

chos polos; los demás metales entran también en fusión ó en combustión, según que sean más ó menos conductores de la electricidad, y más ó menos fusibles ú oxidables. Finalmente, no hay compuestos químicos conductores cuyos elementos no se desunen rápidamente tan luego como se los coloca entre los polos de dichas baterías. Sin embargo, rara vez se tiene que recurrir á aparatos dotados de semejante potencia. Las pilas de artesa de un centenar de elementos, las de Wollaston de 20 ó 30, ó las de hélice de 15 ó 20, bastan para dar idea de estos resultados. Con estas pilas las conmociones son débiles, siendo casi siempre preciso mojarse las manos para sentir las. Los efectos físicos de combustión y fusión sólo se hacen ostensibles en tenues hojas de oro, plata ó estaño, en delgados hilos de platino de algunos centímetros de longitud, en alambres de hierro ó de acero de la misma dimensión, etc. Los efectos químicos se producen también con menor intensidad.

III

PILAS DE CORRIENTE CONSTANTE

En todas las pilas que acabamos de describir, las corrientes y los efectos producidos por ellas disminuían rápidamente de intensidad. Fácilmente se comprenden las causas de esta disminución. Por una parte, el zinc se oxida descomponiendo parcialmente el agua y apoderándose de su oxígeno; el óxido formado de este modo se combina con

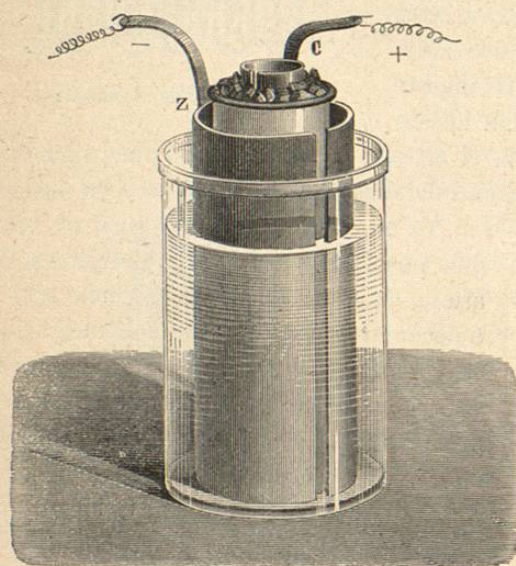


Fig. 150.—Elemento de la pila Daniell

el ácido sulfúrico contenido en la disolución y origina la formación de cierta cantidad de sulfato de zinc. Por consiguiente, á causa de esta acción química se altera el líquido de la pila, menguando su actividad y la corriente que engendra. Por otra parte, el hidrógeno del agua descompuesto se dirige á la superficie de la placa de cobre; las burbujas que en ella se depositan la recubren en breve de una capa continua de gas cuya menor conductibilidad dificulta el paso de la corriente. Sucede además que, aumentando progresivamente el sulfato de zinc, deposita por efecto de la influencia de la corriente una capa de zinc en la placa de cobre, de suerte que ésta no difiere al poco tiempo del electrodo negativo, y entonces acaba por desaparecer del todo la actividad de la pila. M. Becquerel estudió estas causas de debilidad de las pilas así como el modo de obviarlas, y en 1829 recomendó el uso de dos líquidos diferentes separados por un cuerpo poroso y conteniendo cada cual uno de los electrodos. Partiendo de este principio se inventaron las primeras pilas de corriente constante, que vamos á describir.

Empecemos por la pila de Daniell, así llamada del nombre del físico que la inventó en 1836.

El agua se descompone; su oxígeno ataca el zinc, y se forma óxido de zinc, que se combina con el ácido sulfúrico del vaso exterior; el zinc adquiere una tensión eléctrica *negativa*. El hidrógeno del agua atraviesa el vaso poroso, ataca el sulfato de cobre, cuyo óxido se descompone, y se precipita el cobre en estado metálico sobre el cilindro del mismo metal, que adquiere una tensión eléctrica *positiva*. Cada reacción engendra una corriente, la primera del zinc al ácido, la segunda del cobre á la solución que lo rodea. La fuerza electromotriz del elemento Daniell es la resultante de estas dos fuerzas opuestas. La corriente final no tiene gran energía, pero es sensiblemente constante si se tiene cuidado de echar cristales de sulfato de cobre en el vaso poroso. El zinc y el cobre conservan sus superficies intactas, sin depósito alguno de materias extrañas; mas el zinc disminuye de espesor al paso que el cobre aumenta.

El par ó elemento electromotor de esta pila está representado en la figura 150. Consiste en dos vasos, uno exterior, de vidrio ó porcelana, y otro de tierra porosa, metido en el primero. Entre los dos vasos se echa agua acidulada (ácido sulfúrico), y en el poroso una disolución saturada de sulfato de cobre. En el primer líquido se introduce una ancha placa de zinc amalgamado, de forma cilíndrica, y en el otro un cilindro de cobre. Véase ahora cómo ocurre el desarrollo de las dos electricidades en el cobre y el zinc:

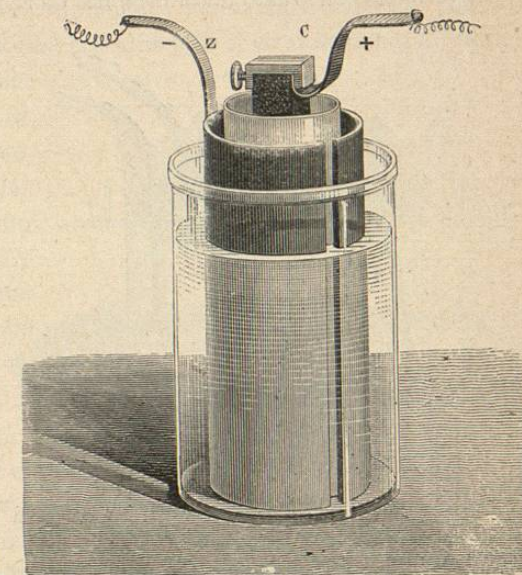


Fig. 151.—Elemento de la pila Bunsen

El agua se descompone; su oxígeno ataca el zinc, y se forma óxido de zinc, que se combina con el ácido sulfúrico del vaso exterior; el zinc adquiere una tensión eléctrica *negativa*. El hidrógeno del agua atraviesa el vaso poroso, ataca el sulfato de cobre, cuyo óxido se descompone, y se precipita el cobre en estado metálico sobre el cilindro del mismo metal, que adquiere una tensión eléctrica *positiva*. Cada reacción engendra una corriente, la primera del zinc al ácido, la segunda del cobre á la solución que lo rodea. La fuerza electromotriz del elemento Daniell es la resultante de estas dos fuerzas opuestas. La corriente final no tiene gran energía, pero es sensiblemente constante si se tiene cuidado de echar cristales de sulfato de cobre en el vaso poroso. El zinc y el cobre conservan sus superficies intactas, sin depósito alguno de materias extrañas; mas el zinc disminuye de espesor al paso que el cobre aumenta.

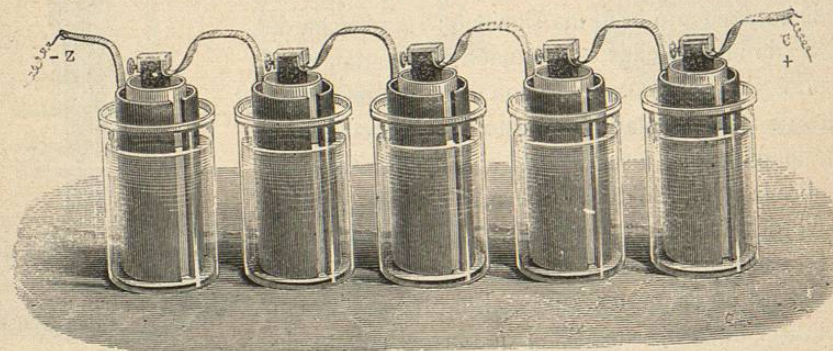


Fig. 152.—Pila compuesta de cinco elementos Bunsen

El par ó *elemento de Bunsen* (fig. 151) es parecido al de Daniell, sólo que el cilindro de cobre está reemplazado por uno de carbón de retorta, y la disolución de sulfato de cobre por ácido nítrico. El par de Bunsen es preferible al de Daniell en cuanto á la energía de la corriente, pero es inferior á él por lo que respecta á la constancia de ésta.

Reuniendo muchos pares semejantes por sus polos opuestos, se forman pilas de Da-

niell y de Bunsen, cuya energía es proporcional al número de elementos reunidos. Ambas pilas tienen su polo negativo en el zinc del último elemento, y el positivo en el último cobre en la pila de Daniell ó en el último carbón en la de Bunsen, como se ve en la figura 152.

Grove había construido anteriormente una pila que difería de la de Bunsen en tener en vez de carbón una plancha de platino, metal muy costoso y que acaba por descomponerse. Era más enérgica que la de Bunsen, pero ésta tenía la ventaja de ser más económica. Las pilas de Bunsen se usan mucho en los trabajos ó experimentos que requieren gran fuerza, pero tienen el grave inconveniente de producir desprendimientos de gases nocivos para la respiración (ácidos nítrico é hiponítrico), de suerte que no se las puede emplear sino en sitios en que el aire se renueva fácilmente. La pila de Daniell, menos

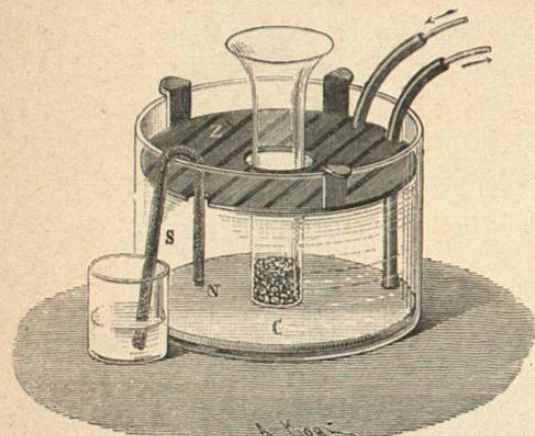


Fig. 153. — Elemento Daniell modificado por W. Thomson

enérgica, no adolece de este inconveniente; además posee una constancia que la hace preciosa, mientras no se necesiten corrientes de gran intensidad, así es que se la ha usado mucho en la telegrafía eléctrica.

El físico inglés sir W. Thomson introdujo una modificación en el elemento Daniell. Véase en qué términos describe el profesor Clerk Maxwell esta modificación, representada en la figura 153: "El resultado final del elemento Daniell, sea cualquiera su forma, es que el sulfato de cobre ataca al zinc, lo cual deteriora la pila. Para retardar indefinidamente este resultado, W. Thomson ha dado á dicho elemento la forma siguiente: La plancha de cobre de cada uno de ellos está situada horizontalmente en el fondo, y se echa sobre ella una disolución saturada de sulfato de zinc. La plancha de este último metal tiene la forma de parrilla, y á su vez está colocada horizontalmente sobre la superficie de la disolución. En ésta penetra además verticalmente un tubo de vidrio cuyo extremo inferior toca la plancha de cobre. Introdúcense en él cristales de sulfato de cobre, los cuales al disolverse forman una disolución de mayor densidad que la del sulfato de zinc solo, y que por tanto no puede llegar al zinc sino por difusión. Para retardar este fenómeno de difusión, hay un sifón, que consiste en un tubo de vidrio que tiene en su interior una mecha de algodón y uno de cuyos extremos está situado entre el zinc y el cobre y el otro en un vaso exterior al elemento, de suerte que aspira poco á poco el líquido casi hasta la mitad de su altura. Para reemplazarlo, se le añade por arriba agua ó una débil disolución de sulfato de zinc. De este modo, la mayor parte del sulfato que sube por el líquido en estado de difusión lo absorbe el sifón antes de llegar al zinc, y por lo tanto la plan-

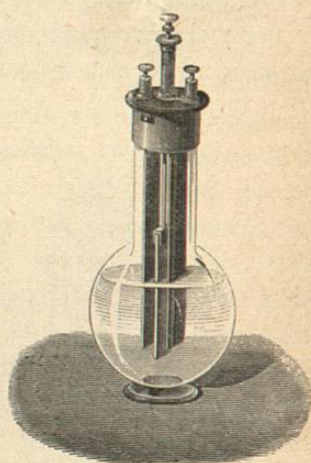


Fig. 154. — Pila de bicromato de potasa

cha de este metal está rodeada de un líquido casi depurado de sulfato de cobre y animado en el elemento de un movimiento muy pausado de arriba abajo, que retarda el movimiento en sentido contrario del sulfato de cobre. Durante el trabajo de la pila depositase el cobre sobre la placa de cobre, y el ácido sulfúrico se dirige lentamente al través del líquido hacia el zinc, con el cual se combina formando sulfato de zinc. Así pues, el líquido del fondo pierde en densidad por el depósito de cobre, y el de encima la adquiere por la agregación del zinc.

Para impedir que esta acción cambie el orden de densidad de las capas y produzca en el vaso inestabilidad y corrientes variables, hay que cuidar de tener el tubo lleno siempre de cristales de sulfato de cobre, y de alimentar la pila por arriba con una solución de sulfato de zinc bastante clara para que sea más ligera que cualquiera otra capa líquida que pueda haber en el elemento. La pila que acabamos de describir es la llamada *pila de densidad*, siendo fácil de comprender el motivo de esta denominación.

La pila de bicromato de potasa (fig. 154) es de uso muy cómodo para los experimentos de cátedra ó laboratorio. Es un elemento de un solo líquido, dispuesto del modo siguiente: dos placas de carbón de retorta unidas una á otra forman el electrodo positivo, estando ambas sumergidas en una disolución de bicromato de potasa con ácido sulfúrico, y sujetas á la tapadera de ebonita del frasco de la pila. El electrodo negativo

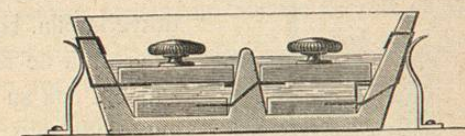


Fig. 155. — Pila de Marié-Davy

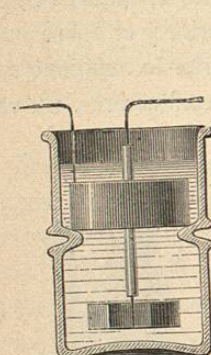


Fig. 156. — Pila Callaud, tipo de la administración telegráfica.

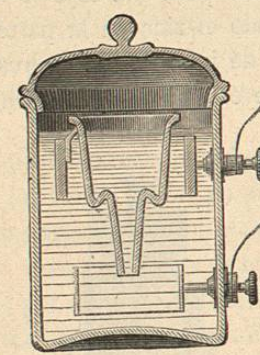


Fig. 157. — Pila Callaud, primer tipo modelo

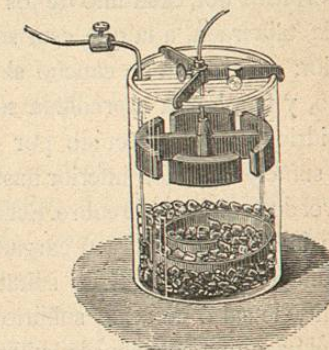


Fig. 158. — Pila Callaud, tipo americano

es una plancha de zinc de longitud la mitad menor que la del carbón, y que se introduce con un vástago de corredera entre las dos placas positivas. Fórmase en el líquido un sulfato doble de cromo y de potasa, y el oxígeno desprendido se une al hidrógeno para formar agua, impidiendo así que se deposite este último gas alrededor del electrodo positivo. Cuando la pila no ha de funcionar, se levanta el vástago central, con lo cual se puede sacar el zinc del líquido. Una de las dos bornas ó tornillos laterales está unida á las placas de carbón y forma el polo positivo; la otra al vástago central y al zinc, formando el negativo. Poggendorff fué quien discurrió el empleo del bicromato de potasa.

Haremos también mención de las pilas Marié-Davy, Callaud y Leclanché, aun cuando nos ocuparemos de ellas en los capítulos de las *Aplicaciones* relativas á la telegrafía eléctrica.

Un vaso de vidrio de ancha boca y dividido en dos compartimientos forma un elemento doble de la pila Marié-Davy. En el fondo tiene una placa de carbón cubierta de una pasta de sulfato de oxidulo de mercurio; encima una plancha de zinc provista de un mango y suspendida de las paredes de la vasija en apoyos metálicos. Las placas están metidas en agua acidulada; el carbón de uno de los compartimientos empalmado con un alambre de zinc del compartimiento contiguo, y el conjunto forma un elemento que unido á otros análogos constituye la pila. Hase modificado esta disposición primitiva, y la forma de la pila Marié-Davy es hoy parecida á la de Daniell, con su vaso poroso y sus líquidos separados. Es muy constante, pero tiene un grave inconveniente, pues el sulfato de oxidulo de mercurio es una sal muy venenosa y de uso peligroso.

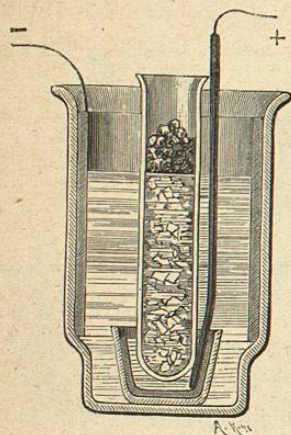


Fig. 159.—Pila Meidinger

La pila Callaud (fig. 156) es una pila de densidad; vamos á hacer su descripción tomándola de su mismo autor:

“El objeto que se ha propuesto el inventor, dice, es la supresión del vaso poroso de la pila Daniell. Los agentes de ésta han servido para su aplicación; la diferencia de densidad de los líquidos es mayor que con los agentes de otras pilas. El modelo tipo de ésta es el representado en

la figura 157. El vaso principal tiene la dimensión de las pilas de telegrafía; *a* y *b* son dos orificios por cada uno de los cuales pasa una especie de perno terminado en una varilla taladrada, á la que está soldado el zinc en la parte superior y el cobre en la inferior; una rodaja de caucho sirve de juntura, una tuerca exterior lo mantiene todo sujeto, y una borna atornillada sobre ésta sirve para recibir los conductores. Un vaso de vidrio cónico, sostenido por el zinc, sumerge su tubo inferior hasta el nivel de la plancha de cobre. Échase en la pila agua pura ó cargada con una corta cantidad de sulfato de zinc, de sal ó de ácido sulfúrico, y en el vaso una solución de sulfato de cobre, la cual, siendo muy densa, cae en el fondo del vaso y levanta, sin mezclarse con él, el líquido superior, el cual baña entonces el zinc. Al punto aparece la corriente. Pónense en el vaso de vidrio cristales de sulfato de cobre que mantiene la disolución saturada á medida que el funcionamiento de la pila tienda á empobrecerla.,,

En el tipo de la figura 156 el zinc está sostenido en una garganta que forma interiormente el vaso de vidrio hacia la mitad de su altura. La placa de cobre del fondo está enrollada en espiral como en la pila Callaud de tipo americano (fig. 158), en la cual el zinc tiene la forma de una rueda de reloj de cuatro segmentos sostenida por un vástago que lleva en su centro.

La forma de espiral tiene por objeto aumentar la superficie de los electrodos.

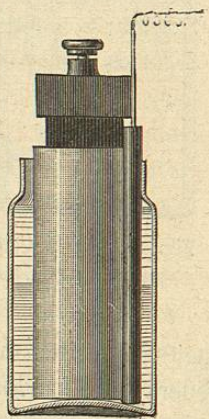


Fig. 160.—Pila Leclanché

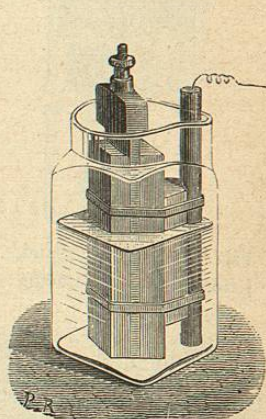


Fig. 161.—Pila Leclanché

La pila Meidinger (fig. 159) es también otra forma de pila de densidad; la sección de ella que representa el grabado hace superflua su descripción.

El elemento Leclanché consiste en un vaso de vidrio que contiene una disolución de clorhidrato de amoníaco y un vaso poroso lleno de una mezcla en partes iguales de fragmentos de peróxido de manganeso y carbón de retorta de gas, machacados toscamente; esta mezcla es la que constituye el agente despolarizador de la pila. En el centro del vaso poroso hay una placa de carbón terminada en un botón de plomo, que forma el electrodo positivo. Por el gollete exterior penetra un cilindro de zinc en la disolución de clorhidrato de amoníaco, y forma el electrodo negativo. Cerrando el circuito del zinc al carbón, el primero es atacado por el ácido clorhídrico; fórmase cloruro de zinc, y dirigiéndose el hidrógeno al través del vaso poroso hacia el carbón en donde se encuentra el peróxido de manganeso, forma con éste sesquióxido de manganeso y agua.

En el modelo de la figura 161 está suprimido el vaso poroso; habiendo sometido M. Leclanché la mezcla de peróxido de manganeso y carbón á una presión considerable, constituyó una masa sólida homogénea, á la cual va unida la placa de carbón. El cilindro de zinc está aislado del electrodo conductor por un pedazo de madera y reunido con él por medio de brazaletes de caucho. En tan sencilla forma, la pila Leclanché presta grandes servicios en la industria telegráfica, siendo tal su constancia que puede funcionar meses enteros sin interrupción, y servir la misma pila, usándola continuamente, por espacio de muchos años.

IV

TEORÍA FÍSICO-QUÍMICA DE LAS PILAS

En los fenómenos de que hasta aquí nos hemos ocupado, los generadores de la electricidad ó, si se quiere, los varios modos de producirse el agente eléctrico, se pueden clasificar en cuatro categorías: *fricción, inducción, contacto y acciones químicas*. Nada tenemos que añadir á cuanto dejamos dicho acerca de los dos primeros modos. La electricidad desarrollada por fricción aparece como transformación de la fuerza mecánica en fuerza eléctrica. ¿En qué consiste esta última fuerza? ¿Qué clase de movimiento anima las moléculas del cuerpo electrizado, ó las atmósferas de éter de que se las supone rodeadas? Se ignora, ó mejor dicho, todavía no se ha podido formar más que conjeturas acerca de tan delicadas cuestiones. Lo que se sabe, lo que se conoce, son los efectos de la electricidad desarrollada de tal suerte; ya hemos visto que se presentan de varios modos atracciones y repulsiones, calor, luz, combinaciones y descomposiciones químicas, es decir, movimientos visibles, ó bien moleculares y atómicos. Lo que se sabe, lo que se debe admitir como consecuencia cierta de un principio de mecánica hoy universalmente proclamado, es que hay equivalencia entre el trabajo consumido para producir la electricidad y el que se podría reunir ó calcular valuando y totalizando cada uno de los efectos mecánicos, químicos y físicos cuya enumeración acabamos de hacer.

La electricidad desarrollada por contacto de los cuerpos heterogéneos, cuya existencia se esforzó Volta en demostrar, parece estar hoy perfectamente demostrada. Hase tratado de explicarla, ya por medio de acciones mecánicas, ya por acciones químicas suscitadas por la humedad de la mano ó de las rodajas de la pila, ó ya también por la

acción de las capas de aire ambiente. Ciertamente es que estas diferentes causas debieron contribuir en los experimentos de Volta á producir la electricidad cuya presencia indicaba su condensador; pero otras investigaciones más minuciosas y detenidas han dado en definitiva la razón al ilustre inventor de la pila, y hoy se considera como uno de los generadores de electricidad el simple contacto de metales heterogéneos (1).

En cuanto á la electricidad debida á la influencia de las acciones químicas, la demuestra el funcionamiento de muchas pilas, algunas de las cuales hemos descrito. El experimento siguiente basta para demostrar su principio:

Introduzcamos una plancha de cobre en un vaso que contenga ácido nítrico diluido en agua (fig. 162). Pongamos la plancha en comunicación con el platillo inferior de un

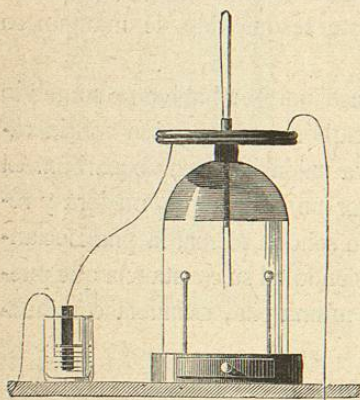


Fig. 162.—Electricidad desarrollada por las acciones químicas

electrómetro condensador, haciendo al propio tiempo que el líquido, así como el platillo superior, comuniquen con el suelo. Tan luego como se separan los dos platillos, las hojas de oro divergen, y se ve que el aparato se ha cargado de electricidad negativa. Si se cambia el orden de las comunicaciones, reuniendo el ácido por medio de un alambre con el platillo inferior del condensador, y poniendo el otro platillo y la placa en comunicación con el suelo, el aparato resultará cargado de electricidad positiva. Si en vez de cobre se pone un metal que no ataque el ácido nítrico, por ejemplo platino, no se desarrollará el fluido.

Obtiénense análogos resultados, es decir, un desarrollo más ó menos enérgico de electricidad suscitando cualquier acción química entre dos cuerpos.

Dos soluciones, una alcalina y otra ácida, ó bien dos sales, una ácida y otra neutra ó alcalina, puestas en contacto, engendran electricidad, la cual es positiva en el cuerpo que hace las veces de ácido y negativa en el que las hace de base.

Sentado lo que antecede, debemos ya tratar de explicar en qué difieren la electricidad producida por las pilas y la que procede de las varias máquinas eléctricas que funcionan por frotamiento ó inducción. Nadie ignora que se distinguen estas dos clases de electricidades con dos denominaciones diferentes, dándose el nombre de *estática* á la que se desarrolla en la superficie de los conductores de las máquinas eléctricas ó en los cuerpos aisladores como un disco ó torta de resina de un electróforo, ó que se condensa en las armaduras de una botella de Leyden. Llámase *electricidad dinámica* á la que circula por los hilos ó *reóforos* de una pila, cuando estos hilos, puestos en contacto, reúnen los polos positivo y negativo del aparato. A la primera se la considera como

(1) "La incredulidad de la mayor parte de los físicos que se niegan á admitirlo así, dice M. Mascart, procede principalmente de que se cree poder deducir de ello alguna consecuencia análoga á la del movimiento perpetuo; pero ya hemos visto que la ley de Volta no expresa otra cosa sino la imposibilidad de producir electricidad sin trabajo. Cuando dos platillos heterogéneos están puestos en contacto, se atraen sin duda por el solo hecho de que están electrizados en sentido contrario ó llevados á potenciales diferentes; mas, para utilizar esta electricidad, es menester separar los platillos y vencer precisamente la atracción que se ejerce entre ellos. Otro tanto sucede con una aguja de acero puesta en contacto con un imán; esta aguja se imana, y la energía magnética que adquiere está representada por el trabajo que se necesita emplear para desprenderla del imán. La electricidad por contacto es tan impotente como los imanes para producir un trabajo cualquiera sin un gasto mecánico equivalente." (*Tratado de electricidad estática*, t. II, pág. 351.)

estando en reposo en la superficie de los conductores; la segunda está en movimiento continuo.

Cuando se hace funcionar una máquina eléctrica, la de disco por ejemplo, la electricidad que se desarrolla en el vidrio se transmite por influencia al conductor, cuya carga llega en breve á un límite. Más allá de esta carga máxima, que depende de las dimensiones del conductor, la electricidad que produjera la máquina, si se continuase dando vueltas al manubrio, se perdería por el aire y por los soportes. Si en vez de estar aislado el conductor, estuviese en comunicación con el suelo, la electricidad producida se escaparía por él á medida que se desarrollase, y se podría asimilar esta salida del fluido á una corriente, como es la de la pila; mas en realidad, la electricidad recogida en un cuerpo por medio de las máquinas permanece estacionada en la superficie de este cuerpo, por cuya razón los fenómenos que provienen de estos generadores llevan el nombre de fenómenos de *electricidad estática*.

Por el contrario, la corriente eléctrica de la pila es continua mientras dura la acción química que engendra la electricidad. Púedese concebir de dos distintos modos la conexión que hay entre dicha acción química y la producción del fluido; pero en una ú otra explicación es evidente la razón de la denominación de *electricidad dinámica* ó *en movimiento*. He aquí en qué términos resume Gordon ambas explicaciones en su *Tratado de electricidad*: "Si se ponen dos metales uno cerca de otro, pero sin que se toquen, en un líquido que ejerza una acción química más enérgica en uno que en otro, los metales se cargan de modo que el menos atacado se encuentra en una potencial más elevada que el más atacado. La diferencia de potencial depende solamente de la naturaleza de los metales y del líquido y no de las dimensiones ó de la posición de las placas metálicas. Tan luego como la diferencia de potencial llega á su valor constante, la acción química cesa.

„Pero si los metales están unidos por un hilo metálico exterior al líquido, la diferencia de potencial empieza á disminuir y una corriente eléctrica atraviesa el hilo. No bien desciende la diferencia de potencial bajo el máximo correspondiente á los dos metales y al líquido, la acción química empieza de nuevo y restablece el máximo; y si no interviene alguna causa perturbadora, la corriente continúa hasta que el metal más atacado se disuelve enteramente.

„Este modo de ver la cuestión explica muy bien los hechos; pero como no se tiene la seguridad de que sea esta la verdadera explicación, dase también la siguiente. Al tocarse dos metales, ya directamente, ya por medio de un hilo metálico, se observa cierta diferencia de potencial. Si estando reunidos se los sumerge en un líquido que actúa sobre el uno más que sobre el otro, la acción química iguala las potenciales, y obrando así produce un flujo de electricidad á lo largo del hilo de comunicación. Desde el punto en que las potenciales han empezado á igualarse, restablécese la diferencia en el punto de contacto, y de este modo se establece, si no interviene alguna causa perturbadora, una corriente continua hasta que se disuelve enteramente el metal más atacado.

Tanto en una como en otra teoría, la existencia de la corriente procede de una diferencia de carga eléctrica entre los dos cuerpos que constituyen los electrodos de la pila; sólo que en la primera la causa de esta diferencia es la acción química, y en la segunda es el contacto. Pero en ambos casos la fuerza electromotriz de la corriente engendrada corresponde al trabajo de la acción química y se mide por la cantidad de metal consumido.