

Haciendo actuar sobre un voltámetro de agua destilada la corriente de 20 baterías secundarias compuesta cada una de 40 pares, ha observado dicho físico los siguientes fenómenos: "Sumergido de antemano el electrodo positivo en el agua destilada, y acercando el hilo negativo á la superficie del líquido y levantándolo en seguida, nace una llama casi esférica, de unos 2 centímetros de diámetro. El alambre de platino de 2 milímetros de diámetro se funde con vivacidad, manteniéndose en fusión á la altura de 14 á 15 milímetros sobre el líquido. Esta llama está formada por el aire enrarecido incandescente, por el vapor del metal del electrodo y por los elementos del vapor de agua descompuesto: el análisis espectral revela claramente en ella la presencia del hidrógeno.

"Si, para evitar la fusión del metal, se disminuye la intensidad de la corriente interponiendo una columna de agua en el circuito, la chispa aparece en forma de un *globito* de fuego de 8 á 10 milímetros de diámetro. Levantando algo más el electrodo, este globo adquiere una forma ovoide, y en la superficie del agua aparecen puntos azules luminosos cuyo número varía continuamente, dispuestos en círculos concéntricos. En breve parten del centro radios del mismo color que van á reunirse con dichos puntos. Estos radios emprenden á intervalos un movimiento giratorio, ora en un sentido, ora en otro, describiendo espirales. A veces desaparecen todos los puntos y radios de un mismo lado, y se observan en la superficie del líquido curvas variadas, formadas por el movimiento de los que quedan. Por último, cuando aumenta la rapidez del movimiento giratorio, todos los radios se disipan, viéndose tan sólo anillos concéntricos. Los anillos vienen á ser el último término de estas transformaciones, curiosísimas de contemplar á la simple vista ó con un antejo, constituyendo un verdadero *kaleidoscopio eléctrico*.

"El origen de estas figuras, añade M. Planté, se explica por la gran movilidad de los arcos ó filetes luminosos que componen la luz ovoide formada entre el agua y el electrodo. Examinando con cuidado esta forma particular de chispa, se reconoce que es en realidad una especie de moño ó de penacho voltaico, análogo á los de la electricidad estática, pero de más cuerpo á causa de la mayor cantidad de electricidad que entra en él. Hallándose estos filetes luminosos en un estado de agitación continua, los puntos en que tropiezan con la superficie del líquido se desvían constantemente y forman los radios observados, procediendo su movimiento giratorio de la reacción ocasionada por el paso del flujo eléctrico. Los anillos se forman de una manera perceptible, á la vista del observador, en virtud del movimiento cada vez más rápido de los puntos azules y de la persistencia de la impresión en la retina."

Las descargas de la máquina reostática producen efectos luminosos análogos á los de las máquinas eléctricas y carretes de inducción, pero que presentan asimismo algunas particularidades interesantes. Por ejemplo, la chispa tiene una forma especial cuando los brazos del excitador entre los cuales brota forman un ángulo muy obtuso. "Esta forma consiste en una línea de fuego que parte en línea recta en la prolongación del brazo positivo, elevándose notablemente por cima de la punta negativa y yendo á reunirse con ella á modo de gancho, después de trazar sobre este punto muchas sinuosidades. Vemos la misma forma en el penacho que da la máquina cuando se aumenta uno ó dos milímetros la distancia de las puntas. Lánzase del polo positivo un haz luminoso cónico, recorre casi las tres cuartas partes de la distancia al polo negativo y se encorva hacia el corto penacho formado alrededor de la punta negativa."

M. Planté atribuye esta diferencia de forma á que la máquina reostática no da, como los carretes de inducción, un flujo de electricidad alternativamente positiva y ne-

gativa, sino siempre del mismo sentido. Con máquinas de 30 á 50 condensadores, las chispas llegan á tener de 4 á 5 centímetros de longitud, pero son menos continuas y su forma menos constante; sus sinuosidades suben ó bajan con irregularidad por encima ó por debajo de la recta que une las dos puntas del excitador. Los penachos que aparecen en el polo positivo son de forma ovoide y ramificada, semejante en cuanto á lo demás á los que hemos descrito anteriormente y que dimanaban de las descargas de las máquinas eléctricas.

Planté ha visto que la longitud de las chispas producidas en el aire por la máquina reostática es sensiblemente proporcional al número de condensadores de que está formada, y que con 10, 30 ú 80 de éstos las chispas tenían 1'5, 4'5 y 12 centímetros de longitud. Echando un polvillo conductor entre los brazos del excitador, la máquina de 80 condensadores daba chispas de 15 centímetros de longitud. El polvo esparcido era de flor de azufre; pero con limaduras de metal, dicha longitud llegaba hasta á 70 centímetros.

Al atravesar la flor de azufre, las chispas dejan á su paso un surco sinuoso de 2 á 3 milímetros de anchura, cuyo surco consiste en una línea azulada muy marcada, cuando la superficie aisladora sobre la cual se ha desparramado el azufre es una mezcla de resina y parafina; se puede por consiguiente conservar la forma exacta del surco recorriendo la línea con un punzón. Algunas chispas, sobre todo las que no llegaban á la longitud máxima, presentan bifurcaciones cerradas semejantes á *anastomosis*, ó á los brazos de un río cuando se divide la corriente para formar islas.

Si se da un leve choque á la placa aisladora que contiene el azufre y en la cual dejan un rastro las chispas, según acabamos de decir, se ven aparecer arborescencias que muestran cómo se ha distribuido el fluido eléctrico en la descarga. "Estos efectos, dice M. Planté, nos explican las señales de apariencias vegetales que á veces se ha observado en el cuerpo de las personas muertas por el rayo, y que no son más que el resultado de las ramificaciones de la chispa eléctrica (1)." Antes de dar á la placa el golpe que da origen á las arborescencias, el surco de la chispa, más ancho en el polo positivo, va estrechándose hacia el negativo, donde aparecen huellas circulares que corresponden á los contornos de los ramitos arborescentes. Alrededor del polo positivo hay líneas divergentes que radian como las ramitas de la arborescencia, pero mucho más recortadas que las del polo negativo.

Muchas veces hemos tenido ocasión de consignar esta diferencia entre ambos polos,

(1) Véase un ejemplo reciente de tan singular rastro de la chispa, referido por M. Planté: "Un pastor del condado de Leicester guardaba su rebaño en el campo, cuando estalló una tormenta, y corrió á guarecerse bajo un árbol, siguiendo el pertinaz ejemplo de muchas personas. Al poco tiempo, sintió una conmoción en el hombro izquierdo, y quedándose de pronto sin fuerza en las piernas, se cayó al suelo. Cuando se le trasladó á su casa, conservaba aún todo su conocimiento; pero se quejaba de dolores en la espalda y en las piernas. El médico llamado para asistirle le reconoció detenidamente, y observó en su cuerpo un rarísimo efecto del rayo. Desde el hombro derecho hacia abajo, corriéndose por toda la espalda, tenía, admirablemente reproducido de relieve en la piel y de un hermoso color escarlata, un tallo de arbusto con numerosas ramas delicadamente trazadas como con la punta de una aguja. El tronco tenía unos tres cuartos de pulgada de anchura, y el aspecto general era el de un helecho de seis ú ocho ramas, estando todo ello muy bien reproducido y como impreso en la espalda del paciente. Fácil es darse cuenta del caso de que se trata, añade M. Planté, por su analogía con lo que pasa en el experimento anterior. En el momento de estallar la chispa, se ve la flor de azufre lanzada al aire, y más especialmente alrededor de los polos. Así también, en el caso de la caída del rayo, el polvo del suelo, ó de cualquier otra materia situada al paso de la descarga, debe ser lanzado al espacio, y se comprende que esta materia, elevada de pronto á una gran temperatura, produzca en el cuerpo humano un efecto de cauterización instantánea de forma arborescente."

por ejemplo en las chispas y penachos de la electricidad estática lo mismo que en las descargas de inducción; habiéndonos dado ejemplos característicos de ello las figuras de Leichtenberg, obtenidas con el electróforo. M. Planté las ha obtenido también haciendo brotar la chispa de su máquina reostática sobre resina pura, é insuflando en seguida en

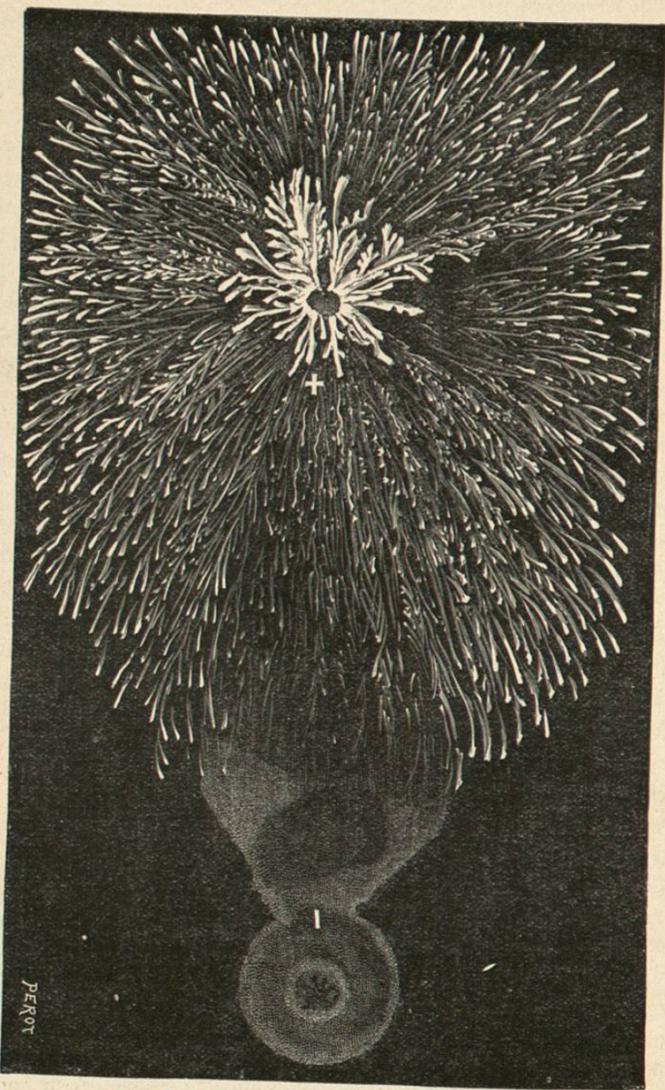


Fig. 274.—Figura de Leichtenberg obtenida con la máquina reostática. —Penacho

ella una mezcla de polvos de azufre y minio. Reproducimos una de estas interesantes muestras del rastro de la descarga que, producida haciendo variar la distancia de las puntas del excitador, demuestra en qué difiere el penacho de la chispa. La figura 272 es la que resulta cuando la distancia de las puntas es demasiado grande para que la chispa pueda estallar. En este caso sólo aparece un penacho; el movimiento eléctrico emanado del polo negativo y que está caracterizado por el polvo rojo del minio adhe-

rido á la resina, no se extiende hasta el polo positivo. Este está caracterizado, al contrario, por los rayos divergentes que forman una corona de flores de azufre en su alrededor, cuya corona no presenta en su centro vestigio alguno de minio.

Pero si la distancia entre las puntas es bastante reducida para que brote la chispa, no sucede ya así; entonces el minio se esparce hasta el polo positivo, cuya corona queda abierta y llena en su interior de dicho polvo, indicando así que el movimiento eléctrico partido del polo negativo se ha extendido hasta el punto de donde emana la electricidad positiva.

### VIII

#### ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA LUZ ELÉCTRICA

En el primer tomo del MUNDO FÍSICO hemos visto que las primeras observaciones de las rayas del espectro solar datan del año 1802 y que Wollaston fué quien las hizo. El mismo físico observó la luz de una bujía, que le pareció dividida en cinco imágenes de colores diferentes separados por intervalos oscuros, y notó además una división análoga, aunque algo distinta, en una línea azul de la luz eléctrica. Fraunhofer estudió esta luz, en la cual distinguió muchas rayas brillantes, y en especial una verde, otra en el anaranjado un poco más débil que la primera, y en el extremo rojo del espectro otra raya todavía más débil.

A la sazón no se sabía qué interpretación dar á la presencia de estas líneas en los espectros de las luces, y lo mismo á las líneas oscuras que á las rayas brillantes observadas en los varios focos. Pero ahora sabemos ya que el descubrimiento de la inversión de las rayas hecho por Foucault, seguido poco después de los notables trabajos de Kirchhoff, ha allanado el camino para establecer un nuevo método de análisis, merced al cual se pueden conocer las substancias cuya incandescencia produce la luz analizada, por el número, posición y naturaleza de las líneas espectrales.

Con este objeto se han hecho numerosas investigaciones sobre la composición de las luces eléctricas, lo mismo sobre la chispa de electricidad estática que sobre la de inducción, y así por lo que se refiere al arco voltaico como por lo que toca á los fulgores observados en los gases enrarecidos. Procuremos dar una idea de ellos.

Ya en 1835 había estudiado Wheatstone los espectros de la luz eléctrica; observando con un telescopio la luz producida por una máquina magneto-eléctrica, vió que el espectro de la chispa sacada del mercurio contenía siete bandas luminosas separadas por espacios oscuros: dos bandas en el anaranjado, una verde brillante, dos verde-azuladas y una morada. Variando la clase de los metales que servían de electrodos y entre los cuales saltaba la chispa, vió que con ellos variaban también en número y posición las rayas observadas; la influencia del medio le pareció nula, siendo los resultados los mismos, ya estallara la chispa en el aire, ya en el vacío barométrico, ó bien en el ácido carbónico ó en el oxígeno. La influencia de los metales en las rayas es tan marcada, que habiendo puesto Wheatstone por electrodos alambres compuestos de diferentes aleaciones, reconoció en el espectro de la chispa resultante las líneas brillantes de los dos metales que formaban la aleación. Los experimentos de Massón confirmaron los del físico inglés, pero ampliándolos con un hecho importante: las rayas de la luz eléctrica dependían efectivamente de la naturaleza de los electrodos, pero algunas de ellas eran comunes á los distintos metales, variando sólo de intensidad de uno á otro.

Haciendo estallar la chispa en el aire ó en diferentes gases, á varios grados de presión, vió que la intensidad de las rayas cambiaba con la naturaleza del gas y con la presión, pero sin que sucediera lo mismo con su número y posiciones. La deducción, como se ve, era la misma que la que se podía sacar de los experimentos de Wheatstone, mucho más numerosos y completos. Pero Angström ha reconocido que las rayas comunes observadas por Massón en los espectros de la luz eléctrica obtenida con diferentes metales dependen de la naturaleza del medio, es decir, del gas en el cual brota la chispa. Esta mezcla de las rayas características de los metales con las que lo son del medio ambiente hace que sean muy delicadas las investigaciones de esta clase.

Si los extremos de los electrodos están muy próximos y la chispa es corta, predominan las rayas del metal, aunque no desaparecen las del medio. Cuanto más larga es la chispa, tanto más se debilitan las primeras, dejando entonces que predominen las rayas del medio ambiente.

La luz que resulta de la descarga del carrete de inducción en los tubos de Geissler con gases enrarecidos, da un espectro absolutamente independiente de la naturaleza de los conductores. Pero el número y el brillo de las rayas varían considerablemente con las condiciones del experimento; las dimensiones del tubo empleado, la presión del gas y la intensidad de la descarga son otros tantos factores que influyen en el espectro obtenido. En el capítulo de LA LUZ consagrado al análisis espectral hemos visto los procedimientos de observación que se han adoptado para el estudio de los espectros gaseosos, y las precauciones que se requieren para evitar las causas de error.

Los físicos que hemos citado más arriba, Wheatstone, Foucault y Massón, han estudiado también el espectro del arco voltaico. En general, las rayas observadas son las mismas que las de la chispa para los mismos electrodos; pero son menos numerosas en el espectro del arco, lo cual ha atribuído Massón á la menor tensión eléctrica que le da origen, considerándolo formado de una serie de chispas menos vivas que la ordinaria. He aquí algunos detalles sobre la naturaleza de los espectros eléctricos dados por diferentes metales empleados como electrodos:

Con el cadmió, el espectro da rayas azules y verdes muy brillantes. El antimonio da un gran número de rayas brillantes, pero sin que predomine ningún color, lo cual explica la blancura de la chispa. Otro tanto sucede con el bismuto. El espectro obtenido con el plomo es notable por la extensión de la región del morado, en la cual se distinguen hermosas rayas. Una banda verde manzana caracteriza al espectro del zinc. El de la plata es muy brillante en el verde, en el cual se ven muchas rayas; el amarillo y el morado son particularmente luminosos en el espectro de la chispa que estalla entre electrodos de oro. El hierro, el platino y el estaño no ofrecen nada de particular. Por último, los electrodos de carbón dan una luz cuyo espectro se distingue por una multitud de rayas brillantes.

Hemos dicho que las rayas de los metales son las mismas en el arco voltaico que en la chispa. Pero hay entre ellas una diferencia notada por Massón y confirmada por los experimentos de Van der Villingen, y es que la influencia del medio ambiente no modifica el espectro del arco, al paso que éste, según hemos visto, agrega sus rayas específicas á las de los metales que le sirven de electrodos.

Terminaremos haciendo una observación general sobre los espectros de la luz eléctrica, y es que todos ellos se caracterizan por la gran extensión y por la intensidad de la región ultra-morada, ó lo que es lo mismo, que son muy abundantes en rayos químicos.

## IX

## PROPAGACIÓN Y VELOCIDAD DE LA ELECTRICIDAD

Cualquiera que sea el carácter ó la clase del movimiento que da origen á la propagación de la electricidad por la superficie de los cuerpos conductores ó por los hilos que forman un circuito voltaico, se comprende que dicha propagación no será instantánea, pudiéndose buscar el modo de calcular su velocidad lo mismo que se ha hecho respecto del sonido. Problema es este que han tratado de resolver los físicos desde mediados del siglo anterior, pero ni Deluc en Ginebra, ni Le Monnier en Francia, ni Watson en Inglaterra pudieron resolverlo, ó por lo menos el resultado de sus experimentos fué que la velocidad de la electricidad es comparable á la de la luz. Véase como procedió Le Monnier:

„Después de algunas tentativas cuyo resultado no le pareció bastante positivo, puso dos alambres de hierro paralelos alrededor de un gran cercado; cada uno de ellos tenía 950 toesas de largo y sus cuatro extremos iban á parar á un ángulo de dicho cercado, muy cerca unos de otros; un hombre cogió con cada mano la punta de un hilo, y de este modo se estableció una comunicación de uno á otro, no formando más que un solo cuerpo de 1,900 toesas de longitud, en medio del cual estaba situado el hombre que sostenía las puntas de los hilos.

„Por este medio, aunque el hombre se hallaba colocado en medio de la longitud total del cuerpo que se había de electrizar, estaba muy inmediato á las otras dos puntas, y podía juzgar fácilmente si sentía la conmoción en el momento en que viese estallar la chispa; y así sucedió en efecto. Habiendo cogido Le Monnier con una mano el extremo de uno de los alambres de hierro, acercó al del otro alambre el hilo de latón de la botella eléctrica que sostenía en la otra mano, y en el instante en que brotó la chispa, él y el hombre situado en medio de la longitud de los alambres de hierro sintieron la conmoción, sin que les fuera posible apreciar el menor intervalo entre la chispa y la conmoción, aunque hubiera sido fácil discernir hasta un cuarto de segundo, si lo hubiera habido.

„Para tener una prueba aún más concluyente de este fenómeno, el mismo físico hizo algún tiempo después otro experimento algo diferente, cuyo éxito confirmó el del anterior. Habiendo elegido un sitio á propósito en un llano de las cercanías de París, lo rodeó con un alambre de hierro de 4,000 toesas de largo, ó sean dos leguas, dejando las puntas de ambos hilos á seis ó siete pies de distancia una de otra. Mientras Le Monnier tenía una de ellas en la mano, otro observador que sostenía la botella eléctrica acercó el hilo de latón de la misma á la otra punta, y en el mismo instante los dos observadores sintieron la conmoción en los brazos. Esta es menos fuerte en este experimento que en el anterior, porque su violencia se reparte entre los dos observadores; así es que cada uno de éstos experimentó solamente la mitad de la conmoción que hubiera sentido si hubiese estado cerrado el círculo de comunicación de uno á otro; pero el resultado no por eso dejaba de tener la seguridad apetecida para el objeto propuesto. Repitióse el experimento dando siempre el mismo resultado, sin que se pudiera notar el menor instante perceptible entre la aparición de la chispa y la sensación del choque. Así pues, la electricidad recorre un espacio de dos leguas en un instante imperceptible., (Historia de la Academia real de Ciencias, 1746.)