

electróforo. En la última se ve que la negativa forma muchas zonas concéntricas, separadas por espacios neutros.

Un experimento de *Æpinus*, puesto en evidencia por el procedimiento de las figuras de *Leichtenberg*, demuestra asimismo la distribución de ambas electricidades por zonas alternativas en los cuerpos malos conductores. Consiste en poner el extremo de una varilla de vidrio en contacto con el conductor de una máquina eléctrica. Después de dejar algún tiempo que el vidrio se cargue de electricidad positiva, se le retira, y se ve en la superficie de la varilla y cerca del punto de contacto una zona de electricidad positiva, tras ésta otra negativa, y luego una segunda zona positiva. Espolvoreando la varilla con minio y azufre aparecen hasta cinco ó seis bandas alternativamente amarillas y encarnadas.

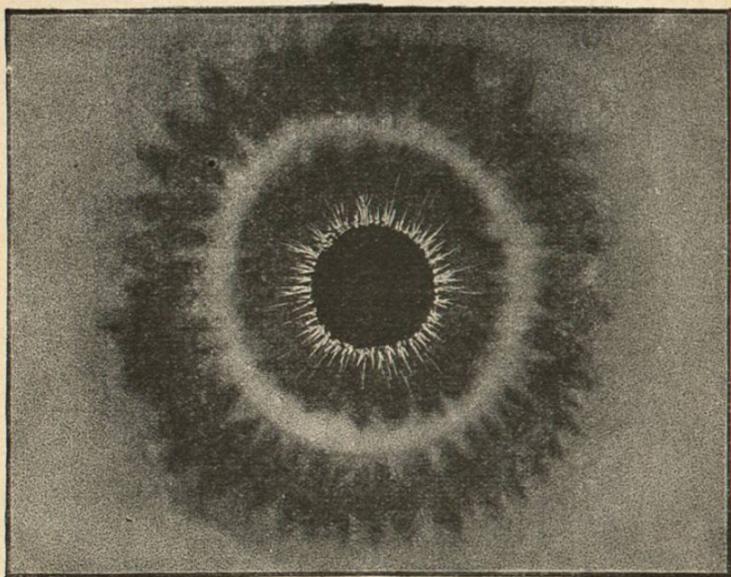


Fig. 92.—Figuras de *Leichtenberg*. Electricidad negativa

Leichtenberg ha variado de muchos modos esta clase de experimentos. He aquí otro que demuestra que, si después de electrizar fuertemente el disco del electróforo se pone sobre él el platillo conductor, resultan en varios puntos leves descargas y chispas. Estas descargas ocurren en donde se efectúa el contacto de las dos superficies; en todas las demás partes quedan éstas separadas por una tenue capa de aire. En efecto, si entonces se quita el platillo y se espolvorea el disco aislador con azufre y minio, se ve en la superficie un gran número de puntitos amarillos, que indican los sitios en que se ha diseminado la electricidad positiva del platillo, la cual desaparece en breve, y el disco queda poco á poco electrizado negativamente en todos sus puntos.

En resumen, las dos especies de electricidades, que hemos distinguido desde el principio en virtud de la diferencia de sus modos de actuar en los fenómenos de atracción y repulsión, se pueden caracterizar también por la distinta manera que tienen de propagarse por la superficie de los malos conductores.

Por este concepto principalmente son interesantes los experimentos de las figuras de *Leichtenberg*.

CAPITULO IV

LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

I

LAS PRIMERAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS. — OJEADA HISTÓRICA

Los físicos que en un principio estudiaban los fenómenos eléctricos se limitaban para hacer sus experimentos á someter directamente á la fricción los cuerpos que querían electrizar. Valíanse las más de las veces, según hemos visto, de barras de resina ó de lacre, de tubos de vidrio, etc. Después se introdujo la costumbre, para obtener mayor cantidad de electricidad, de hacer uso de un largo tubo de vidrio, de unos tres pies de longitud, 12 á 15 líneas de diámetro y una línea de grueso. Se le frotaba con la mano desnuda, bien seca, ó si la transpiración la humedecía un poco, con una hoja de papel gris previamente secado al fuego.

Otto de *Guericke* discurrió una especie de máquina eléctrica formada de un globo de azufre derretido que daba vueltas alrededor de un eje por medio de un manubrio, como el afilador hace girar la muela. Mientras una persona imprimía al globo un movimiento de rotación rápido, otra apoyaba en el ecuador de esta esfera las palmas de las manos, y la fricción desarrollaba en la superficie del azufre abundante electricidad. El experimentador sacaba entonces el globo de su eje y lo utilizaba directamente para sus experimentos. Andando el tiempo (1740), *Bose*, profesor de física de *Witemberg*, sustituyó el globo de azufre con uno de vidrio y perfeccionó el mecanismo que produce el movimiento de rotación. Pero la modificación más importante introducida por este físico fué la que consistió en recoger la electricidad desarrollada en el vidrio. Para ello empleaba un cilindro metálico (de hojalata) suspendido sobre el globo de la máquina por medio de cordones de seda, y por consiguiente aislado. Para hacer pasar á este conductor la electricidad del vidrio, ponía el cilindro de suerte que su extremo estuviese á muy corta distancia sobre el diámetro vertical del globo. Entre éste y el cilindro brotaban chispas, quedando aquél cargado de la misma electricidad que la que había producido el frotamiento en la superficie del vidrio. También se hacía uso, para comunicar la electricidad al conductor, de una cadena metálica que bajaba del cilindro en que estaba enrollada á la esfera de vidrio.

Los perfeccionamientos que se fueron introduciendo sucesivamente acabaron por dar á las máquinas eléctricas de frotamiento la forma que tienen las de casi todos los gabinetes de física. Indiquémoslas en pocas palabras.

Primeramente se modificó la forma de los cuerpos sometidos á la frotación. *Watson* empleó á la vez cuatro globos de vidrio; *Wilson*, *Cavallo* y *Nairne* sustituyeron la forma cilíndrica con la esférica; *Sigaud de la Fond*, *Le Roy*, *Cuthberson* y por último *Van Marum* y *Ramsden* reemplazaron los globos y los cilindros con discos de cristal ó de vidrio. La ventaja de esta sustitución consistió en poder dar una gran superficie al cuerpo frotado y en evitar los inconvenientes producidos por una rotación sobrado rápida.

Otro de los progresos consistió en usar almohadillas de lana ó cuero cubiertas de hojas de estaño ó de una amalgama de estaño ó de zinc; hoy se usa para esto el oro musivo (deuto-sulfuro de estaño), que se adhiere á la superficie del cuero sobre la que se extiende antes una capa de sebo. En realidad, estos cuerpos son los que constituyen el cuerpo frotante.

La electricidad pasaba á los conductores metálicos por descargas sucesivas que se manifestaban por una serie de chispas, ó también por medio de cadenas, ó de tiras de tela que reunían al conductor aislado con los globos de vidrio de la máquina. Wilson utilizó por primera vez con este objeto el poder de las puntas que Franklin acababa de descubrir. El conductor de su máquina era un cilindro terminado en unas bolas sostenidas por cordones de seda; una varilla metálica descendía del conductor al cilindro de vidrio, y le acercaba las puntas de una especie de peine, metálico también.

Tales son los principales perfeccionamientos introducidos en la construcción de las máquinas eléctricas desde Otto de Guericke hasta nuestros días. Esta breve reseña histórica nos permitirá comprender mejor la razón de las disposiciones hoy adoptadas y que vamos á describir.

II

MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE FROTACIÓN

Lo que constituye una máquina eléctrica es la reunión de dos cuerpos que, por su frotación mutua, desarrollan en cada uno de ellos una especie de electricidad, á cuyos cuerpos se agrega otro en el cual se acumula cualquiera de los dos fluidos. El paso de la electricidad, del cuerpo frotado al acumulador ó al conductor, se efectúa por contacto ó por influencia. La máquina de Otto de Guericke no convenía con esta definición por cuanto carecía de conductor. El electróforo es una especie de máquina eléctrica de frotación, muy sencilla, muy cómoda, y aun aventajando á las que vamos á describir en que la electricidad ya desarrollada se conserva largo tiempo en el disco de resina y el conductor puede estar provisto, hasta cierto punto é indefinidamente, de cargas eléctricas, sin que sea menester proceder continuamente á la operación de cargarlo.

La máquina de que ahora vamos á tratar es la conocida con el nombre de Ramsden, ó sea el del constructor que le ha dado su forma actual; pero conviene recordar que es el resultado de una serie de perfeccionamientos hechos por varios físicos, según hemos dicho sucintamente en el artículo anterior. Examinando la figura 93 al leer nuestra descripción, se comprenderán fácilmente todos los detalles de la máquina.

Esta consiste en un disco de vidrio (1) fijo por su centro en un eje metálico que se hace girar con un manubrio. Al pasar este disco entre los dos montantes ó piezas de madera que soportan su eje, su superficie frota contra dos almohadillas fijas en dichos montantes. El movimiento de rotación produce la electrización del disco de vidrio, que

(1) Se han construido máquinas eléctricas cuyo disco era de azufre. La elección del vidrio no es indiferente. Los constructores de objetos eléctricos han reconocido que los discos hechos con lunas de espejo viejas eran las mejores, y según se cree, esta superioridad depende de la menor cantidad de potasa que contienen los vidrios de fabricación antigua, por cuya razón su superficie debe ser menos higrométrica. El vidrio de botellas de color aceitunado, el coloreado de azul con cobalto y el cristal también son á propósito para el objeto. Pero cualquiera que sea la naturaleza del disco, es importante limpiarlo de vez en cuando con alcohol para quitar las materias que deja en ellos la frotación de las almohadillas.

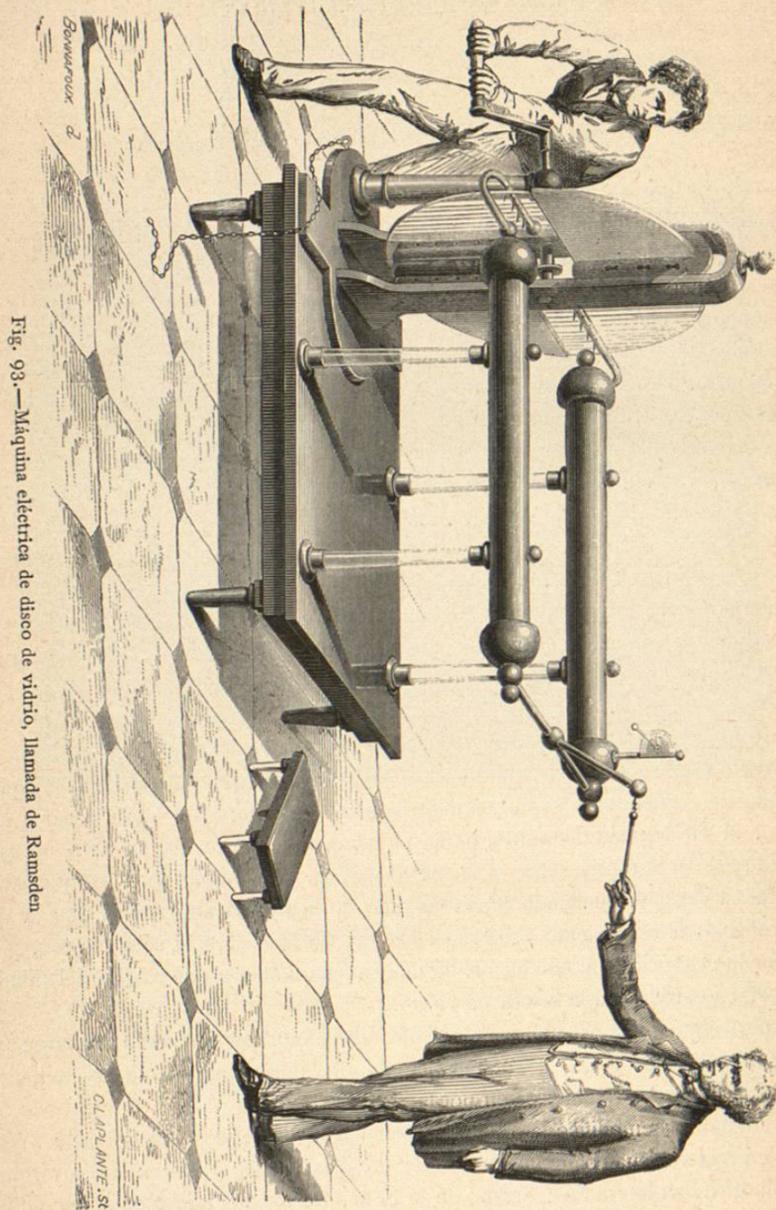


Fig. 93.—Máquina eléctrica de disco de vidrio, llamada de Ramsden

se carga de electricidad positiva en ambas caras. Las almohadillas no están aisladas, con objeto de que la electricidad negativa de que se cargan pueda ir á parar al suelo; pues si ésta se acumulara en aquéllas, llegaría un momento en que, siendo su influencia sobre la electricidad positiva del disco igual á la acción dimanada de la frotación, limitaría forzosamente la carga de éste; y para evitarlo, una cadena metálica pone las almohadillas y los montantes en comunicación con el suelo.

Cada almohadilla está rellena de crin y forrada de cuero, con una capa de oro musivo, ó una amalgama de zinc, bismuto y estaño en su superficie; habiendo probado la experiencia que estas últimas substancias tienen gran eficacia en la producción de la electricidad.

Tal es la disposición de la parte de la máquina que tiene por objeto el desarrollo

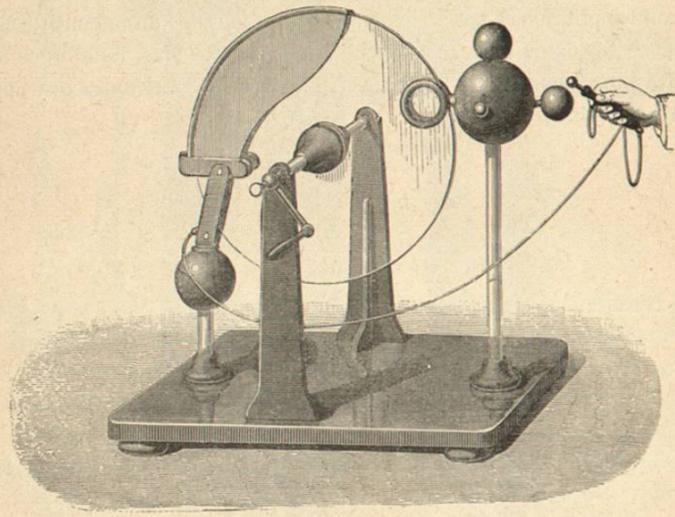


Fig. 94.—Máquina eléctrica de Winter

del fluido. He aquí ahora cómo se procede para cargar los *conductores*. Dase este nombre á dos largos cilindros de latón, aislados sobre cuatro pies de vidrio, terminados en porciones esféricas y reunidos entre sí por un cilindro transversal de menor diámetro. Los dos extremos de los cilindros mayores inmediatos al disco llevan unas mandíbulas metálicas guarnecidas de puntas vueltas hacia el disco, pero á suficiente distancia para que no haya contacto durante el movimiento de rotación.

Veamos ahora lo que ocurre á medida que el disco de vidrio se carga de electricidad positiva. Esta electricidad obra por influencia en la neutra del conductor, la descompone, y atrae la electricidad contraria, es decir, la negativa, que se escapa por las puntas neutralizando cantidades equivalentes de la electricidad positiva del vidrio. La del disco es, por el contrario, repelida á los dos cilindros metálicos, en los cuales se acumula. En uno de ellos se ve un electroscopio de cuadrante, cuyo péndulo indica la tensión de la electricidad recogida. El vidrio se electriza á medida que frota las almohadillas, pero se descarga al pasar por las puntas de las mandíbulas ó peines; por consiguiente, sólo están electrizados á la vez dos sectores del disco, los cuales son los que se ven en el grabado protegidos por pantallas de tafetán encerado, que impiden la pérdida causada por la humedad del aire, pues para que la máquina funcione bien es preciso que el

aire de la habitación en que se halla esté seco y á una temperatura bastante elevada: antes de la operación se enjugan con cuidado los pies de vidrio que aíslan los conductores.

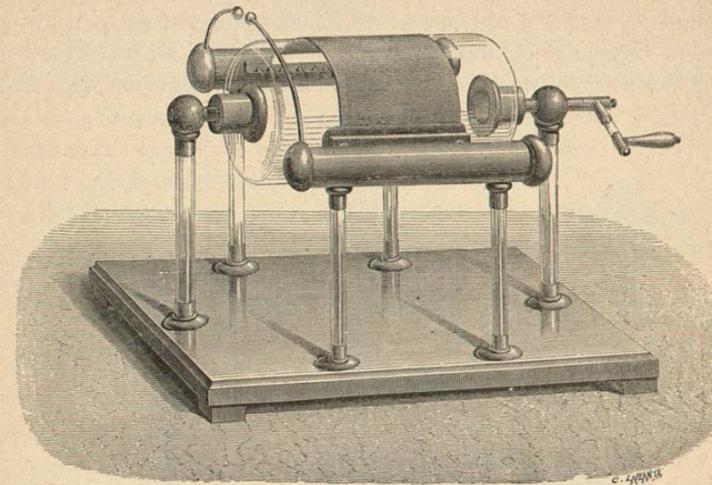


Fig. 95.—Máquina eléctrica de Nairne

En 1772, el físico francés Le Roy mandó construir una máquina eléctrica de disco de vidrio con un solo par de almohadillas, y en la cual había dos conductores cilíndri-

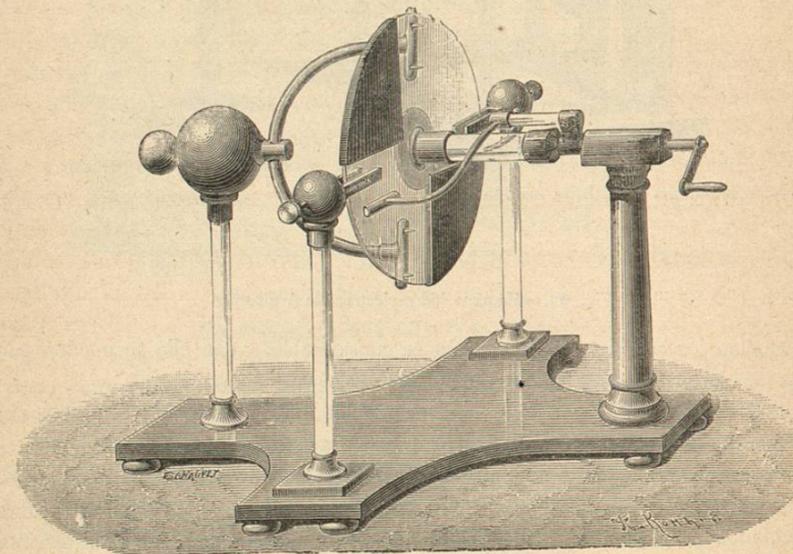


Fig. 96.—Máquina eléctrica de Van Marum

cos, ambos aislados, colocados horizontalmente en los extremos del diámetro del disco: el uno llevaba las almohadillas frotadoras, el otro terminaba cerca de la superficie del vidrio, y los dos recogían las electricidades contrarias.

El constructor austriaco Winter ha modificado ligeramente la máquina de Le Roy con arreglo al modelo representado en la figura 94, actualmente muy difundido en Alemania. En esta máquina los conductores son esferas; una de ellas está unida á las almohadillas, y la otra lleva una mandíbula formada por dos anillos que abarcan el disco de vidrio por la extremidad opuesta del diámetro que va á parar al frotador. La primera esfera se carga de electricidad positiva, la segunda de electricidad negativa. La máquina de Winter produce escasa cantidad de fluido, pero en razón de la distancia á

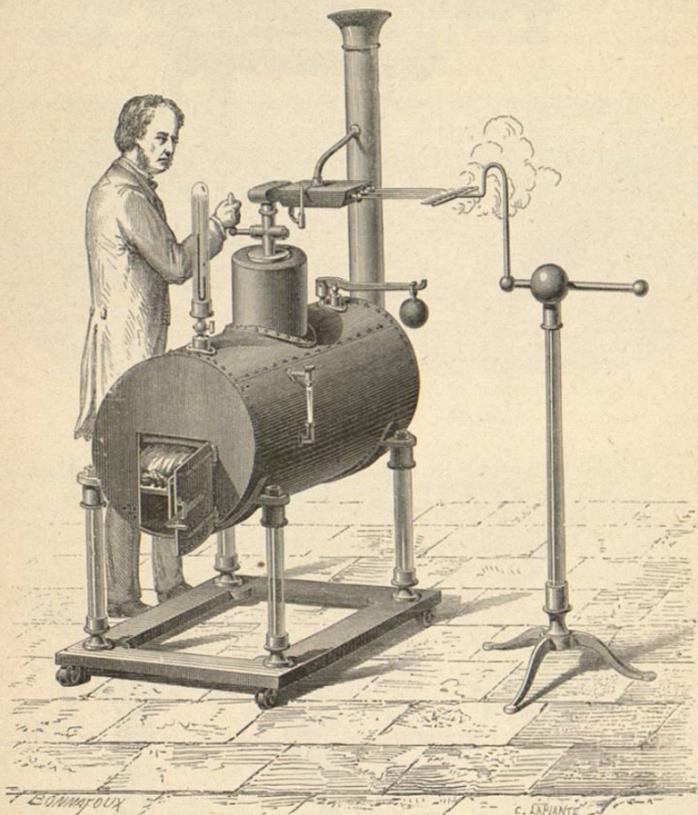


Fig. 97.—Máquina hidro-eléctrica de Armstrong

que se hallan los conductores, la tensión es considerable, y con ella se pueden sacar chispas más largas que con las otras máquinas eléctricas.

Con la de Nairne (fig. 95) se desarrollan también ambas electricidades en dos conductores separados. Uno de ellos está provisto de puntas, y por lo tanto se electriza positivamente como los de la máquina de disco. El otro conductor lleva la almohadilla, que por su frotación con un gran cilindro de vidrio produce la separación de las dos electricidades que forman la neutra del sistema: además, una ancha tira de tafetán cubre la superficie del cristal para evitar que se pierda parte de la electricidad desarrollada. De aquí resulta que, mientras la positiva se acumula en el vidrio, la negativa es repelida á la almohadilla y de ésta al conductor. Púedese conservar solamente una de las dos electricidades recogidas, para lo cual basta poner el conductor que lleva la otra en comunicación con el suelo por medio de una cadena.

Van Marum ha ideado una máquina eléctrica (fig. 96) que se puede hacer funcionar á beneplácito, ya como la de Ramsden, ó bien como la de Nairne, pudiéndose recoger en sus conductores electricidad positiva ó negativa, ó ambas á la vez.

Si se agita azogue bien seco en un tubo de vidrio, por ejemplo en uno barométrico, se ven en la obscuridad resplandores que indican haberse producido cierta cantidad de electricidad, y en efecto, el tubo de vidrio atrae entonces los cuerpos leves. Así también, la frotación de los líquidos contra los sólidos se puede utilizar como medio de electrificación. Sin embargo, no se sabía hacer uso de este medio, cuando la casualidad hizo que en 1840 se descubriese uno muy eficaz de obtener electricidad por la frotación de un chorro de vapor mezclado con gotitas líquidas contra un sólido. Tal es el principio en que se basa la máquina eléctrica de Armstrong (1), representada en la figura 97. Una caldera, aislada por pies de vidrio y llena de agua destilada, produce vapor á alta presión, el cual sale al exterior por una serie de tubos, después de haberse condensado en parte al pasar al través de una caja de agua llena de estopas mojadas que empapan constantemente los tubos por donde se escapa el vapor. Las vesículas de agua, producidas por la condensación del vapor, rozan con fuerza contra una tablita de boj, alrededor de la cual dan vuelta antes de penetrar en los tubos de salida, y también contra las paredes de éstos, formados de la misma madera. En la figura 98, que representa la sección de uno de dichos tubos, se ve cómo choca el vapor contra una placa metálica, contorneándola antes de penetrar en el tubo de boj por cuyo orificio se escapa finalmente. También se desprende electricidad con tanta más abundancia cuanto mayor es la presión del vapor; la caldera se carga de electricidad positiva, y el vapor de electricidad negativa. Para recoger esta última, se acerca á los chorros de vapor un conductor aislado, provisto de una serie de puntas.

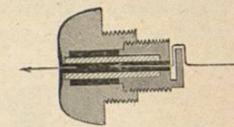


Fig. 98.—Orificio de salida del vapor

Las máquinas hidro-eléctricas son de gran potencia, pero de uso bastante incómodo, por lo cual están hoy casi abandonadas. Entre las subsistentes son de mencionar la del Instituto politécnico de Londres, provista de cuarenta y seis tubos de salida de vapor y que puede dar chispas de 60 centímetros de longitud, y la de la Sorbona en París, que tiene veinticuatro tubos y da también chispas continuas de muchos decímetros de longitud.

III

MÁQUINAS ELÉCTRICAS BASADAS EN LA INFLUENCIA

La electricidad de que se cargan los conductores en las máquinas que acabamos de describir tiene por origen la influencia, siendo siempre igual en cantidad á la que la frotación de las almohadillas desarrolla en el disco de vidrio; pero como ésta queda á su vez neutralizada por la electricidad contraria que se escapa por las puntas de los peines, á medida que se consume la electricidad producida en los conductores, es preciso renovar la del disco y hacer funcionar la máquina.

(1) Según parece, debióse efectivamente á la casualidad el descubrimiento en que está basada la construcción de esta máquina. "Un maquinista ocupado en arreglar una máquina de vapor cerca de Newcastle, puso la mano en el chorro de vapor que se escapaba por una juntura, y la otra en la palanqueta de una válvula de contrapeso; al punto brotó una brillante chispa, y el maquinista sintió una fuerte conmoción. Armstrong estudió las circunstancias de este fenómeno, etc., (Tratado de electricidad estática, por M. Mascart.)

Por esta razón se da el nombre de *máquinas eléctricas de frotación* á las descritas en el artículo anterior. Hemos visto que en el electróforo ocurre todo de distinto modo, pues una vez cargado el disco de resina, no hay necesidad de frotarlo sino á largos intervalos, así es que se puede sacar electricidad indefinidamente, por decirlo así, con el platillo conductor, que se electriza cada vez por la sola influencia. En el principio del electróforo están basadas las diferentes máquinas eléctricas de que vamos á hablar ahora; en ellas sólo se emplea la frotación para desarrollar la electricidad indispensable á la acción por influencia, y la máquina, una vez alimentada, no funciona sino mediante este sistema de entretenimiento.

La primera máquina de influencia construída en virtud de este principio data del

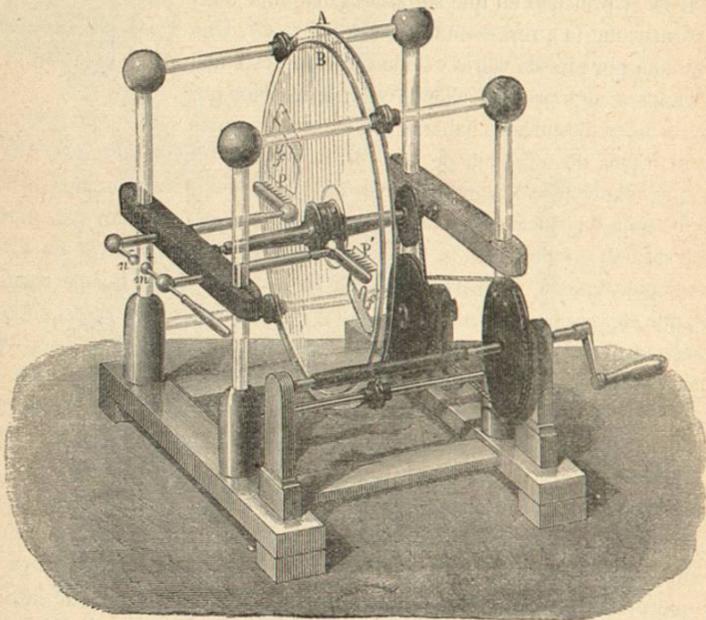


Fig. 99.—Máquina eléctrica de Holtz

año 1863, y fué inventada por M. Holtz, físico alemán. Al año siguiente, los señores Piche, Bertsch y Carré en Francia, y Tœpler en Rusia, construyeron aparatos análogos. La máquina de Holtz, así como estas últimas, han recibido muchos perfeccionamientos: todas ellas están hoy muy generalizadas y son más apreciadas para los estudios de electricidad que las de frotación. Describamos algo detalladamente las más importantes.

La figura 99 representa la máquina de Holtz en su forma más común. Consiste en dos discos de vidrio, AB, fijos en un mismo eje horizontal y en dos planos verticales, á corta distancia uno de otro. El disco A, de diámetro algo mayor que el otro, es fijo y está atravesado en su centro por una ancha abertura circular que da paso al eje alrededor del cual gira el disco móvil. En los extremos de su diámetro horizontal el disco fijo tiene dos aberturas ó *ventanas* practicadas en el vidrio, en forma de sectores trapezoidales y provista cada cual de una armadura de papel aplicada á las dos caras y pegada á uno de los bordes de la ventana. Dos puntas ó lengüetas f y f' penetran en la parte vaciada ó ventana del disco fijo, al paso que frente al disco móvil hay dos

conductores aislados guarnecidos de peines cuyas puntas están vueltas hacia las armaduras de papel de las ventanas. Estos conductores están acodados en ángulo recto y terminados en unas bolas mn que se pueden acercar una á otra y aun ponerlas en contacto. En el grabado se ve cómo están sostenidas las varias partes de la máquina por columnas de vidrio que las aíslan, así como las varillas horizontales unidas á los montantes verticales que sostienen el disco fijo. Merced á un manubrio y á un sistema de poleas y cuerdas de transmisión se puede imprimir al disco móvil un movimiento rápido de rotación, como de cinco á diez vueltas por segundo.

Para poner la máquina en marcha, se empieza por hacer que se toquen las bolas del conductor, valiéndose para ello del mango de que cada cual está provista. Dase entonces vueltas al manubrio, así como al disco móvil, en dirección opuesta á la de las armaduras de papel; luego se electriza una de éstas acercándola una placa de ebonita (caucho endurecido) frotada previamente con una piel de gato. Casi al punto se oye la decrepitación que indica que la electricidad se escapa de las puntas de los peines. La máquina está en marcha, y continúa funcionando y dando electricidad mientras no se suspende el movimiento de rotación. Si se separan las bolas terminales del conductor, se ve brotar entre ellas un flujo continuo de chispas.

Tratemos ahora de explicar lo que sucede y de dar una sucinta teoría de la máquina que acabamos de describir. En la figura 100, C y D representan las armaduras de papel del disco fijo, A y B los conductores terminados en las puntas M y N que figuran aquí los peines metálicos del aparato. Por lo que respecta al disco móvil, se le ha sustituido en el grabado, para representarlo más cómodamente, con un cilindro de vidrio del que es una sección el círculo lleno de la figura. Las flechas indican la dirección de la rotación en sentido inverso de las puntas de las armaduras.

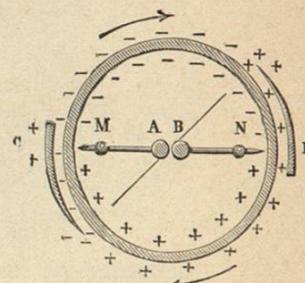


Fig. 100.—Teoría de la máquina de Holtz

Acércase á la base de la hoja de papel C la placa de goma elástica, electrizada negativamente por la piel de gato. El papel se electriza por influencia y se carga en su base de electricidad positiva, al paso que la negativa se escapa por la punta y se extiende por el disco, ó, si se quiere, por el cilindro de vidrio que está girando. Del propio modo, el conductor AB, que es continuo, puesto que suponemos en contacto las bolas AB, se electriza por influencia; la punta del peine M comunica al vidrio electricidad positiva, y la punta N negativa. Como la otra armadura de papel D experimenta la influencia de las porciones del cilindro electrizadas negativamente y que se presentan delante de su punta, da paso por ella á la electricidad positiva y se carga en su base de fluido negativo. Por consiguiente, el cilindro de vidrio resulta cargado en sus dos caras, interior y exterior, de electricidad negativa en una de sus mitades, y positiva en la otra mitad. Las reacciones mutuas de estas dos electricidades contrarias aumentan la acumulación de fluido que sale por las puntas de las armaduras lo mismo que por las de los peines, acumulación que se forma en progresión geométrica, abstracción hecha de la pérdida por los soportes ó en el aire.

La figura 101 representa la misma máquina, á cuyos conductores se han agregado dos acumuladores que tienen por objeto aumentar su capacidad eléctrica. Estos acumuladores son dos botellas de Leyden, E, F, cuyas armaduras externas están reunidas