

táica, y observando los efectos con el *galvanómetro ó multiplicador*, advirtió que la intension de la corriente disminuía, á pesar de ser la platina mejor conductor que el líquido; si despues de esta se coloca otra lámina disminuye aun mas la corriente, de donde inferimos que la electricidad, no solo encuentra dificultad, sino que pierde de su energía, lo mismo que el calor y la luz, cuando pasa de un conductor á otro. La analogía es todavía mas patente cuando se observa que la pérdida, medida con el galvanómetro, es menor en la segunda que en la primera y mas pequeña en la tercera que en las restantes; en una palabra, la electricidad de las corrientes, salvado el primer obstáculo, vence con facilidad las demas resistencias que se oponen á su movimiento. M. Delarive ha anunciado últimamente (*Compte rendu de la séance de l'Académie des sciences*, mayo 1844) que aunque los efectos de los diafragmas metálicos colocados en el líquido son de consideracion cuando la corriente es continua, son mucho menores ó casi nulos cuando esta se dirige alternativamente en diferentes sentidos. Repitió el experimento con diafragmas de muchas especies, empleando una pila de bastante energía, condicion necesaria para obtener buenos resultados, y observó que la propiedad que tienen los diafragmas de disminuir la intension de la corriente es efecto de las alteraciones químicas que experimentan sus superficies; pero cuando las corrientes no son continuas, las superficies experimentan dos acciones químicas que se destruyen, y entonces no hay nada que se oponga á la circulacion de la corriente. Por medio de las corrientes intermitentes de que se ha hablado, se puede anular casi completamente la pérdida de intension que experimenta la electricidad dinámica, ó en movimiento, al pasar de un conductor sólido á otro líquido y recíprocamente, y tambien de ese modo se demuestra, contra la opinion generalmente admitida, que los líquidos, en muchos casos,

conducen mejor la electricidad que los metales. Así Delarive ha observado que el ácido sulfúrico diluido en nueve veces su peso de agua, no era tan buen conductor como un alambre de platina con corriente continua, y era, por la inversa, mucho mejor cuando la corriente era intermitente. *yo se porque*

Pasamos á esponer la nueva teoría de la pila, que lo mismo que la de Volta, se funda en un hecho y en un principio. Consiste el hecho en el desarrollo de la electricidad de toda accion química, y el principio depende de que las tensiones de un fluido libre son diferentes en los dos costados de la placa, ú obstáculo en general, pues que antes del tránsito es mayor que despues de haber salvado la resistencia.

Consideremos primero una placa de zinc sumergida en agua acidulada, en cuyo caso el metal toma la electricidad negativa y el líquido la positiva; los dos fluidos se combinan inmediatamente; así que, un electroscopio en contacto con la placa de zinc ó con el líquido, apenas da señales de electricidad.

Si en el mismo líquido se sumerge una placa de cobre y si se la reune con la placa de zinc por medio de un alambre conductor, las electricidades que el zinc y el líquido desarrollan pueden ir al cobre por dos caminos distintos, ó al traves del líquido, ó por el alambre conductor de que se ha hablado. Una parte de la corriente sigue el último camino, por manera que la corriente aumentará en la proporcion de la estension y proximidad de la placa de cobre y la facultad de conducir del alambre. Consideremos ahora una pila de elementos iguales, por ejemplo, una pila de cajon en la que el líquido sea ácido sulfúrico diluido en agua, y tendremos tantos manantiales de electricidad como superficies de zinc contenga la caja, es decir, que si aisladamente consideramos los compartimentos que forman las chapas de zinc sumergidas en el cajon,

tendremos corriente negativa hácia el zinc y positiva hácia el líquido. Este y la placa de cobre conducen el fluido positivo al compartimento siguiente y allí se combina con el negativo producido del mismo modo que se ha explicado en el primero; las placas de zinc y de cobre conducen á su vez el fluido negativo que se combina con el positivo que circula por el líquido del compartimento inmediato. En una palabra, las electricidades desarrolladas en las paredes de las planchas se combinan entre sí en las paredes opuestas.

En uno de los extremos de la caja se reúne la electricidad positiva y en el otro la electricidad negativa. Como la acción química es continua, los fluidos se acumulan en los polos, y adquiriendo tensiones de vez en vez mayores, llega un momento en que tanto esas tensiones como la atracción que esas masas de fluidos contrarios ejercen entre sí, vencen todas las resistencias que la pila opone á su tránsito y á su combinacion. Desde este instante las tensiones extremas se combinan, ó directamente, ó atravesando los pares de que la pila se compone.

La teoría indica y la esperiencia nos prueba, que no solo en los compartimentos extremos se manifiesta la electricidad, sino que á medida que las placas se alejan de los polos van siendo menores y menores las tensiones que se obtienen. Si la pila está aislada, cada mitad tiene la electricidad del polo en que se termina y por lo dicho la tension irá disminuyendo del polo hácia el centro del aparato. Cuando uno de los dos polos comunica con la tierra, se carga la pila del fluido libre del polo aislado, y su tension decrecerá de un extremo á otro del cajon. Cuanto mayor sea el número de sus elementos, tanto mas tiempo tardarán los polos en adquirir sus tensiones, porque los obstáculos son tambien en mayor número, pero tanto mas crecidas serán las tensiones, aun cuando no hay compensacion, es decir, que las tensiones no son exactamente pro-

porcionales al número de elementos. Los fluidos que producen la tension, provienen de las descomposiciones químicas de los compartimentos extremos, y como las electricidades han vencido ya una porcion de obstáculos, cuando llegan á los últimos compartimentos los salvan sin gran dificultad como, hace un momento, se ha explicado. Por manera que las tensiones de los polos de una pila son tanto mayores cuanto mas poderosas y en mayor número son las resistencias que se oponen al movimiento de la electricidad en el interior de la pila. El tiempo que emplea uno de los polos de una pila en cargar el condensador y el que una pila descargada necesita para cargarse, dependen de las resistencias interiores de la pila y de la actividad de la acción química, que consideramos como la sola causa de los fenómenos eléctricos que manifiesta el aparato.

La teoría precedente demuestra cómo crece la tension con el número de elementos y porqué los efectos físicos dependen solo de las dimensiones de las placas.

Polaridad eléctrica.

Delarive ha observado ademas que alambres ó láminas metálicas sumerjidas en una disolucion ácida ó salina, y que comuniquen con un aparato voltáico en que se verifiquen las operaciones químicas indicadas, adquieren propiedades eléctricas particulares; es decir, que dos alambres de platina, por ejemplo, atados por un extremo á los polos de una pila y sumerjidos por el otro en una disolucion salina, adquieren tales propiedades que desenganchándolos de los polos de la pila y poniéndolos en comunicacion con un galvanómetro, señalan una corriente en direccion contraria á la que seguia la electricidad en el circuito primitivo formado por la pila, los alambres y la

sal disuelta en el agua. Esto se llama una corriente secundaria, y su energía es tanto mayor y dura tanto mas, cuanto mas intensa y prolongada haya sido la accion primitiva. Lo mas original es que la facultad de producir la corriente secundaria, ó lo que en otros términos se llama la polaridad eléctrica, pertenece solo á las partes ó porciones que han estado sumerjidas, porque si se cortan los alambres en dos porciones que comprendan, una la parte sumerjida, y otra la que estaba á flor de agua, teniendo cuidado de que no adhieran cuerpos estraños á la última, se advierte que con la parte que no ha estado sumerjida no se pueden producir corrientes sumerjiéndola simplemente en el líquido. La intension de la corriente secundaria varía segun el tiempo que los alambres han estado espuestos á la accion de la pila y de la naturaleza de los conductores que completan el circuito.

Becquerel esplica este fenómeno del modo siguiente. Se toman dos láminas de platina perfectamente limpias y brillantes, se las sumerge en una disolucion salina neutra, y poniéndolas en comunicacion con un galvanómetro, no hay el menor signo de corriente; se sacan las láminas y se las sumerge en dos vasijas que contengan la misma disolucion que en el caso anterior, pero con dos adiciones diferentes, á saber: una milésima de su peso de ácido nítrico en una, y en la otra una milésima tambien de potasa cáustica; en seguida se las sumerge á entrambas en la disolucion primitiva é inmediatamente se obtendrá una corriente que caminará al través del líquido desde la primera á la segunda, como si la reaccion se verificara del ácido al álcali. Esto asentado ¿qué sucede cuando dos láminas de platina forman parte de un circuito voltáico en el que ademas hay una disolucion salina? La superficie de la lámina positiva se cubre de partes ácidas y la de la lámina negativa de partículas alcalinas; ambas á dos se encuentran en el mismo caso que las que sirvieron al es-

perimento anterior, y como el efecto eléctrico es el mismo debemos concluir que la causa es tambien semejante. Conductores metálicos por los que circulen corrientes lo mas enérgicas que posible sea, no producen corrientes secundarias, cuando se intercepta el circuito para introducir en él un nuevo líquido. El efecto pues no se produce sino cuando el circuito contiene un conductor imperfecto que se pueda descomponer. Esta sola circunstancia prueba que la accion química hace un papel muy importante en la produccion de la corriente secundaria.

Partiendo de lo que se acaba de decir se pueden esplicar los efectos de las pilas secundarias descubiertas por Ritters. Recordará el lector que estas pilas se componen de discos todos de un mismo metal que alternan con rodajas de carton empapadas en un líquido conductor. Esta pila por sí sola no puede cargarse si las superficies de las láminas de cobre son perfectamente homogéneas; pero si se ponen en comunicacion, durante algunos instantes, sus dos extremos con los polos de una pila, recibe una carga que puede conservar largo tiempo y que es de tal naturaleza que los polos están invertidos, es decir, que el polo positivo de la pila corresponde al polo positivo de la pila secundaria y recíprocamente el positivo de esta con el negativo de la pila. Las pilas secundarias de por sí producen, una vez cargadas, todos los efectos fisiológicos y químicos de la pila voltáica, aunque en menor grado.

M. Becquerel esplica los efectos de las pilas de Ritters del modo siguiente: los discos de cobre de la columna sometidos á la accion de una pila voltáica, estan, con relacion á los discos de carton humedecidos, en el mismo caso que el alambre de platina sumergido en una disolucion salina y electrizada con respecto á esta misma disolucion; por manera que las dos superficies de cada disco de cobre deben adquirir polaridad eléctrica contra-

ria á consecuencia de la deposicion respectiva de los elementos ácido y alcalino en cada una de ellas, depósito que tiene por efecto trasformar el disco en un verdadero par voltáico; y como todos los discos de cobre se hallan en el mismo caso, resulta que la pila secundaria es una verdadera pila voltáica cuyos elementos, en vez de ser metálicos, son, uno ácido, y otro alcalino.

Acabamos de ver que láminas y alambres metálicos adquieren la polaridad eléctrica con solo introducirlos en un solo circuito voltáico. Además de todas las propiedades eléctricas señaladas poseen los alambres y las láminas la propiedad de determinar la combinacion de las sustancias gaseosas ó aeriformes. Para comprender este género de fenómenos es necesario de antemano esponer los hechos que se refieren á un fenómeno, descubierto por Doebner, tan curioso como imprevisto. Observó este químico que la platina reducida á hilos sumamente delgados que reunidos entre sí forman una especie de esponja, tiene la propiedad de combinar á la temperatura ordinaria el hidrógeno y el oxígeno, y que era tal el desarrollo de calor que el metal se enrojecía casi instantáneamente. Los señores Thenard y Dulong observaron las circunstancias siguientes en el fenómeno que se acaba de esponer. Si se sumerge un pedazo de esa esponja de platina en una mezcla de oxígeno y de hidrógeno en las proporciones convenientes la mezcla detona instantáneamente; cuando las proporciones difieren mucho de las necesarias para formar agua, los gases se combinan con lentitud; cuando se calcina la esponja á una temperatura elevada, pierde la propiedad de enrojecerse instantáneamente, pero siempre conserva la de combinarlos con lentitud. Las planchas muy delgadas de platina tambien tienen la propiedad de combinar los gases, y su accion es tanto mas enérgica cuanto mas delgada es la placa. Hay otros metales que poseen la misma propiedad que la pla-

tina y en particular los que estan mezclados en su mena (iridio, osmio, paladio, rodio). El oro y la plata, reducidos á hojitas sumamente finas solo sirven para este género de combinaciones cuando la temperatura es muy elevada. Además de los metales hay otros cuerpos que tienen la propiedad indicada; entre otros citaremos el carbon, la piedra ponce, la porcelana, el vidrio y el cristal de roca, que á temperaturas que no llegan á 550° producen los mismos efectos que la esponja de platina.

Para que las láminas de platina adquieran el grado mas elevado de energía, es necesario, segun Faraday, hervirlas en potasa cáustica, ponerlas en digestion con el ácido sulfúrico en seguida, y lavarlas, en fin, con agua destilada; el oro y el paladio se portan del mismo modo que la platina ejecutando con ellos las operaciones indicadas. La plata y el cobre no producen efecto alguno á la temperatura ordinaria.

Esta notable y al mismo tiempo curiosa propiedad de los metales y cuerpos porosos, no habia entrado hasta aquí bajo el dominio de la electricidad. M. Faraday observó que los gases que resultaban de la descomposicion del agua por medio de una pila, desaparecian poco á poco en los tubos en que se recogian, lo cual era debido á la influencia de las láminas de platina que habia en los polos de la pila. Primeramente sometió Faraday la lámina positiva á sus esperimentos y observó que el volumen del gas comenzaba al momento á disminuir, y que el instrumento adquiria la temperatura necesaria para hacer hervir el agua. La energía de las placas positivas, para disminuir los gases, se conserva durante cierto tiempo, aunque poco á poco va disminuyendo, lo cual depende de diversas circunstancias. Si en los tubos en que estan sumergidas las placas se añade nueva porcion de mezcla detonante, la accion de las primeras continua por espacio de 50 horas, y si se las guarda en vasijas cerradas, á los

ocho días producen sus efectos; pero si permanecen al aire libre pierden sus propiedades á las doce horas.

Segun esto parece lo mas natural atribuir á un fenómeno de polaridad eléctrica el origen de esta fuerza de atraccion que produce cohesion, acciones capilares y combinaciones químicas. Admitiremos con Faraday que la esfera de actividad de esta fuerza se estiende á distancias finitas, aunque muy pequeñas, y que la fuerza de que se trata condensa los gases y vapores que se hallan en su esfera de atraccion. De este modo se esplica tambien la precipitacion del vapor de agua disuelto en la atmósfera, en la superficie de los cuerpos, como las sustancias higrométricas y el vidrio por ejemplo, la absorcion de gases por cuerpos porosos como el carbon, la combinacion de dos gases muy condensados, ó en los poros de la esponja de platina, ó en los pliegues de las hojuelas, ó al rededor de los alambres muy delgados de este metal. Por fin á la misma fuerza debemos atribuir la propiedad que tienen las láminas metálicas para retener en su superficie partículas ácidas ó alcalinas, trasportadas por corrientes voltáicas y que se adhieren con la energía necesaria á dichas superficies para comunicarles la polaridad eléctrica cuyos efectos hemos descrito y darles propiedades que conservan aun cuando se las lave, enjague y calcine al calor rojo.

Pila de corriente constante de Becquerel.

En este aparato la intension de la corriente es constante en el espacio de 24 horas. Se compone de dos bocalos de vidrio, lleno uno de ácido nítrico puro y otro de potasa cáustica disuelta en agua. Un tubo curvo de vidrio pone en comunicacion ambas vasijas, para lo cual se le llena interiormente de arcilla sumamente fina humedecida

con un poco de agua salada. En el bocal de la potasa se sumerge una lámina de oro y en el otro una placa de platina. La reaccion que ejercen mutuamente entre sí el ácido, el agua, la sal comun y la potasa que contiene el aparato, producen la corriente voltáica. La lámina de oro recoge la electricidad negativa del álcali, y la lámina de platina se apropia la electricidad positiva del ácido.

Si se quiere que la corriente tenga la intension necesaria para las descomposiciones químicas, hay que disponer el aparato de otro modo. En vez de bocalos se ponen tubos de platina, llenos de arcilla sumamente fina, humedecidos uno con ácido nítrico y otro con la disolucion de potasa. El tubo curvo de vidrio en que se pone arcilla y sal comun disuelta en agua, entra ludiendo en los cañones de platina, y en sus estremidades inferiores tienen unas tapaderas agujereadas y revestidas con algodón para retener la arcilla. Por esta parte se sumergen en dos bocalos llenos respectivamente de ácido nítrico y de potasa cáustica disuelta, y los alambres conductores se enganchan en dos garfios soldados á los tubos de platina. En este género de aparatos el polo negativo está en el cañon, sumergido en el ácido, que atrae el álcali de la sal comun y el del nitrato de potasa para combinarse inmediatamente con el ácido; los ácidos de las sales descompuestos son atraidos por el cañon positivo y se combinan con el álcali en que está sumergido.

Becquerel esplica del modo siguiente el efecto constante de esta pila. Ya sabemos que las láminas metálicas sumergidas en una disolucion salina y en comunicacion con una pila voltáica, adquieren cierta polaridad que produce corriente voltáica en direccion contraria á la de la pila que les comunicó su virtud. La polarizacion de cada lámina consiste en el depósito de elementos que la corriente trasporta á su superficie. Interin que esos elementos, cuerpos ó sustancias, como se quiera llamarlos, per-

manecen adheridos á la superficie de las láminas, conservan estas su polaridad, pero si además están sumergidas en un líquido que tenga mucha afinidad con los cuerpos depositados, entonces se desprenden para combinarse con él, y las láminas pierden su polaridad. Tal es el efecto que producen las pilas de Becquerel cuya construcción se funda en disolver las sustancias á medida que se depositan.

Polaridad eléctrica que pueden adquirir algunos metales muy oxidables.

Tiene el hierro la notable polaridad de no disolverse en el ácido nítrico cuando está en un estado particular, que por su naturaleza parece tener cierta conexión con los fenómenos que acabamos de estudiar. Si se calienta al calor rojo una de las puntas de un alambre de hierro y después de dejarla enfriar se la sumerge en ácido nítrico de 1°,53 de densidad, no se disuelve, al paso que el mismo ácido ataca con mucha energía el extremo opuesto, es decir, el que no se ha enrojecido. Un alambre de hierro oxidado puede servir para preservar á otro que no lo esté, y no solo es nula la acción cuando están juntos, sino también cuando están separados. Estos experimentos sirven para demostrar la intervención de los efectos electro-químicos en este género de fenómenos. Si se sumerge un alambre de hierro, en todo ó en parte, en ácido nítrico, y si después que la acción haya comenzado se le toca con otro alambre de platina, cesa inmediatamente la disolución del hierro: la parte sumergida adquiere cierto brillo y no experimenta la menor alteración. El mismo efecto que la platina produce otro metal no oxidable, el carbono y el grafito. Una superficie muy pequeña de platina basta para anular el efecto del ácido sobre una gran superficie de hierro. Cuando se le toca con cobre,

zinc, estaño, bismuto, antimonio ó plomo, el ácido continúa ejerciendo su acción.

Cuando el hierro está en ese estado de inacción puede permanecer un mes en ácido nítrico sin disolverse, y conserva su propiedad aunque se le esponja al aire ó que se le sumerja en el agua ó en el amoníaco; pero en frotando su superficie pierde completamente esa propiedad. Tales son en resumen los hechos que habíamos anunciado. Becquerel y Faraday admiten, para explicarlos, que el hierro en semejantes circunstancias tiene la misma propiedad que la platina, es decir, que una capa de oxígeno adhiere á su superficie sin combinarse con él, y que le preserva de la acción del ácido nítrico.

Propiedades del zinc amalgamado.

Como las placas de zinc amalgamado¹ se emplean mucho hoy día en la construcción de las pilas á corriente constante, y este aparato sirve mucho en los experimentos de física, vamos á dar á conocer sus principales propiedades. Entre otras es notable que el agua acidulada con ácido sulfúrico no disuelve el zinc amalgamado; pero si se le toca con un alambre ó placa de platina ó de cobre, se disuelve inmediatamente y el hidrógeno se desprende por el alambre, que es el polo negativo del par voltáico. Este efecto es realmente una anomalía, puesto que el zinc y el mercurio forman juntos un par voltáico y el primero, por consiguiente, debía disolverse con más facilidad una vez asociado con el mercurio, que cuando se halla completamente aislado; pero como el resultado es entera-

¹ Para amalgamar el zinc, se procede del modo siguiente: se echa en un plato mercurio, agua y ácido sulfúrico, y después con una brocha se unta la superficie con el líquido y el mercurio. — N. del T.

mente contrario, debemos suponer con Faraday que las partículas de zinc estan en el mismo caso que las del hierro en inaccion.

Cuando en un líquido compuesto de una parte de ácido sulfúrico y 50 de agua se sumerge una placa de zinc ordinario, la accion comienza inmediatamente y el zinc se disuelve sin dificultad. Delarive ha demostrado que el zinc amalgamado no se disolvia en semejantes circunstancias. En el primer caso parece ser que la accion proviene de ciertos pares voltáicos que se forman en pequeño entre el zinc, y los demas metales con que generalmente está mezclado el zinc del comercio, y que suelen ser hierro, cobre, cadmio, arsénico, etc. De aquí resulta que multiplicándose las acciones se destruye una gran porcion de zinc y que el hidrógeno se desprende en apariencia en su superficie, aunque realmente parte de las superficies de los demas metales. El zinc amalgamado, aunque sea impuro, no descompone el agua acidulada, pero es tan ávido de oxígeno que en tocándole con otro metal cualquiera se disuelve casi instantáneamente, y Faraday cree que el mercurio en tales circunstancias comunica cierta uniformidad á la superficie anonadando la accion de los pares voltáicos que forman los metales mezclados con el zinc. Como toda la superficie de zinc está cubierta, se concibe sin dificultad que unas porciones no pueden descargar las otras, y que no habiendo esas irregularidades no puede haber tampoco partes que tengan mas afinidad que otras con el oxígeno, ó lo que es lo mismo, que sirvan para descargar.

De aqui se deducen dos consecuencias; la primera es que amalgamando el zinc se obtiene toda la cantidad de electricidad que puede dar una porcion dada de zinc, y que una batería construida con zinc amalgamado y cargada con ácido sulfúrico y agua, no se altera hasta que se reunen entre sí los metales que la forman.

En otro lugar hemos hablado de la pila de corriente constante de Daniell. Entonces se dijo que los metales estaban sumergidos en diferentes vasijas y los líquidos separados con cuerpos porosos para que pudieran transmitirse las corrientes sin que se formaran depósitos secundarios. A esto añadiremos que en la vasija de cobre se ponía una disolucion de sulfato de cobre que se depositaba sobre la placa tambien de cobre á medida que se iba disolviendo¹.

La lámina de zinc está suspendida en una vasija porosa en la que cae la mezcla ácida por un embudo de la parte superior, al paso que la disolucion que se forma en el interior sale por un sifon. En un aparato de este género aplicado á la descomposicion del agua, en tiempos iguales, se desprenden cantidades iguales de gases, aunque para decir verdad la accion es algo mas enérgica cuando la pila comienza á funcionar, lo que depende de que el líquido de la vasija porosa, en que hay regularmente una membrana, experimenta entonces una variacion en su composicion. El líquido, en efecto, necesita cierto tiempo para cargarse de sulfato de zinc, que debe existir, para que el aparato marche con regularidad, y es necesario tambien que pase tiempo para que las capas líquidas se coloquen en su estado normal. La alteracion indicada, no pasa generalmente de una hora.

En diciembre de 1840, Jacobi envió á la Academia de ciencias de París una nota en que comparaba las fuerzas respectivas de dos pares voltáicos de la pila de Daniell,

¹ El efecto es el siguiente. El agua de la disolucion se descompone; el oxígeno se combina con el cobre de la placa sumergida, y el hidrógeno desaloja ó precipita al cobre del sulfato para combinarse con su oxígeno; entonces se forma, si se quiere, sulfato de agua ó hídrico, y el cobre desalojado se deposita sobre la placa de cobre; por manera que lo que el oxígeno del agua le robó, el hidrógeno se lo devuelve. — N. del T.