por las acciones químicas los experimentos fundamentales de la teoría de Volta, negando por consiguiente que el simple contacto de dos metales fuese un manantial de electricidad.

Sin embargo, la cuestion todavía no puede considerarse como resuelta; pero no por eso podemos menos de admitir la gran influencia que ejerce la accion química sobre los efectos de la pila, si es que no es ella exclusivamente la que los produce.

LECCION LXXXIII.

Aplicaciones de la pila voltáica.—Descomposicion del agua.—Pilas de corriente constante.

321. Una vez que ya conocemos el mecanismo de la pila de Volta, veamos qué efectos podemos producir con ella. Estos son tales y tan extraordinarios, que sin exageracion se puede decir que es el instrumento mas maravilloso que ha creado la inteligencia humana. Los efectos de la pila se pueden dividir en fisiológicos, físicos y químicos.

322. Si tomamos en la mano uno de los hilos que parte de un polo, nada experimentamos; pero al momento que cogemos el otro, sentimos la conmocion. Este efecto es mucho mas notable cuando se tienen con las manos mojadas dos cilindros gruesos metálicos que comuniquen mecánicamente con las placas polares: puede tambien formarse una cadena de personas y sentir todas al mismo tiempo la conmocion; pero el efecto disminuye rápidamente con el número de personas que forman el circuito. Este fenómeno es el mismo que el de la famosa botella de Leyden que en 1746 tanta admiracion causó en toda Europa; pero la botella solo servia una vez, lo cual no sucede con la pila, pues cuantas veces se tocan los dos polos, otras tantas se experimenta la conmocion, de modo que es bajo este aspecto una botella de Leyden que en el instante que se descarga se vuelve á cargar por sí misma.

Si el hilo que sale del polo positivo va á apoyarse en el extremo de la lengua, y el otro hilo va á otro punto, se siente un sabor ácido, y para sentir uno alcalino bastará cambiar de sitio los hilos.

Si aplicamos uno de los hilos sobre la frente, sobre el cuello, la nariz, la barba, y aun la garganta, en el momento que tomamos en la mano el otro hilo, y tenemos los ojos cerrados, percibimos un relámpago, cuya forma y brillo varían segun la parte de cara que el fluido viene á tocar.

La portentosa influencia de la pila no se limita á los órganos sanos, sino que parece que reanima aquellos en que ya faltó la vida: aplicados los dos hilos á los músculos de la cabeza, hace ésta tales movimientos que causan espanto; otras veces se agitan las manos, pegan contra todo lo que encuentran, y levantan pesos de algunas libras; los músculos del pecho adquieren los movimientos respiratorios; en fin, la vida parece que renace, y que el cadáver se anima y amenaza al que así le atormenta. Pero estas violentas convulsiones cesan con la corriente, y todo vuelve á caer en la inercia de la muerte.

Se ha tratado de aplicar el galvanismo á la curacion de algunas enfermedades, tales como la gota, parálisis, reumatismo etc., habiéndose obtenido no pocas veces

resultados satisfactorios, si bien de corta duracion. Sin embargo, Marianini asegura haber curado algunos paralíticos, empleando descargas sucesivas en vez de una corriente contínua, graduando la intensidad y prolongando el efecto por algunos dias y semanas.

En una série de experimentos, hechos por Pouillet y otros sabios sobre la irritabilidad producida por las corrientes eléctricas, notaron que los animales asfixiados vuelven inmediatamente á la vida cuando se los coloca entre los dos polos de la pila. Los experimentos se hicieron con conejos asfixiados hacia media hora.

323. Si dejamos á un lado los efectos fisiológicos de la pila y la miramos como una máquina eléctrica, en este caso se abre un campo inmenso de investigaciones. En efecto, cada hilo de la pila, considerado aisladamente, tiene la temperatura del ambiente; pero en el momento que se tocan los dos polos, adquieren los hilos un calor intenso; de modo que si son bastante delgados se ponen candentes, si son mas finos todavía se funden, aun cuando sean de platino.

Davy ha observado que si se hacen comunicar los dos polos de una pila de gran potencia con dos conos pequeños de carbon calcinado y apagado en mercurio, y colocados á corta distancia uno de otro, la continuidad de la descarga forma entre las dos puntas una corriente de luz contínua, cuyo brillo es superior al de las demas luces, y cuya temperatura es tan elevada que el diamante y la plombagina se volatizan. Los conos de luz pueden separarse hasta la distancia de cuatro pulgadas sin que se interrumpa la corriente luminosa.

Si el experimento se hace en el vacío, la luz es mucho mas intensa, y puede durar muchas horas sin que el carbon disminuya de peso. Los conos de carbon deben disponerse de modo que toquen á los conductores por una gran superficie, y que estén sus extremidades muy juntas. La luz que se produce verifica la combinacion del cloro y del hidrógeno, y obra sobre el cloruro de plata como la luz solar.

Los efectos caloríficos de las corrientes parecen provenir de la resistencia que experimenta la electricidad para trasmitirse de un cuerpo á otro, ó de una molécula á la siguiente, y puede suponerse que la electricidad detenida es la que produce el desarrollo de calor. En efecto, si se reunen los dos polos de una pila por una cadena compuesta de varios hilos del mismo diámetro y longitud, pero de naturaleza diferente, se observa siempre que los menos conductores son los que se calientan mas. Si los hilos metálicos son de la misma naturaleza, pero están soldados por sus extremos, se observa tambien una elevacion mayor de temperatura en las soldaduras ó puntos de union, lo cual confirma la explicacion anterior.

La icandescencia de los hilos metálicos depende menos de la tension de los polos que de la cantidad de fluido que dejan circular en un tiempo dado, ó lo que es lo mismo, depende menos del número de pares que de su extension. Asi, pues, un solo par de Wollaston, que no produce la menor conmocion, es suficiente para enrojecer y fundir los hilos metálicos.

324. El primer efecto químico obtenido por la corriente galvánica es la descomposicion del agua, la cual se consigue poniendo en comunicacion los dos polos de la pila con dos hilos de platino que atraviesan por el fondo de un vaso (*fig.* 161) en el que se coloca agua acidulada. Estos dos alambres de platino se elevan dentro del vaso á una altura próximamente de pulgada y media, y sobre ellos se colocan dos campanitas de cristal, llenas del líquido conductor. Inmediatamente que la pila se pone en actividad, empiezan á desprendesrse los dos elementos que entran en la composicion del agua, dirigiéndose el oxígeno á la campana, que está colocada sobre el polo positivo, en tanto que el hidrógeno pasa á la campana, que cubre el hilo de platino que comunica con el polo negativo.

Los óxidos metálicos sometidos á la accion de este notable aparato experimentan tambien una descomposicion análoga; y siendo el oxígeno el elemento mas electro-negativo, se dirige como en el caso anterior, al polo positivo, y el radical al polo negativo. Una descomposicion semejante experimentan los ácidos y las sales, separándose los elementos que las componen.

325. No todas las pilas son igualmente á propósito para producir los efectos fisiológicos, físicos y químicos de que nos hemos ocupado; las hasta aquí descriptas tienen el inconveniente de no producir una corriente constante, y por su consecuencia su energía se debilita notablemente al cabo de algun tiempo. En efecto, cuando se sumerge en una misma disolucion de ácido sulfúrico una lámina de zinc y otra de cobre, la corriente eléctrica es muy enérgica, porque, haciendo abstraccion de la electricidad desarrollada en el contacto, la accion química es muy fuerte en el zinc y nula en el cobre. Sin embargo, esta corriente eléctrica disminuye rápidamente de energía, y concluye por ser insensible ó casi nula, porque pasando el zinc al estado de sulfato, la corriente eléctrica descompone el agua y la sal formada: el oxígeno y el ácido sulfúrico, como electro-negativos, se dirigen al polo positivo, en tanto que el hidrógeno y el óxido de zinc pasan reunidos al polo negativo; pero estando el primero en su estado naciente se apodera del oxígeno, del óxido, dando por resultado zinc metálico que se deposita sobre la lámina de cobre. De aquí resulta una disminucion progresiva en la intensidad de la corriente, puesto que el líquido se encuentra colocado entre dos capas de zinc, cuyos efectos eléctricos dirigidos en sentidos contrarios tienden á destruirse.

Se ha conseguido evitar estos inconvenientes empleando dos disoluciones diferentes, separadas por un diafragma poroso, y en las cuales se sumerge el metal destinado á trasmitir solamente ó á engendrar y trasmitir á la vez la corriente. Entonces uno de los metales es solamente el activo, mientras el otro, no experimentando accion química, sirve únicamente de conductor. Finalmente los líquidos deben ser tales que la corriente que resulta de su accion mútua al través del diafragma se verifique en el mismo sentido que la que engendra el metal atacado, y se una á ella.

326. En este principio están fundadas las pilas de Daniell, de Grove y de Bunsen. Consiste la primera en un cilindro de cobre *a b c d* (*fig.* 162), en el cual está colocado otro cilindro menor *e f* de arcilla porosa; sobre la parte superior del cilindro de cobre descansa otro agujereado *i k*, al través del cual pasa el de arcilla: *l m* es un cilindro de zinc amalgamado que se apoya sobre el fondo del cilindro interior. Se echa en el cilindro de arcilla agua acidulada con ⅛ de su volúmen de

ácido sulfúrico. El espacio comprendido entre el tubo de arcilla y el cilindro de cobre se llena tambien con agua acidulada sobresaturada de sulfato de cobre; y por último se colocan en el cilindro de cobre agujereado unos pedazos de sulfato de cobre para reemplazar al que se descompone por la corriente.

Tan luego como se establece la comunicacion, el sulfato de cobre y el agua se descomponen, el ácido sulfúrico se dirige al zinc y concurre á producir la corriente eléctrica; en tanto que el hidrógeno del agua descompuesta reduce el óxido de cobre del sulfato, de cuya accion resulta cobre metálico que se deposita en el cilindro de este metal.

La corriente eléctrica proviene, pues, de tres acciones diferentes; primero, de la accion mútua de las dos disoluciones por el intermedio del cilindro de arcilla; segundo, de la accion del agua acidulada sobre el zinc; y tercero, de la accion del ácido sulfúrico del sulfato sobre este último metal.

Se da la preferencia al zinc amalgamado; primero, porque para una misma cantidad de metal que se consume ó gasta, produce una corriente mas enérgica; segundo, porque suministra una cantidad constante de electricidad por la oxidacion de una misma porcion de metal; tercero, porque no experimenta accion ninguna por su contacto con el agua acidulada, en tanto que no se establece la comunicacion entre los eléctrodos.

En estas pilas suele reemplazarse el cilindro de arcilla por saquillos de lona que producen los mismos efectos que el primero.

327. En las pilas de Grove el metal sin actividad es el platino en vez del cobre: el diafragma es un cilindro de arcilla tapado por debajo, y en cuya parte interior se coloca el zinc amalgamado sumergido en una disolucion de sal comun, y en la exterior el platino sumergido en ácido nítrico concentrado. Esta pila es sumamente enérgica, pues que con seis ú ocho pares se producen efectos notables de incandescencia y descomposicion.

328. Por último Bunsen ha sustituido á los cilindros de platino cilindros huecos de carbon, obtenidos, por la calcinacion en moldes de palastro, de una parte de coke y dos de carbon de piedra finamente pulverizados. Los efectos de esta pila son tan enérgicos como la de Grove, teniendo ademas la ventaja de ser mucho mas barata. La disposicion de cada elemento es la representada en la (*fig.* 163). V V vaso de vidrio; C C cilindro de carbon sostenido por un cuello guarnecido de un círculo de cobre y de una grapa del mismo metal; V′ V′ vaso de porcelana poroso; Z Z cilindro de zinc amalgamado, al cual está soldada una lámina de cobre. Para montar esta pila se vierte alrededor del carbon ácido nítrico del comercio hasta la altura del cuello próximamente, y en el diafragma agua acidulada con $\frac{1}{10}$ de ácido sulfúrico. Si queremos reunir dos ó mas pares se consigue poniendo en contacto el carbon del uno con el zinc del otro, y así sucesivamente.

Aun cuando los efectos producidos por estas pilas son los mismos que hemos obtenido con las anteriormente descriptas, sin embargo, difieren notablemente por su energía, puesto que hemos visto que para descomponer el agua con la pila de Volta ha sido necesario emplear un gran número de elementos, en tanto que bastan dos ó tres pares de las de Bunsen para producir un efecto igual.

Estas mismas pilas de corriente constante son las que se emplean en el dia con tanta ventaja en las operaciones de galvanoplastía, de las que nos ocuparemos en las lecciones elementales de química.

LECCION LXXXIV.

Accion de las corrientes sobre los imanes y viceversa.—Electro-magnetismo.—Galvanómetro.

329. Las corrientes eléctricas en presencia de un iman determinan una accion directriz sobre el mismo, que puede ó no servir para fijarle en una nueva posicion. La observacion y la experiencia dan que las corrientes tienden á dirigir y fijar los imanes en una posicion que forme un ángulo de 90° con la direcion rectilínea que á la corriente suponemos; de donde resulta que si la direccion del hilo metálico que la corriente atraviesa es perpendicular al meridiano magnético, la aguja no se moverá de su posicion, y antes bien se fijará si es posible mas en ella, toda vez que se encuentra en la posicion en que la corriente tiende á fijarla: de forma que una corriente así dispuesta debe producir el efecto de hacer muy difíciles las variaciones horarias y accidentales de la aguja, puesto que ademas de la accion directriz de la tierra se halla solicitada á permanecer fija por la accion de la fuerza que la corriente desenvuelve.

De lo que acabamos de exponer resulta, y la experiencia lo confirma, que para que las corrientes produzcan el máximo efecto es indispensable que sean paralelas á los imanes sobre los que se pretenda hacerlas actuar; en cuyo caso, hallándose estos en la posicion mas distante de aquella en que la fuerza eléctrica tiende á fijarlos, por necesidad ha de ser mas enérgico el impulso que los comunique. Efectivamente, la aguja magnetizada sufre un desvío cuando en su inmediacion se coloca un hilo metálico, paralelo á su direccion, y que comunique con las pilas ya explicadas; y la separacion que una misma aguja adquiera colocada en circunstancias iguales nos podrá servir para apreciar la energía de la corriente en cuya presencia se halla, así como una misma corriente en presencia de agujas diferentes puede servirnos para apreciar el magnetismo mas ó menos considerable que posean.

330. Como la accion directriz de la tierra es una fuerza que, en el caso del paralelismo considerado, se opone á la que la corriente imprime sobre la aguja, parece muy conveniente que ésta sea *astática*, ó lo que es lo mismo, que la accion de la tierra se encuentre neutralizada; en cuyo caso, quedando, por decirlo así, solamente la fuerza de la corriente, es indudable que producirá todo su efecto, y podrá servirnos para apreciar la intensidad de esta fuerza misma. La aguja astática que resulta de colocar la de inclinacion en un plano perpendicular al del meridiano magnético, de nada puede servirnos en el caso presente; lo uno por la disposicion particular del aparato, y lo otro porque si empleamos una aguja verdaderamente astática, todas las corrientes, sean débiles ó enérgicas, la obligarán á descri-

bir un cuadrante, y por lo tanto no habrá comparacion ni medida posible; así que la disposicion que á las agujas corresponde, para llenar debidamente las condiciones necesarias, es la de dos agujas fijas en un mismo eje y con los polos opuestos, por cuyo medio se obtiene una neutralizacion suficiente de la accion de la tierra, que permite juzgar con acierto y comparar con exactitud las desviaciones buscadas. En estas agujas, que llamaremos *semi-astáticas*, la accion directriz de la tierra no se halla neutralizada enteramente, pero sí debilitada hasta el punto que necesitamos.

Para que los imanes puedan actuar sobre las corrientes es necesario que éstas tengan una gran movilidad, y para conseguirlo se disponen los hilos conductores de modo que se apoyen en pequeños vasos de hierro llenos de mercurio, á los cuales se hacen llegar los alambres que comunican inmediatamente con la pila; mediante esta disposicion la corriente llega libremente á los aparatos, y estos, gozando de cuanta movilidad es posible, se encuentran en las circunstancias mas favorables para ser dirigidos por la accion del globo, por la de los imanes, ó por la de otras corrientes dispuestas convenientemente.

331. El aparato mas sencillo para darse cuenta de estos fenómenos es el flotador de M. de la Rive; se compone de una plancha de cobre C (*fig.* 164) y otra de zinc Z fijadas sobre otra de corcho AB, y unidas por su parte superior por un hilo metálico D: se le coloca en agua acidulada, y la corriente se establece instantáneamente en el sentido que las flechas indican, esto es, del cobre al zinc. La accion del globo imprime una direccion dada á esta corriente, haciéndola girar, y dirigiendo siempre al este la rama en que la corriente desciende; y si en este esta, do se presenta una barra imantada en una direccion perpendicular al plano del flotador, éste se aleja si las corrientes van en sentidos contrarios, y se aproxima cuando van en un mismo sentido; en cuyo caso llega hasta el medio del iman, en cuya posicion se fija despues de oscilar algun tiempo.

La accion de las corrientes sobre los imanes, y la de estos sobre aquellas es lo que constituye la parte de la ciencia, conocida con el nombre de *electro-magnetismo.*

332. Habiendo dado á conocer el partido que puede sacarse de la accion de las corrientes sobre los imanes para medir la energía de aquellas, nos falta describir el aparato que se emplea con este motivo, y que se conoce con el nombre de *galvanómetro* ó *multiplicador.* Se compone de una aguja semi-astática (*fig.* 165) con los polos opuestos como indica la figura: la aguja inferior va dentro de un bastidor de madera, al cual va arrollado un hilo de cobre recubierto de seda, haciendo un gran número de revoluciones y dejando libres las dos extremidades A y B, las cuales se han de poner en comunicacion con la pila que ha de desenvolver la corriente. Sobre este bastidor y debajo de la aguja superior va colocada una circunferencia dividida para poder apreciar la desviacion correspondiente. Si se hace comunicar la extremidad A con una plancha de zinc, y la extremidad B con una de cobre, y éstas se ponen en contacto interponiendo un papel impregnado en agua acidulada, la desviacion de la aguja es rápida é instantánea, fijándose en los 90° despues de algunas oscilaciones.

Este medio es el que se emplea para medir la electricidad, el cual da la intensidad y el signo de la misma; de forma que haciendo que una de las extremidades del hilo comunique con una larga barra metálica terminada en punta y la otra con el depósito comun, será fácil conocer la electricidad atmosférica, por corta que la supongamos, dándonos los máximos y mínimos y las alteraciones accidentales que sobre este agente se produzcan.

La sensibilidad del aparato se explica perfectamente al ver que el gran número de revoluciones del hilo no representa otra cosa que un número igual de corrientes paralelas, iguales en un mismo sentido; de donde resulta que por pequeña que la accion sea, se consigue multiplicarla de modo que produzca efecto.

LECCION LXXXV.

Accion de las corrientes unas sobre otras.—Corrientes por induccion.

333. En la leccion anterior hemos indicado á propósito de los flotadores de M. de la Rive, que las corrientes ejercian accion unas sobre otras; y ademas hemos dado idea del modo de construir los aparatos correspondientes, de manera que la movilidad fuese tanta como para este caso necesitamos.

Las corrientes resultan de los movimientos vibratorios que la electricidad produce en la masa del cuerpo sobre que actúa: si la seccion del cuerpo presenta suficiente resistencia para sufrir las vibraciones sin que la agitacion produzca desintegracion del mismo, ó si la intensidad del fluido no produce acciones capaces de verificarlo, en este caso el cuerpo no presenta alteracion alguna, ó como se dice, permite el libre paso á la electricidad; pero si la energía del fluido ha de producir un estremecimiento superior al que la seccion del cuerpo puede resistir, entonces la temperatura de éste se eleva, y aun puede volatilizarse con desprendimiento de calor y luz. Todo esto no solamente sirve para poner en contacto á la electricidad con el calor y con la luz, y conducirnos á la explicacion de todos los fenómenos por la accion de un solo y único agente imponderable, sino que, ciñéndonos á las corrientes, nos dice que las partes contiguas del hilo que nos sirve para dirigirlas, se hallan en un estado contínuo de repulsion.

Las corrientes se atraen cuando son paralelas y van en un mismo sentido, y se repelen si conservando el paralelismo las direcciones son contrarias; resultado que no sorprende por la coincidencia de la direccion de las vibraciones en el primer caso, y la oposicion de las mismas en el segundo. En el caso de formar ángulo el efecto es el mismo, puesto que las paralelas pueden considerarse como formando un ángulo cuyo vértice se halle en el infinito; así cuando las corrientes se acerquen ó se alejen ambas del vértice (*fig.* 166) habrá atraccion, y cuando una se acerque y otra se separe (*fig.* 167) habrá repulsion.

334. En la electricidad y en el magnetismo hemos visto que fluidos de distinta