

FISICA APLICADA A LA MEDICINA, CIRUGIA, HIGIENE Y FARMACIA

POR JOSE MARIA TROYA. — Profesor en la Universidad

(Continuación del n.º 79, pág. 164)

Si se reúnen varias botellas ó jarras por sus armaduras semejantes, se tiene una batería eléctrica que es más peligrosa todavía.

“478. Electricidad producida por el contacto de metales heterogéneos.—Consideremos dos discos metálicos perfectamente pulidos y aislados por mangos de vidrio: supongamos además que estos dos discos estén formados de metales diferentes, y pongámoslos en contacto el uno del otro y separémoslos bruscamente; se notará que cada uno de estos discos está electrizado con electricidad de diverso nombre. Si, por ejemplo, el un disco es cobre y el otro es zinc, el cobre tomará la electricidad negativa y el zinc la positiva. Como la cantidad de electricidad que se desarrolla en estas condiciones es excesivamente débil, es preciso revelar su presencia por medio del electrómetro condensador; y aún en este caso tomar la precaución de aproximar el disco del mismo metal que el del electrómetro, para no perturbar el experimento con la aparición de una nueva cantidad de electricidad coadyuvante ó neutralisante en caso de ser metal heterogéneo.

“479. Teoría del contacto.—Se puede explicar la producción de electricidad en el caso anterior, admitiendo que los diferentes metales poseen afinidades desiguales por cada uno de los

fluidos eléctricos. En las condiciones ordinarias, cada metal contiene los dos fluidos en cantidades iguales y éstos se neutralizan mutuamente; pero tan luego como se establece el contacto entre dos metales heterogéneos, la desigualdad de sus afinidades eléctricas puede manifestarse. Si, por ejemplo, el cobre tiene más afinidad que el zinc para el fluido negativo y menor para el positivo, al tocarse los dos metales, el primero se cargará de electricidad negativa y el segundo de positiva, y como los fluidos de nombre contrario se atraen, se acumulan respectivamente sobre las caras metálicas que se tocan, quedando en estado disimulado todo el tiempo que dura el contacto, sin que por otro lado puedan recomponerse para formar fluido neutro, puesto que, como se ha dicho, se mantienen separados por afinidad electiva de cada uno de ellos á un metal diferente.

480. Electricidad desarrollada por el contacto de un metal con un líquido.—Hemos visto en el párrafo anterior que el contacto de dos metales engendra electricidad; lo mismo acontece cuando se ponen en contacto un metal con un líquido. Así, sumergidos en agua pura, en la mayor parte de ácidos diluidos, como en las disoluciones alcalinas, los metales toman la electricidad negativa, y los líquidos la positiva. En estos casos los fluidos libres se acumulan de cada lado del metal, y sólo después de la separación de los dos cuerpos es cuando se esparce la electricidad negativa en toda la superficie del metal, mientras que la positiva se disemina en toda la masa del líquido, lo que se puede comprobar por medio del electroscopio.

Los diversos metales puestos en contacto, poseen en presencia de un mismo líquido fuerzas electro-motrices muy diferentes. Según Poggendorf, los principales metales sumergidos en una disolución diluida de ácido sulfúrico, conservan el orden siguiente en cuanto á la tensión eléctrica que son capaces de desenvolver.

Zinc, estaño, plomo, hierro, cobre, plata, oro, platino y carbón.

En esta lista el metal que precede es más electro-negativo que el que sigue.—Según otros autores, los tres últimos se electrizarían positivamente, al paso que la disolución ácida toma la electricidad negativa.

481. Caso de dos metales heterogéneos en contacto con un solo líquido.—Cuando dos metales de diversa naturaleza se sumergen en un líquido cualquiera, hay desarrollo de electricidad, en especial si el líquido es ácido. Esto es lo que

aconteció con la pila voltaica, en la que su autor colocó varias láminas de zinc y de cobre separadas por rodela de paño empapadas en agua acidulada. En estas condiciones es fácil probar con el electroscoPIO que el zinc adquiere la electricidad negativa, y el cobre la positiva. De un modo general: *cuando dos metales heterogéneos se sumergen en un mismo líquido, el metal atacado por éste adquiere la electricidad negativa y el otro la positiva.*

482. Corriente eléctrica.—Cuando se ponen en contacto inmediato dos metales, sin interponer ningún líquido, no se puede revelar la presencia de las electricidades libres, sino después de haber separado las placas metálicas; porque durante el contacto, los fluidos del nombre contrario se retienen mutuamente por influencia. No sucede lo mismo cuando se interpone cualquiera líquido conductor entre las dos láminas; porque en este caso, la electricidad que se desarrolla en la superficie de uno de los metales se esparce en toda la masa líquida y aún en el otro metal; de tal manera que, si se reúne los dos metales C y Z (fig. 73) á beneficio de un hilo metálico E, los dos fluidos se encontrarán pero andando de preferencia el positivo hacia el negativo; mientras que en el interior de la pila pasa lo contrario, porque en ella el fluido negativo se dirige hacia el positivo. Este hecho manifiesta que la corriente eléctrica no es otra cosa que *la tendencia que tienen los cuerpos á restablecer el equilibrio roto por una acción química cualquiera*; advirtiéndose que siempre el metal atacado con más energía por el líquido, es el que desarrolla fluido negativo; y si sucede que ambos metales son igualmente atacados, ó no lo es ninguno, no hay en absoluto desprendimiento alguno de electricidad.

483. Pila Voltaica.—Poniendo á continuación unos de otros, varios pares voltaicos semejantes á los representados en la fig. 65, y reuniendo sucesivamente el cobre del un par con el zinc del siguiente, de tal modo que queden libres el zinc del primero y el cobre del último, se tiene una pila voltaica. La (fig. 74) representa esta disposición. Consideremos por de pronto los tres pares V, V', V'', y supongamos que el zinc del primer elemento comunica con el suelo. La fuerza elec-

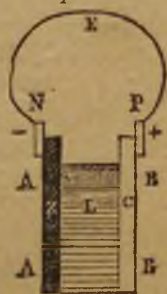
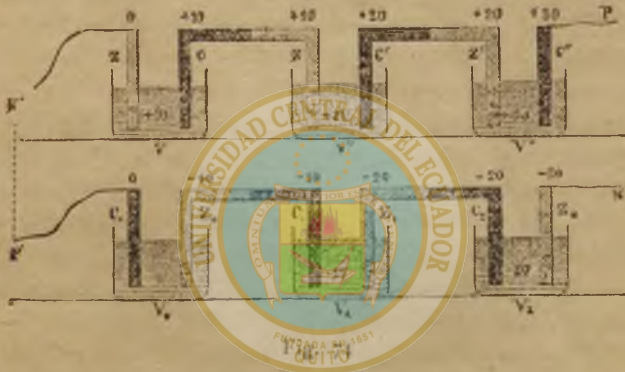


Fig. 73

Pila voltaica:
circuito cerrado.

tromotriz obrando al contacto de Z con el líquido, desarrollará entre estos dos cuerpos una diferencia de tensión eléctrica igual á 10, y como la electricidad negativa que se forma en el zinc corre hacia el suelo á medida que va produciéndose, resultará que el líquido se cargará de una cantidad de electricidad igual á $+10$; esta electricidad se transmitirá al cobre C y de aquí al segundo zinc Z' ; al contacto de Z' con el líquido del segundo par, la fuerza electromotriz mantendrá así mismo una diferencia de tensión igual á 10, es decir, independiente del estado eléctrico inicial de los cuerpos al contacto de los que la elec-



Teoría de la pila.

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

tricidad se desarrolla, y como el zinc Z' posee $+10$, el líquido tomará una carga $+20$ que se revelará sobre el cobre C' y así de seguida; el cobre C'' del tercer par tendrá pues una tensión $+30$; de lo que se deduce que aumentando el número de pares, crece al mismo tiempo en la misma relación la tensión eléctrica en la extremidad aislada.

Consideremos ahora los tres pares V_0 , V_1 , V_2 , y pongamos el cobre C_0 del primero en comunicación con el suelo; repitiendo aquí el mismo razonamiento que acabamos de hacer, veremos que el zinc Z_2 del último elemento está cargado de electricidad negativa y posee una tensión -30 .

Si en vez de poner en comunicación con el suelo una de las extremidades de las series de pares anteriores, se reúnen sus polos por un hilo metálico $P' N'$, el equilibrio del sistema no se ha modificado, puesto que las láminas

Z y Co están ambas en estado neutro. Se tiene así una pila aislada cuyos polos son cargados, el C'' de electricidad positiva, con tensión $+30$, y el otro Z₂ de electricidad negativa con tensión -30 . La carga en cada polo es pues la mitad de lo que sería si una de las extremidades comunicase con el suelo; porque tenemos en este caso 6 pares que darían una tensión igual á $+60$.

484. Teoría química de la pila.—Volta y sus sucesores admitían que el desarrollo de electricidad en la pila era debido al contacto de los metales heterogéneos, y que el líquido se limitaba á conducir la electricidad del un metal al otro. Una opinión del todo opuesta ha prevalecido después de los trabajos de Mr. De La Rive, opinión según la cual la electricidad no se desarrollaría, sino al contacto de los metales con líquidos ó con gases. Como al mismo tiempo el paso de una corriente eléctrica al través de un líquido se acompaña siempre de descomposiciones químicas, se ha concluído que *la electricidad de la pila no puede producirse sino por una reacción química*: tal es el hecho generalmente aceptado en el día.

La antigua teoría del contacto que atribuye el desarrollo de la electricidad en la pila al simple contacto de los metales, estaba en oposición con aquel principio admitido definitivamente en la ciencia, á saber; que en la naturaleza no se crea ninguna fuerza; por tanto, aquella no podía sostenerse.

485. Electricidad producida por el contacto de los metales con los gases.—El contacto de los metales con los gases también es un manantial bastante poderoso de electricidad. Si se introduce dos láminas de platino en dos pequeñas probetas llenas de agua acidulada, y si al mismo tiempo se hace pasar en una de las probetas gas oxígeno y en la otra hidrógeno, se desarrolla una corriente en el momento que se pone en comunicación las dos láminas por medio de un conductor metálico. La corriente va de la lámina que está en contacto con el oxígeno á la que está sumergida en el hidrógeno exteriormente por el hilo conductor, y lo contrario pasa en el interior del líquido. Dispuesta así la pila, la corriente cesa pronto, porque el oxígeno es arrastrado á la lámina donde se halla el hidrógeno, y éste á donde estaba el oxígeno; puestos así los dos gases en presencia uno de otro se combinan para formar agua

y la corriente tiende á debilitarse; pero si se cuida de colocar sobre las láminas metálicas musgo de platino que tiene la propiedad de absorber grandes cantidades de gas, la corriente se vigoriza y se hace constante.

486. Corrientes termo-eléctricas.—Calentando la superficie de contacto de dos metales diferentes, se obtienen efectos eléctricos semejantes á los obtenidos por la pila voltaica. Para hacer más íntimo el contacto de los metales se suelda el uno con el otro por sus extremidades, de tal manera que venga á formarse un circuito como el representado en la fig. 75; en la que se ve una barra de bismuto B cuyas extremidades están soldadas á otra barra de cobre C. Cuando se calienta una de estas soldaduras, la de la derecha por ejemplo, el circuito es recorrido por una corriente que va, como lo indica la flecha, del bismuto al cobre pasando por la soldadura caliente; si al contrario, en vez de calentar la soldadura de la derecha se enfría la de la izquierda, el efecto es el mismo. Pero cuando es la soldadura de la derecha la que se enfría, ó la de la izquierda la que se calienta, la corriente se establece en sentido inverso. Una aguja imanada colocada en el interior del circuito indica, por su desviación, la presencia y la dirección de la corriente.

Se llaman corrientes termo-eléctricas aquellas que tienen nacimiento en las circunstancias que acabamos de indicar, y *par termo-eléctrico*, el sistema de dos metales soldados y dispuestos de la manera indicada. La intensidad de la corriente aumenta, en igualdad de circunstancias, con la diferencia de temperatura de las dos soldaduras. Los metales siguientes siendo calentados adquieren la electricidad negativa con el que le sigue y positiva con el que le precede: bismuto, plomo, estaño, platino, oro, plata, zinc, hierro, an-

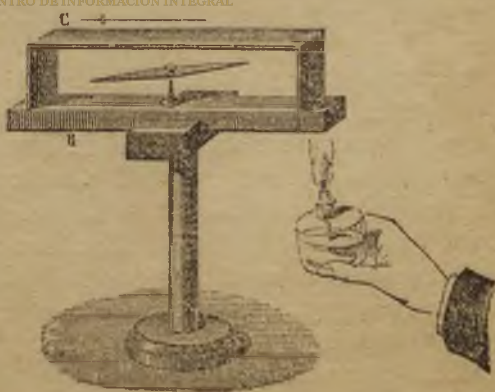


Fig. 75

Par termoeléctrico.

El Centro de Información Integral

timonio. Los metales primero y último dan corriente más intensa.

CAPÍTULO III

ELECTRICIDAD DINÁMICA.

487. **Generalidades sobre las pilas.**—En todos los fenómenos estudiados precedentemente hemos visto que los procedimientos empleados para obtener la electricidad tienen por objeto establecer entre dos cuerpos una diferencia de *equilibrio eléctrico*, es decir, una *diferencia de potencia*, una tensión tal, que se pueda conservar así una carga eléctrica en estado permanente sobre un conductor; llamándose electricidad estática ó lo que se produce en estas condiciones. Los fenómenos que vamos á estudiar ahora, si bien son análogos, se manifiestan de diverso modo y reconocen por *causa* la reacción química.

Sea un vaso lleno de ácido sulfúrico diluido fig. 76 en el que están sumergidas dos láminas, la una de zinc Z y la otra de cobre C. El sistema está aislado sobre un vaso de vidrio cuidadosamente limpio para que sea mal conductor. Si los dos metales no comunican entre sí exteriormente, no se manifiesta ningún fenómeno sensible; pero si cada una de las láminas se ponen en comunicación con un electrómetro muy sensible como es el de Thompson, se nota que entre las dos existe diferencia manifiesta de tensión ó de potencia, tomando la lámina de cobre tensión positiva, mientras que la de zinc la toma negativa; pero esta diferencia de potencia es tan débil que sólo á instrumentos muy delicados pueden manifestarla.

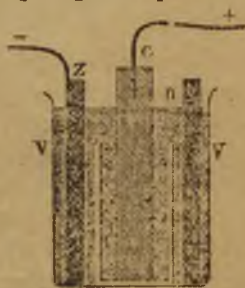


Fig. 76
Par voltaico.

Modifiquemos ahora la experiencia: pongamos en un vaso con ácido sulfúrico diluido, dos láminas de zinc, de un lado, y dos de cobre de otro, y unámoslos por medio de un hilo metálico E. Al momento se nota que hay un verdadero flujo ó colmo de electricidad del cobre

al zinc en el exterior de la pila, mientras que en el interior va del zinc al cobre. La electricidad en este caso ofrece una tensión muy debil, mientras que la cantidad es considerable, razón por la que se pueden producir efectos mecánicos ó caloríficos muy sensibles.

Se ha convenido en llamar polo *positivo* ó *anodo* al cuerpo que toma la tensión positiva, y negativa ó *kato-do* al metal que toma la tensión negativa.

Se da el nombre de *electrodos* á los conductores P N que sirven para reunir los polos. (V. fig. 73)

Regla general.—En cualquiera par voltaico el metal más atacado representa el polo negativo.

Un *par* ó elemento voltaico se halla constituido por un sistema que comprende por lo menos: 1º Un cuerpo *atacado* negativo: 2º Un cuerpo *sólido* ó *líquido* capaz de ejercer acción química sobre el metal; 3º Un metal ó sustancia cualquiera no atacado por el ácido ó reactivo químico representando un conductor que toma la tensión del líquido y forma el polo positivo.

En un tal sistema los efectos estáticos pueden ser considerados como nulos, mientras que los efectos de movimiento son considerables, de donde le viene el nombre de *Electricidad dinámica* ó en movimiento á la producida por la pila. En la práctica se da el nombre de pila á la reunión de muchos *elementos* ó *pares*. Frecuentemente el número de elementos así reunidos es considerable, y veremos después la mejor disposición que se debe dar para obtener los efectos apetecibles.

488. Fenómenos caloríficos.—Como veremos en el párrafo siguiente, hay una correlación manifiesta entre los fenómenos caloríficos y los fenómenos eléctricos; correlación muy natural según el gran principio de la conservación de la energía.

Además, al mismo tiempo que se produce bajo la influencia de la acción química una corriente eléctrica en la pila, se produce allí también calor. Este calor es elaborado por la reacción química, según las leyes establecidas por Berthelot. En termo-química á cada combinación corresponde la libertad de cierta cantidad de calorífico que se distribuye en todo el circuito proporcionalmen-

te á la resistencia de sus diversas partes. Si por ejemplo, se cierra el circuito de una fuerte pila formada por un buen número de elementos, á beneficio de un conductor de resistencia casi nula, se nota que el líquido se calienta fuertemente, mientras que permanece frío si el conductor interpolar es muy resistente. Se ve pues que la producción de la electricidad en la pila puede ser considerada como simple modificación de la energía, y que, cuando la electricidad no es empleada, se transforma en calor. En efecto, si la pila en función no produce ningún trabajo, el calor producido por la reacción química sobre el zinc, se encontrará intacto y siempre constante para una misma cantidad de metal consumido; pero si se ejecuta algún trabajo químico ó mecánico por la pila, se ve un déficit de calor que corresponde exactamente al que se necesitaría para poner en juego un acto químico ó mecánico semejante y ejecutado por otro medio. Este hecho curioso permite comparar absolutamente los electro-motores á las máquinas de vapor. El problema que hay que resolver, es pues, hallar un aparato que sea capaz de transformar en trabajo químico ó mecánico la mayor cantidad de calor elaborado en la pila por la combustión del zinc, y en la máquina de vapor por la del carbón.

439 *Fuerza electro motriz y tensión.*—En la interpretación de los fenómenos que se presentan en la producción de la electricidad dinámica por la pila, la acción química da origen á lo que se llama fuerza *electro-motriz*, la cual es proporcional á la afinidad de los cuerpos puestos en presencia, es decir que, *á mayor afinidad se desarrolla mayor fuerza electromotriz, sin que intervenga en nada el tamaño de la pila; por lo que, la fuerza electro-motriz es constante cuando lo son también los elementos que entran en la composición de la pila.* Esta fuerza electromotriz determina entre los dos polos una diferencia de potencia ó tensión en ventaja del polo positivo, donde parece que se acumula la acción. Los tres términos, fuerza *electro-motriz*, *diferencia de potencia* y *tensión*, estando representados por valores iguales, son generalmente empleados como sinónimos.

En los elementos reunidos en tensión, es decir, positivo con negativo, la fuerza *electro-motriz* es proporcional al número de elementos.

490. Resistencia.—Se llama *resistencia* de un conductor al obstáculo que opone para el paso de la electricidad.—La elevación de temperatura disminuye la conductibilidad de los metales, aumentando por tanto su resistencia, mientras que en los líquidos y gases sucede lo contrario, porque la elevación de temperatura acrecienta su conductibilidad y disminuye su resistencia.

La mayor parte de los metales son buenos conductores, siendo la plata y el cobre los que poseen en más alto grado esta propiedad.

En un circuito eléctrico hay que considerar dos resistencias: la interior que es propia de la pila, y la exterior que es la que opone el conductor. Esta última es muy variable mientras que la primera es casi constante.—Una pila posee tanta más resistencia cuanto más pequeña es, por ser escasa la superficie de sección del líquido contenido entre los dos metales. La resistencia de una pila crece proporcionalmente con la distancia que separa las dos láminas metálicas.

La resistencia que un conductor, introducido en un circuito, opone al paso de la electricidad, está en razón directa de su longitud é inversa de su sección.

La conductibilidad de un conductor está en razón inversa de su longitud y directa de su sección.

La resistencia del cuerpo humano es considerable, puesto que está formado de sólidos y líquidos malos conductores. La resistencia de la piel es mucho mayor que la de los tejidos, debido esto á la presencia de la epidermis; levantada ésta, el obstáculo disminuye; lo mismo sucede cuando se la moja.

491. Intensidad.—Según las leyes establecidas por Ohm, la intensidad en la corriente es proporcional á la fuerza electro-motriz é inversamente á la resistencia del circuito.

Cuando la resistencia del circuito es despreciable con relación á la del elemento, la intensidad no se aumenta por el número de elementos empleados.

Cuando la resistencia del elemento es despreciable con relación á la del circuito, la intensidad de la corriente aumenta proporcionalmente al número de elementos empleados.

Cuando la resistencia exterior es despreciable con relación á la interior, la intensidad de la corriente aumenta proporcionalmente á la superficie de los elementos. Lo que quiere decir que, cuando se reúnen elementos en *superficie* ó *batería*, la resistencia interior de la pila se encuentra disminuida proporcionalmente al número de elementos así reunidos; lo contrario sucede cuando se los coloca en *tensión*, según se deduce de la primera ley.

492. Cantidad.—La cantidad de electricidad que atraviesa un circuito, se mide por la intensidad de la corriente, haciendo intervenir en ello la noción del tiempo. Las medidas de *cantidad* y de *capacidad* intervienen rara vez en la práctica médica; por lo que pasamos en alto.

493. Efecto útil máximo de las pilas.—Las investigaciones de Becquerel han establecido que, *dada una pila*, el *máximo* de efecto útil, es decir la energía máxima que puede dar la pila, se obtendrá cuando la resistencia total del circuito se encuentre igualmente repartida en la pila y el conductor exterior.

494. Intensidad de las corrientes derivadas.—Cuando los dos polos de una pila, en vez de estar reunidos por un solo conductor, lo están por muchos hilos, se dice que estos están colocados en *derivación* sobre el circuito.

La intensidad de las corrientes de derivación es inversamente proporcional á la resistencia de los hilos en derivación, y la intensidad total de la corriente es igual á lo que sería si en lugar de muchos conductores no hubiera más que uno solo, de longitud reducida igual á la suma de las longitudes reducidas de los conductores colocados en el circuito.

Cuando se practica la galvanización, aplicando los dos electrodos sobre la piel, la corriente atraviesa el cuerpo humano por muy difetentes puntos, que son otras tantas corrientes derivadas. Este estudio tendrá lugar al hablar de la electrofisiología.

495. Polarización de los electrodos.—Hasta ahora hemos supuesto que, una vez establecida la corriente en un circuito, la pila continuará elaborando con constancia la electricidad. Pero esto no sucede en la práctica; lejos de eso la intensidad de la corriente va decreciendo poco á poco, después de calentado el líquido puesto en reacción, has-

ta que al fin languidece y cesa toda acción eléctrica: este hecho lleva el nombre de *polarización*.

Si en el circuito de una pila cualquiera se interpone un galvanómetro, se notará que al principio la aguja se desvía algunos grados de la posición primitiva, pero que poco á poco va regresándose hasta colocarse de nuevo en el cero de donde partió.

Suponiendo que el fenómeno acontece en una pila de las más sencillas, es decir de las formadas por un solo líquido acidulado y dos metales, zinc amalgamado y cobre por ejemplo; tenemos que al ponerse el ácido sulfúrico sobre el zinc, se opera una reacción y se forma sulfato de zinc, y el hidrógeno desprendido reduce la molécula próxima de ácido, y una por una va polarizándose, hasta que la última burbuja de hidrógeno viene á depositarse sobre el cobre; de lo que resulta:

1º Que este hidrógeno en estado de burbujas microscópicas se opone á la conductibilidad, ocasionando una resistencia muy considerable:

2º La riqueza del líquido se debilita por la desaparición del ácido, á expensas del cual se forma la sal de zinc. (Esta causa de polarización es despreciable);

3º Entre el hidrógeno y el sulfato de zinc formado, se produce una reacción que despierta una fuerza electromotriz en contrario, por lo que se producen corrientes secundarias é inversas, cuyo efecto inmediato es actuar como otras tantas resistencias.

Como se ve, el hidrógeno es la principal causa de la polarización de una pila; de donde se sigue que las pilas de ácido sulfúrico son despreciables, á pesar de su energía inicial.—Todo el esfuerzo del fabricante en la invención de una pila, se resume en obtener una despolarización constante y perfecta. Veremos más tarde que, hasta el día, esto no se ha conseguido.

Los cuerpos que se oponen á la polarización, se llaman *despolarizadores*; siendo los principales, las sustancias oxigenadas que ceden facilmente su oxígeno, para combinarse con el hidrógeno y formar agua.

496. Pilas eléctricas.—El número de pilas concebido después de la invención de Volta, es inmenso; todas tienen ciertas ventajas, pero ninguna es ni absolutamente

perfecta ni absolutamente mala. Hay, pues, que adoptar la que convenga, para un fin determinado.

En medicina, la electricidad tiene muchos usos: Primero, aplicación al cuerpo humano de las corrientes continuas ó interrumpidas (galvanización).

Segundo, aplicación de los efectos caloríficos de la electricidad á la cauterización (galvanocautéctica).

Tercero, iluminación de las cavidades interiores por medio de la electricidad.

Cuarto, empleo de ésta como fuerza motora en ciertos casos particulares.

Para todos estos usos conviene saber elegir y disponer bien las pilas.

Es muy difícil clasificar las pilas, pero admitiremos cinco grandes clases, á saber: pilas de un líquido; pilas de dos líquidos; pilas secundarias; pilas secas y pilas termo-eléctricas. Nos ocuparemos solamente de las tres primeras clases.

497. *Pilas de un solo líquido.*—Las pilas de un solo líquido son pilas en las que el líquido *excitador* existe sólo y sin acción despolarizante (*pilas polarizables*) ó bien el líquido es á la vez excitador y despolarizador (*pilas de polarización atenuada*). A estas últimas se une frecuentemente un cuerpo sólido que hace el oficio de despolarizador, el cual puede contenerse en un vaso poroso, ó simplemente aglomerarse en placas, al rededor del electrodo positivo.

Entre las pilas polarizables figuran la de Volta, ó sea la pila de columna, y la de Wollaston que por ser tan conocidas no las describimos: la pila de Munch que entre las de esta clase es una de las mejores: para retardar la polarización se une al líquido un poco de ácido nítrico. Con una batería de 40 elementos, se puede enrojecer un hilo de hierro de trece centímetros de longitud y un milímetro de grueso.

498. *Pilas de polarización atenuada.*—La polarización consiste, como hemos visto, en un depósito de hidrógeno gaseoso sobre el electrodo positivo del elemento; como este hidrógeno proviene de la reacción misma que da origen á la corriente, ó sea el resultado de la electrolisis del líquido de la pila, es evidente que la despolarización no podrá ser completa sino cuando se haya hallado una dis-

posición que permita hacer desaparecer por completo el hidrógeno. Desgraciadamente la despolarización más completa que se ha podido obtener hasta el día, es aun muy imperfecta, sobre todo, en las pilas de gran intensidad.

Los agentes más frecuentemente empleados como despolarizadores son: *el cloruro de plata, el bióxido de manganeso, el ácido crómico y el bisulfato y proto sulfato de mercurio.*

Las reacciones sobre las cuales está basada la despolarización son las siguientes:

1º *Cloruro de plata.*—El hidrógeno reduce la sal, forma ácido clorhídrico y deposita la plata sobre el electrodo positivo:

2º *Bióxido de manganeso.*—El despolarizador es transformado en sesquióxido, y se forma agua:

3º *Ácido crómico.*—El ácido, compuesto rico en oxígeno, cede una parte de este gas, que oxida al hidrógeno, y se transforma el mismo en sesquióxido de cromo:

4º *Sulfato de mercurio.*—El hidrógeno quita al mercurio su oxígeno para formar ácido sulfúrico, de suerte que el metal se encuentra puesto en libertad.

Muy breves seremos en la descripción de los elementos, contentándonos con elegir en el número inmenso de invenciones que se hacen cada día, los tipos que más especialmente pueden prestar servicios en electroterapia, como productores de corrientes débiles ó de gran intensidad.

499. Tipo Waren de La Rue.—Esta pila es de cloruro de plata; el primer autor que la ideó fué Marié Davy, pero el primer físico que la ha construído es *Waren de La Rue*, habiendo sido perfeccionada por Pincus, pero en especial por Gaiffe. La pila de cloruro de plata de Gaiffe, consta de un estuche de ebonita que contiene agua ó una disolución al vigésimo de cloruro de zinc neutro.

En este líquido se halla sumergida una lámina de zinc Z (fig. 77 y 78) y un sistema formado de un hilo de plata encintado, contenido en una lámina ó cilindro largo de cloruro de plata. El hilo de este metal forma el electrodo positivo y deposita, tanto arriba como abajo, el cloruro despolarizador: todo el sistema se halla encerrado en un pequeño saco de tela. Esta pila es excelente para uso fijo,

pero el constructor ha encontrado medio de emplear un segundo tipo mucho más transportable, suprimiendo aún el líquido.

En este segundo tipo la lámina de zinc está separada del electrodo positivo por unas tantas hojas de papel de fumar empapado en una disolución de cloruro de zinc al vigésimo. Como en el primer tipo, el electrodo positivo está formado de una lámina de plata y otra de cloruro del mismo metal.

Siendo plata el producto de la reducción del despolarizador, y pudiéndose convertir ésta fácilmente en cloruro, puede servir indefinidamente y llegar á ser el gasto de la pila mucho menor de lo que generalmente se cree. Se la recomienda principalmente para excitar los aparatos de inducción. Solamente es bueno saber que, si esta pila ha de funcionar largo tiempo, es con la condición de ser utilizada, sino todos los días, por lo menos cada tres ó cuatro; para lo cual cuando no haya trabajo, basta cerrar el circuito de tiempo en tiempo. La pila de cloruro de plata, á pesar de su precio, es pues, un tipo excelente para el uso médico, pero es preciso saber que su construcción debe ser muy esmerada; y cuando haya que comenzar algún trabajo, se debe cerrar un cuarto de hora antes el circuito, para lograrla en toda su intensidad.

500. Pila Leclanché.—Esta pila tan conocida y empleada hoy día, se compone de un vaso exterior de cristal que contiene el líquido excitador, que es una disolución muy concentrada de cloruro de amonio ó sal amoniaco: dentro de este líquido está sumergida una varilla de zinc amalgamado. El electrodo positivo está formado por un prisma de carbón de retorta, rodeado de trocitos de peróxido ó bióxido de manganeso fuertemente comprimido. Estas dos sustancias se hallan encerradas en un vaso poroso

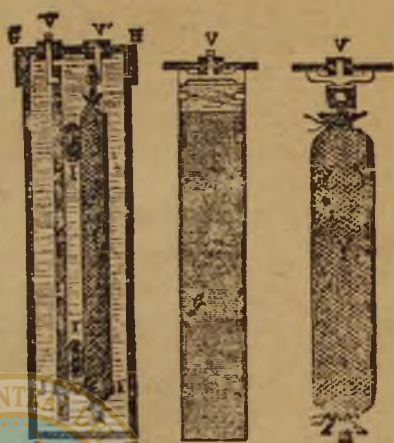


Fig. 77

Pila de cloruro de plata de Gaiffe.

Fig. 78

Elementos de la pila de Gaiffe.

que contiene una mezcla al décimo de ácido sulfúrico diluido en agua. El vaso poroso es en la pila Leclanché un accesorio inútil, porque aumenta la resistencia del elemento, (si se atiende á que puede muy bien funcionar la pila sin necesidad del ácido sulfúrico); pues basta que ambos electrodos se sumerjan en la disolución de sal amoniaco; así es que en el día se construyen estos elementos con placas, (llamadas *aglomeradas*) de bióxido de manganeso rodeadas de carbón. La resistencia del elemento modelo mediano es de 6 ohms próximamente, en presencia del vaso poroso, y solamente de 2 ohms, á lo sumo, con las placas aglomeradas. Este es el tamaño que es preciso elegir para el uso médico; en los aparatos de gabinete, el pequeño modelo se usa muy frecuentemente.

Un gran inconveniente de la pila de Leclanché es la formación de sales trepadoras; esto se evita fácilmente teniendo cuidado de cubrir de parafina los bordes del vaso y la tapadera.

La pila Leclanché no se usa más que á circuito cerrado; el reposo le vuelve su fuerza primitiva: es de larga duración; pues algunas funcionan hasta cinco y seis años; pero para obtener este resultado es preciso que la carga del elemento haya sido hecha con el mayor cuidado. Es menester, sobre todo, que la disolución amoniacal sea muy concentrada y el zinc bien amalgamado, sin lo que se forma un depósito de oxiclorigo de zinc que hará á la pila sumamente resistente. Se debe también renovar cada seis meses el agua evaporada y siempre que convenga.

Prácticamente se considera la fuerza electro-motriz de este elemento, como igual á 1,48, pero no es sino de uno 1,35 á 1,38 al empear la acción, para caer en seguida á 0,89 al cabo de cierto tiempo. Esta baja es debida á la fuerza de polarización que no está completamente anulada por el peróxido de manganeso. Este es el fenómeno que ha hecho frecuentemente criticar á la pila Leclanché por muchos prácticos, que la han acusado de no ser constante. Esto es verdad para los primeros minutos, pero tan luego como la fuerza de polarización es equilibrada, la marcha de la pila es muy regular, y cuando se quiere obtener una acción constante, basta cerrarla algunos minutos antes de usarla.

501. Pila Clamond y Gaiffe.—Esta disposición es simple-

mente una modificación afortunada de la pila Leclanché y particularmente ventajosa para la práctica médica.

Esta pila se compone de un vaso cuadrado donde entra una barilla de zinc amalgamado, sumergida en una disolución al quinto de cloruro de zinc neutro, exento de plomo. Un carbón cilíndrico perforado por cuatro agujeros que permiten llenarlos de peróxido de manganeso, representa el electrodo positivo.

La fuerza electro-motriz de esta pila es sensiblemente igual á 1,35, pero es preciso tener en cuenta, como para el elemento precedente, la baja producida por la fuerza de polarización. La resistencia de los pequeños elementos es de 6 á 8 oms próximamente: en los modelos medianos, llamados de gabinete, baja á 2 ó 3. Esto se explica porque la relación de la superficie del electrodo positivo respecto del negativo, es mucho mayor en estos que en aquellos, pues Du Moncel ha probado, *que siempre hay ventaja disminuyendo la superficie del elemento negativo y aumentando la del positivo.*

502. Pilas de bicromato de potasio.—La invención de la pila de bicromato, es debida á Pogendorff, pero se la conoce también con el nombre de pila de Grenet.

La pila tipo consta de una botella ó frasco esférico en la parte inferior y cilíndrico en la superior, en la que se encuentra un líquido, que á la vez es excitador y despolarizador: el tapón es de caucho endurecido, y se han adaptado á él los electrodos, que consisten, en una lámina pequeña de zinc encerrada ó cubierta por otras dos de carbón de mayor longitud que la precedente. La placa de zinc puede subir ó bajar á voluntad, según que se quiera ó no hacer funcionar á la pila.

El líquido excitador es de composición variable, pero las mejores fórmulas son las siguientes; siendo la primera para baterías, y la segunda cuando se desea poca cantidad.

A	{	Agua.....	8 litros.
		Ácido sulfúrico.....	2 id.
		Bicromato de potasio en polvo	1200 gramos.
B	{	Agua.....	100 cent. cúb.
		Ácido sulfúrico.....	25 id. id.
		Bicromato de potasio.....	15 gramos. (1)

(1) La preparación se hace al calor, vertiendo el agua sobre el bicromato con agitación; cuando la sal está disuelta, se echa poco á poco el ácido, agitándole siempre.—Se deja enfriar y se vierte después en los elementos.

El líquido de la pila de Grenet se descompone en ácido sulfúrico, ácido crómico y sulfato de potasio. Cuando se sumerge el zinc, se forma sulfato de zinc, y el hidrógeno reduce el ácido crómico al estado de sesquióxido de cromo; este último producto tiene el inconveniente de formar en presencia del sulfato de potasio, cristales violeta-oscuros de alumbre de cromo, que depositándose poco á poco sobre los carbones, aumentan notablemente la resistencia, lo que se evita añadiendo un poco de ácido clorhídrico; pero en cambio disminuye la fuerza electromotriz de la pila.

Para animar los aparatos de inducción, se puede usar con ventaja la pila de Pogendorff; pero cuando se tiene necesidad de cantidades considerables de electricidad, como para la galvanoplastia, ó la galvanocáustica, que necesitan corrientes de grande intensidad, se deben emplear pilas de grande superficie, como las que vamos á describir someramente.

(a) *Pila Faucher ó Chardin*.—Esta pila es excitada por el mismo líquido común de bicromato de potasio; pero tiene la ventaja de estar cerrada herméticamente y ocupar muy pequeño volumen. Su construcción es en porcelana esmaltada, dividida en dos compartimentos, separados por un tabique lleno de pequeños agujeros. El líquido ocupa el compartimento inferior, mientras que los elementos zinc y carbón, se suspenden del interior por dos hilos de platino. Cuando la pila se halla colocada sobre su costado izquierdo, penetra el líquido por los agujeros del tabique y baña los electrodos: los gases se escapan por una aberturita que se halla en el costado derecho, al lado del que hay otra para la introducción del líquido.

(b) *Baterías de grandes superficies*.—Muchas disposiciones se han ideado para proporcionar instantáneamente grandes cantidades de electricidad, sin hacer uso de las pilas de Bunsen, que como veremos más tarde, tienen su inconveniente. Las más principales son la batería de cabria de Gaiffe, y la de igual nombre de Trouvé. En la primera, un número de tres ó seis grandes vasos llenos de líquido excitador, se hallan colocados sobre un zócalo de madera, á cuyas extremidades se elevan dos pilares aplanados, con una hendidura en el medio, por la

que se desliza un travesañ que contiene los zincs y carbones sólidamente adheridos, los que se elevan ó bajan por medio de un pequeño torno. Esta disposición es pesada pero muy sólida. Para obtener una gran superficie en volumen más restringido, ha modificado Trouvé esta disposición, reemplazando los vasos vidriados por grandes cubas aplastadas de caucho endurecido; la plancha que sirve para contener los electrodos, se han suprimido; en cambio éstos se fijan en un eje aislado por tornillos de presión, manteniéndose el mismo el mecanismo del torno.

Cuando se hace uso de estas baterías, se debe tener cuidado de lavar de cuando en cuando los carbones, sumergiéndoles en agua caliente y mantener los zincs bien amalgamados, operación que se repite siempre que se ha usado la batería por cuatro ó seis horas.—Para el uso especial de la galvanocautia térmica, M. Trouvé ha reunido bajo muy pequeño volumen, diez elementos de pila de bicromato, que ocupan apenas un decímetro cúbico, y bajo tan pequeña masa, la mayor fuerza conocida y la más débil resistencia (1/100 oms) su peso es casi de 5 kilogramos, y á pesar de su pequeñez, se puede tener durante 15 ó 20 minutos una corriente mínima de 100 ampères en corto circuito.

503. La Pila de Chuteaux es una interesante modificación de la de bicromato, pues permite obtener una corriente constante de larga duración.

Se obtiene así una pila que ofrece las ventajas de las de Bunsen, sin sus inconvenientes.

Cada elemento se compone de un vaso con un agujero destinado á dejar atravesar el líquido; la lámina de carbón está rodeada de polvo de la misma sustancia, y la lámina de zinc de una capa de arena gruesa. Por encima de este elemento, se encuentra un gran vaso que deja filtrar lentamente un hilo del líquido excitador, mientras que otro receptáculo colocado por debajo recibe el líquido después que ha atravesado la pila. La fórmula que usa Chuteaux es:

Agua.....	1500	gramos.
Bicromato.....	100	„
Sulfato de mercurio.....	50	„
Acido sulfúrico á 66°.....	2000	„

La adición de sulfato de mercurio, es con el objeto de mantener los zincs constantemente amalgamados.

504. Pila Figuiet.—La disposición de la pila de M. Figuiet es muy interesante, porque ha podido obtener de una manera muy sencilla una pila de un solo líquido, de gran superficie y de corriente muy constante, pudiendo funcionar muy económicamente cuando se tiene un laboratorio á su disposición.

La pila Figuiet es una pila de hierro, metal de precio muy inferior al zinc. En un gran vaso cilíndrico que contenga una disolución concentrada de percloruro de hierro, se sumerge una lámina del mismo metal y otra de carbón. El hierro se disuelve en el cloruro férrico, que transforma en cloruro ferroso; no hay, pues, allí producción de hidrógeno.

En cuanto al gas que resulta de la electrolisis, reduce el exceso de sal de hierro, que transforma en sal al mínimun (protocloruro ferroso) y forma ácido clorhídrico. En fin, el óxido de hierro formado por el depósito de oxígeno sobre la lámina de hierro, se disuelve en el ácido clorhídrico formado; de lo que resulta que en esta pila no puede haber polarización ó es muy debil.

Cuando la totalidad del percloruro de hierro ha sido transformada en protocloruro, basta hacer pasar una corriente de cloro en la disolución para transformarla de nuevo en percloruro.

505. Pilas de Sulfato de mercurio.—Estas pilas son frecuentemente usadas en la práctica médica. Hay una, la de Marié Davy, en que se utiliza del protosulfato, y otra, la de Gaiffe, que se le excita por medio del bisulfato. Esta última puede reducirse á muy pequeño volumen, sirviendo en este estado para excitar los aparatos pequeños de inducción; para lo cual basta formar una pequeña cuba de guta percha, con dos compartimentos al fondo de los cuales hay unas láminas de carbón, las que van cubiertas por unas plaquitas de zinc. Tan luego como los electrodos son humedecidos por la disolución salina, entra la pila en reacción, cuya duración constante puede ser de media hora.

La pila hermética de M. Trouvé, es semejante en la forma y disposición á la de Faucher, con sólo la diferencia

de que, en vez del líquido excitador de bicromato de potasa, se hace uso del bisulfato de mercurio.

La fuerza electromotriz de las pilas de sulfato de mercurio, es de 1 volt, 52 á 1,56; su resistencia casi nula cuando no hay vaso poroso, alcanza á tres ohms cuando éste existe. La intensidad de las corrientes elaboradas por estos elementos es, pues, á número igual de ellos, mucho más considerable que la intensidad obtenida con los elementos de cobre, zinc, sal amoniaco, etc.

506. Pilas de dos líquidos.—Las pilas de dos líquidos son pilas más ó menos constantes, en las que el agente despolarizador está disuelto en lugar de ser sólido, y se encuentra siempre aislado del líquido activo. Este aislamiento puede obtenerse, sea con la ayuda de un vaso poroso, sea más sencillamente sirviéndose para ello, como en la pila Callaud, de la diferencia de densidad de los líquidos. En razón del gran número de pilas donde entra el sulfato de cobre como despolarizador, dividiremos el estudio de éstas en dos partes:

A.—Pilas de cobre; **B.**—Pilas de composición química variable.

A.—*Pilas de sulfato de cobre.*

Las pilas de sulfato de cobre son las únicas que pueden ser consideradas como verdaderamente constantes y de polarización nula, con tal que su resistencia sea suficiente y que la intensidad no sea demasiado fuerte; pero no pueden ser empleadas generalmente para obtener efectos de cantidad, porque su fuerza electromotriz, que no es más que de un volt, no es bastante y su resistencia es demasiado considerable. En compensación, convienen perfectamente á la electro-terapia y para todos los trabajos que no exigen más que débiles intensidades, y en este caso, no tienen rival; marchan con una constancia casi perfecta y pueden trabajar indefinidamente, sin otra precaución que echarle sulfato de cobre conforme se vaya gastando. El tipo de las pilas de cobre es la de Daniell.

507. Pila de Daniell.—En 1836 fué cuando Daniell tuvo la idea de reemplazar á las disoluciones de nitrato de cobre y de sulfato de zinc de las antiguas pilas de Munch y Wollaston etc. por una disolución del sulfato de cobre y de ácido sulfúrico al 10%.

En esta pila el zinc Z (fig. 79) está al exterior y su-

mergido en agua acidulada; el vaso poroso D contiene una disolución de sulfato de cobre y un cilindro del mismo metal C. La corriente de este elemento va del cobre al zinc por fuera de la pila, y del zinc al cobre en el interior de ella.

El oxígeno que resulta de las descomposiciones interiores, se deposita sobre el zinc, le oxida, y forma con el ácido sulfúrico sulfato de zinc. El hidrógeno puesto en libertad, reduce el sulfato de cobre circunvecino, se une al oxígeno de la base para formar agua, y precipita el metal que se deposita en la superficie del cilindro de cobre. A fin de mantener siempre al mismo grado de concentración la disolución de sulfato de cobre, se pone en el vaso poroso algunos cristales de esta sal.

La fuerza electromotriz de los elementos Daniell, es exactamente de 1 volt 079, pero prácticamente está considerada como equivalente á la unidad. La resistencia varía de 6 á 15 ohms, según el tamaño de los elementos.

503. Pila de Minotto.—Esta pila muy sencilla de construcción y muy económica, tiene la misma ventaja que la pila Gaiffe; se usa muy poco á circuito abierto, y es fácil de improvisar por una persona extraña á la ciencia.



Fig. 79

Elemento de Daniell.

En un vaso cilíndrico de cristal, de cerca de 0^m 15 de alto, se pone una capa de 6 á 8 centímetros de sulfato de cobre muy fino, en medio del cual se coloca un grueso hilo de cobre, arrollado en espiral unas doce veces sobre sí mismo; este hilo es enseguida doblado en ángulo recto y sale fuera del vaso á lo largo de sus paredes, quedando aislado en esta parte por un tubo de caucho. Sobre la capa de sulfato de cobre se deposita otra de arena de *silice* limpia, de una altura de 4 ó 5 centímetros, sobre la cual se coloca una placa de zinc amalgamado provisto de un hilo que forma el electrodo negativo. En este estado no hay más que echar agua hasta que cubra el zinc para que comience á funcionar la pila.

El único cuidado que hay que tener, es limpiar el zinc

cada dos meses, y renovar el agua que se evapora.

509. Pila de Chardín.—Uno de los grandes inconvenientes de la pila Daniell y de todas las pilas de sulfato de cobre, inclusa la de Minotto (cuya capa de arena forma el vaso poroso), es, que se forma la reducción de la sal de cobre en el espesor mismo del vaso poroso, y por consecuencia se impregna la trama de este vaso por las agujas de cobre, que al cabo de poco tiempo (un año á lo más) lo ponen fuera de servicio.

Este inconveniente ha sido evitado de una manera muy ingeniosa por M. Chardin en su pila médica.

En la pila Chardín, el zinc está colocado en el centro del aparato, rodeado de una capa de flor de azufre fuertemente comprimido, contenido en un cartucho de papel de filtro muy espeso, que es el que forma el vaso poroso. El electrodo positivo es de cobre y rodea este vaso poroso, hallándose sumergido en una disolución de sulfato de cobre. La pila está herméticamente tapada, y puede durar dos años sin tocarla. Esta pila es el perfeccionamiento de una imaginada por Boulay, y que la vamos á describir por ser entre las de esta clase, muy sencilla y constante.

510. Pila Boulay.—Su forma es la misma que la de Daniell: el zinc sumerge en una disolución concentrada de clorido de sodio que contiene 30% de flor de azufre. El cobre sumerge en medio de un líquido compuesto de una mezcla en partes iguales de disolución de sulfato de cobre y nitrato de potasio.

El nitrato de potasio impide la formación de agujas en el interior del vaso poroso.—La fuerza electromotriz de esta pila es de 1 vol 5; puede servir para cargar acumuladores, siendo su constancia y duración igual á la pila de Daniell.

511. Pila Callaud-Trouvé.—La disposición inventada por M. Trouvé, para modificar la pila Callaud, hace de su aparato la más sencilla de todas las pilas de cobre.—En el fondo de un vaso de cristal, sumerge un hilo de cobre torcido en espiral y sale al exterior aislado por un tubo de vidrio. El zinc es circular y sostenido por armaduras de metal en la parte superior del vaso, en la que no se introduce más que algunos centímetros. En el fondo se ha colocado de antemano algunos cristales de sulfato de cobre: dispuesto así el aparato, se llena de agua.

Claro es que la disolución más saturada ocupa el fondo, y la que lo es menos la parte alta: de esta disposición resulta una diferencia de densidad de las dos disoluciones que reemplaza al vaso poroso.

La fuerza electromotriz de la pila Callaud. es sensiblemente igual á la de Daniell (1 volt). Su resistencia varía según la época de la reacción, siendo muy grande cuando comienza, y menor cuando ya se ha formado el sulfato de zinc.

A partir del 20^o día, la resistencia que al principio fué en la época más desfavorable representada por 22, se reduce á 6 ohms en los días siguientes, quedando en este estado constante.

Otras muchas pilas han sido ideadas tanto para el uso industrial como para las aplicaciones médicas, pero ó están abandonadas ú ofrecen poco provecho, quedando la ventaja para las que acabamos de describir. Sin embargo merecen ser citados aquí dos tipos recientemente inventados, uno por el ilustre profesor inglés Sir Thompson, y el otro por el ingeniero francés M. Reynier; ambos representan elementos de gran superficie.

El elemento Thompson es un gran par horizontal, formado de una cubeta chata, recubierta por el interior y parte del exterior por una lámina de plomo. En esta cubeta reposa sobre cuatro cubos de madera, una hoja de zinc muy gruesa; se pone al medio sulfato de cobre y se llena de agua. Si se quiere evitar pares locales sobre el zinc, se puede separar éste de la disolución, por medio de un vaso poroso, hecho de una de papel pergamino; la parte del elemento así separado, se llena entonces con una disolución concentrada de sulfato de zinc. Para reunir los elementos, basta superponer los unos á los otros, colocando la cubierta de plomo sobre la de madera, que viene á ponerse en contacto del zinc del primer elemento. De este modo se puede apilar hasta 10 elementos ó más.

En razón á las grandes dimensiones del elemento, la resistencia de la pila Thompson es casi nula, lo cual permite sea empleada cuando se necesitan corrientes de gran intensidad. Para mantenerla, basta agregar de tiempo en tiempo sulfato de cobre y renovar el agua hasta el nivel del zinc. —(Continuará)