

## CAPÍTULO X

### ELECTRICIDAD DINÁMICA

SUMARIO.— Descubrimiento de la electricidad dinámica. — Experimentos de Galvani y Volta. — Pilas eléctricas y sus reacciones. — Pilas termoeléctricas. — Ampere y Ohm. — Montaje de las pilas. — Acumuladores. — Efectos producidos por las pilas. — Galvanoplastia.

Se entiende por *electricidad dinámica* la parte de la Física que estudia los fenómenos producidos por la electricidad en movimiento.

346. *Experimentos de Galvani* (\*).—El primer experimento de Galvani ha sido referido de muy distintas maneras. Figuiere cuenta que, siendo estudiante de filosofía, encontró en los libros del Liceo 21 versiones diversas del experimento de Galvani; pero la descripción real y verdadera es la que se encuentra en la memoria original de Galvani, escrita en latín.

Una tarde del año de 1780, Galvani, que era profesor de Anatomía en la Universidad de Bolonia, estaba repitiendo sus experimentos acerca de la irritabilidad nerviosa de las ranas, las cuales preparaba como se ve anualmente en los cursos de Física, dividiéndolas con un cuchillo á la altura de los nervios

(\*) Luis Galvani, laborioso profesor italiano.

ambares y despojándolas rápidamente de la piel. Por una mera casualidad un amigo de Galvani se hallaba haciendo experimentos de electricidad con una máquina de Ramsden. Galvani, teniendo que salir del laboratorio, dejó la rana, sin intención alguna, sobre la mesa de la máquina. Uno de los ayudantes de Galvani, con objeto probablemente de terminar la preparación de la rana, acercó su escalpelo al animal y no pudo contener una exclamación al ver á los restos agitarse convulsivamente. Lucía, la esposa de Galvani, que se hallaba entre los circunstantes, participó de la admiración de todos y corrió á dar parte á su esposo de lo que acababa de suceder, no sin haber notado antes que las extremidades de la rana se conmovían en el momento en que se sacaba una chispa de la máquina eléctrica.

Galvani repitió el experimento y se maravilló como los demás, no obstante que el fenómeno en sí resultaba bastante sencillo, pues no era sino el resultado de lo que conocemos en Física con el nombre de *choque de retroceso*.

Colocado el animal en la cercanía de una máquina eléctrica en actividad, y encontrándose, por lo tanto, en su esfera de atracción, el cuerpo de la rana se electrizaba por influencia y persistía en este estado eléctrico, entretanto que el conductor de la máquina estaba cargado de flúido. Pero cuando al sacar una chispa se quitaba á la máquina su electricidad libre, la recomposición del flúido se hacía en el mismo instante, en el cuerpo del animal. Este rápido movimiento de la electricidad determinaba una contracción en el cuerpo de la rana.

Galvani quiso estudiar profundamente estos fenómenos no sólo en las ranas sino en muchos otros ani-

males, y prosiguió sus trabajos con notable perseverancia por espacio de seis años.

Galvani no se conformó con el fluido eléctrico que le podían proporcionar los aparatos de su laboratorio, sino que quiso emplear la electricidad natural, la que existe de ordinario en la atmósfera y que aumenta notablemente durante una tempestad.

Sin acobardarse por el fin trágico que había tenido Richman, miembro de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, al querer hacer estudios de electricidad atmosférica, mandó colocar en la parte más elevada de su casa una varilla metálica terminada en punta y dispuesta verticalmente. La varilla penetraba hasta el techo de su habitación, y de la extremidad inferior pendía un alambre terminado en gancho. Este gancho pasaba entre los músculos y los nervios lumbares de una rana, preparada como de ordinario y que quedaba así suspendida en el aire.

Galvani comprobó, durante una tempestad, que cada vez que brillaba el relámpago, los músculos del animal se contraían vivamente, y aun sin que hubiera relámpagos, bastaba el paso de una nube sombría para ver al animal contraerse.

El 7 de Febrero de 1786, Galvani, queriendo sentir los efectos de la electricidad atmosférica, hizo una experiencia que pone de manifiesto el valor de aquel físico infatigable. Abrazó con sus manos el conductor aislado que comunicaba con la atmósfera y resistió las convulsiones que le produjeron la aparición de algunos relámpagos.

El 20 de Septiembre de 1786, Galvani, prosiguiendo sus estudios acerca de la influencia de la electricidad atmosférica en las ranas recién muertas, colgó uno de esos batracios con un gancho de *cobre* de un ba-

randal de *hierro* que limitaba la terraza del Palacio de Zamboni, habitación del sabio italiano.

A la caída de la tarde Galvani se acercó á la balaustrada, tomó el gancho de *cobre* para fijarlo más íntimamente contra el barandal de *hierro* y en este momento se produjeron las contracciones musculares en los miembros del animal.

El aire estaba en calma y el electroscopio no indicaba la existencia de electricidad libre en la atmósfera.

Galvani, sorprendido con este nuevo hecho, repitió los experimentos en su laboratorio, nada más que substituyó al *hierro oxidado* del barandal, una barra de *hierro* nuevo y pulimentado. El fenómeno se repitió igualmente.

Nuevos y variados trabajos llevaron al célebre físico italiano á la conclusión de que *el cuerpo de los animales es una botella de Leyden orgánica*, y formuló así su pensamiento:

1.º El músculo es una botella de Leyden.

2.º El nervio desempeña el papel de simple conductor.

3.º La electricidad positiva circula del interior del músculo al nervio, y del nervio al músculo, á través del arco excitador.

Habían pasado 11 años, desde la primera experiencia, de 1780 hasta 1791, y Galvani no había dado á conocer al mundo científico el resultado de sus trabajos. Galvani presentó la relación clara, precisa y metódica de sus experimentos á la Academia de Bolonia. Su trabajo titulado: *De viribus electricitates in motu musculari*, es una de las obras maestras del siglo XVIII.

Muchos escritores han querido rebajar el mérito de

Galvani ante los trabajos de Volta; pero sin los trabajos asiduos y perseverantes de Galvani, durante 11 años, no conoceríamos, tal vez, una de las fuerzas físicas más poderosas, si es que no la más de todas.

Grande sensación produjo en toda Europa el descubrimiento de Galvani. Volta (\*), compatriota de Galvani, aceptó y aun aplaudió al principio las teorías del físico de Bolonia; pero más tarde no aceptó la idea de que la electricidad tenía origen en el cuerpo del animal, sino que asentó la siguiente teoría:

*Cuando dos metales diferentes están en contacto uno con otro, el hecho de ese contacto y de esa heterogeneidad de naturaleza, produce un desarrollo de electricidad.*

Experimentos curiosos y delicados hicieron tanto Galvani como Volta para sostener, apoyar y defender, el primero, su teoría de la *electricidad animal* y el segundo su teoría de la *electricidad metálica*.

Hay que hacer notar, por ser de justicia, que en 1792, Fabroni, un químico florentino, hombre de mucho talento, presentó á la teoría de Galvani una objeción que preocupó mucho al sabio de Bolonia, y que si hubiera sido defendida con más calor, habría dado la clave del asunto.

Fabroni previó, no obstante, que la química no había prosperado mucho, que el verdadero origen de la electricidad en la experiencia de Galvani, era la acción química ejercida por el oxígeno del aire sobre los metales en contacto, cuando el arco excitador estaba formado por dos metales diferentes, ó la

(\*) Alejandro Volta nació en Como, el día 19 de Febrero de 1745, murió el 5 de Marzo de 1827.

acción química de los líquidos del cuerpo del animal, cuando el conductor está formado de un solo metal.

Fabroni había observado con admiración ciertos fenómenos que le daban una explicación química de los fenómenos del galvanismo.

Había notado que los metales puros están al abrigo de la acción del oxígeno del aire, mientras que los metales impuros, ya un poco oxidados ó mezclados con otros, se oxidan con gran rapidez.

Se había fijado, al visitar un Museo, que inscripciones antiquísimas grabadas en plomo habían resistido admirablemente á la acción de los siglos, mientras que medallas formadas por una liga de plomo, antimonio y arsénico estaban casi reducidas á polvo.

Había notado también que el mercurio químicamente puro conserva su brillo, aun cuando esté por largo tiempo expuesto al aire, mientras que el mismo metal, ligado con una cantidad pequeñísima, insignificante, de estaño, se oxida con la mayor rapidez.

Fabroni pensaba que en las experiencias de Galvani los líquidos contenidos en el cuerpo del animal oxidaban el arco metálico excitador, simple ó compuesto, y que esta acción química era la causa de los fenómenos eléctricos observados.

Vemos, pues, que desde el año de 1792 se había dado la verdadera explicación del galvanismo; pero la teoría de Galvani fué recibida, aun en Italia, con el mayor desdén.

Fué á mediados del año de 1799 cuando Volta construyó la pila que lleva su nombre, y en Marzo de 1800 envió al Presidente de la Sociedad Real de

Londres una carta en la que le daba cuenta de su invento (\*).

347. El experimento de Galvani, tal como se repite anualmente en los gabinetes, consiste en dividir á una rana á la altura de los nervios lumbares, en seguida se le despoja de la piel, y después, haciendo uso de un compás, una de cuyas ramas es

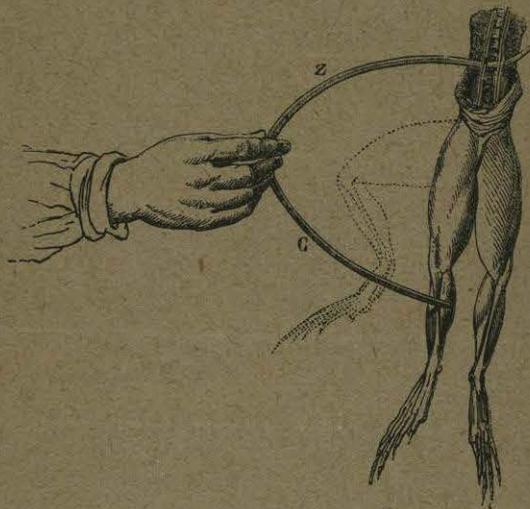


Fig. 339. Experimento de Galvani.]

de cobre y la otra de zinc, se toca con el cobre los nervios lumbares, y al tocar con el zinc el muslo del animal se observa en aquellos restos unas vivas contracciones.

(\*) El día 28 de Mayo de 1899, la Sociedad Mexicana para el cultivo de las Ciencias y la Sociedad «Alejandro Volta», formadas por alumnas de la Escuela Normal, celebraron una sesión solemne con motivo del primer centenario del invento de la pila eléctrica.

PILA DE VOLTA

348. La pila de Volta se compone de una sucesión de discos de cobre y de zinc soldados entre sí. Estos pares de zinc se van colocando unos encima de otros,

teniendo cuidado de que vayan todos en el mismo orden; además, entre cada *par* se ponen unos discos de paño empapados en agua acidulada con ácido sulfúrico. La columna de discos está sostenida entre tres columnas de cristal que se fijan tanto en la parte superior como en la inferior en unas bases de madera. Del primer cobre y del último zinc salen unos alambres que reciben el nombre de *reóforos*. El zinc forma el *polo negativo* y el cobre el *polo positivo*. En la pila de Volta parece que el cobre inferior es el polo negativo, pero en realidad lo es el zinc, pues el cobre no hace más que veces de conductor; lo mismo decimos del zinc superior que sólo conduce la electricidad positiva del cobre con quien se halla soldado. La electricidad positiva se designa con *más* (+) y la negativa con *menos* (-).

La reacción en esta pila se expresa de la manera siguiente:

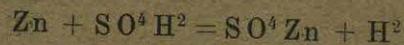
El zinc, lo mismo que el hierro, níquel, cobalto,



Fig. 340. Pila de Volta.]

romo, vanadio, cadmio, indio y uranio, tiene la propiedad de descomponer el agua á la temperatura ordinaria, en presencia de un ácido enérgico, pues si no hay ácido de por medio, la descomposición se efectúa sólo á la temperatura del rojo sombrío.

En presencia del ácido sulfúrico el zinc descompone el agua en sus elementos O é H; se combina con el O para formar protóxido de zinc, y deja libre al hidrógeno; entonces el óxido de zinc desaloja una molécula de agua del ácido sulfúrico y se forma sulfato de zinc.



Esta sucesión de reacciones produce la corriente eléctrica.

Esta primera pila presentaba graves inconvenientes; la solución ácida se debilita constantemente por la combinación del ácido con el zinc, y el sulfato de zinc que se forma es un cuerpo mal conductor de la electricidad.

Se establecen, además, tensiones eléctricas secundarias, es decir, en sentido contrario al de la corriente principal, y que tienen sobre todo, como causa, la formación de una capa de hidrógeno naciente en la superficie del cobre.

349. *Pila de Cruikshank.*—El señor Cruikshank, para quitar á la pila de Volta algunos de sus inconvenientes, construyó la pila de *artesa*, que se compone de una caja alargada de madera muy bien barnizada, dividida en muchos compartimientos por medio de unos tabiques de cobre y zinc soldados. Estos compartimientos son los que se llenan con el agua acidulada. En el primero y último comparti-

mento se introducen unas láminas de cobre de donde salen los alambres ó reóforos.

En la pila de Volta el peso de los *pares* hacia que el agua acidulada fuera desalojada de los discos de

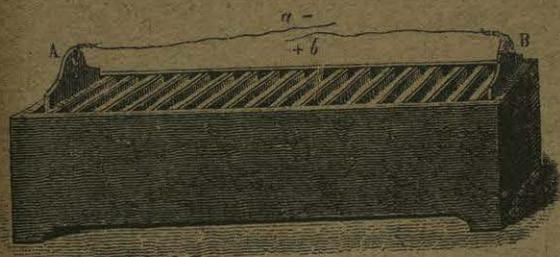


Fig. 341. Pila de Cruikshank.

mento y al escurrir á lo largo de los discos metálicos se producía una evaporación y se establecían corrientes secundarias. Nada de esto pasa en la pila de Cruikshank (cuya reacción es idéntica á la de la pila de Volta), pero presenta además del inconveniente del depósito del hidrógeno sobre las láminas de cobre, el de que hay que estar vaciando los compartimientos cada vez que no vaya á emplearse la pila. Wollaston cons-

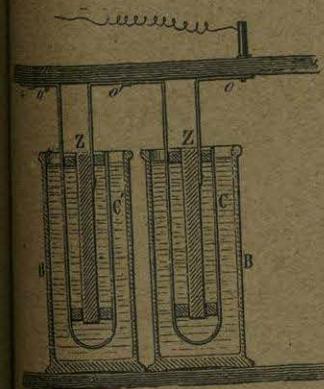


Fig. 342. Pila de Wollaston.

truyó entonces una pila que es un perfeccionamiento de las anteriores.

350. *Pila de Wollaston.*—Esta pila se compone de una lámina de cobre encorvada primero en án-

gulo recto y después en forma de U. El lado horizontal del ángulo recto va fijo en un soporte de madera que puede resbalar á lo largo de dos columnas. Del lado vertical del ángulo recto cuelga una lámina de zinc. Este conjunto constituye el primer par. Del soporte de madera cuelgan varios pares iguales, los que pueden introducirse en un vaso grande que contiene agua acidulada con ácido sulfúrico. El primer cobre, que está soldado á un zinc, representa el polo negativo de la pila, mientras que el último cobre, que no está soldado á ningún zinc, es el polo positivo. Para que la pila funcione no hay más que sumergir los pares en el agua acidulada. Ya que no se necesita la pila se levanta el soporte para impedir el contacto entre el zinc y el agua acidulada.

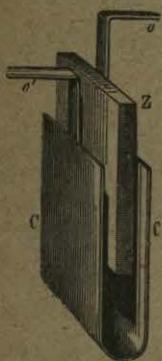
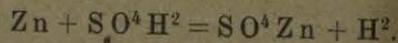


Fig. 343. Un elemento aislado.

La reacción de esta pila es igual á la de las dos anteriores:



En toda clase de pilas se recomienda que el zinc esté amalgamado, es decir, frotado con mercurio, con lo que se consigue que el ácido sólo ataque al zinc cuando el circuito esté cerrado; además, estando el zinc amalgamado las burbujas de hidrógeno no se depositan sobre él, y por lo tanto, no lo aíslan del contacto con el agua acidulada.

351. *Polarización de la pila.* — En las pilas que acabamos de estudiar la intensidad de la corriente decrece rápidamente, tanto porque la acción química disminuye á causa de la neutralización del ácido sulfúrico, como porque el hidrógeno se depo-

se en las láminas de cobre y además de presentar un obstáculo mecánico por el paso de la corriente, establece corrientes secundarias en sentido contrario de la corriente principal. Este fenómeno se conoce con el nombre de *polarización* de la pila. Para evitar estos inconvenientes se han construido pilas de dos líquidos separados por un vaso poroso conteniendo un cuerpo susceptible de proporcionar oxígeno al hidrógeno para formar agua. Ese cuerpo ha recibido el nombre de *despolarizador*.

352. *Pila de Daniell.* — El químico inglés Daniell es quien, en 1836, construyó la primera pila de corriente constante, empleando el sulfato de cobre como cuerpo despolarizador.

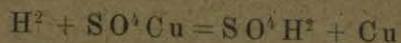
Se compone esta pila de un vaso de cristal que contiene una solución saturada de sulfato de cobre; dentro de este vaso va un cilindro de cobre que lleva una cajita llena de cristales de sulfato de de cobre y con alambros en el fondo. Estos cristales están destinados á mantener la solución constante saturada. Dentro del cilindro de cobre va un vaso poroso que contiene agua acidulada con ácido sulfúrico y dentro está un prisma de zinc.

Las reacciones son las siguientes:

En presencia del ácido sulfúrico el zinc descompone el agua en sus elementos O é H; se combina con el O para formar protóxido de zinc, y deja libre el hidrógeno; entonces el óxido de zinc desaloja una molécula de agua del ácido sulfúrico y se forma sulfato de zinc. Esta primera reacción es la que se verifica en las pilas de Volta, Cruishank y Wollaston.

El hidrógeno, libre, atraviesa el vaso poroso y se encuentra en contacto con el sulfato de cobre. Los

cuerpos al estado nascente están dotados de gran energía, así es que el H descompone al sulfato de cobre, desalojando al metal y se forma entonces ácido sulfúrico, según lo expresa la fórmula siguiente:



Como el sulfato de cobre se va gastando por la acción del H, se necesita tener un depósito de cristales de esa sal, con objeto de que la solución conserve siempre el mismo grado de saturación.

Esta pila es de corriente constante y se utiliza

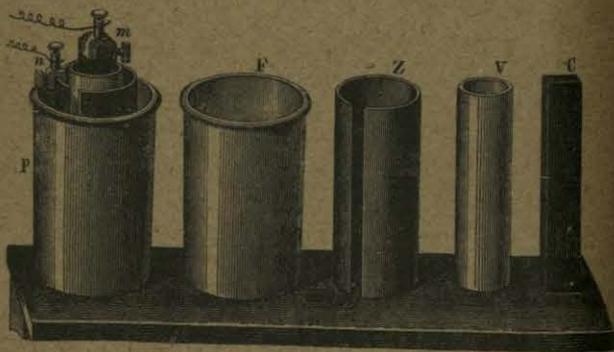


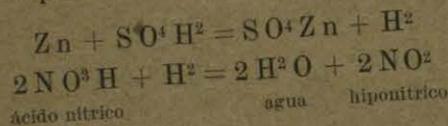
Fig. 344. Pila de Bunsen.

aunque con ligeras modificaciones, en las líneas telegráficas.

353. *Pila de Bunsen.* — La pila de Bunsen se compone de un vaso de cristal, dentro de éste hay un cilindro de zinc que tiene una ranura longitudinal, más adentro sigue un vaso poroso y dentro de éste hay una prisma de carbón. Del vaso de zinc sale un alambre que forma el *electrodo negativo*, y del prisma de carbón sale otro alambre que forma el *electrodo positivo*.

para que funcione la pila se vierte en el vaso de agua acidulada con ácido sulfúrico, y en el vaso poroso se pone ácido nítrico.

El zinc, en presencia del ácido sulfúrico, descompone el agua quitándole el oxígeno para formar óxido de zinc y combinándose después con el ácido sulfúrico para formar sulfato de zinc. El hidrógeno que quedó en libertad atraviesa el vaso poroso y va á ponerse en contacto con el ácido nítrico, el cual le quita el oxígeno para formar agua, quedando el ácido nítrico convertido poco á poco en hidruro hiponítrico.



Esta sucesión de reacciones químicas es lo que produce la corriente en la pila. Para establecer el circuito no hay más que poner los electrodos en comunicación.

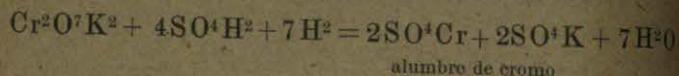
354. *Pila de Grenet.* — La pila de bicromato de potasio ó de Grenet consta de una botella, de cuya tapa penden dos barras de carbón y una de zinc. Esta puede subir ó bajar por medio de un vástago. La pila de Grenet se carga con agua, ácido sulfúrico, bicromato de potasio y una corta cantidad de bisulfato de mercurio. Estas pilas



Fig. 345. Pila de Grenet.

son de gran duración, con tal de tener el zinc levantado mientras la pila no esté en uso.

La reacción principal es la siguiente:



355. *Pila de Leclanché.* — La pila de Leclanché se compone de un vaso de cristal con una solución concentrada de clorhidrato de amoníaco. El polo negativo lo forma una barra de zinc amalgamado y el polo positivo está formado por un prisma de carbón de retorta que se sumerge en un vaso poroso lleno con una mezcla de bióxido de manganeso y coke.

Reacción:

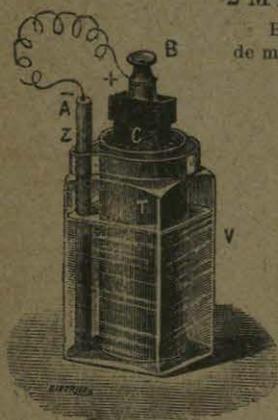
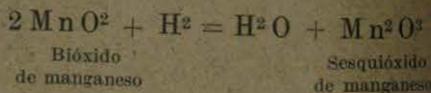
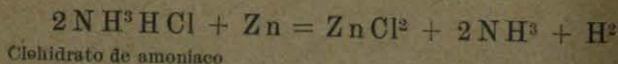


Fig. 346. Pila de Leclanché.

Ahora se define el *Volt* diciendo que es los 71 centésimos de la fuerza electromotriz de un elemento Gouy.

356. *Volt.* — *Elemento de Gouy.* — Antiguamente se definía el *Volt* diciendo que era la fuerza electromotriz desarrollada por un elemento de Daniell en el cual se cambiaba la solución de sulfato de cobre por otra de nitrato de cobre.

Ahora se define el *Volt* diciendo que es los 71 centésimos de la fuerza electromotriz de un elemento Gouy.

Este elemento se compone de un pequeño frasco de vidrio con dos bocas en cuyo fondo se pone mercurio. Por una de las bocas pasa un tubo de cristal que lleva un alambre de platino, el cual va á sumergirse en el mercurio. Se acaba de llenar el frasco con óxido rojo de mercurio y una disolución de sulfato de zinc. Por

otra boca del frasco pasa un tubito de ensaye, talarado, y que contiene una barra de zinc amalgamado.

Otro elemento-tipo que se parece mucho al anterior es el de Latimer-Clark y los 67 centésimos de su fuerza electromotriz corresponden á un *Volt*.

357. *Ampere.* — La intensidad de una corriente eléctrica está enteramente subordinada á la cantidad de electricidad que pasa en un segundo, por una sección transversal de un punto cualquiera del conductor interpolar.

Esta unidad de intensidad es el *Ampere* y se define diciendo que es la intensidad de una corriente que suministra 1 coulomb por segundo. La intensidad de las corrientes eléctricas está sometida á las dos leyes siguientes, llamadas leyes de Ohm:

- 1.<sup>a</sup> La intensidad de una corriente es directamente proporcional á la fuerza electromotriz de la pila.
- 2.<sup>a</sup> Es inversamente proporcional á la resistencia total de circuito.

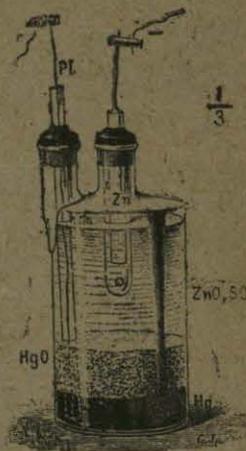


Fig. 347. Elemento de Gouy.

358. *Ohm*.—La unidad de resistencia, ó sea el *Ohm*, es la de un conductor en el que una fuerza electromotriz de 1 volt desarrolla una intensidad de un ampere.

La unidad de resistencia se halla exactamente representada por la resistencia de una columna de mercurio de 1 milimetro cuadrado de sección y de 106,3 centímetros de largo, á la temperatura de 0°.

Ahora bien, como la definición del *volt* tiene que



Fig. 348. Asociación en serie.

subordinarse á las del ampere y del ohm, daremos esta nueva definición:

Se entiende por *VOLT* la fuerza electromotriz que mantiene una corriente de 1 ampere, en un conductor cuya resistencia es de 1 ohm.

359. *Montaje de las pilas*.—Los elementos de una pila pueden asociarse de tres modos diferentes: en fuerza electromotriz ó en serie; en superficie ó en batería; y en asociación mixta.

Se asocian en serie cuando los elementos se van

uniendo por sus polos de nombre contrario. En este caso la fuerza electromotriz de la batería es igual á la suma de las fuerzas electromotrices de cada uno de sus elementos.

En la asociación en batería se unen todos los polos del mismo nombre; es decir, todos los positivos y todos los negativos. En este caso la cantidad de electricidad es igual á la suma de las cantidades suministradas por cada elemento.

Las dos asociaciones, en serie y en batería, se pueden combinar para formar lo que se llama asociación mixta.

Supongamos que se trata de seis elementos; los podemos asociar de tres en tres en serie, y después reunimos en batería los dos positivos libres y los dos negativos libres.

360. *Pilas termoeléctricas*.—Volta descubrió que cuando se calienta desigualmente una lámina de plata en sus extremidades se engendra una corriente eléctrica; pero Seebeck fué quien demostró en 1821 que el movimiento del calor en un circuito metálico da origen á corrientes eléctricas.

El par termoeléctrico de Seebeck se compone de una lámina de cobre *mn*, cuyos extremos se encorvan y se sueldan con otra de bismuto *op*. Dentro del circuito hay una aguja imanada apoyada en un pivote. Se coloca el aparato en la dirección del meridian magnético, y se calienta una de las soldaduras con una lámpara de alcohol; entonces se observa que la aguja se desvía indicando el paso de una corriente en *n* hacia *m*, es decir, de la soldadura caliente á la fría. Si en vez de calentar la soldadura *n*, se la enfría con hielo, conservando á la otra su temperatura, produce también una corriente, pero de sentido

inverso, es decir, que va de *m* á *n*. En ambos casos la intensidad de la corriente es *tanto mayor, cuanto*



Fig. 349. Par termoeléctrico de Seebeck.

*más grande es la diferencia de temperatura de las dos soldaduras.*

361. *Pila de Melloni.*—La pila de Melloni sirve

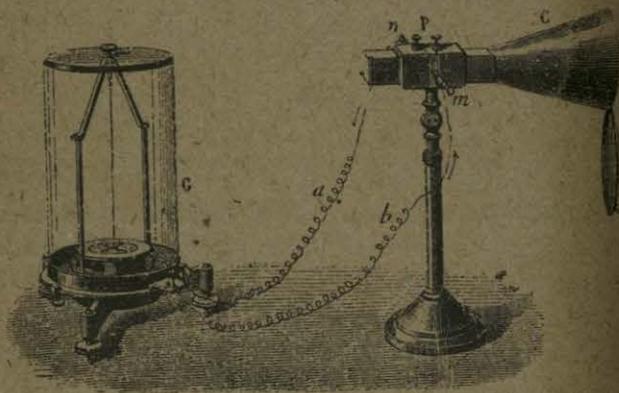


Fig. 350. El termomultiplicador de Melloni.

para acumular las fuerzas electromotrices de las corrientes termoeléctricas. Se compone de una serie de

varras de antimonio y de bismuto, soldadas mutuamente y dobladas de manera que todas las soldaduras pares se hallen de un lado y las impares del opuesto. La pila está guardada dentro de una cajita prismática de metal que lleva un cono y comunica con un galvanómetro, aparato indicador de corriente.

362. *Acumuladores.*—Indicamos que las corrientes secundarias, debidas á la polarización, son causa de que la intensidad se debilite rápidamente desde el principio del funcionamiento, y vimos que podía evitarse ese inconveniente empleando cuerpos *despolarizadores*.

El Sr. Planté tuvo la idea de utilizar las corrientes secundarias debidas á la polarización para construir las pilas secundarias ó *acumuladores*.

Un *acumulador* se compone de láminas de plomo colocadas paralelamente y muy cerca una de otra en un vaso con agua acidulada. Las láminas pares, así como las impares, se hallan reunidas por medio de una varilla metálica que las pone en comunicación con el manantial eléctrico de *carga*. Este manantial es comúnmente una máquina dinamoeléctrica de corriente continua. Al pasar la corriente de carga, las láminas de plomo (que deben ser porosas) se vuelven electrodos, y el agua se descompone, dirigiéndose el hidrógeno hacia las láminas negativas, en las que es absorbido y condensado, mientras que el oxígeno se combina con las láminas positivas formando *peróxido de plomo*. En el momento en que se observe un abundante desprendimiento de hidrógeno en las láminas negativas, es porque el acumulador tiene ya su carga máxima. Se suspende la corriente de carga, y el acumulador puede permanecer cargado por

mucho tiempo, mientras no se cierre el circuito exterior. Pero si se cierra el circuito se produce en el acto una *corriente de descarga* en sentido inverso á la corriente de carga.

La cantidad de electricidad que suministra el acumulador es casi igual á la que fué necesaria para cargarla.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA PILA

363. Los efectos producidos por la electricidad dinámica pueden ser: *fisiológicos, caloríficos, luminosos, mecánicos, químicos, magnéticos é inductores.*

364. *Efectos fisiológicos.*— Ya hemos visto que la electricidad dinámica es capaz de producir contracciones musculares. Con pilas poderosas las conmociones y contracciones pueden ser muy enérgicas.

Tomando en ambas manos los electrodos de una fuerte batería se experimenta una conmoción violenta, comparable á la que produce la descarga de la botella de Leyden, sobre todo si las manos están mojadas con agua acidulada, lo que aumenta su conductibilidad.

Los efectos fisiológicos de las corrientes no son iguales en los nervios sensitivos, en los nervios motores y en los músculos. Si la corriente obra únicamente sobre los primeros, hay dolor; si sobre los segundos, hay conmoción, y si sobre los músculos hay contracción; para esto se necesita que la corriente sea de fuerte tensión.

365. *Efectos caloríficos.*— Una corriente eléctrica pasando por un hilo metálico lo calienta hasta el rojo y aun puede fundirlo y volatizarlo. El carbón es el único cuerpo que no ha podido ser fundido por la

la. El físico Despretz, con una batería de 600 elementos de Bunsen, ha logrado ablandar, encorvar y soldar, unas con otras, barritas de carbón. En estos mismos experimentos logró convertir al diamante en grafito.

Un líquido se calienta por el paso de la corriente, tanto más cuanto que el líquido es menos buen conductor.

366. *Efectos luminosos.*— La pila es un manantial poderoso de luz. Los efectos luminosos se manifiestan por chispas, por la incandescencia de sustancias colocadas entre sus polos y por el arco voltaico. Un hilo de hierro ó de platino, de un grueso tal que no se funde por el paso de la corriente, se pone incandescente y da una luz muy viva mientras la pila está en actividad. Si el hilo está enrollado en forma de espiral, el efecto luminoso aumenta.

Pero para obtener el hermoso resplandor de la luz eléctrica hay que comunicar los electrodos con dos coque de carbón que pueden alejarse con ayuda de un piñón. Se comienza por poner las puntas en contacto, y luego ya que está pasando la corriente se les separa, se produce un arco luminoso de brillo deslumbrador que ha recibido el nombre de *arco voltaico*.

367. *Efectos mecánicos.*— El Profesor Daniell demuestra la acción mecánica de las corrientes por medio de un tubo de cristal de 50 centímetros de longitud, encorvado en ángulo recto en sus dos extremidades.



Fig. 351. El arco voltaico.

Se llena el tubo con agua acidulada y se introduce en el agua un glóbulo de mercurio. El tubo está sostenido por un pie metálico. Introduciendo en las pequeñas ramas del tubo los electrodos de una batería de pilas, se observa que el glóbulo de mercurio se alarga y avanza del polo positivo al negativo con una velocidad que aumenta con el número de elementos. Si se invierte el sentido de la corriente, el mercurio se detiene un momento, y después comienza á caminar en sentido contrario.

368. *Efectos químicos.* — El primer efecto químico de la pila fué observado el 30 de Abril del año de 1800, por los físicos ingleses Carlisle y Nicholson, quienes con una pila de Volta descompusieron el agua en sus elementos.

El aparato que se emplea para este experimento se llama *vollámetro*, y consiste en una copa de cristal cuyo fondo está atravesado por dos vástagos de platino que pueden comunicar con los polos de uno ó dos elementos de Bunsen. Se pone agua en la copa y sobre cada uno de los vástagos se colocan unas probetas de cristal, graduadas, invertidas y llenas de agua. Para descomponer el agua debe acidularse con unas gotas de sulfúrico, pues el agua pura no conduce bien la electricidad.

Una vez establecido el circuito se observa que de ambos vástagos se desprenden unas burbujas gaseosas que por su menor densidad van á ocupar la parte superior de las probetas. Al cabo de diez minutos se observa que el gas que ocupa la probeta negativa tiene un volumen doble del gas que ocupa la probeta positiva.

El primero es el hidrógeno y el segundo es el oxígeno. Con este experimento hacemos el análisis cualitativo y cuantitativo del agua.

Las sustancias que, como el agua, se descomponen por el paso de una corriente, reciben el nombre de *electrolitos*, y el hecho de la descomposición por la corriente se llama *electrolisis*. Las superficies metálicas que establecen la comunicación entre el electrolito y el circuito se llaman *electrodos*.

La corriente eléctrica descompone á los compuestos binarios y á las oxisales.

Si se trata de un óxido metálico, el oxígeno se dirige al polo positivo y el metal al negativo. En

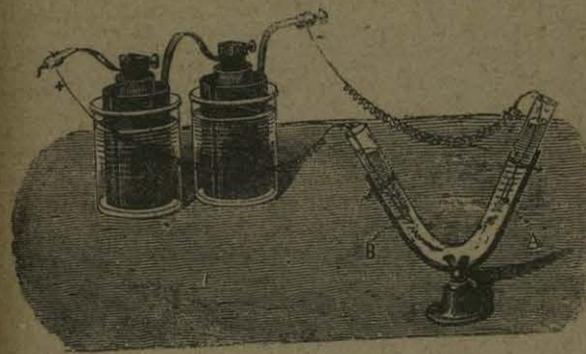


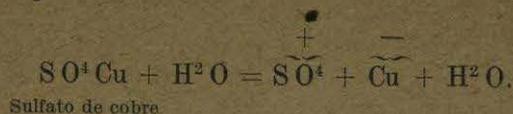
Fig. 352. Descomposición de una sal por la pila.

los hidrácidos el radical se va al polo positivo y el hidrógeno al negativo. En el caso de sales haloides como los cloruros, bromuros, ioduros, el metal se deposita en el polo negativo y el cloro, el bromo, el iodo, se dirigen al polo positivo.

Tratándose de las sales la descomposición se opera de la manera siguiente:

*El metal de la sal se deposita en el polo negativo, mientras que el ácido y el oxígeno del óxido se dirigen al polo positivo.*

Ejemplo:



GALVANOPLASTIA

369. La *galvanoplastia*, inventada por Spencer y Jacobi, es un arte que consiste en obtener la reproducción de una medalla ó en la aplicación de una

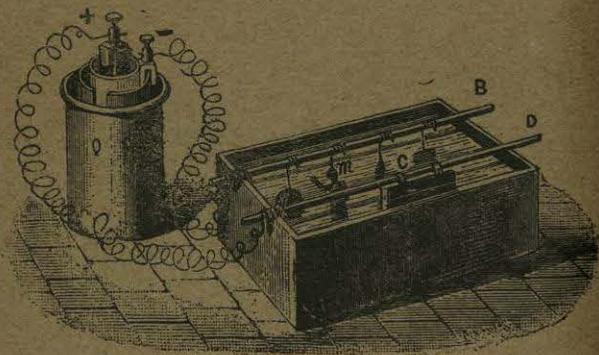


Fig. 353. Cuba galvanoplástica.

capa delgada de metal sobre objetos de arte, descomponiendo una sal de oro, plata, cobre ó níquel por medio de la corriente eléctrica. Se comienza por hacer un molde con estearina ó gutapercha. Este molde se pone en comunicación con el polo negativo de una pila de Bunsen y se sumerge en una solución saturada de sulfato de cobre. Del hilo positivo se suspende una placa de cobre C que también se sumerge en el baño. Al cabo de algunas horas comienza el cobre á depositarse en el molde *m*, el cual ha sido

previamente untado con plumbagina para hacerlo buen conductor.

Conforme se deposita el cobre la solución de sulfato tiende á empobrecerse, pero como el ácido sulfúrico y el oxígeno se dirigen al polo positivo y se combinan con el cobre, el sulfato se regenera constantemente. Por esta razón la plancha de cobre ha recibido el nombre de *electrodo soluble*.

Cuando solamente se trata de la reproducción de pequeños objetos, la pila se coloca en el mismo baño. Dentro del vaso que contiene la solución de sulfato de cobre se introduce un vaso poroso que contiene una lámina de zinc y agua, bastante acidulada con sulfúrico. Sobre esta lámina de zinc se coloca un aro metálico de donde cuelgan los objetos que deben recibir la capa de cobre.

Para el *dorado* se sumergen los cuerpos que se quiere dorar en una disolución de 100 partes de agua, 10 de cianuro amarillo de hierro y potasio, 5 de cianuro de oro y 5 de carbonato de sodio. Del electrodo positivo cuelga una laminita de oro.

La fórmula para el *plateado* difiere de la anterior en que en lugar de cianuro de oro se pone cianuro de plata.

Para el níquelado se emplea una sal doble que es el sulfato de níquel y de amoníaco.