

pues, que antes del descubrimiento de Schonbein los observadores habían reconocido la presencia de un agente característico. Van Marum creía que este olor era el de la materia eléctrica; Franklin veía en él una analogía más entre la electricidad desarrollada en las máquinas y la electricidad atmosférica.

Uno de los efectos más dignos de estudio de cuantos produce la electricidad es su acción sobre una aguja de acero situada cerca de ella. Puede comunicarle la virtud magnética si se halla en estado neutro, ó si la aguja está imanada puede invertir ó cambiar sus polos. Franklin fué el primero que inventó este medio de imanar barritas de acero, para lo cual se valía de una botella de Leyden. Kinnersley hizo pasar en cierta ocasión una descarga eléctrica por un alambre, y vió que la aguja imanada oscilaba sobre su eje en el momento en que el fluido atravesaba el alambre. Estos hechos no adquirieron verdadera importancia hasta que en 1820 el físico sueco (Erstedt descubrió la influencia de las corrientes voltaicas en la aguja imanada. Más adelante estudiaremos estos hechos que han enriquecido la ciencia con una rama nueva, el *Electro-magnetismo*.

Para terminar este artículo, réstanos describir los efectos fisiológicos de la electricidad, ó sea los fenómenos que ocurren cuando se hace pasar el fluido á través del cuerpo del hombre ó del de los animales.

Ya hemos indicado algo acerca de la violenta sacudida que produce la descarga de una botella de Leyden, la cual se siente principalmente en las articulaciones del brazo y de la muñeca, de las corvas y de los pies. Cuando muchas personas hacen la cadena, no hay diferencia apreciable en la fuerza de la conmoción experimentada por unas y otras, siendo tan viva para las situadas en medio como para las que tienen asidos, en los extremos, las armaduras de la botella. Con todo, no sucede lo mismo cuando el número de aquéllas es algo crecido; pero en este caso es probable que la diferencia de intensidad dimane de cierta pérdida de electricidad causada por falta de aislamiento.

Con una botella de Leyden se matan fácilmente animales pequeños, como pájaros. Pero la sensibilidad no depende solamente del volumen del cuerpo ó del tamaño del animal, pues las especies de sangre fría, como los reptiles y batracios, resisten descargas mucho más fuertes que las de sangre caliente.

Sínger da interesantes detalles sobre la impresión que se siente según que la descarga atraviesa esta ó la otra parte del cuerpo: "El fluido eléctrico, dice, parece actuar poderosamente en los nervios, y cuando una conmoción atraviesa alguna parte del cuerpo, siguiendo su trayecto, ocasiona por lo regular graves accidentes. Cuando la descarga de una batería pasa á través de la cabeza de un pájaro, casi siempre resultan lastimados ó destruidos los nervios ópticos, asegurándose que si se hace el experimento en un animal mayor, le sobreviene una postración general de fuerzas acompañada de temblor. En cierta ocasión recibí por un descuido en la cabeza la carga de una fuerte batería; la sensación que experimenté fué una conmoción violenta y general, que me hizo perder momentáneamente la conciencia de mí mismo y me anubló la vista; pero este accidente fué pasajero. Según M. Morgán, si el diafragma se halla situado en el camino que debe seguir el fluido fuertemente acumulado en una superficie armada de dos pies cuadrados, los pulmones hacen un esfuerzo violento y se lanza un grito penetrante; pero cuando la carga es pequeña, casi siempre produce ganas de reír, y hasta las personas graves y flemáticas que no pierden su seriedad ni aun en las circunstancias más dignas de risa, rara vez resisten el poder cómico de la electricidad. Una descarga fuerte ocasiona en el diafragma un efecto seguido con frecuencia de suspiros, lágrimas involuntarias y

hasta desmayos. Si la conmoción atraviesa la columna vertebral debilita los miembros inferiores en tales términos que, si la persona que la sufre está de pie, suele caer de rodillas y á veces de espaldas.

„Como la corriente eléctrica puede ocasionar accidentes más ó menos graves, sobre todo si se hace de ella un uso inmoderado, hay que ser muy precavido en esta clase de experimentos, aun cuando se hagan por recreo y distracción. Sin embargo, parece que no es de temer ningún resultado desagradable cuando el choque se dirige al brazo.,

Las baterías de gran superficie son peligrosas para el hombre y para los animales. Dícese que la del museo Teyler, en Harlem, es bastante poderosa para matar un buey. "La energía de la sacudida excitada en un ser viviente, dice M. Mascart, crece con la diferencia de potencial de los dos conductores puestos en relación, y sobre todo con la cantidad de electricidad. Por esto se puede recibir impunemente chispas de 20 á 30 centímetros dadas por una máquina ordinaria de disco y aun por un carrete de inducción, al paso que puede ser fulminante la descarga de una batería que produzca solamente chispas de unos cuantos milímetros. Del propio modo, á masa eléctrica igual, la descarga de una cascada da una sacudida más violenta que la de una sola botella. Parece, pues, resultar de estas indicaciones generales que la sacudida fisiológica varía en el mismo sentido que la energía eléctrica de la descarga. Hay sin embargo otra circunstancia que desempeña un papel muy importante, y es la duración del fenómeno: la sacudida es muy débil cuando se descarga una batería por el intermedio de una cuerda mojada; puede ser soportable cuando se tocan con las manos bien secas las dos armaduras de la misma batería, y es notablemente enérgica si se mojan las manos para hacerlas más conductoras.,

La influencia fisiológica de la electricidad, ya se la aplique en forma de descargas disruptivas, con producción de chispas aisladas ó sucesivas, ó bien en forma de corrientes continuas, exigiría largos y minuciosos detalles que holgarían en este sitio.

Quando tratemos de los aparatos de electricidad médica, volveremos á ocuparnos de este asunto. Posteriormente al abate Nollet, han estudiado muchos sabios esta cuestión que requiere profundos conocimientos en física y una competencia especial en biología.

## CAPITULO VI

### LA PILA

#### I

##### EXPERIMENTOS DE GALVANI.—DESCUBRIMIENTOS DE VOLTA

En todos los experimentos que hasta ahora hemos descrito, el manantial único de la electricidad desarrollada en la superficie de los cuerpos es una acción mecánica, la fricción. Era también el único que se conocía á fines del pasado siglo, cuando una feliz casualidad reveló de pronto á los físicos un nuevo medio de producir el misterioso agente, dando lugar á una serie de descubrimientos del mayor interés, así por lo que respecta á la ciencia pura como á sus aplicaciones prácticas. Dos grandes nombres van unidos al origen de este movimiento que tanto ha hecho progresar la ciencia de la electricidad: los de Galvani y Volta.



Galvani, sabio médico y profesor de anatomía en la universidad de Bolonia, hallábase en su laboratorio, cierta tarde del año 1780, ocupado con varios amigos en hacer experimentos relativos al fluido nervioso de los animales. Por casualidad había en una mesa, juntamente con una máquina eléctrica que servía para los experimentos, algunas ranas recién desolladas y destinadas para hacer caldo; uno de los ayudantes de Galvani "acercó por distracción la punta de un escalpelo á los nervios crurales internos de uno de aquellos animales, y al punto parecieron agitados de violentas convulsiones todos los músculos de los miembros. La esposa de Galvani estaba presente, y llamándole la atención la novedad del caso, creyó notar que era simultáneo del desprendimiento de la chispa eléctrica., (P. Sue, *Historia del Galvanismo.*) Al punto advirtió de ello á su marido, el cual se apresuró á comprobar tan curioso fenómeno, y reconoció que, en efecto, las contracciones musculares de la rana sobrevenían siempre que se sacaba una chispa y cesaban cuando la máquina estaba en reposo.

Esta observación fué para el médico bolonés el punto de partida de muchos experimentos, mediante los cuales trató de probar la identidad del fluido nervioso de los animales y de la electricidad. En 1786 continuaba aún dedicado á estas investigaciones. Queriendo un día ver si la influencia de la electricidad atmosférica en los músculos de las ranas era la misma que la de la electricidad producida en las máquinas, colgó cierto número de ellas desolladas en la baranda de la azotea de su casa, ligando á los hierros los miembros inferiores de dichos animales con un alambre de cobre que pasaba por debajo de los nervios lumbares. Galvani observó con sorpresa que siempre que las patas de las ranas tocaban la baranda, se contraían sus miembros con fuertes convulsiones, aunque en aquel momento no se notaba el menor indicio de nube tempestuosa, ni por consiguiente influencia eléctrica de la atmósfera.

Estos hechos sugirieron á Galvani la idea de que existía una electricidad peculiar á los animales, inherente á su organización; que esta electricidad, segregada por el cerebro, reside especialmente en los nervios, los cuales la comunican al cuerpo entero; que "los depósitos principales de esta electricidad animal son los músculos, cada una de cuyas fibras puede considerarse con dos superficies, y dotada por este medio de las dos electricidades positiva y negativa, y haciendo además las veces, por decirlo así, de una botella de Leyden, cuyos conductores son los nervios., En virtud de esta teoría, asimiló las contracciones musculares observadas en las ranas y otros animales á las conmociones que produce la descarga de una botella de Leyden.

Alejandro Volta, á la sazón profesor en Pavía, reprodujo los experimentos de Galvani, pero no tardó en modificar sus explicaciones. En su concepto, la electricidad desarrollada era de la misma naturaleza que la que producen los aparatos eléctricos, y el contacto de los metales heterogéneos el que producía la electricidad, cargándose uno de ellos de electricidad positiva y de negativa el otro, las cuales se combinan al atravesar el medio conductor de los músculos y de los nervios.

Entonces se entabló entre los dos célebres físicos una discusión honrosa para ambos, y sobre todo provechosa para la ciencia, que se enriqueció con multitud de hechos nuevos. La invención del maravilloso aparato que recibió el nombre de pila de Volta hizo prevalecer por fin la teoría del profesor de Pavía, aun cuando se tenga en parte por verdadera la hipótesis de Galvani sobre la existencia de la electricidad animal y se hayan modificado sobre manera las ideas de Volta. Pero no es este el lugar á propósito para historiar la competencia de la lucha que acabamos de recordar y de las prolijas investigaciones anejas á ella; por lo cual nos limitaremos á describir los principales fe-

nómenos que se relacionan con esta rama de la electricidad y á exponer las explicaciones que hoy se dan de ellos.

Acabamos de ver que Volta creía que bastaba el contacto de dos metales diferentes para desarrollar electricidad. Con objeto de estudiar las circunstancias de este desarrollo, discurrió un electroscopio más sensible que el de hojas de oro y que es el que dejamos descrito en el capítulo anterior. Cogiendo entonces una placa compuesta de dos pedazos de cobre y zinc soldados uno á otro, puso el cobre en contacto con uno de los platillos del condensador, y el otro platillo en comunicación con el suelo, aplicándole al efecto un dedo (fig. 142). Apenas quedaron interrumpidas las comunicaciones, las hojas ó panes de oro divergieron, y reconoció que el platillo inferior se había cargado de electricidad negativa. Volta dedujo de este experimento que había bastado el simple contacto de los dos metales para desarrollar en el cobre la electricidad negativa cuya presencia indicaba el electrómetro, y en el zinc la electricidad positiva que pasaba á tierra por el cuerpo del observador. Lo que le confirmó en esta idea fué que después de muchas tentativas, infructuosas en un principio, acabó por comprobar la existencia de la electricidad positiva en el zinc, tocando el platillo del aparato con este metal; verdad es que para conseguir este resultado tuvo que interponer entre el zinc y el cobre un trozo de paño empapado en agua acidulada.

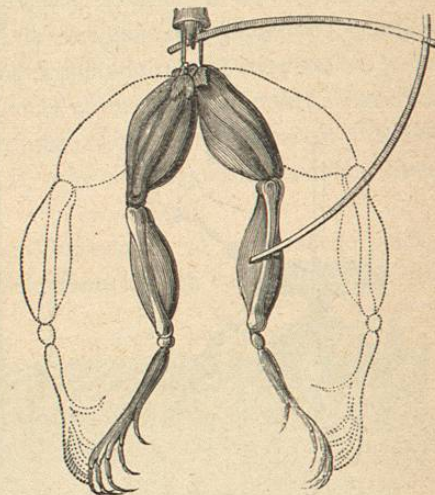


Fig. 141.—Contracción de los músculos de una rana. Experimento de Galvani

En todo esto Volta no tenía en cuenta para nada el contacto de los dedos, siempre más ó menos húmedos, con el zinc, metal muy oxidable; ni la influencia del agua acidulada sobre el mismo metal, en el segundo experimento. A pesar de esto, supuso que el contacto de dos metales diferentes y, en general, de dos cuerpos heterogéneos, ocasiona el desarrollo de una fuerza á la que dió el nombre de *fuerza electromotriz*, porque impide la combinación de las electricidades opuestas producidas en cada uno de dichos cuerpos por el contacto de sus superficies. Aunque hoy tengamos por inexactas ó cuando menos por incompletas estas miras teóricas, el hecho que con ellas se proponía explicar era real y positivo, y sugirió al ilustre físico la construcción de un aparato considerado justamente como el descubrimiento capital de las ciencias físicas en los tiempos modernos. Nos referimos á la pila que lleva su nombre, á la *pila de Volta*, ideada en el año 1800.

He aquí en qué consiste este aparato, tan sencillo como maravilloso.

Dos discos superpuestos, uno de cobre y otro de zinc, forman lo que Volta llamaba un *par electromotor*. Colócanse varios de estos pares unos sobre otros de modo que los dos metales estén siempre situados por el mismo orden, el cobre abajo y el zinc arriba por hipótesis. Además se separan dos pares cualesquiera con rodajas de paño, empapadas en agua acidulada en la que se han echado además algunas gotas de ácido sulfúrico. El conjunto de estos pares, con los que se forma una columna cilíndrica ó pila (fig. 143), está sostenido verticalmente por tres cilindros macizos de vidrio y descansa en un disco aislador de vidrio también, el cual reposa á su vez en una peana de



madera. Tal es la pila como á la sazón la construía Volta y que después ha sufrido muchas modificaciones de las que nos ocuparemos á continuación. Véase ahora cuáles son sus propiedades.

Cada par se carga de electricidad de un extremo á otro de la columna cilíndrica, electricidad positiva en el zinc y negativa en el cobre, de lo cual es fácil cerciorarse con un electrómetro condensador. Pero la tensión eléctrica varía según la distancia de cada par á los dos extremos de la pila; en medio, aquella es nula; á partir de aquí, la negativa va creciendo hasta el par inferior y la positiva también hasta el superior. Cuanto mayor sea el número de elementos ó pares, más considerables son las tensiones de la electricidad en los dos extremos de la pila.

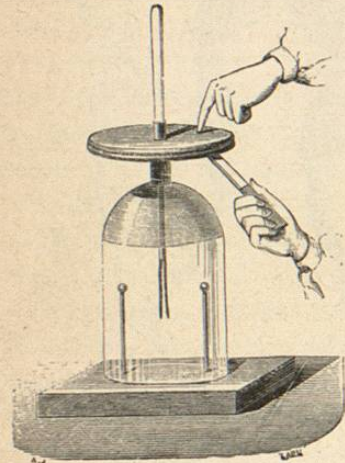


Fig. 142.—Condensador de Volta: experimento sobre la electricidad de contacto.

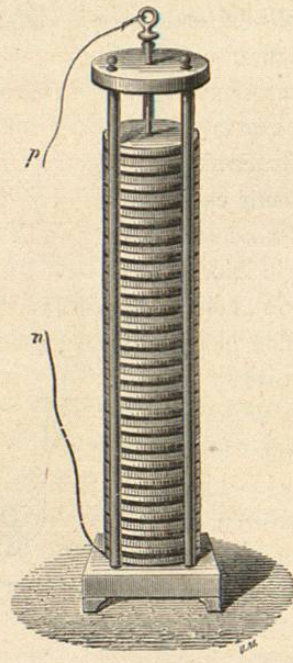


Fig. 143.—Pila de Volta ó de columna

En la construída por Volta tal como acabamos de describirla, un disco de cobre forma la extremidad inferior, al paso que la superior termina en uno de zinc. Uno y otro quedaron suprimidos en las pilas de columnas que se fueron construyendo posteriormente. Volta creía que el verdadero par electromotor lo constituía la unión de los dos metales puestos en contacto, y que la rodaja de paño hacía solamente las veces de conductor. Hoy está probado que la fuerza electromotriz tiene origen en la superficie de contacto del paño húmedo

y del zinc por efecto de la combinación química del metal con el ácido; por consiguiente, el verdadero par lo forman el zinc y el cobre separados por el líquido de que está empapado el paño. Son inútiles, pues, el disco de cobre del extremo inferior y el de zinc del superior, y en su consecuencia se los suprime. Pero después de esta supresión, las tensiones eléctricas continúan distribuídas como lo estaban antes, esto es, la tensión es negativa en el zinc inferior y positiva en el cobre superior, de lo cual proceden los nombres de *polo positivo* y *polo negativo* dados á los extremos zinc y cobre de la pila.

Construída y cargada la pila de este modo, si se ponen en comunicación los dos polos con un cuerpo conductor, las dos electricidades opuestas se combinan y en el momento del contacto ocurre una descarga. Tocando por ejemplo el polo positivo con una mano y el negativo con la otra, se siente una conmoción parecida á la que causa la botella de Leyden, y si se prolonga el contacto, se experimenta en las manos una sensación particular de calor y cosquilleo (1). Si se reúnen ambos polos con dos alam-

(1) "La sensación que se nota al hacer experimentos con la pila, dice P. Sue en su *Historia del Galvanismo*, se asemeja al efecto de una carga débil en una gran batería eléctrica. Su acción es tan tenue, que su

bres soldados, uno al cobre y otro al zinc, brota una chispa en el instante en que se tocan los hilos; tras cuya descarga parcial vuelve á cargarse la pila, y se pueden reproducir largo tiempo los mismos fenómenos. La propiedad que tiene la pila de desarrollar electricidad de una manera continua es lo que caracteriza á tan precioso aparato, produciendo los variados efectos que más adelante describiremos.

## II

## DIFERENTES FORMAS DE LA PILA DE VOLTA

Se han dado á la pila de Volta formas muy variadas, discurridas con el objeto de hacer su uso más cómodo y sobre todo de aumentar su energía. La primitiva pila de columna perdía en breve esta energía á causa de escaparse el líquido que iba goteando por efecto del peso de los elementos, dando por resultado que se secaban los pedazos de paño cuyo poder conductor disminuía. Además, su montaje era pesado y su manejo poco cómodo, de suerte que muy en breve se juzgó necesario modificar su disposición, por lo cual se idearon pilas de distintas formas; más el principio de cuantas vamos á describir es el mismo que el de la de Volta.

La *pila de artesa* (fig. 144), inventada por Cruikshank, se compone de placas de zinc y cobre soldadas entre sí y puestas paralelamente en una caja rectangular de madera. Los elementos, aislados por una almáciga de resina, están separados por huecos que se llenan de agua acidulada cuando se quiere hacer funcionar la pila, reuniendo los dos hilos metálicos que parten de las dos placas extremas y formando siempre el cobre el polo ó *electrodo positivo* y el zinc el *electrodo negativo*. En virtud de esta disposición, no pueden producirse corrientes secundarias, quedando así evitado el principal inconveniente de la pila de columna.

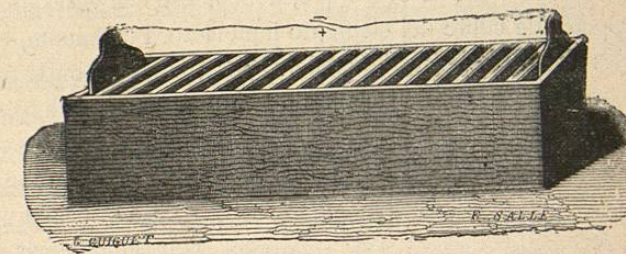


Fig. 144.—Pila de artesa

Volta, después de inventar esta última pila, ideó la de *tazas*, cuya disposición se ve en la figura 145.

Supongamos una serie de tazas ó vasos llenos de agua acidulada. Una placa, encorvada dos veces y formada por un lado de cobre y por otro de zinc, penetra por cada uno de sus extremos en el líquido de dos vasos adyacentes, de suerte que en cada uno de éstos hay una plancha de cobre y otra de zinc. Reuniendo con dos hilos metálicos ó *reóforos* las dos planchas de los últimos vasos, se tiene la pila de tazas, designada así por el inventor. Esta pila tiene la ventaja de que la influencia no puede atravesar la piel seca. Es preciso, pues, mojar una porción de cada mano, y luego, cogiendo con cada una de ellas una pieza de metal, tocar las partes superior é inferior de la pila, ó los conductores que comunican con sus dos extremos. También se puede introducir estos conductores en dos vasos de agua separados, en los que se mete un dedo de cada mano. La conmoción será tanto más fuerte cuanto mayor sea el número de las piezas puestas en contacto. Veinte de éstas producen un choque que se siente en los brazos cuando se toman las precauciones convenientes. Con cien, se le siente en los hombros. La corriente de electricidad actúa sobre el sistema animal mientras éste continúa formando parte del circuito, y si se tiene la más insignificante grieta ó desolladura en las extremidades con que se toca la pila, se experimenta en ella una sensación tan dolorosa que apenas puede soportarse."



nada también con el nombre de *pila de corona*, porque generalmente se ponen sus elementos formando círculo, como se ve en la figura 145.

Wollaston ha discurrido la disposición siguiente: cada placa rectangular de cobre está doblada de modo que rodea la de zinc por sus dos caras, estando separada de ella

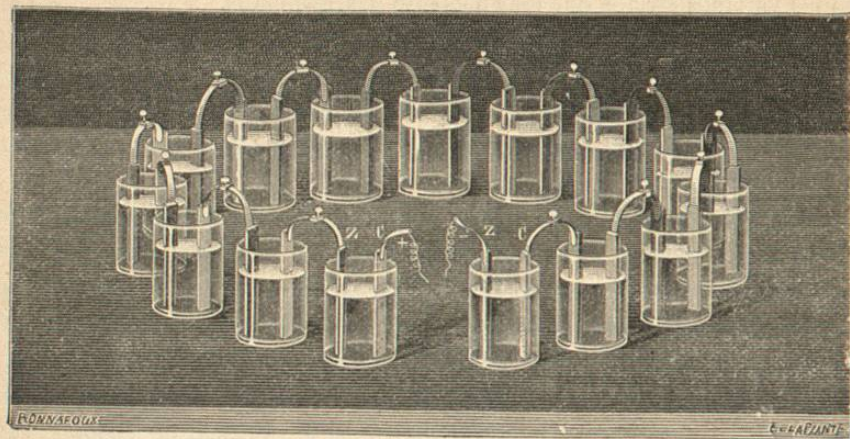


Fig. 145.—Pila de corona ó de tazas

arriba y abajo por cilindros de madera (fig. 146). En la parte superior del zinc hay soldada una tira de cobre que, doblándose dos veces en ángulo recto, va á reunirse con la placa de cobre del elemento inmediato. Finalmente, todas las tiras semejantes están fijadas en un travesaño de madera, pudiéndose así bajar ó subir como se quiera y á la vez todos los elementos. Debajo de cada uno de éstos hay situados unos vasos llenos de agua acidulada, y por lo tanto basta bajar el travesaño para que funcione la pila (fig. 147).

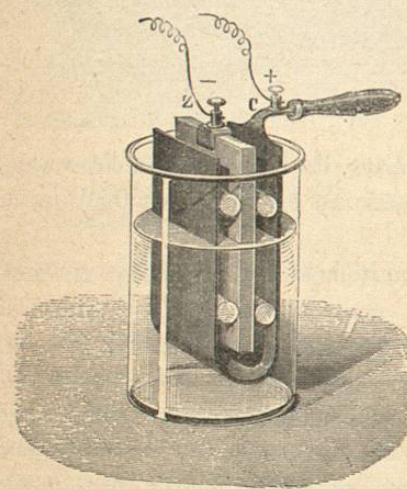


Fig. 146.—Par suelto de Wollaston

En vez de multiplicar los pares ó elementos, es á veces ventajoso aumentar su superficie; obteniéndose así grandes cantidades de electricidad con poca tensión. La pila en hélice, del físico americano Hare, llena este objeto. Consiste en dos tiras largas y anchas de cobre y zinc, enrolladas á la vez en un cilindro de madera, pero estando siempre aisladas dos espiras consecutivas de los dos metales por varillas de madera ó pedazos de paño. Todo ello va metido en un cubo lleno de agua acidulada (fig. 149).

La principal ventaja de la pila de Wollaston consiste, además de la facilidad de su manejo, en la gran extensión de la superficie de zinc que se halla en contacto con el ácido.

La pila de Muncke presenta las mismas ventajas que la de Wollaston, pero ocupa menor espacio por no necesitar un vaso separado por cada par. Está formada por una serie de planchas de zinc y cobre dobladas en forma de U y rodeándose unas á otras según se ve en la figura 148, que representa una sección horizontal de las placas. Toda ella está sostenida, por encima y por debajo, por un marco de madera que se sumerge en una artesa llena de agua acidulada cuando se quiere hacer funcionar la pila.

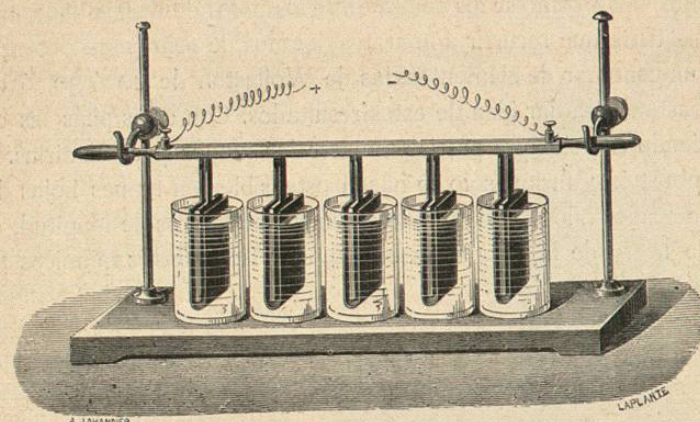


Fig. 147.—Pila de Wollaston

cos, y cuando se reúnen tan sólo 20 pares iguales, se tiene una batería de extraordinaria potencia para caldear y licuar instantáneamente, no ya alambre, sino verdaderas barras de metal., Hare había mandado construir una batería tan poderosa, que la bautizó con el nombre de *deflagrator*.

Las pilas que acabamos de describir, ú otras que tienen análogas disposiciones, han sido largo tiempo las únicas conocidas y usadas en las investigaciones científicas. Posteriormente se ha ideado un crecido número de otras nuevas, y en el artículo siguiente describiremos las más notables y usadas. Pero antes daremos algunos detalles sobre las primeras y sus efectos.

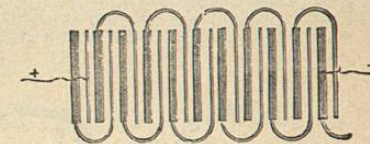


Fig. 148.—Pila de Muncke

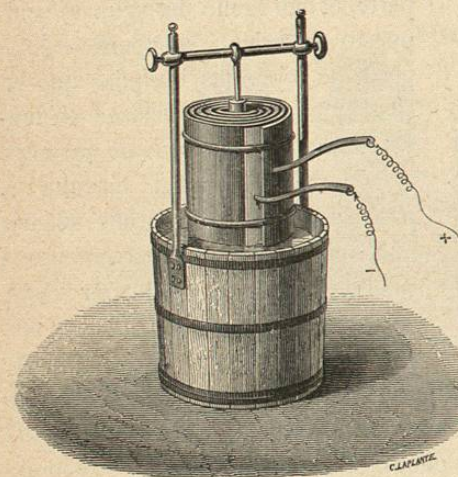


Fig. 149.—Pila en hélice de Hare

Ya en 1805 la Sociedad Real de Londres poseía 2,000 elementos del sistema de artesa, cada uno de los cuales tenía de 5 á 6 decímetros cuadrados de superficie. Con este aparato hizo Davy dos años después el gran descubrimiento de la descomposición de la potasa y de la sosa. Hacia la misma época, Gay-Lussac y Thenard mandaron construir una batería de 600 elementos de 9 decímetros cuadrados de superficie para la Escuela Politécnica, habiéndose servido de ella para sus numerosos é importantes trabajos de química. "Las máquinas eléctricas más poderosas, dice Pouillet, no se parecen en nada á tan formidables baterías. Bastaría establecer un momento con las manos la comunicación entre los polos para caer muerto como por un rayo. Las varillas de platino de 5 ó 6 milímetros de diámetro y más de un metro de longitud puestas entre los polos se ponen enteramente incandescentes y casi en fusión mientras reúnen di-

Pouillet hizo construir para la Facultad de Ciencias de París pilas en hélice del sistema Hare, componiendo cada par de elementos de cinco á seis metros cuadrados de superficie. "Uno solo de estos pares, dice, basta para producir efectos químicos muy enérgi-