

La figura 181 representa una máquina reostática de 80 condensadores, construida con arreglo á los datos que quedan indicados. Los condensadores consisten en láminas de mica, de 18×14 centímetros, recubiertas de hojas de estaño y separadas por placas de caucho endurecido que, aislándolas, les dan bastante rigidez para que se mantengan siempre unas junto á otras en posición vertical. Al extremo de cada armadura van empalmados hilos de cobre muy finos recubiertos de gutapercha. El conmutador es un cilindro de ebonita de 1 metro de largo por 15 centímetros de diámetro, provisto de placas metálicas longitudinales y de piezas metálicas como las de las baterías secundarias, con las cuales se puede también reunir los condensadores en superficie ó en tensión, como se quiera. Cuando el conmutador está colocado de modo que sus dos bandas metálicas tocan con los muelles que comunican con las armaduras pares por un

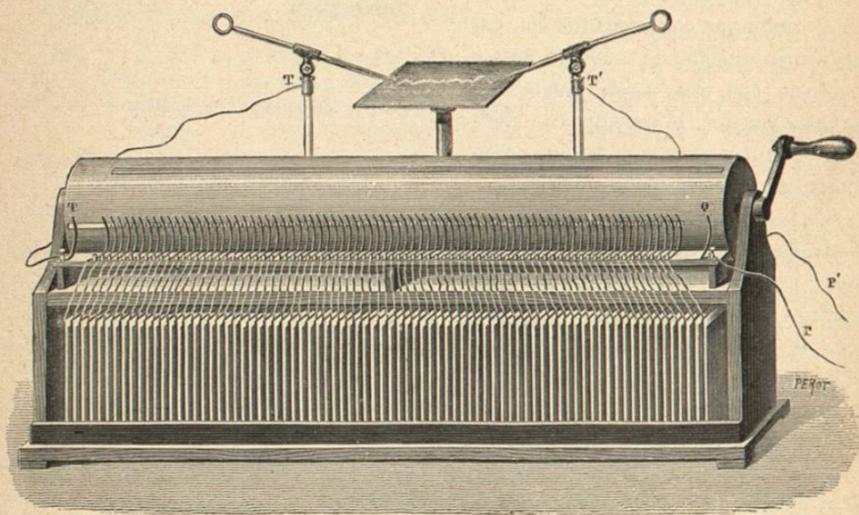


Fig. 181. — Gran máquina reostática de Planté

lado y con las impares por otro, todos los condensadores no forman más que uno solo de gran superficie, que se carga haciendo que las bornas PP' comuniquen con los polos de la batería. Si, por el contrario, el cilindro está vuelto como lo indica la figura, los condensadores están reunidos en tensión. Los brazos T y T' del excitador comunican con las armaduras de los dos últimos condensadores, y mientras tanto la batería ó pila que ha cargado la máquina queda fuera de circuito.

“Cuando se da vueltas al conmutador, dice M. Planté, brotan chispas en todos los puntos en que las bandas metálicas tropiezan con los muelles que van á dar á los condensadores para cargarlos en superficie, y transforman el cilindro en un tubo chispeante. También aparece otra línea de chispas cuando todos los condensadores están reunidos en tensión y resulta la descarga entre los brazos del excitador.

„Si se interpone en el circuito de la batería secundaria una columna de agua destilada, ésta parece continuamente descompuesta mientras la máquina funciona. En realidad, no ocurre esta descomposición sino en el momento en que brotan las chispas de carga; porque, durante la descarga, el tubo con el agua se halla enteramente fuera de circuito, lo mismo que la batería secundaria.

„La cantidad limitada de electricidad dinámica almacenada en la batería secundaria

se va gastando poco á poco durante la carga misma de los condensadores; pero este consumo es muy lento, y cada carga de aquéllos, y por consiguiente cada descarga, corresponde á una cantidad reducidísima de acción electro-química consumida en la batería..,

Aumentando el número de condensadores y disminuyendo el espesor de las placas aisladoras ha conseguido M. Planté hacer funcionar sus máquinas reostáticas y que produjeran todos los efectos de las demás máquinas eléctricas y carretes de inducción, sin emplear baterías de más de 100 pares secundarios, y aun de 30 á 40. Ya tendremos ocasión de describir algunos de estos efectos.

CAPITULO VIII

EL ELECTRO-MAGNETISMO

I

ACCIÓN DE LAS CORRIENTES SOBRE LA AGUJA IMANADA

Veinte años después del descubrimiento de la pila por Volta, Ørsted, físico danés, profesor en la universidad de Copenhague, descubrió un hecho nuevo de importancia capital, cual es el de que la corriente eléctrica actúa sobre la aguja imanada. Mucho tiempo hacía que se sospechaba que hubiese cierta relación entre los fenómenos magnéticos y los eléctricos; habíanse notado las perturbaciones experimentadas por la brújula en los barcos en que caía un rayo ó en cuyos palos aparecía el fenómeno eléctrico conocido con el nombre de fuego de San Telmo, y se sabía que las descargas de las baterías influían en las agujas imanadas colocadas cerca de los aparatos. Pero todos estos casos sólo daban ideas vagas sobre la correlación de que se trata.

En 1820, en el mismo año en que Ørsted hizo su descubrimiento, Ampère estudió y formuló las leyes de esta acción, demostrando además que las corrientes mismas actúan sobre las corrientes. Por último, Arago descubrió la imanación del hierro dulce y del acero por la corriente de la pila. Los experimentos de estos tres sabios fueron otros tantos puntos de partida para un gran número de experimentos nuevos, que cambiaron poco á poco la faz de esta parte de la ciencia, demostrando que el magnetismo y la electricidad son manifestaciones distintas de una misma causa. Más adelante veremos que los mismos descubrimientos que han revelado la verdadera naturaleza del magnetismo y contribuido á que la teoría hiciese tantos progresos, han sido fecundísimos en aplicaciones ingeniosas y útiles.

Volvamos al experimento de Ørsted.

Supongamos una aguja imanada suspendida sobre un eje vertical, y móvil en un plano horizontal. Sabemos que en este caso se coloca por sí misma en dirección del

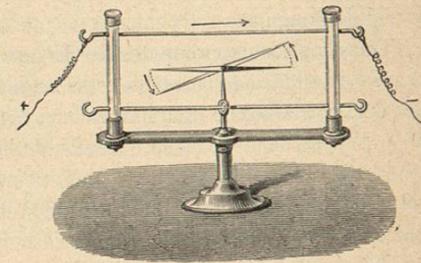


Fig. 182. — Acción de una corriente eléctrica sobre la aguja imanada

meridiano magnético, formando un ángulo constante con la línea meridiana geográfica Norte-Sur. Pongamos por encima de la aguja, paralelamente á ella y á corta distancia, un hilo metálico cuyos extremos se empalman á los reóforos de una pila. Tan luego como pasa la corriente, la aguja se desvía de su posición, se aparta del meridiano magnético y se pone en cruz con la corriente. En lugar de poner el hilo encima de la aguja, supongámosle colocado debajo y á corta distancia; la aguja da una media vuelta completa, colocándose de nuevo en cruz con la corriente. Repitamos ambos experimentos cambiando la dirección de la corriente voltaica; si antes iba de Sur á Norte, hagámosla ir ahora de Norte á Sur. La aguja se desvía también, y del mismo modo que antes, se coloca en cruz con la corriente, pero en direcciones precisamente opuestas á las que la corriente directa la hacía ocupar.

Por último, si en vez de poner el hilo paralelamente á la aguja, se le pone perpendicular á su dirección, enfrente de uno de los polos, se observarán en ella las mismas

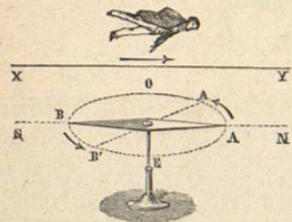


Fig. 183.—Desviación del polo austral á la izquierda, por efecto de una corriente superior.

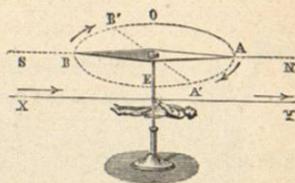


Fig. 184.—Desviación á la izquierda de la corriente. Corriente inferior.

desviaciones, correspondientes á las cuatro posiciones nuevas que se pueden dar á la corriente voltaica, de arriba abajo, y de abajo arriba y enfrente del polo austral ó del boreal de la aguja.

Tales son los experimentos de Ørsted. Véase ahora cómo logró Ampère formular en un solo enunciado la ley de estas variaciones. Concibió la ingeniosa idea de personificar la corriente, de figurarla en una figurilla tendida en dirección de la misma, con la cara vuelta siempre hacia el centro de la aguja, en todas las posiciones posibles. Supónese además que la corriente, que, como es sabido, marcha del polo positivo de la pila al polo negativo recorriendo el hilo, entra por los pies de la figurilla y sale por la cabeza. Esto sentado, resulta que la corriente tiene derecha é izquierda, que son las de la figura en cuestión, y por consiguiente he aquí el sencillo enunciado en el cual ha reunido Ampère todos los casos á que puede dar origen el experimento de Ørsted.

Cuando una corriente eléctrica actúa sobre la aguja imantada, el polo austral de ésta, que es siempre el que se dirige al Norte, se desvía hacia la izquierda de la corriente.

Las figuras 183 y 184 representan el caso en que la corriente marcha en sentido paralelo á la aguja y de Sur á Norte.

En el caso de que la corriente sea superior, el polo austral A se desvía en A' á la izquierda de aquélla, es decir, hacia el Oeste; si la corriente pasa por debajo de la aguja, también se desviará el polo austral A en A' á la izquierda de la misma, pero entonces este polo mirará al Este. Si se cambia la dirección de la corriente sin dejar de ser paralela á la aguja, es decir, si se la hace marchar de Norte á Sur, el polo austral se desviará al Este cuando la corriente sea superior, y al Oeste cuando sea inferior á la

aguja. Por último, cuando aquélla es vertical, puede ser ascendente ó descendente, y dispuesta, ya frente al polo boreal de la aguja, ó bien frente á su polo austral. En el caso representado en la figura 185, se ve el polo austral desviado al Este, es decir, á la izquierda de la corriente. Dejamos á la consideración del lector el cuidado de discernir la dirección de la desviación de la aguja en los demás casos, cosa fácil, gracias al enunciado de Ampère.

Biot, Savart y Laplace han estudiado las leyes por que se rigen estas desviaciones; de sus estudios sólo retendremos el hecho de que la influencia de la corriente depende de su intensidad, y por consiguiente de la superficie de los elementos de la pila empleada, intensidad que disminuye á medida que aumenta la distancia de la aguja imantada: *La intensidad de la fuerza electromagnética está en razón inversa de la simple distancia.* Verdad es que aquí tratamos de una corriente indefinida, y la fuerza en cuestión es la resultante de todas las acciones elementales de las porciones de corriente que son capaces de influir en la aguja. Si, como lo ha hecho Laplace, tan sólo se considerase la fuerza electromagnética de un elemento de corriente, se encontraría en ella la ley de las demás fuerzas físicas que *varian en razón inversa del cuadrado de la distancia.* No hay que olvidar que cuando la aguja se halla en presencia de una corriente voltaica, está sometida á la vez á dos influencias, la de la corriente misma y la de la Tierra, que influye en la aguja como un imán. Las desviaciones observadas son, pues, resultado de estas dos acciones simultáneas. Si por cualquier medio se consigue hacer la dirección de la aguja imantada independiente de la acción de la Tierra, siendo entonces lo que se llama una aguja astática, la corriente la obligará siempre á desviarse en ángulo recto, cualquiera que sea su intensidad, y en este caso la desviación indica tan sólo la existencia de la corriente, sin probar nada acerca de su energía.

Veamos ahora cómo se ha utilizado la acción de las corrientes eléctricas sobre la aguja imantada para construir aparatos que sirven á la vez para comprobar la existencia de las corrientes más débiles y medir su intensidad.

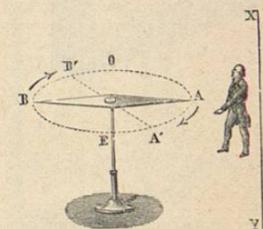


Fig. 185.—Desviación á la izquierda de la corriente. Corriente vertical.

II

MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE LAS CORRIENTES. — GALVANÓMETROS

Ampère fué el primero á quien se le ocurrió utilizar el descubrimiento de Ørsted para medir la intensidad de las corrientes; pero al físico alemán Schweigger se debe la invención del aparato en que está basada la construcción de los galvanómetros así como la feliz idea de multiplicar la acción de la electricidad sobre la aguja imantada de modo que denotase la existencia de la corriente más débil.

El multiplicador de Schweigger (fig. 186) consiste en un marco de madera en el cual está enrollado muchas veces un alambre de cobre. El hilo metálico está recubierto en toda su longitud de una substancia aisladora, ya sea gutapercha, seda ó algodón, de suerte que al entrar una corriente eléctrica por un extremo del hilo y al salir por el otro, no puede pasar de una espira á la siguiente sin haber recorrido toda su extensión; en una palabra, tiene que recorrer todas las espiras sucesivas. Si se coloca el cuadro

verticalmente sobre uno de sus lados en el plano del meridiano magnético, y se pone en el interior una aguja imanada suspendida libremente sobre un eje vertical, se tendrá un instrumento muy propio para marcar, por las desviaciones de la aguja; la existencia de una corriente eléctrica por débil que sea. Para esto bastará empalmar los extremos del hilo del multiplicador con los dos reóforos de la pila ó de cualquier otro circuito voltaico; apenas quedará éste cerrado, la mayor ó menor desviación de la aguja indicará la presencia de la corriente.

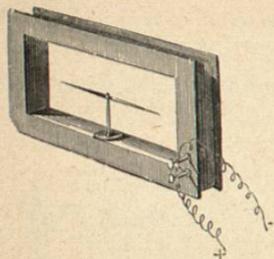


Fig. 186.—Multiplicador de Schweigger

Analícemos ahora lo que ocurre y veamos cómo resulta multiplicada la acción de la corriente en virtud de la disposición que acabamos de describir. Consideremos (figura 187) una de las vueltas del hilo alrededor del marco; la corriente pasa de M á N, luego á Q y á P, y á partir de R se aleja de la aguja. Pues bien, teniendo en cuenta el enunciado de Ampère, se verá que cada una de las cuatro porciones de la corriente tiende á desviar el polo austral a hasta a' , por consiguiente hacia el Este, ó si se quiere, delante de la figura; cada una de ellas obra como una corriente aislada, como una porción de corriente indefinida próxima á la aguja. La desviación total será, pues, más fuerte que si la corriente no hiciera más que seguir uno de los lados del rectángulo. Ahora bien, en la espira siguiente, la corriente obra de nuevo del mismo modo, sucediendo lo propio en todas las espiras sucesivas, de suerte que su influencia en la aguja imanada resulta multiplicada por el número de vueltas del hilo. Por esto se ha dado al instrumento el nombre de *multiplicador*. Sin embargo, la multiplicación del número de vueltas no puede ser indefinida, de suerte que la sensibilidad del aparato es necesariamente limitada.

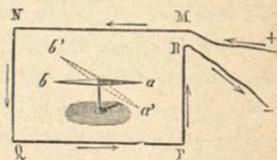


Fig. 187.—Acciones de las varias porciones del hilo en el multiplicador.

Y en efecto, á medida que se aumenta dicho número, el hilo que debe recorrer la corriente crece en longitud, creciendo á la vez la resistencia opuesta al circuito por el hilo. Cuanto más débiles sean las corrientes que se trata de medir, menor debe ser el número de espiras, y únicamente se le puede aumentar sin gran inconveniente cuando se tengan que medir corrientes de gran intensidad.

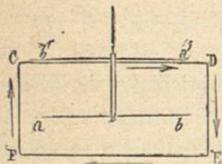


Fig. 188.—Sistema de dos agujas astáticas

Según hemos dicho ya, la aguja imanada está sujeta á dos fuerzas, la acción directriz de la Tierra, en virtud de la cual se coloca en el meridiano magnético, y la acción de la corriente, que tiende á hacerla tomar una posición perpendicular á la primera. La resultante de estas dos acciones da lugar á la desviación de la aguja. Para aumentar esta desviación y dar mayor sensibilidad al multiplicador, ocurriósele á Nobili sustituir la aguja con un sistema de dos agujas imanadas paralelas ab y $a'b'$, pero fijas en un mismo eje, de modo que sus polos del mismo nombre estén situados en sentido inverso (fig. 188). El eje está suspendido de una hebra de seda sin torcer, y si las agujas tienen la misma fuerza magnética, su sistema será *astático*, es decir, permanecerá en equilibrio, cualquiera que sea el ángulo que forme con el meridiano. Sin embargo, un sistema rigurosamente astático no llenaría el objeto pro-

puesto, que consiste en medir la intensidad de las corrientes por la desviación, puesto que entonces ésta llegaría siempre, según hemos dicho, al máximo de 90° , cualquiera que fuese la debilidad de la corriente. Pero si una de las agujas, por ejemplo la inferior, está un poco más imanada que la superior, el sistema continuará sometido á la influencia de la Tierra; mas si las agujas del sistema están sumamente imanadas, esta acción será muy débil, y por consiguiente la acción de las corrientes, por intermedio del multiplicador, aumentará considerablemente.

La introducción de las agujas compensadas en el multiplicador de Schweigger inspiró á Nobili la idea de la construcción del *reómetro* ó *galvanómetro*, aparato sumamente sensible para comprobar la existencia y dirección de las corrientes eléctricas más débiles. Véase en qué consiste este instrumento (fig. 189) y cómo se le utiliza.

El marco de marfil alrededor del cual se enrolla el hilo multiplicador lleva encima un cuadrante cuyo centro coincide con el hilo de seda cruda que sostiene las dos agujas. Se puede mover este marco en un plano horizontal mediante un tornillo exterior. Empiézase por ponerlo en el plano del meridiano magnético, reconociéndose que lo está cuando el cero de la graduación del cuadrante corresponde con una de las puntas de la aguja. Entonces se tiene la seguridad de que las espiras del hilo de cobre son paralelas á las dos agujas del sistema. El marco ha arrastrado en su movimiento una placa rectangular de marfil que lleva dos botones de latón, á cada uno de los cuales va á parar una punta del hilo del multiplicador, empalmándose á dichos botones los reóforos de la corriente cuya dirección é intensidad se desea averiguar. Al cerrarse el circuito, la corriente recorre las espiras, y la aguja superior se desvía á la derecha ó á la

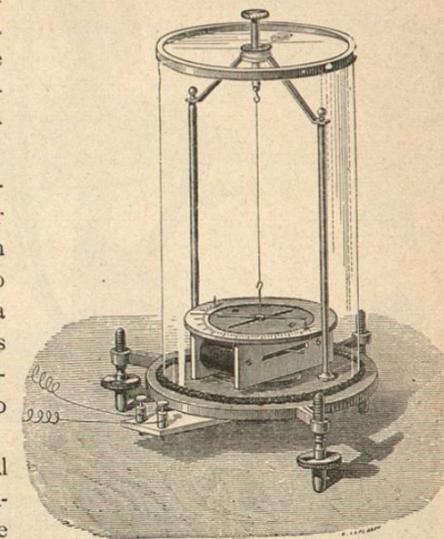


Fig. 189.—Galvanómetro

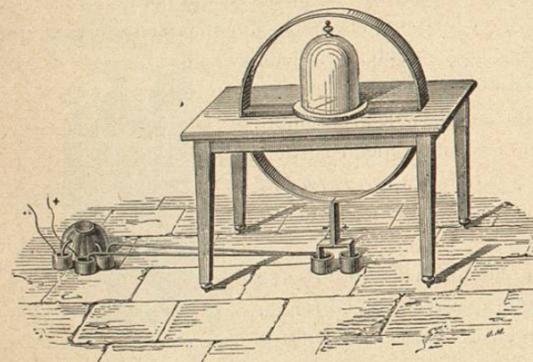


Fig. 190.—Brújula de tangentes de Pouillet

izquierda de su posición de equilibrio; el sentido de esta desviación indica, según la ley de Ampère, el de la corriente. El aparato está provisto de tornillos de nivel, para ponerlo perfectamente horizontal, y de un fanal de vidrio que sirve para resguardar el hilo suspensor y las agujas de las agitaciones del aire exterior.

Por lo que respecta á la intensidad de la corriente, depende del ángulo que forma

la aguja con el meridiano magnético, es decir, del arco recorrido por una de sus puntas á partir del cero de la graduación. Se ha observado que, si la desviación no excede de 20°, es sensiblemente proporcional á la intensidad de la corriente. Cuando excede de esta cifra, ya no hay tal proporción, y para seguir valiéndose del galvanómetro, es necesario construir una tabla que marque por cada división el valor de la intensidad de la corriente que produce la desviación. La construcción de la tabla en cuestión, que se debe hacer especialmente para cada uno de dichos instrumentos, puede efectuarse de varios modos. Melloni empleaba un método en el que utilizaba las corrientes termo-eléctricas. Becquerel comparaba las dos corrientes de sentido contrario que atravesaban simultáneamente dos hilos enrollados en un marco de un mismo multiplicador, y medía así la diferencia de sus acciones sobre la aguja, por cuya razón daba al instrumento de tal suerte preparado el nombre de *galvanómetro diferencial*. Pero el método de graduación más sencillo es el que consiste en intercalar en el circuito de las corrientes por medir el galvanómetro mismo y otro aparato que marque exactamente la intensidad. Este aparato, que vamos á describir ahora y que se usa principalmente cuando se han de medir corrientes intensas, es la *brújula de senos*, ó también la *brújula de tangentes*. M. Pouillet ha inventado ambos reómetros, que él mismo describe como sigue:

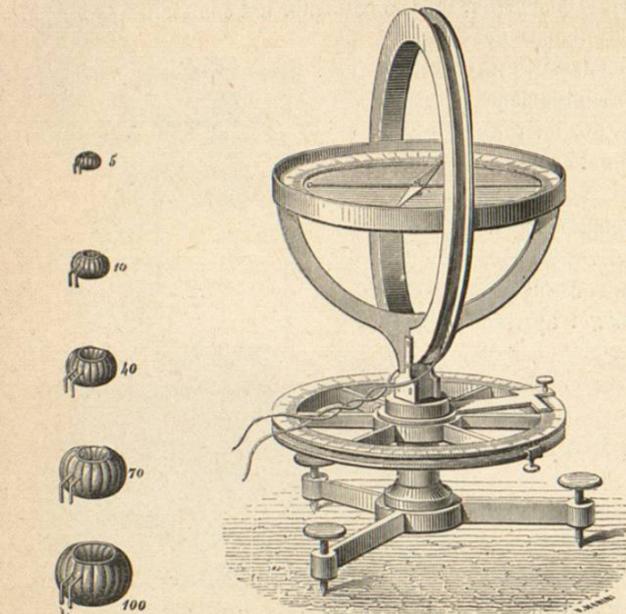


Fig. 191.—Serie de hilos para las brújulas de senos y tangentes.

Fig. 192.—Brújula ó galvanómetro de senos de Pouillet

“La *brújula de tangentes*, representada en la figura 190, se compone de un gran círculo de metal que recibe la corriente, para lo cual termina inferiormente en dos apéndices puestos en comunicación con los dos polos de la pila por medio de dos vasos llenos de mercurio. Colócase este círculo en el plano del meridiano magnético, y su centro coincide con el de una aguja imanada corta y gruesa, suspendida de hilos sin torsión y que lleva perpendicularmente un índice bastante largo para recorrer los grados del círculo horizontal que debe marcar las desviaciones. Apenas pasa la corriente al círculo vertical, la aguja se desvía tanto más cuanto más intensa es aquélla, siendo fácil demostrar que las intensi-

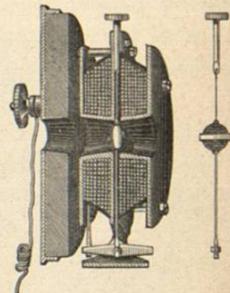


Fig. 193.—Corte del galvanómetro de reflexión de Thomson.

dades de las corrientes son precisamente proporcionales á las *tangentes de las desviaciones* producidas por ellas. Basta, pues, observar bien en el círculo horizontal las nuevas posiciones de equilibrio que toma la aguja imanada bajo la influencia de varias corrientes.

“Siendo el generador eléctrico el mismo, se cambian las longitudes del circuito, introduciendo sucesivamente en él una serie de hilos semejantes, aunque de longitudes distintas; estos hilos, forrados de seda, están replegados sobre sí mismos y envueltos exteriormente para que se conserven bien en el mismo estado. Una de estas series está representada en la figura 191: las longitudes son 5, 10, 40, 70 y 100 metros; solamente se ven las dos extremidades por las cuales están sucesiva ó simultáneamente introducidos en el circuito. De este modo se hace actuar el mismo generador eléctrico en cir-

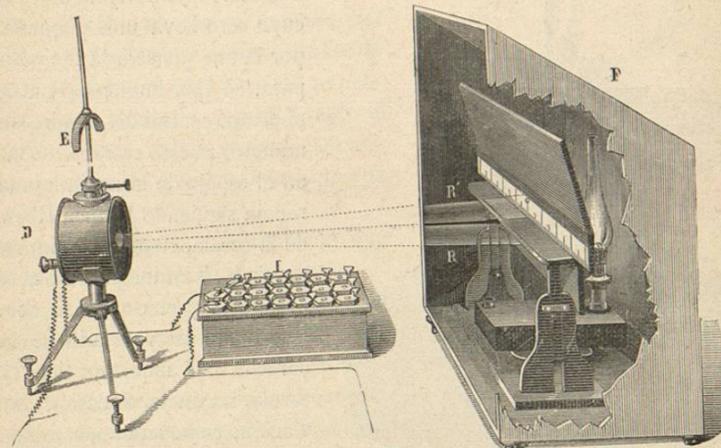


Fig. 194.—Galvanómetro de reflexión de Thomson

cuídos de diferente longitud, determinándose las desviaciones y por consiguiente las intensidades correspondientes.

“La *brújula de senos* está figurada en el grabado 192; el círculo vertical tiene la forma de polea para recibir en su garganta una ó muchas vueltas del hilo forrado por el cual pasa la corriente; en su centro hay también una aguja imanada, suspendida ó puesta sobre un eje vertical, así como una mira que corresponde con la línea media del círculo para marcar la posición del polo austral; teniendo además un círculo azimutal inferior para determinar las desviaciones.

“Cuando el círculo vertical se halla en el plano del meridiano magnético, la aguja está en su punto de mira ó de referencia, y no bien pasa la corriente, se desvía; entonces se da vuelta al círculo vertical para seguir en su marcha á la aguja y llevarle su mira, de suerte que el plano de la corriente esté siempre en el vertical de la aguja. Cuando ésta se ha detenido en su nueva posición, el círculo azimutal marca el ángulo de desviación que es tanto mayor cuanto más considerable es la intensidad de la corriente, siendo fácil demostrar que las intensidades de ésta son precisamente proporcionales á los *senos de las desviaciones* por medio de un sencillo cálculo matemático. Siendo el generador eléctrico el mismo, se cambian las longitudes del circuito introduciendo en él series de hilo, según hemos dicho anteriormente.”

Sir W. Thomson ha construido un *galvanómetro de reflexión*, cuyo principio va-