

IV

INDUCCIÓN PERIPOLAR

Con objeto de resolver algunas dificultades y de aclarar varios puntos oscuros de la ley de Lenz aplicada á las corrientes inducidas del magnetismo de rotación, Le Roux ha construido un aparato y efectuado un experimento interesante, cuya descripción tomamos del mismo autor.

“He aquí la disposición de mi aparato (fig. 233), dice, el cual ha sido construido por

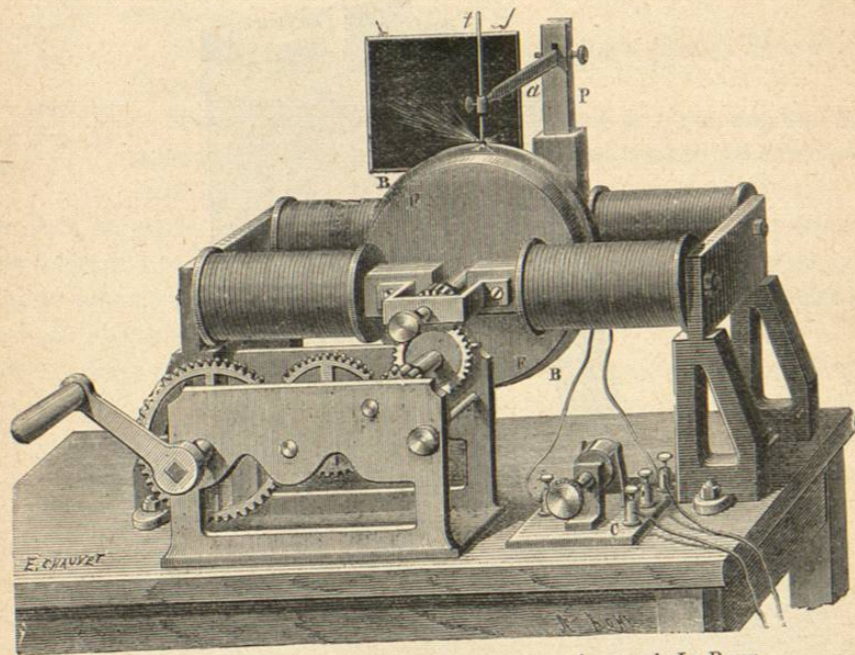


Fig. 233. —Inducción peripolar. Aparato y experimento de Le Roux

M. Ruhmkorff con su habilidad notoria; un disco de cobre rojo B, de 15 centímetros de diámetro y de unos 2 milímetros de espesor, recibe de un sistema de engranajes un movimiento de rotación de 180 vueltas cuando más por segundo. Este disco se mueve entre dos masas circulares de hierro dulce FF, que están todo lo posible inmediatas á él y con el cual son concéntricas: ambas masas están sostenidas en una especie de bastidor rectangular de hierro dulce, ocupando interiormente la parte media de sus lados mayores; cuatro carretes electro-dinámicos rodean las partes de estos bastidores contiguas á las referidas masas, de modo que éstas adquieren polaridades contrarias. Todo está dispuesto con la simetría más perfecta para que la línea de los centros de figura de estas masas se pueda considerar como si contuviera sus polos. Arreglado todo de esta suerte, se imana el aparato, dirigiéndole la corriente de cierto número de elementos de Bunsen.

„Si se aplica á semejante sistema la ley de Lenz, fácilmente se ve que deben nacer en el disco fuerzas electro-motrices, todas las cuales son radiales, y por lo tanto no habrá producción de corriente sino cuando se haga comunicar la circunferencia del disco con su parte central por medio de frotadores convenientemente situados.”

Y así sucede en efecto. Si no se ha establecido la comunicación de que acabamos de hablar, la rotación del disco es tan fácil como si la corriente no pasara. No se experimenta la resistencia que hemos indicado en los experimentos de Foucault, ni el calentamiento del disco que es su consecuencia. Entonces no hay, por intensa que sea la imanación, otro gasto de fuerza sino el que ocasionan los roces. Pero si se ponen en relación el centro y la circunferencia con una varilla metálica *t* que descansa en la circunferencia del disco y que está dirigida por un brazo horizontal *a* (fijado en una columna P que comunica á su vez con el eje del disco), las cosas pasan de otro modo. Al punto se nota la existencia de una corriente inducida, la cual se conoce por las chispas que brotan de continuo. “El sentido de esta corriente concuerda con la ley de Lenz, dice Le Roux; cambia con el movimiento de rotación y también con la imanación. Por el método de oposición he averiguado que la fuerza electro-motriz puede llegar, según la velocidad de la rotación y la intensidad de la imanación, hasta cerca de tres veces la fuerza del elemento zinc amalgamado—sulfato de zinc, cadmio—sulfato de cadmio. Vese, pues, que aquí hay desarrollo de electricidad, la cual no puede atribuirse á causas accidentales, siendo comparable á la que producen las máquinas magneto-eléctricas basadas en las variaciones de la distancia á un polo magnético ó en las de su intensidad. Hay que notar, en efecto, que el circuito inducido es muy corto, puesto que se reduce al radio del disco.”

Así pues, no es dudoso que el movimiento de un cuerpo que gira alrededor de un eje que pasa por un polo de imán induzca fuerzas electro-motrices radiales. Para caracterizar esta clase de fenómenos, este sistema de inducción, en que los diferentes puntos del cuerpo inducido quedan á la misma distancia del polo inductor, M. Le Roux la ha llamado *inducción peripolar*.

CAPÍTULO X

LAS MÁQUINAS DE INDUCCIÓN

I

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN ELECTRO-VOLTAICAS

El descubrimiento de los fenómenos de inducción motivó el que se concibiera en seguida la idea de construir aparatos ó máquinas adecuadas para recoger las corrientes inducidas por la acción recíproca de las corrientes y de los imanes ó de los electro-imanés, y obtener por consiguiente todos los efectos mecánicos, físicos ó fisiológicos de las pilas ó de los condensadores eléctricos. Y en efecto, un constructor de instrumentos de física llamado Pixii inventó en 1832 la máquina que lleva su nombre, á la cual siguieron en breve los inventos de otros muchos aparatos basados en el mismo principio.

Las máquinas de inducción usadas hoy, y de las cuales describiremos las más notables, pueden dividirse en tres clases principales, según como se produzca en ellas la electricidad. En la primera clase, una acción electro-química, es decir, la corriente de una pila es la que induce su propio circuito ó bien uno inmediato; puede darse á estas máquinas el nombre de *electro-voltaicas* ó también el de *reoelectricas*, según lo propuso Le Roux. El carrete de Ruhmkorff es el tipo de los aparatos de este género. A la

segunda clase corresponden las máquinas que requieren cierta fuerza mecánica así como un imán permanente para producir una corriente inducida, á la cual se hace en seguida inducir su propio circuito ó bien otro próximo, y como en este caso el movimiento relativo de un circuito y de un imán originan la inducción, dase á las máquinas de esta segunda clase el nombre de *magneto-eléctricas*. La tercera comprende las máquinas de inducción que sólo emplean la fuerza mecánica para producir corrientes inducidas, y que para funcionar no necesitan más que el escaso magnetismo remanente que existe en el hierro dulce de los mismos electro-ímanes, por cuya razón se las llama *dinamo-eléctricas*.

Empecemos nuestra descripción por el carrete de inducción, máquina reo-eléctrica cuya primera idea se remonta á las investigaciones practicadas en 1842 por Massón, y

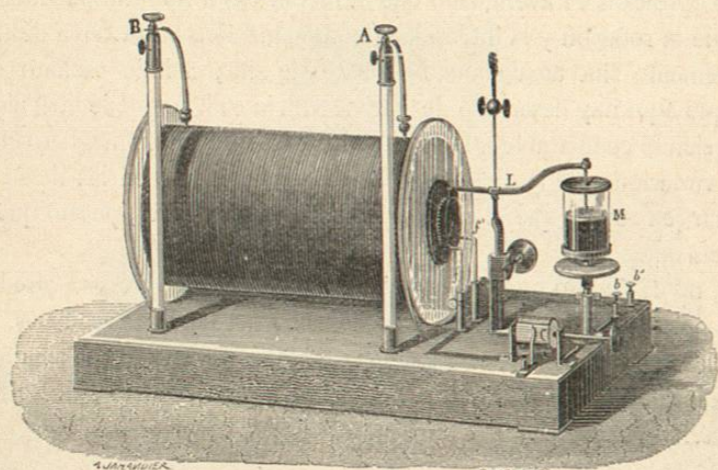


Fig. 234.—Máquina de inducción de Ruhmkorff

que hoy lleva el nombre del célebre constructor que, al darle su forma actual, aumentó tan considerablemente su potencia: nos referimos al *carrete ó bobina de Ruhmkorff*.

Esta máquina de inducción está representada en la figura 234. Se compone de dos carretes: uno interior, que es el inductor, cuya hélice consiste en un alambre de regular diámetro (de 2 á 3 milímetros), pero de escasa longitud (por ejemplo, 50 ó 60 metros): los dos extremos de este alambre se ven en *f* y *f'* sujetos á dos columnitas de latón. El carrete inducido está enrollado sobre el primero, el cual va metido concéntricamente en su cavidad interior; su hélice se compone de un alambre sumamente fino (un cuarto de milímetro) y de longitud tal que puede llegar hasta 120 kilómetros. Los dos extremos del alambre inducido van á unirse exteriormente con dos casquetes metálicos A y B en los que rematan dos columnas aisladoras de vidrio. Por último, en el interior del carrete inductor hay un haz cilíndrico de alambres gruesos de hierro dulce, reunidos en sus extremos por dos discos del mismo metal.

Siempre que la corriente de un electro-motor, por ejemplo la de una pila, pase por el alambre inductor entrando por *f* y saliendo por *f'*, nacerá una corriente inducida en el alambre del carrete exterior por efecto de la influencia de la hélice inductora y de la imanación del haz de hierro dulce; y cuando se interrumpa la corriente inductora, nacerá en la hélice inducida otra corriente de sentido opuesto á la primera. Multiplicando el número de pasos de la corriente y el de sus interrupciones, resultará una serie de corrientes instantáneas, tan seguidas y tan intensas, que su efecto será superior al de

las baterías más poderosas. Réstanos decir en virtud de qué mecanismo se obtienen estas interrupciones sucesivas.

Vese en L, articulada en una columna metálica, una palanca de dos brazos, uno de los cuales lleva una punta que enrasa con la superficie del mercurio contenido en un vaso M, al paso que la otra termina en un martillito de hierro dulce, situado á corta distancia del haz de alambres de hierro del carrete inductor. Cuando la punta toca la superficie del mercurio, el martillito del otro brazo está separado del haz, y recíprocamente, si existe este contacto, la punta no llega al mercurio. Partamos de la primera hipótesis y veamos lo que pasa en el aparato. La corriente de la pila pasa entonces á la columna que sostiene el vaso lleno de mercurio, sigue por el líquido, por la punta puesta en contacto con él y por el brazo L de la palanca, y baja por la columna que lo sostiene, yendo á parar, por una tira metálica, al alambre *f'* del carrete inductor: en seguida recorre toda la hélice inductora, sale por *f* y vuelve al otro reóforo de la pila. Así pues, el contacto de la punta con el mercurio da paso á la corriente inductora. Pero en el momento en que ésta empieza, el haz de hierro dulce se imana, atrae el martillito de la palanca, levantando por consiguiente el brazo en que está la punta y haciendo que ésta se desvíe de la superficie del mercurio, con lo cual queda interrumpida la corriente. Entonces cesa la imanación, y con ella el contacto del martillo, volviendo la punta á introducirse de nuevo en el mercurio. Mientras la hélice inductora esté en comunicación con la pila, se reproducirán los mismos fenómenos de igual modo. M. León Foucault ideó el interruptor de mercurio que acabamos de describir, usándosele sobre todo para los carretes más enérgicos, en cuyo caso se le pone en acción mediante una pila especial.

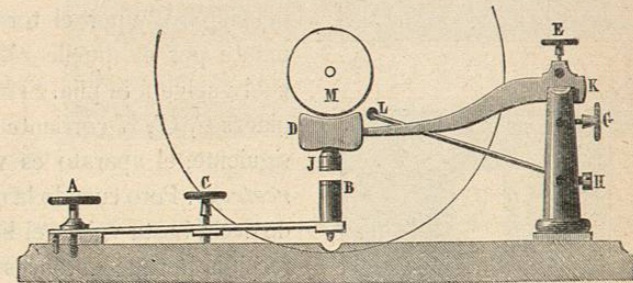


Fig. 235.—Interruptor de martillo del carrete de inducción

Obtiénese también la abertura y el cierre automáticos de la corriente inductora con el *interruptor de martillo*, cuya disposición se ve en la figura 235. El alambre del carrete inductor L va á parar á la columna metálica aislada HG, que lleva el martillo KD, cuya masa D tiene una prolongación ó apéndice de platino J. Antes de pasar la corriente, el martillo descansa en la pieza B, chapeada también de platino en su cara superior; mas al llegar aquélla por el alambre L, la columna HG, el martillo y la pieza BA, el cilindro de hierro dulce del carrete inductor M se imana, atrae y levanta el martillo y se interrumpe la corriente; al cesar ésta, cesa también la imanación, el martillo vuelve á caer sobre la pieza B y se restablece la corriente. A estas aberturas y cierres sucesivos de la corriente corresponden, según hemos visto más arriba, las corrientes inducidas del carrete exterior, y la máquina funciona.

Se han inventado varias clases de interruptores, entre los cuales haremos mención del de ruedas de Spottiswoode y de los rápidos de este físico y de Gordon, los cuales producen hasta 6,000 interrupciones de la corriente por segundo.

Digamos ahora algo acerca del conmutador C. Dase este nombre á un aparato que tiene por objeto, ora cambiar la dirección de la corriente inductora, ó bien interrumpirla. El conmutador de Ruhmkorff (fig. 236) llena ambos objetos á beneplácito: es á la

vez *reotomo* (interruptor de la corriente) y *reotropo* (invertidor de la misma). Consiste en un cilindro de boj ó de vidrio, cuya superficie convexa está en parte cubierta con dos chapas de cobre C, C', gruesas en medio y adelgazadas en los bordes, las cuales dejan entre sí en descubierto dos partes de la superficie del cilindro aislador. A los lados hay dos muelles *ff'* que se apoyan lateralmente contra el cilindro cuando éste se halla vuelto de modo que presenta á aquéllos el espesor de las chapas de cobre. Si se hace girar 90 grados este cilindro con un tornillo de que está provisto su eje, las tiras metálicas de los muelles se encuentran enfrente del vidrio, pero sin tocarlo. En la primera posición la corriente pasa; en la segunda, queda interceptada. Y en efecto, la corriente

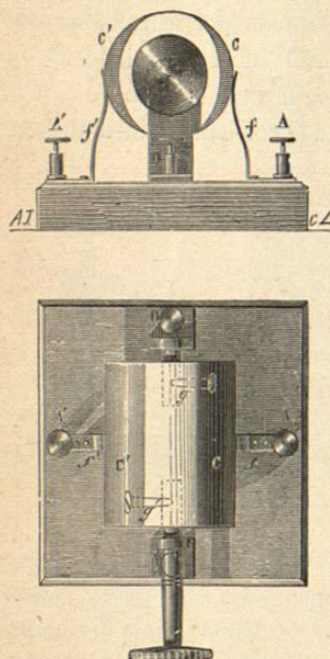


Fig. 236.—Conmutador de la bobina de Ruhmkorff. Plano y elevación

llega de la pila al tornillo A, y de aquí pasa por el muelle *f* á la chapa de cobre C. Esta última comunica por otro tornillo *g* con uno de los muñones del cilindro, luego con el tornillo D, y recorre el circuito, uno de cuyos extremos está fijo en este último punto. Vuelve por el otro extremo al tornillo D', al segundo muñón del cilindro, y por el tornillo *g'* á la placa C', y finalmente por el muelle *f'* al otro tornillo A', desde el cual vuelve á la pila. Si los muelles *ff'* no tocan á las placas C, C', la corriente no podrá ya pasar; por consiguiente, el aparato es verdaderamente interruptor ó *reotropo*. Pero cuando la corriente pasa como acabamos de decir, basta volver el botón 180° para cambiar su dirección, porque entonces la placa C' es la que toca el muelle *f*, y la corriente irá de D' á D, en vez de ir al contrario. Por lo tanto, el interruptor de Ruhmkorff es además *conmutador*, es decir, *invertidor* de la corriente ó *reotropo*. Forma parte del carrete de inducción; pero es obvio que se puede utilizar siempre que se necesite hacer en una corriente alguno de los dos cambios para que está construido.

Lo propio puede decirse del conmutador Bertin. Véase su descripción. Consiste en una roldana de ebonita, la cual puede girar alrededor de su centro merced á un pequeño manubrio, limitado en su movimiento á derecha é izquierda por dos cuñas *c, c'*. Una lengüeta metálica *a* comunica por el eje de la roldana con la borna P á la cual va á parar el hilo positivo de la pila. Otra pieza metálica *mn*, que rodea á la primera en forma de U, comunica por el contrario con la borna N á la cual está sujeto el hilo del polo negativo. En la posición indicada en la figura, la lengüeta está en contacto con el muelle *r'*, y en el extremo *m* de la segunda pieza toca al muelle *r*. Ambos muelles están á su vez empalmados á las dos bornas B y A que reciben los extremos del circuito exterior, resultando que la corriente va de P á *r'* por la lengüeta *a*, vuelve por A y *r* á la pieza en forma de U, y de aquí pasa á la borna N: las flechas de la figura indican la marcha de la corriente. Si se da vuelta al manubrio y á la roldana hacia la derecha, cambiará la corriente y seguirá el camino P, *a*, *r*, A, B, para volver por *r'* y *n* á la borna N. Si se pone el mango á igual distancia de las cuñas *c* y *c'*, no habrá contacto entre los muelles, la lengüeta y la pieza en forma de U, y se interrumpirá la corriente. La sola vista de la posición de la pieza móvil indica el sentido de la corriente y su interrupción.

Si cuando el carrete de Ruhmkorff funciona se acercan lo bastante los dos extremos del alambre de la hélice inducida, brota una serie de chispas con tal rapidez que el chorro de luz parece continuo. Lo notable es que, de las dos corrientes inducidas que nacen de la corriente inductora, la directa es la única que produce chispas: la tensión de la corriente inversa no es bastante fuerte para que ésta atraviese el aire.

Los primeros carretes daban chispas que tenían á lo sumo 8 milímetros de longitud. Merced á los perfeccionamientos introducidos sucesivamente, entre otros el de Fizeau que consiste en interponer un condensador, por ejemplo una botella de Leyden, en el circuito, se han podido sacar chispas mucho más largas, de 10, 20 y 30 centímetros. Dando al alambre de la hélice inducida 120 kilómetros de longitud, y poniendo en acción el carrete con diez ó doce elementos Bunsen, M. Ruhmkorff ha podido sacar chispas de 45 centímetros, habiendo traspasado de parte á parte la descarga vidrios de un decímetro de grueso. Los efectos físicos producidos por tan poderosa máquina son muy notables: se

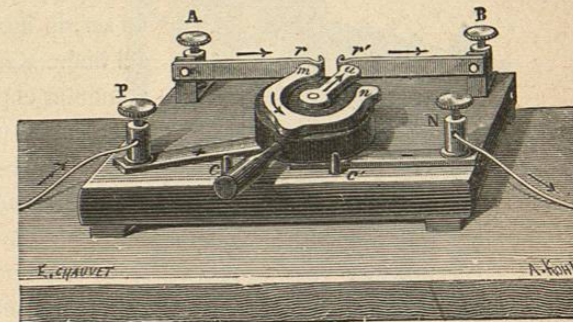


Fig. 237.—Conmutador Bertin

la utiliza para cargar botellas de Leyden y baterías eléctricas, y habiendo cargado M. Jamin 120 botellas de Leyden con cuatro carretes acoplados, cada uno de ellos puesto en acción por dos elementos de Bunsen, pudo fundir y volatizar alambres de hierro, plata y cobre de más de un metro de longitud.

En Inglaterra se han construido carretes de inducción de grandes dimensiones y extraordinaria energía. M. Spottiswoode encargó á M. Apps un carrete que pesa 762 kilogramos, y tiene 1^m,22 de largo, siendo su diámetro exterior de 0^m,508. El alambre del carrete inductor es de 546 metros de longitud y 25 milímetros de diámetro; el del carrete inducido llega á 450,500 metros. Con cinco elementos Grove da este carrete chispas de 71 centímetros; con diez elementos las da de 89, y con treinta de 1^m,08.

El *Instituto politécnico* de Londres tiene el carrete mayor de cuantos se han construido. Su longitud es de 3 metros; el núcleo de alambre de hierro pesa 46 kilogramos y la longitud del alambre inductor llega á 3,450 metros, pesando 55 kilogramos. El alambre inducido sólo tiene 0^m,4 de diámetro, pero su longitud es de 241,000 metros. Esta máquina, puesta en acción por 40 elementos de Bunsen, da chispas de 74 centímetros, que traspasan masas de vidrio de 127 milímetros de espesor.

II

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN MAGNETO-ELÉCTRICAS

Según dijimos antes, la máquina de Pixii es el primer aparato de inducción que se ha construido. Por tal concepto merece especial mención, por más que ha mucho tiempo ha caído en desuso.

A (fig. 238) es un gran imán permanente de herradura, armado sobre un eje vertical C, alrededor del cual puede hacerse girar con un manubrio y con las ruedas den-

tadas R y P. Sobre el imán hay un carrete fijo, formado de dos cilindros de hierro dulce, en los cuales está enrollado un alambre de cobre aislado; dicho carrete tiene sus extremos ó polos á corta distancia de los del imán. En el movimiento de revolución de éste, sus polos se acercan ó se alejan, á cada vuelta, de los del electro-imán BB', por lo cual nace en el hilo de este último una corriente de inducción cuyo sentido cambia á cada media vuelta. Con un conmutador de construcción apropiada, todas las corrientes inducidas se dirigen en el mismo sentido, de suerte que los hilos *a* y *b* del electro-imán, recorridos al principio por corrientes opuestas, al salir del conmutador en *ff'* daban un flujo continuo de electricidad.

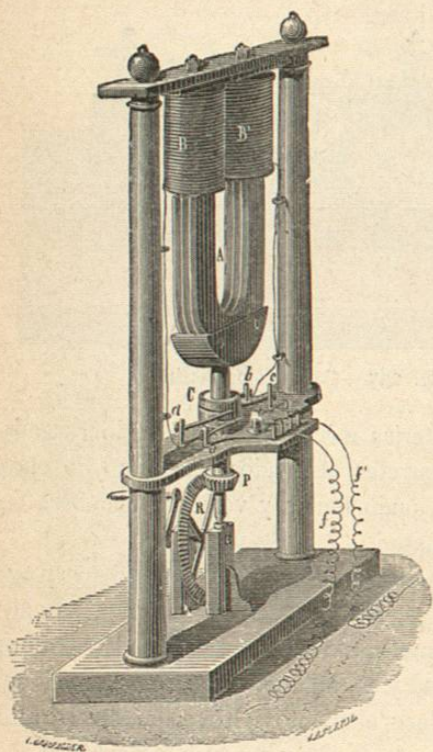


Fig. 238.—Máquina de Pixii

El aparato de Pixii tenía el inconveniente de ser de incómodo manejo á causa del peso del imán. Reconocióse en efecto que convenía aumentar el peso de este imán permanente, al paso que se podía hacer el electro-imán menos macizo. Este inconveniente sugirió la idea de que el segundo fuera el móvil y el primero el fijo, y de aquí resultó una primera modificación introducida por Saxton, el cual puso además el imán en un plano horizontal é hizo que el carrete inducido se moviera alrededor de un eje situado en este plano. Poco después varió Clarke el aparato, y dejando el imán permanente vertical, hizo que el carrete girara enfrente de los polos, como vamos á ver. La máquina de Clarke está representada en la figura 239. Se compone de un gran imán A B formado de muchas placas de herradura, sólidamente fijo en una tabla vertical, de modo que presenta sus polos enfrente de dos carretes, cada uno de ellos provisto de un cilindro de hierro dulce. Estos cilindros están unidos, del lado del imán, por una planchuela de cobre, y del opuesto por otra de hierro *t t'*. Como se ve, los dos carretes así preparados no son otra cosa sino un electro-imán, pudiendo girar juntos alrededor de un eje horizontal *f* que pasa entre los brazos del imán y engrana detrás de la tabla vertical con una cadena sin fin y una rueda de manubrio. Cuando se hace funcionar la máquina los dos carretes giran alrededor de su eje común, y á cada vuelta se presenta cada uno de ellos enfrente de alguno de los polos del imán fijo A B; como los alambres que constituyen sus hélices están devanados en sentido contrario, uno de ellos es *sinistrorsum* y el otro *dextrorsum*. De aquí resulta que las corrientes inducidas, desarrolladas en cada uno de ellos por la aproximación de los dos polos contrarios del imán fijo, son del mismo sentido, cambiando á la vez en ambos carretes cuando éstos se alejan de los dos polos, de suerte que á cada momento las dos corrientes son directas ó inversas. La imanación de los cilindros de hierro dulce engendra además corrientes que aumentan la intensidad de la acción inductora. Los dos hilos de los carretes van á parar á un aparato especial llamado *conmutador* y que, según hemos visto, sirve para conservar á la corriente la misma dirección durante el

movimiento, ó para dejar que cambie esta dirección alternativamente á cada media vuelta.

La figura 240 representa dicho conmutador en mayor escala. En la prolongación del eje de rotación de los carretes hay un cilindro de una materia aisladora, á cuya superficie están unidas dos placas metálicas E, E' en forma de semivirolas. Los espacios que median entre ellas son diametralmente opuestos y están en el plano de los ejes de los dos carretes. Una de las placas E' comunica por la lengüeta *g* con un casquillo *e* y con uno de los cabos del alambre del electro-imán *d d'* en la figura 241; la otra placa E con el segundo cabo por medio de un eje metálico interior y un tornillo *v* que atraviesa el cilindro aislador. Dos tiras metálicas ó muelles *r r'* se apoyan constantemente en las semivirolas y comunican con el circuito exterior. A cada media vuelta, y en el momento mismo en que las corrientes inducidas en el carrete cambian de dirección, se invierte la comunicación de los hilos, por cuanto el muelle *r* que tocaba por ejemplo la virola E' se apoya en la E, del propio modo que *r'* se apoya á su vez en E'. La inversión coincide, pues, con el cambio de dirección de las corrientes inducidas, y por tanto la corriente que pasa al circuito exterior conserva precisamente una dirección constante.

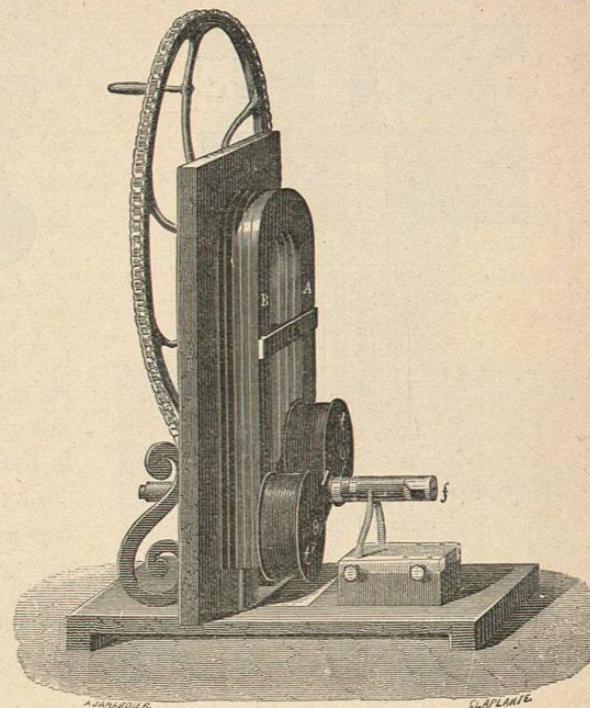


Fig. 239.—Máquina magneto-eléctrica de Clarke

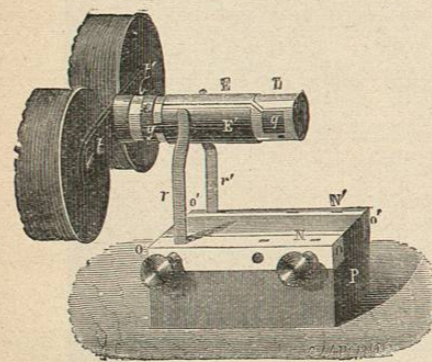


Fig. 240.—Conmutador de la máquina de Clarke

Con la máquina de Clarke se producen todos los efectos de los electromotores ordinarios, pero á un grado de tensión muy superior al de las pilas. Merced á ciertas combinaciones, se pueden producir conmociones violentas, ó chispas, ó efectos caloríficos, ó bien descomposiciones químicas. En este último caso, se hace de modo que la dirección de la corriente sea constante; en los demás, por el contrario, se ha de cerrar y romper alternativamente el circuito.

Obtiénense los efectos fisiológicos, que requieren gran tensión y para los cuales se usa un carrete de hilos finos y muy largos, con la interrupción de las corrientes inducidas y la producción de la extracorrente, resultado que se logra mediante una disposición especial dada al conmutador. Entonces se añade un tercer muelle que se apoya