

nombre contrario se atraen. Finalmente, obsérvanse las mismas acciones si se acerca el polo de un solenoide á cualquiera de los de un imán (fig. 210). La asimilación es completa y Ampère ha podido formular en todo su rigor su teoría del magnetismo, teoría que equipara los fenómenos magnéticos á los de la electricidad dinámica. He aquí un sucinto resumen de esta teoría:

El globo terráqueo está surcado continuamente de una multitud de corrientes eléctricas, engendradas por las acciones químicas que se desarrollan en su seno. Todas estas corrientes de sentido é intensidad probablemente distintos y variables producen en los imanes el mismo efecto que una sola corriente resultante de la composición de las corrientes elementales y que circula de Este á Oeste en sentido contrario al movimiento de rotación de la Tierra. Toda substancia magnética, como hierro, acero, etc., es también asiento de corrientes eléctricas elementales que circulan alrededor de ciertos grupos de átomos. En el hierro dulce, y en los cuerpos magnéticos que no están dotados del magnetismo polar, estas corrientes están orientadas en todos sentidos, de suerte que el efecto resultante es nulo. En los imanes, por el contrario, todas las co-

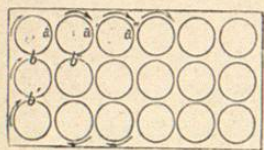


Fig. 211.—Corrientes particulares de los imanes

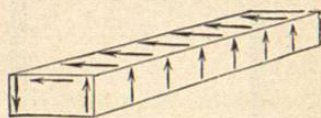


Fig. 212.—Corrientes resultantes en la superficie de un imán

rrientes particulares tienen la misma orientación; por ejemplo, circulan como lo indican las flechas en la figura 211, en la que se ve representada una sección transversal de una barra imanada. En las porciones contiguas, en *b, b', a, a'*, etc., las corrientes son de sentido contrario; de suerte que el efecto total se reduce al efecto exterior, lo que equivale á considerar el contorno de cada filo como si estuviese recorrido por una sola corriente. Lo propio sucederá en todas las secciones, y el imán quedará constituido como lo indica la figura 212.

Véase, pues, según la teoría de Ampère, que se puede considerar todo imán como equivalente á un solenoide, ó mejor dicho, como si fuese un conjunto, un haz de solenoides ó hélices formadas por corrientes particulares que circulan por planos casi perpendiculares á la línea de los polos.

En cuanto á las substancias magnéticas, como el hierro dulce, la proximidad de un imán les hace adquirir momentáneamente el magnetismo polar, por la acción que las corrientes del solenoide ejercen en las que emanan de ellas mismas. Esta influencia modifica la acción de dichas corrientes elementales, haciendo que su resultante no sea ya nula; así se concibe la imanación por influencia. En el artículo siguiente veremos que la teoría de Ampère explica también perfectamente la imanación permanente; pero aquí es la experiencia la que debe aleccionarnos, revelándonos fenómenos del mayor interés. Antes de tratar este último asunto, insistamos un tanto en la profunda modificación introducida por tan hermosa teoría en las miras hipotéticas que hacían del magnetismo una ciencia aislada, á pesar de la analogía evidente de sus leyes con las de la electricidad. De hoy más está probado que el principio de los fenómenos magnéticos es la misma electricidad, quedando fijada ya la unidad en estas dos clases tan importantes de fenómenos.

„Antes del gran descubrimiento del imán eléctrico, dice M. Quet, admitíase la existencia de un fluido austral y de otro boreal para explicar los fenómenos del magnetismo, y se suponía que las partículas homólogas de estos fluidos se repelían en razón inversa del cuadrado de las distancias, al paso que las partículas diferentes se atraían con arreglo á la misma ley. Esta teoría bastaba para explicar los fenómenos que se conocían antes del descubrimiento de Ørsted, si bien con condición de agregarle dos nuevas hipótesis.

„Suponíase que los fluidos estaban confinados en ciertas partes del cuerpo, y que



A. M. AMPÈRE

un obstáculo desconocido los privaba de salir de ellas para circular á la manera de los fluidos eléctricos. De otro modo, era imposible explicar por qué, cuando se rompía un imán en menudos fragmentos, cada partícula era á su vez un imán con su polo austral y boreal.

„Asimismo era preciso suponer que, en volúmenes iguales de hierro y níquel, no se podían separar los dos fluidos en un mismo número de partes correspondientes, y en efecto se requería que no tuvieran el mismo poder magnético, como lo indica la experiencia.

„Cuando Ørsted descubrió que la corriente eléctrica actuaba sobre el imán, la teoría con sus dos hipótesis fué ya insuficiente para explicar esta nueva acción y hubo que considerar el hecho como un caso primitivo.

„Pero todas las perplejidades desaparecían con la teoría de Ampère. Las corrientes eléctricas residen necesariamente en las partículas, y por consiguiente cada partícula de imán es un imán completo. La acción de las corrientes particulares debe variar natural-

mente de un cuerpo á otro, puesto que depende á la vez de la fuerza electromotriz y de las dimensiones de las partículas; así pues, la diferencia del hierro y del níquel es simple consecuencia de la teoría. Por último, la acción del imán sobre las corrientes eléctricas es en esta teoría un fenómeno electro-dinámico que se puede calcular y prever, y no un hecho primitivo.

„La oportuna teoría de Ampère debía, pues, eliminar de la ciencia la antigua hipótesis con su complicación de los dos fluidos inútiles, de dos suposiciones forjadas para apoyarla, y de un hecho primitivo que era forzoso aceptar. Con ella todo se coordina, todo aparece sumamente claro, todo concuerda con el hecho fundamental de la acción de unas corrientes sobre otras, y en fin, queda descorrido el velo que ocultaba el magnetismo.,,

VI

IMANACIÓN POR LAS CORRIENTES

Arago hizo en 1820, al poco tiempo de los descubrimientos de Ørsted y de Ampère, el experimento siguiente: metió en un montón de limaduras de hierro un alambre de cobre, cuyos extremos estaban empalmados á los dos polos de una pila, y al sacar el hilo sin interrumpir la corriente, lo vió cubierto en toda su superficie de partículas de limaduras, puestas transversalmente; tan luego como se rompía el circuito, las partículas se desprendían del cobre y caían. Para cerciorarse de que se daba el caso de una imanación transitoria, y no de la atracción de cuerpos leves por uno electrizado, sustituyó las limaduras de hierro con una substancia no magnética, y ya no se presentó el fenómeno.

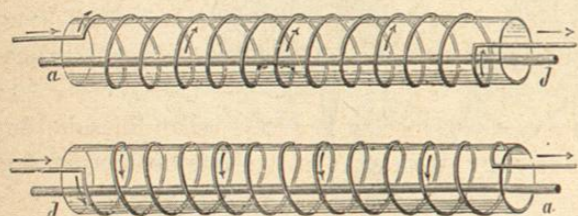


Fig. 213.—Imanación de una aguja de acero por un solenoide: hélice dextrorsum y sinistrorsum

Poniendo agujas de hierro dulce, y luego acero templado muy cerca del alambre de cobre y en cruz con él, vió que la acción de la corriente las transformaba en agujas imanadas, con su polo austral siempre á la izquierda de ésta, resultado que estaba conforme con los recientes experimentos de Ørsted.

Arago y Ampère reconocieron en breve que la imanación del hierro dulce ó del acero se desarrolla con mucha mayor energía poniendo la aguja dentro de una hélice eléctrica: enrollaban el hilo reóforo de una pila alrededor de un tubo de vidrio, y poniendo en seguida en el eje de éste la aguja que se proponían imanar, hacían pasar la corriente. Al punto ocurría la imanación; pero, según era de esperar, esta imanación era transitoria en el hierro dulce y permanente en el acero.

En la figura 213 se ve que hay dos modos de enrollar el hilo en el tubo. Suponiendo á éste vertical, se puede enrollar el hilo de arriba abajo y cada espira de derecha á izquierda en la cara del tubo vuelta hacia el operador; tal es la hélice ó solenoide *dextrorsum d a*; ó bien se puede practicar esta operación del mismo modo, pero llevando el hilo de izquierda á derecha, con lo cual se tendrá la hélice ó solenoide *sinistrorsum a d*. Si la corriente atraviesa las espiras de las hélices de arriba abajo, como lo indican las flechas, la imanación dará á la aguja su polo austral abajo en la hélice

dextrorsum, es decir, del lado por donde sale la corriente; en caso contrario, dicho polo estará arriba en la aguja de la hélice *sinistrorsum*, ó del lado por donde entra la corriente. En ambos casos, el polo austral se hallará siempre situado á la izquierda de la corriente, con arreglo á la ley de Ampère.



Fig. 214.—Imanación por una hélice: producción de los puntos consecuentes

Por este medio de imanación, tan sencillo como maravilloso, se pueden producir á beneplácito polos secundarios en las barras que se quiere imanar, á lo cual se da, según hemos dicho, el nombre de *puntos consecuentes*. Basta para ello, según lo demostró Arago por vez primera, enrollar el hilo en un sentido alrededor del tubo y volverlo á enrollar en el contrario enfrente de cada uno de los puntos en que debe haber un polo secundario, resultando formada la hélice total de una hélice *sinistrorsum* seguida de otra *dextrorsum*, y así sucesivamente (fig. 214).

En otro tiempo se efectuaba la imanación de las barras de acero por varios procedimientos que hemos descrito en el libro del *Magnetismo*; pero hoy se prefiere apelar á las corrientes eléctricas que circulan por una hélice. Rodéase la barra que se ha de imanar de una bobina por la cual se hace pasar la corriente, y mientras tanto se va corriendo la bobina de un

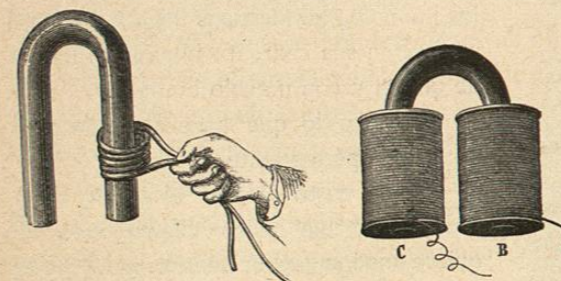


Fig. 215.—Procedimiento de imanación permanente por las hélices

extremo á otro de la barra; al poco tiempo el acero ha adquirido su máximo de imanación.

Anteriormente indicamos algo acerca de los medios de que se valían Elías de Harlem y Logemann para hacer imanes de gran potencia. A la siguiente descripción, que tomamos de Gordon, debemos añadir que el acero empleado por los inventores es un acero particular y sumamente templado. Este procedimiento consiste en pasar y repasar por la barra que se quiere imanar una bobina de alambre de cobre por la cual circula una corriente eléctrica. Cuando se opera con una barra en forma de herradura, se pone una bobina sobre cada brazo, se hace pasar la corriente por las dos bobinas, y se las hace ir y venir juntas por los dos brazos de la herradura. Se puede lograr la imanación máxima con un solo par de Grove y de Bunsen, pero es menester que este par, así como las bobinas, tengan muy poca resistencia. Elías se valía de un par de Grove cuya resistencia era igual á la de un hilo de cobre de 1 milímetro de diámetro y 0^m,66 de longitud. Su bobina estaba

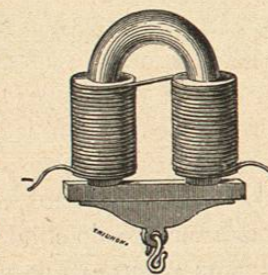


Fig. 216.—Electro-imán de herradura

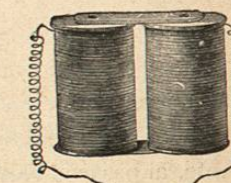


Fig. 217.—Electro-imán de núcleos paralelos

formada por un hilo de 3 milímetros de diámetro y de 7 á 8 metros de longitud. Este procedimiento ofrece gran analogía con el del doble contacto.,

La construcción de imanes permanentes ha adquirido gran importancia desde la invención de las máquinas magneto-eléctricas y su aplicación á la luz eléctrica y á la galvanoplastia. M. Meritens, inventor de uno de estos aparatos que en breve describiremos, imana rápidamente á saturación los 40 haces de imanes permanentes que componen una de sus máquinas. Pone dos imanes á la vez con sus polos frente á frente, separados por una tenue hoja de cobre contra la cual están aplicados. Unas bobinas excitadoras ó magnetizantes rodean cada haz, y para animarlas envía al hilo la corriente de una máquina Gramme, dejándola obrar por espacio de veinte segundos é interrumpiéndola otros veinte. "A cada paso de la corriente prodúcese un fuerte movimiento molecular, y la imanación es tal, que si se deja funcionar el aparato más de veinte minutos, se calientan los polos de los imanes., M. Meritens llega á imantar á saturación sus cuarenta imanes en menos de un día y con un solo hombre.

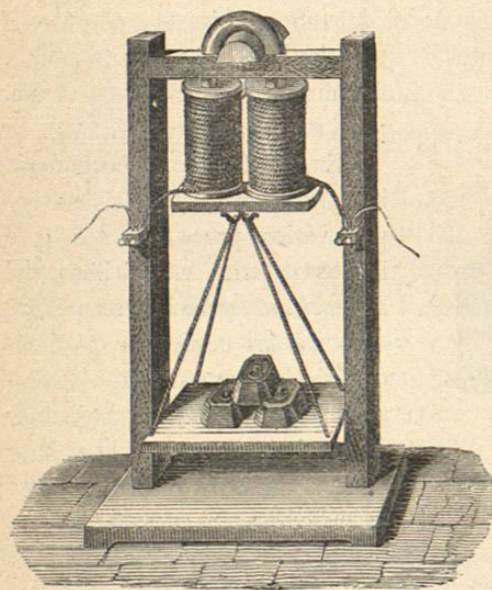


Fig. 218. — Electro-imán con su carga

Esto por lo que hace al método de imanación permanente.

Hemos visto ya que el hierro dulce rodeado de una hélice magnetizante adquiere una imanación transitoria. La fuerza magnética desarrollada de este modo es tanto más poderosa cuanto más homogéneo y puro es el hierro y mayor el número de espiras de la hélice. Para realizar fácilmente esta última condición, se cubre el hilo metálico con una envolvente aisladora, por ejemplo de seda ó de algodón como en el multiplicador de Schweigger. Se la enrolla en el pedazo de hierro dulce, juntando las vueltas tanto como se quiera para hacer un gran número de espiras. Entonces resulta lo que se llama un *electro-imán*, es decir, un imán cuyo poder magnético subsiste mientras dura el paso de la corriente de la pila, y cesa tan luego como esta corriente se interrumpe (1).

Por lo general se da á los electro-imanés la forma de un cilindro doblado á modo de herradura, cada uno de cuyos brazos está cubierto por una porción del alambre. Las hélices parecen enrolladas en él en sentido opuesto, pero este sentido ó dirección es en realidad el mismo en los dos brazos suponiendo el hierro dulce enderezado. Por consiguiente, al pasar la corriente resultan en sus extremos dos polos de nombre contrario.

También se hacen electro-imanés con dos cilindros de hierro dulce paralelos, reuni-

(1) La intensidad del magnetismo que se puede comunicar de este modo á una barra de hierro dulce no tan sólo depende de la intensidad de la corriente, sino también del número de vueltas ó espiras del hilo que la rodea, de la longitud y del diámetro del hilo. Según M. Weber, tratándose de escasas intensidades, hay casi proporcionalidad entre la magnética y la de la corriente; pero cuando ésta crece, la primera tiende hacia un límite determinado. "La existencia de un límite de imanación, dice M. Verdet, es una consecuencia evidente de la teoría de Ampère; cuando todos los elementos magnéticos de una barra están orientados paralelamente á su eje, sus acciones son concordantes, y la imanación no puede aumentar ya.,

dos de un lado por una plaquita de hierro, y del otro por una de cobre (fig. 217). Pero se dan asimismo las formas más variadas á estos aparatos, según el uso á que se los destine; así es que se los hace cilíndricos, cuadrados, planos, elipsoidales, variándose también las hechuras de sus armaduras.

El electro-imán que M. Pouillet ha mandado construir para la Facultad de Ciencias de París puede sostener una carga de muchos millares de kilogramos. Un electro-imán perteneciente á M. Gordon, autor del *Tratado de electricidad y de magnetismo* que tantas veces hemos citado, está formado de una herradura cuyos brazos tienen 33 centímetros de longitud y 635 milímetros de diámetro; las hélices 30'5 centímetros de longitud y 12'7 de diámetro exterior con más de 1,000 vueltas de hilo de cobre de 1^m,25 de diámetro, pesando cada una 15 kilogramos. "Este imán, con los polos hacia abajo y atravesado por una corriente enérgica, sustentaría probablemente un peso de 1 á 3 toneladas sujeto á su armadura., Pronto veremos la acción magnética que tan poderosos aparatos ejercen sobre sustancias que hasta ahora parecía haber resistido á su influencia. Aparte de las muchas aplicaciones que se les da y que luego describiremos, se puede hacer con los electro-imanés experimentos curiosísimos, como formar una cadena magnética poniendo bajo los polos un montón de sustancias magnéticas, limaduras de hierro, clavos, etc.

Apenas pasa la corriente, los polos atraen los cuerpos pequeños que se iman por influencia y se entrelazan como se ve en la figura 219. Al romperse el circuito, la cadena se rompe también, y todos los fragmentos caen á la vez.

La prontitud con que el hierro dulce se imana por la influencia de la electricidad y pierde esta imanación no bien cesa la corriente, ha originado muchas é importantes aplicaciones del electro-imán. En otra parte veremos que se ha utilizado esta propiedad para construir máquinas motoras, aunque poco poderosas, preciosas en realidad para los trabajos que requieren regularidad y precisión. Pero en la telegrafía eléctrica es donde el electro-imán desempeña un papel más importante, á propósito para demostrar cuán de cerca tocan las especulaciones de la más elevada teoría á las aplicaciones prácticas de la más trascendental utilidad social. En otros capítulos tributaremos el debido homenaje á los inventores de los sistemas que han permitido realizar este medio instantáneo de comunicación del pensamiento; ahora debemos continuar ofreciendo á la gratitud del mundo civilizado los nombres de Volta, Ampère y Arago, porque á tan ilustres hombres somos deudores del descubrimiento de los principios que son la base de tan maravillosa invención.

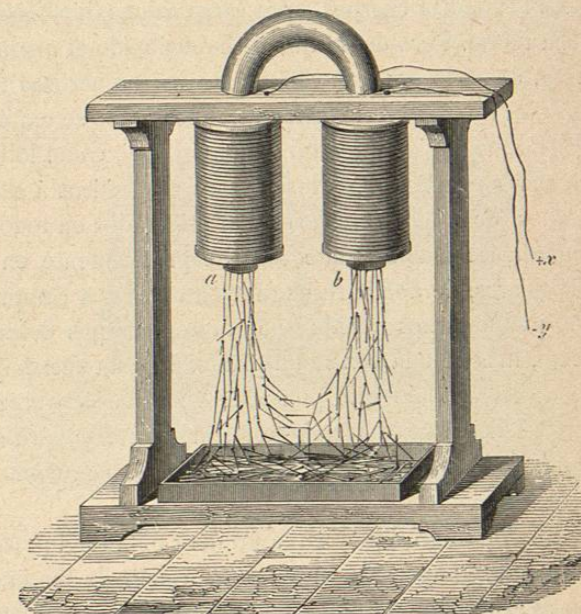


Fig. 219. — Cadena magnética

VII

DIAMAGNETISMO

Al describir los fenómenos generales del magnetismo, hemos visto que un corto número de substancias, como el hierro, el níquel y el cobalto, gozan de la propiedad de ser atraídas por el imán; varias de estas substancias, á las que se da el nombre de *magnéticas*, pueden además adquirir de un modo permanente el magnetismo polar, es decir, convertirse á su vez en imanes. En la teoría de los fluidos, la existencia de estas substancias, privilegiadas en cierto modo, y la carencia de dicha propiedad por parte de todos los demás cuerpos, eran otras tantas hipótesis enlazadas con la que constituía dicha teoría. Pero desde que se ha atribuído el magnetismo y la electricidad á la misma causa, como lo prueban claramente los numerosos fenómenos de influencia recíproca entre los imanes y las corrientes, difícilmente se explica una distinción radical entre los cuerpos magnéticos y los no magnéticos. Si, como lo exige la teoría de Ampère, se debe asimilar las partículas de los cuerpos magnéticos á elementos de pila voltaica cuyas corrientes ó circuitos cerrados están orientados en todos sentidos; si la acción de un imán ó una hélice magnetizante consiste precisamente en dirigir ú orientar esas corrientes particulares, de donde resultan las atracciones comprobadas por la experiencia, podemos preguntarnos por qué hay tantos cuerpos desprovistos de esta propiedad. Y en efecto, más de una vez se ha planteado esta cuestión, y el resultado de las investigaciones hechas bajo este punto de vista ha sido precisamente el descubrimiento de la generalización de la acción de los imanes; mas para esto ha sido preciso que los físicos pudieran disponer de imanes de gran potencia, como los electro-imanés que acabamos de describir.

En el pasado siglo y en la primera mitad del presente no dejaron de practicarse estudios que indujeron á creer en la acción de los imanes sobre varias substancias tenidas hasta entonces por no magnéticas; Coulomb había hecho oscilar en su balanza finísimas agujas de oro, plata, vidrio, cera, etc.; pero sus propios experimentos y los de Biot le hicieron reconocer que la acción del imán podía atribuirse en tales circunstancias á partículas de hierro tan pequeñas que el análisis química no revelaba su presencia. Sin embargo, Lebaillif puso en 1828 fuera de duda un hecho capital, vislumbrado ya por Brugmans, y es que el bismuto (al cual agregó este último el antimonio) ejerce repulsión sobre la aguja imanada. La presencia del hierro ó de cualquier otra substancia magnética en ambos metales era insuficiente para explicar semejante anomalía.

A Faraday le cabe el honor de haber demostrado que la propiedad magnética es general, ó por lo menos que casi todos los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos experimentan la influencia del imán. Sólo que la acción es atractiva para unos y repulsiva para otros, de suerte que los cuerpos se dividen en dos clases distintas, comprendiendo la primera las substancias que, como el hierro dulce, son atraídas por los polos de un imán, y la segunda las que, como el bismuto, son repelidas. Faraday llama á las primeras *paramagnéticas* ó simplemente magnéticas; las otras son las substancias *diamagnéticas*.

Ocupémonos de los experimentos que han servido para hacer patentes estas nuevas propiedades.

Ruhmkorff ha construído para estudiar el magnetismo un electro-imán de gran po-

tencia, tal como lo muestra la figura 220. Las dos bobinas ó carretes B B tienen sus núcleos enlazados por una doble escuadra de hierro dulce, cuyos brazos pueden correr horizontalmente, con lo cual se pueden poner los polos á la distancia oportuna: unas tuercas E E los mantienen en la posición que se les da. Los ejes y los polos de las bobinas, es decir, los polos opuestos del electro-imán se hallan en una misma línea horizontal y uno enfrente de otro. Las armaduras P tienen la forma de masas redondeadas ó de conos algo truncados y á veces también de superficies planas y horizontales que se atornillan á los extremos de los núcleos de las bobinas.

Para estudiar un cuerpo sólido se le corta en forma de barra alongada *ab*, que se suspende horizontalmente mediante un soporte S sobre la parte media de la línea que une los dos polos. Entonces se hace pasar la corriente. Si el cuerpo que se estudia es magnético, gira alrededor de su punto de suspensión hasta que su eje coincide exactamente con la línea de los polos del electro-imán; si se suprime la torsión del hilo, persiste en esta posición *axial*. Si, por el contrario, dicho cuerpo es diamagnético, la barra se dirige perpendicular á la línea de los polos y toma la posición que Faraday llama *ecuatorial*. En el primer caso, y á causa de la influencia del electro-imán, la barra se convierte en un imán temporal, con dos polos atraídos por los dos polos opuestos de las armaduras; en el segundo caso, siendo la barra diamagnética, es repelida por ambos polos del electro-imán.

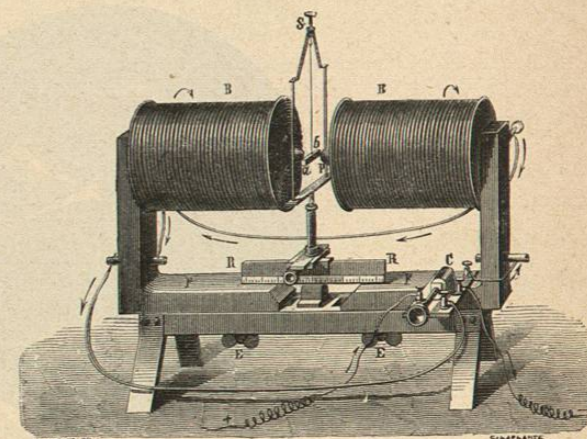


Fig. 220.—Aparato Ruhmkorff para el estudio del diamagnetismo

Así pues, las dos clases de substancias paramagnéticas se distinguen por la dirección axial ó ecuatorial que toman las barras libremente suspendidas entre los polos de un electro-imán de mucha potencia. "Con este aparato, dice M. Quet, no hay cuerpo sólido que no se presente magnético ó diamagnético. Entre los metales, el hierro, el níquel, el cobalto, el manganeso, el cromo, el cerio, el titanio, el paladio, el platino y el osmio son magnéticos; al paso que el bismuto, el antimonio, el zinc, el estaño, el cadmio, el sodio, el mercurio, el plomo, la plata, el cobre y el oro son diamagnéticos. Es de notar que el crown-glass es magnético y el flint-glass diamagnético; que la mayoría de las substancias orgánicas son diamagnéticas, y por último, que el bermellón, el minio, el peróxido de plomo, el asbesto, el papel, etc., son magnéticos, y que los cristales de los cianuros amarillo y rojo de hierro y de potasio son diamagnéticos."

Esto en cuanto á los sólidos. Los líquidos están asimismo sujetos á la influencia del electro-imán y se dividen también en dos clases, según que son atraídos ó repelidos. Para reconocer estas propiedades, Faraday introducía los líquidos en un tubito de vidrio muy delgado, suspendiéndolo horizontalmente entre los polos, y el cual tomaba la dirección axial ó ecuatorial según que el líquido era magnético ó diamagnético. M. Plücker ponía el líquido en un cristal de reloj colocado sobre las piezas polares moldeadas al efecto; el líquido se prolongaba en la dirección axial ó del eje y se ahuecaba en el medio, si era magnético, y adquiría cierta convexidad en dirección del ecuador, si era diamagnético.