

ción de las dos electricidades, porque va acompañada de un movimiento violento de las moléculas del cuerpo aislador, como lo prueba el experimento siguiente.

Llénanse de cierta cantidad de agua dos tubos comunicantes de diámetro desigual,



Fig. 113.—Globo chispeante

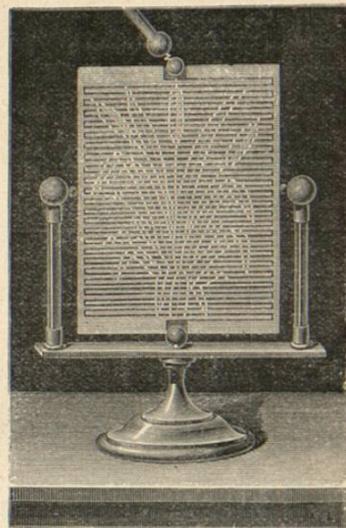


Fig. 114.—Cuadro chispeante

el mayor de los cuales está completamente cerrado, y el menor abierto por arriba (figura 115). Van fijas al primero dos varillas metálicas terminadas en bolas, una en la base inferior y otra en la superior, comunicando la primera con el suelo y la segunda con el

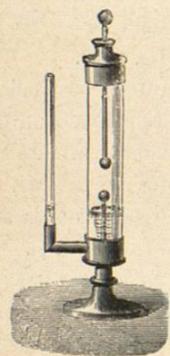


Fig. 115.—Termómetro de Kinnersley

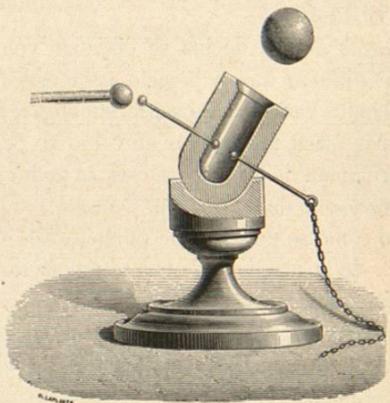


Fig. 116.—Mortero eléctrico

conductor de una máquina eléctrica. Tan luego como brota la chispa, el agua sube bruscamente en el tubo abierto, y si aquella es muy fuerte, el agua salta fuera del tubo. Esta sacudida tiene por causa la conmoción violenta de las moléculas del aire y la expansión originada por una elevación de temperatura; pero no esta última causa sola,

como en un principio lo creyó Kinnersley, inventor del experimento. Lo que prueba que el aire ha sido dilatado por el calor es que el líquido no recobra inmediatamente su nivel en el tubo menor. A este aparato se le ha dado el nombre de *termómetro de Kinnersley*.

La expansión brusca de que acabamos de hablar ha dado origen al experimento del *mortero eléctrico* (fig. 116), fácil de comprender dado lo que precede. En el momento en que la chispa brota, sale disparada la bala, y el efecto es aún más marcado, si antes de operar se han echado en el fondo del mortero unas cuantas gotas de éter que el calor reduce espontáneamente á vapor.

También se puede hacer brotar la chispa á través del agua.

Para ello, las dos varillas conductoras que comunican, una con la máquina en *m* y otra con el suelo en *t* (fig. 117), están cubiertas de una capa de gutapercha que las aísla del agua y sólo tienen desnudos sus extremos puestos casi en contacto en el fondo de una vasija. Apenas sobreviene la descarga, salta la chispa, el agua sube, y la sacudida es á veces bastante fuerte para romper la vasija.

Limitémonos por ahora á estos experimentos; aquellos de nuestros lectores que posean aparatos á propósito podrán hacerlos fácilmente. No tardaremos en completar la descripción de los efectos mecánicos ó físicos de la electricidad, agregándoles la de los químicos, que no tienen menor importancia.

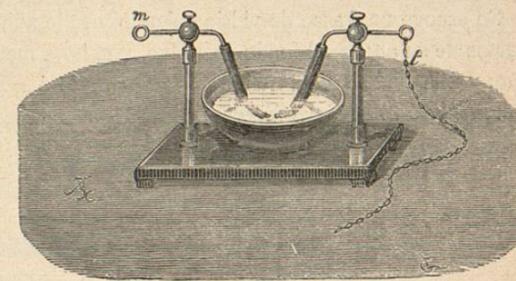


Fig. 117.—Descarga eléctrica en un líquido

## CAPÍTULO V

### LA BOTELLA DE LEYDEN.—LOS CONDENSADORES

#### I

#### EXPERIMENTOS DE CUNEUS Y MUSCHENBROEK.—DESCUBRIMIENTO DE LA BOTELLA DE LEYDEN

Cuneus, discípulo de Muschenbroek, célebre físico del pasado siglo, trató cierto día de electrizar el agua contenida en una botella de ancho gollete. Con tal objeto cogió la botella con una mano, después de introducir en el líquido una varilla metálica suspendida del conductor de una máquina eléctrica, y cuando creyó que el agua estaba suficientemente cargada de electricidad, quiso, sin dejar de sostener la botella con la mano, quitar con la otra el alambre puesto en contacto con el conductor. Al punto sintió una conmoción cuya violencia le sorprendió en alto grado. Muschenbroek repitió el experimento de Cuneus; pero la sacudida que experimentó en brazos, hombros y pecho fué tal que le dejó sin aliento, causándole un espanto tan grande que al noticiar á Reaumur aquel hecho, enteramente nuevo entre los fenómenos eléctricos á la sazón

conocidos, le escribió "que no volvería á hacer la prueba aun cuando le dieran el reino de Francia.", Pero otros físicos fueron menos tímidos. Allamán, Lemonnier, Wínckler y el abate Nollet repitieron el experimento de varios modos, y la ciencia poseyó un nuevo aparato eléctrico: la *botella de Leyden*, así llamada de la ciudad en que se hizo por primera vez el experimento en 1746 (1). Véase cómo se construye en la actualidad este aparato.

Se escoge un frasco de vidrio delgado y se le adhiere exteriormente hasta los tres cuartos de su altura, el fondo inclusive, una hoja metálica que por lo regular es de estaño, y á la cual se da el nombre de *guarnición ó armadura exterior* de la botella. La *guarnición ó armadura interior* consiste unas veces en una lámina metálica que cu-

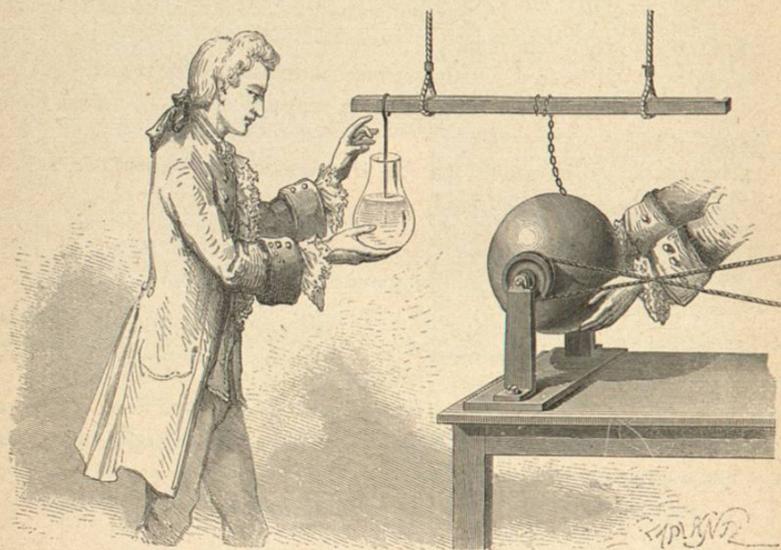


Fig. 118.—Experimentos de Cuneus: botella de Leyden

bre las paredes interiores, otras en perdigones, y otras en hojas de oro ó de latón de que se llena el frasco; según hemos visto, la botella de Muschenbroek lo estaba de agua, es decir, que ha de ser siempre un cuerpo conductor. Por último, al tapón de corcho de la botella se adapta una varilla de cobre encorvada en forma de gancho y terminada en un botón, cuya varilla comunica por dentro con la armadura interior del frasco. Para evitar toda comunicación eléctrica entre las armaduras, se barniza con goma laca el cuello de aquél: como sin esta precaución el vidrio se cubriría de una capa más ó menos ligera de vapor de agua y no aislaría completamente las dos armaduras, podría suceder que resultasen descargas entre ellas y que saltasen chispas siguiendo la superficie exterior del vidrio.

Para cargar la botella de Leyden, se la suspende por su vástago del conductor de una máquina eléctrica, cuidando de establecer con una cadenilla de metal la comunicación entre el suelo y su armadura exterior. También se la puede coger simplemente

(1) Von Kleist, obispo de Pomerania, había hecho el año anterior una observación parecida. Habiendo pasado una varilla de hierro al través del tapón de una botella que contenía mercurio, la cogió con la mano y acercó la varilla al conductor de una máquina eléctrica; por casualidad tocó con la otra mano el conductor mientras la varilla estaba en contacto con él, y entonces sintió en el brazo una violenta sacudida.

por su armadura exterior, acercando al conductor de la máquina eléctrica el botón del vástago.

Cargada ya la botella, si se unen las dos armaduras exterior é interior por medio de un conductor cualquiera, resultará una descarga acompañada de chispa y de explosión. Teniendo por ejemplo el aparato en una mano y acercando la otra al botón, se efectuará la descarga por el intermedio de los brazos y del cuerpo, y se sentirá la conmoción que tanto asustó á los primeros experimentadores. Si muchas personas se cogen de la mano formando cadena, y la primera toma la botella presentando el vástago á la última, tan luego como se establezca el contacto todas ellas sentirán á la vez en sus miembros la misma conmoción.

Nollet hizo esta prueba en presencia de Luis XV; trescientos guardias franceses formaron la cadena, y recibieron simultáneamente la sacudida producida por la descarga instantánea de la botella de Leyden.

Antes de seguir adelante y de describir muchos experimentos curiosos que se pueden hacer con este aparato, procuraremos dar la explicación teórica del doble fenómeno de la carga y descarga de la botella.

Observemos ante todo que el aparato se compone esencialmente de dos cuerpos conductores, las dos guarniciones metálicas interior y exterior, y de un cuerpo aislador que las separa, la botella de vidrio. Cuando se suspende el gancho del conductor electrizado de una máquina, la electricidad de éste se distribuye por toda la superficie de la armadura interior, que se encuentra así cargada de electricidad positiva, por ejemplo. Esta electricidad descompone por influencia la neutra de la armadura exterior, atrae á la superficie del vidrio la electricidad negativa y repele al suelo la positiva por intermedio del cuerpo del experimentador ó de la cadena metálica.

De este modo se encuentran en presencia dos cargas de electricidades contrarias que no pueden combinarse á causa de la interposición de la placa aisladora de vidrio. Si se facilita la reunión de ambas electricidades mediante un conductor cualquiera, se efectuará su combinación con explosión y chispa.

Hasta aquí no parece necesario recurrir á otra explicación: aparte de que la precedente es la que da cuenta de los fenómenos de electricidad por influencia; pero vamos á ver que en realidad es insuficiente.

Ante todo, el tamaño de la chispa y la violencia de las conmociones son ya indicios de una tensión eléctrica de energía desusada: la acumulación de las dos electricidades en tan gran cantidad no parece ya en relación con las escasas dimensiones de los conductores que componen el aparato. Véase ahora otro hecho que conviene explicar: Cuando se ha descargado una botella de Leyden y se la deja á un lado algún tiempo, se la vuelve á encontrar cargada sin haberla puesto de nuevo en comunicación con algún manantial de electricidad. Se puede sacar otra chispa, aunque menos fuerte que la primera, luego otra y otra, y así sucesivamente. Esto es lo que se llama *descargas secundarias* y *chispas de residuos ó cargas residuas*.

Es, pues, evidente que en la botella de Leyden se puede acumular mayor cantidad de fluido que en simples conductores aislados, por cuya razón se le da el nombre de *condensador*, nombre que se aplica también á todos los aparatos análogos. ¿De qué procede este poder de acumulación, y qué nuevos fenómenos intervienen para producirla? Procuraremos hacerlo comprender, resumiendo la teoría de la *condensación eléctrica*, que Æpinus fué el primero en formular, en cuanto tiene de más esencial para la inteligencia de los anteriores fenómenos.

## II

## TEORÍA DE LA CONDENSACIÓN ELÉCTRICA

El condensador ideado por Æpinus está representado en la figura 119. Consiste en dos platillos circulares metálicos aislados, A, B, puestos frente á frente sobre dos columnas de vidrio, y separados por un disco también de vidrio. Dichos platillos pueden correrse por una ranura y acercarse cuanto se quiera hasta dejar entre uno y otro el

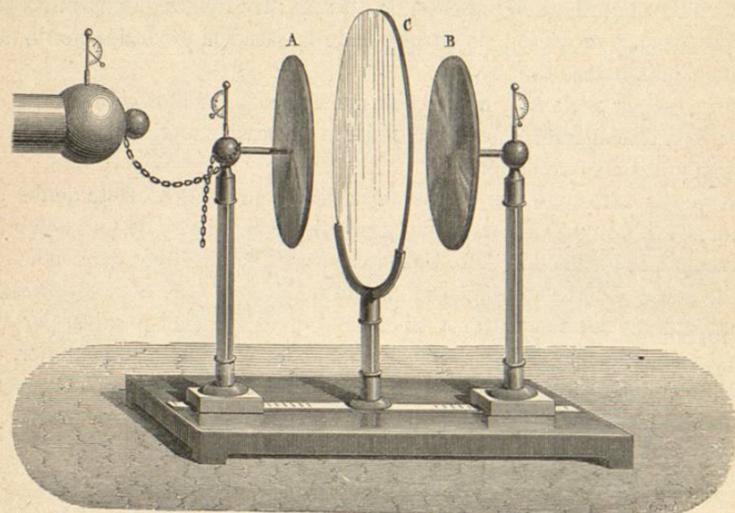


Fig. 119.—Condensador de Æpinus

espesor del disco aislador. Las varillas metálicas que los sostienen llevan unos electros copios de cuadrante.

Supongamos que los platillos están algo separados, y pongamos á A en comunicación con la máquina eléctrica. Este platillo se carga de electricidad positiva cuya tensión acaba por ser igual á la de la máquina, y su péndulo diverge; además está casi uniformemente distribuída en las dos caras del platillo A. Interrumpamos ahora la comunicación de A con la máquina eléctrica, y aproximemos uno á otro los platillos A y B; este último se cargará por inducción de electricidad negativa en la cara que mira al disco de vidrio, y de electricidad positiva en la otra; su péndulo divergirá también; pero la atracción de la electricidad negativa de B para con la positiva de A hará que ésta se acumule en la cara anterior del platillo, y el péndulo de A descenderá á cero.

Si en este momento se pone á B en comunicación con el suelo, el fluido positivo se escapa por él, sobreviene una nueva descomposición, la electricidad negativa se acumula en la cara anterior de este platillo en mayor cantidad que antes, y, por reacción, la tensión en el platillo A adquiere más energía en la cara anterior, en detrimento de la posterior, que vuelve al estado natural. Así pues, cuando se restablezca la comunicación de A con la máquina eléctrica, pasará á este platillo una nueva cantidad de electricidad positiva, y la condensación seguirá aumentando. La misma serie de operacio-

nes, repetida varias veces, producirá una condensación máximum en uno y otro platillo. La acción de ambas cargas de electricidades contrarias en un punto exterior es nula, por la sencilla razón de que hay compensación entre las dos acciones opuestas. Así es que á veces se da el nombre de *electricidad disimulada* á cualquiera de las dos electricidades de que todo condensador está cargado. Pero lo que mejor prueba que aquí no se trata de un estado eléctrico particular, es que la acción de las dos caras interiores de los platillos del condensador no es nula respecto á un punto situado entre ellos, de lo cual es fácil cerciorarse tocando con un plano de prueba una de dichas caras, pues se reconoce que aquel punto está cargado como el mismo platillo.

Vese, pues, que el condensador Æpinus y la botella de Leyden difieren únicamente en la forma, y que los fenómenos cuya sucesión se observa en el uno, ocurren del mismo modo en la otra.

Y ahora ¿cuál es el cometido del disco de vidrio? La teoría y la práctica demuestran que una placa de cualquier otra substancia aisladora, por ejemplo una capa de aire, interpuesta entre los conductores, daría origen á los mismos fenómenos; mas como el aire ofrece menor resistencia que el vidrio á las tensiones opuestas de electricidades contrarias, acumuladas en las caras que miran á los conductores, estas electricidades no tardarían en combinarse; brotaría una chispa y el aparato resultaría descargado espontáneamente. De aquí la necesidad de interponer un cuerpo que presente mayor resistencia, como el vidrio ó la resina.

Aún hay más: según resulta de los numerosos experimentos de Faraday y de Matteucci, las dos cargas, positiva y negativa, no se acumulan solamente en las superficies que están en contacto con el vidrio y con las armaduras de los condensadores, sino que penetran en el primero hasta cierta profundidad. Hácese patente este caso con una botella de Leyden de armaduras móviles, compuestas de tres partes, como se ve en la figura 121. Después de cargar la botella completa, se la pone sobre un cuerpo aislador, se quita la armadura interior con un gancho de vidrio, luego la vasija de esta substancia, y se reconoce que las armaduras contienen muy poca electricidad, al paso que dicha vasija está fuertemente electrizada. Por lo demás, si después de descargar las dos armaduras se las coloca en su sitio, la botella produce una chispa tan viva como si no hubiese habido descargas parciales.

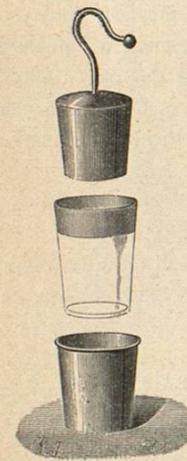


Fig. 121.—Botella de Leyden de armaduras móviles

La penetración de la electricidad á cierta profundidad en el cuerpo aislador de los condensadores explica perfectamente, como se ve, las descargas secundarias de la botella de Leyden, demostrando además que las armaduras metálicas tienen también por objeto el poner en fácil comunicación

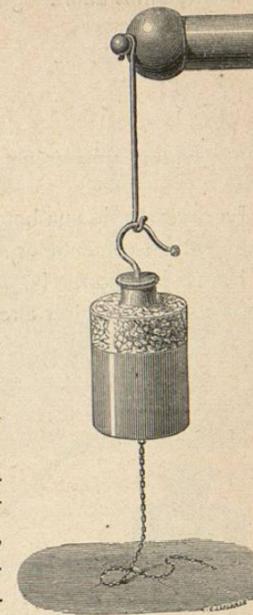


Fig. 120.—Botella de Leyden

los diferentes puntos del vidrio, por lo cual se comprende que, gracias á su conductibilidad, se produzca instantáneamente la descarga con toda su energía (1).

Describamos ahora algunos experimentos curiosos, fáciles de hacer con este condensador.

## III

## EXPERIMENTOS HECHOS CON LA BOTELLA DE LEYDEN Y LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS

La descarga de una botella de Leyden puede hacerse instantánea ó gradualmente, sin que el experimentador se exponga á sufrir conmoción alguna.

Hácese la descarga instantánea con un *excitador*, el cual consiste en dos arcos metálicos que pueden girar alrededor de una articulación común y que están provistos de

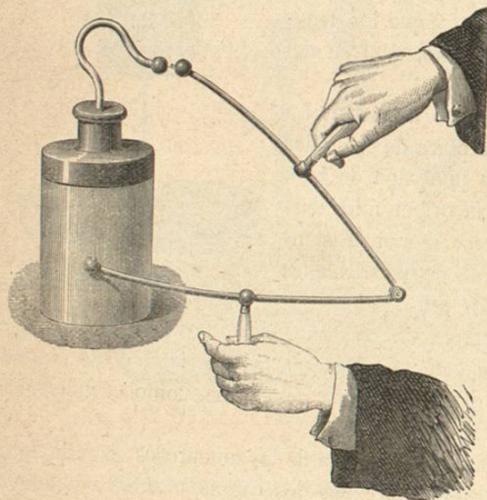


Fig. 122.—Descarga instantánea de una botella de Leyden con un excitador

Hase dado á veces á la bola del péndulo la forma de una araña cuyas patas son hebras de seda, como reminiscencia de un experimento de Franklin.

Este ilustre físico discurrió otro experimento en el cual las acciones opuestas de dos botellas de Leyden cargadas de electricidades contrarias engendran un movimiento de rotación. Para ello se valió de un disco de madera de 12 pulgadas de diámetro que

(1) "La fuerza condensante de una botella es tanto mayor cuanto más delgado el vidrio; pero no se puede exagerar esta cualidad, porque de lo contrario la descarga eléctrica que sobreviene de una armadura á otra atraviesa en breve las botellas traspasando el vidrio. Por consiguiente, el espesor de éste debe ser bastante grande para que, si la botella está demasiado cargada, la descarga espontánea se produzca más bien de la varilla superior á la armadura exterior, corriéndose á lo largo del vidrio.

„Importa mucho que el espesor del vidrio sea casi uniforme y que no tenga burbuja alguna, pues de otra suerte ocurren descargas en los puntos en que la resistencia es más débil, y la botella queda atravesada. La naturaleza del vidrio tiene también bastante influencia; los hay que son un poco conductores, de modo que la electricidad penetra en ellos á cierta profundidad, y á la primera descarga desaparece gran parte de ella; entonces se obtienen cargas residuas muy numerosas.“ (Mascart, *Tratado de Electricidad estática.*)

mangos de vidrio (fig. 122). Se coge cada mango con una mano, y se acercan las bolas metálicas en que terminan los arcos, una al botón de la armadura interior, y otra á la armadura exterior de la botella de Leyden: la descarga se efectúa en los brazos del excitador.

A veces se hacen las descargas sucesivas con la *botella de repique*. La figura 123 muestra cómo es atraído un pendulito aislado puesto sobre un timbre que descansa en un soporte metálico, y repelido luego por la armadura interior, para experimentar en seguida los mismos efectos por parte del otro timbre. A cada contacto, la bola toma una parte de la electricidad de una ú otra armadura.

podía girar libremente alrededor de un eje vertical formado por una flechita de madera que pasaba por su centro. Treinta pedazos de vidrio fijos á la circunferencia, con un dado de cobre en la extremidad de cada uno, hacían del disco una especie de rueda dentada. Franklin colocaba una de las dos botellas de Leyden al lado de uno de los diámetros de modo que el botón de la armadura interior estuviese inmediato á un dado. Entonces experimentaba una atracción del dado más próximo y daba principio el movimiento de la rueda. "Este dado recibe á su paso una chispa, y electrizándose entonces, es repelido y empujado hacia adelante, al paso que, atraído otro, se acerca al alambre de la armadura interior, recibe á su vez otra chispa, y sigue al primero, y así sucesivamente hasta que la rueda da una vuelta entera. Entonces, al acercarse al alambre los dados ya electrizados, en lugar de ser atraídos como antes, son por el contrario repelidos, y el movimiento cesa al punto. Pero si se coloca junto á la

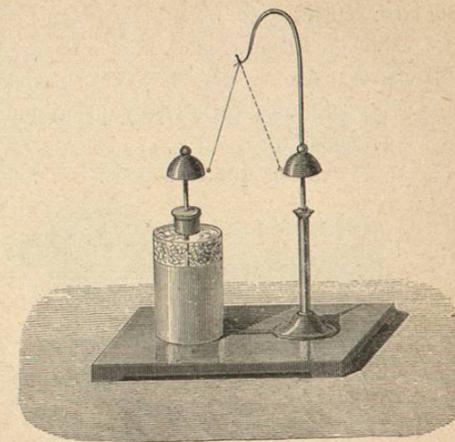


Fig. 123.—Descargas sucesivas de una botella de Leyden. Timbre

rueda otra botella que haya sido cargada por los lados, su alambre atraerá al dado repelido por el primero, con lo cual duplicará la fuerza que hace girar la rueda....; todos los dados, en vez de ser repelidos cuando vuelven hacia la primera botella, experimentan una atracción más fuerte, de modo que la rueda acelera su movimiento hasta dar con gran rapidez 12 ó 15 vueltas en un minuto, y con tal fuerza que el peso de cien rixdales con que la cargamos en cierta ocasión no pudo en modo alguno aminorar su velocidad.,

El experimento de la *botella chispeante* (fig. 124) sirve para demostrar que en la descarga instantánea la electricidad va á convergir desde todos los puntos del vidrio á aquel en que se verifica la reunión de las electricidades acumuladas en las dos armaduras. La armadura exterior está formada, como en el cuadro mágico, por fragmentos de limaduras metálicas ó de latón adheridos á una capa de goma. En la interior está fija una tira de metal que va á parar á corta distancia de la armadura exterior. Cuando la botella está suficientemente cargada, se ven líneas sinuosas de fuego que surcan su superficie á partir del punto en que comienza la descarga.



Fig. 124.—Botella de Leyden chispeante

Para obtener efectos más energicos, se dan mayores dimensiones á la botella de Leyden. El vaso de vidrio tiene una ancha abertura merced á la cual se puede pegar en el interior una hoja de estaño semejante á la guarnición exterior, y entonces se le da el nombre de *jarra*