

CAPÍTULO X

LOS MOTORES ELÉCTRICOS

I

MOTORES ELÉCTRICOS OSCILANTES

El principio de los movimientos con cuyo auxilio se efectúan y transmiten los signos en la telegrafía y en la relojería eléctricas es la fuerza viva de las corrientes de la pila ó de las de inducción; en una palabra, se emplea la electricidad como agente mecánico ó fuerza motriz. Pero el empleo de esta fuerza no consiste en desarrollar potencia, y aun á menudo sólo sirve para regular el juego de otra fuerza, la de la gravedad por ejemplo, cuya acción se puede suspender ó restablecer periódicamente, merced á ella.

¿Es posible emplear directamente la electricidad como fuerza motriz, es decir, utilizarla como el vapor en las máquinas que, después de producir y almacenar cierta cantidad de movimiento, lo distribuyen á otras máquinas, en las que se le encuentra transformado según las necesidades industriales? Esta cuestión ha recibido muchas soluciones positivas y prácticas, pero ya veremos hasta qué punto.

Aunque se hace mención de varias tentativas antiguas como la de Salvator del Negro, en Padua, que construyó en 1831 una máquina en la que oscilaba un imán entre los polos de un electro-imán, y la del alemán Jedlick, inventor de una máquina electromotora de rotación directa, debe atribuirse á Jacobi de San Petersburgo la primera invención formal de este género. En 1839 se hizo un ensayo en grande de la máquina de este físico. "Se la aplicó, dice Du Moncel, á poner en marcha una lancha con doce personas y provista á este efecto de ruedas de paletas. Es cierto que se pudo navegar muchas horas por las aguas del Newa; mas aun cuando la fuerza desarrollada procedía de una pila de 128 grandes elementos Grove, jamás pudo exceder de tres cuartos de un caballo de vapor. Tan pobre efecto mecánico producido por una corriente tan enérgica desanimó completamente al inventor, que desde entonces ha considerado siempre impracticable esta aplicación de la electricidad á los trabajos industriales."

Siguiendo á M. Verdet, dividiremos las máquinas electro-magnéticas en dos clases, correspondientes á dos tipos distintos, la de las *máquinas oscilantes* y la de las *rotatorias*, y daremos ante todo algunos ejemplos de cada uno de estos tipos cuya importancia no ha pasado de ser teórica hasta estos últimos tiempos. Después nos ocuparemos de los motores cuya invención es de fecha más reciente, y que son los únicos usados en la actualidad.

Digamos desde luego cuáles son los principios característicos de estos dos tipos de máquinas. "En las *máquinas oscilantes*, una hélice ó un electro-imán fijo atrae, cuando lo atraviesa, una corriente voltaica de dirección conveniente, otra hélice ó electro-imán, ó una barra imanada, ó un simple pedazo de hierro dulce. Cuando la pieza móvil se acerca á ponerse en contacto con la fija, el juego de la máquina hace mover un conmutador por el cual la atracción se cambia en repulsión, ó se reemplaza por la atracción

de otra pieza situada en posición opuesta. Invertida de este modo la dirección del movimiento, y repitiéndose estas atracciones indefinidamente, se puede sacar de ellas el mismo partido que de las oscilaciones del émbolo de la máquina de vapor. En las *máquinas rotatorias*, las piezas móviles y fijas están colocadas siguiendo los rayos de dos ruedas concéntricas; el paso de la corriente hace marchar la rueda móvil hacia una posición de equilibrio estable, pero en el momento de llegar á ella, el juego del conmutador cambia el sentido de la acción de las fuerzas, y el movimiento de rotación continúa indefinidamente en el mismo sentido." (Verdet.)

La máquina electromotriz de Bourbouze pertenece al primer tipo, siendo sus disposiciones esenciales las siguientes:

A cada lado de un árbol vertical terminado en un balancín como en las máquinas de vapor hay dos hélices magnetizantes E E, E' E', dispuestas por pares, las cuales hacen

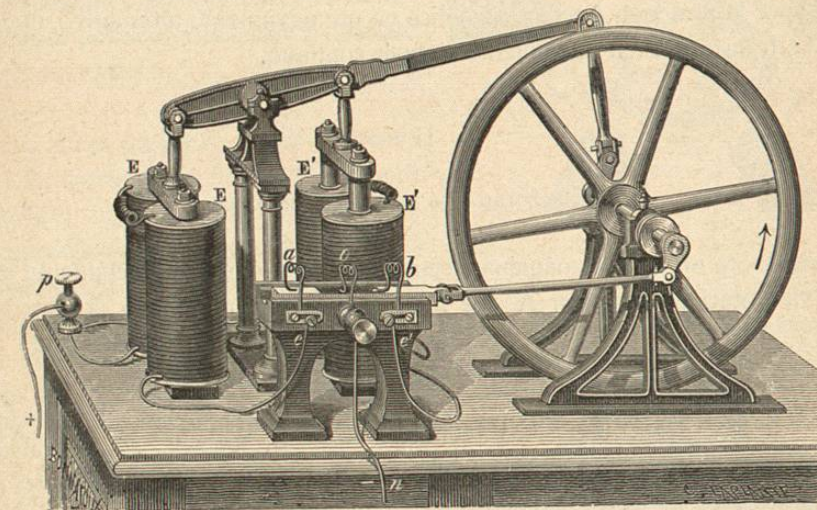


Fig. 432.—Máquina electromotora, sistema Bourbouze

las veces de cilindros ó cuerpos de bomba. Interiormente, y hasta la mitad de la altura de las bobinas, hay unos cilindros de hierro dulce que se imanar cuando la corriente de la pila pasa por las espiras de cada hélice. En los extremos del balancín se articulan dos barras, cada una de las cuales lleva dos cilindros de hierro dulce que se mueven libremente penetrando en las bobinas y que son atraídas alternativamente por las barras imanadas tan luego como la corriente las comunica su fuerza magnetizante. Compréndese, pues, que si la corriente pasa sucesiva y alternativamente por cada par de hélices, resultará un movimiento de vaivén de los cilindros y de sus barras, y por consecuencia un movimiento circular alternativo del balancín. Mediante una biela y una excéntrica, este movimiento se transforma en circular continuo del árbol motor de la máquina y de su volante.

Réstanos demostrar cómo se introduce la corriente sucesivamente en las espiras de cada hélice. Con este objeto, el árbol motor de la máquina lleva una excéntrica que hace que se deslice por una corredera una placa de marfil *ao*b, cubierta de una tira metálica en una parte de su longitud.

El hilo positivo de la pila comunica por *p* con los dos electro-imanés, y cada uno de éstos con uno de los extremos inferiores de su corredera que, en su mitad *o*, comunica por su parte con el polo negativo de la pila. Supongamos que la placa *ab* ocupa

la posición indicada en el grabado (1). La corriente sigue entonces el camino $pEeaon$, porque el circuito está cerrado al pasar por las espiras de las bobinas E E. La excéntrica al moverse hacia la derecha abrirá este circuito, pero cerrando al propio tiempo el que pasa por E' E', de suerte que el hierro dulce de este electro-imán se imanará á su vez. De este modo serán atraídos alternativamente á derecha é izquierda los cilindros de hierro dulce, siendo su consecuencia el vaivén de las barras y del balancín.

Los dos cilindros móviles están siempre muy inmediatos á los cilindros interiores fijos, lo cual hace indispensable la ley que, según es sabido, rige la fuerza atractiva de los imanes, fuerza que crece con gran rapidez, á medida que se aproximan más al contacto las masas atraídas y atrayentes. Por esto se alarga el balancín mediante una palanca bastante grande para que el movimiento comunicado á la biela del árbol motor sea de suficiente amplitud.

Como se ve, es muy fácil comprender este modo de transformación del movimiento producido por la atracción electro-magnética en un movimiento alternativo, que la mecánica sabe transformar en movimiento circular continuo.

II

MOTOR ELÉCTRICO DE ROTACIÓN CONTINUA

Veamos ahora un tipo de máquina electro-magnética que da directamente un movimiento de rotación continuo. A este fin tomaremos por ejemplo el electromotor Froment, representado en la figura 433.

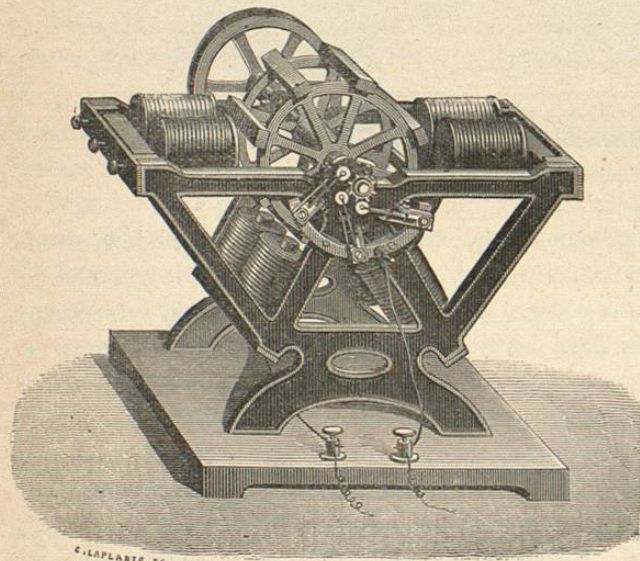


Fig. 433.—Máquina electromotora de rotación continua, sistema Froment

Consta de seis pares de electro-imanes—en el grabado no hay más que cuatro para que se puedan ver las ruedas móviles y sus armaduras,—colocados según los radios de una circunferencia y fijos al armazón de hierro de la máquina que lleva el árbol motor, árbol cuyo eje horizontal coincide con el centro de la misma circunferencia. Dos ruedas concéntricas á ésta llevan ocho armaduras de hierro dulce, alineadas paralela mente al eje de rotación, las cuales, durante el movimiento, se colocan dos á dos delante de los polos de los electro-imanes.

Estando distribuídas las ocho armaduras á intervalos iguales en la circunferencia de la rueda móvil, y no siendo más que seis los electro-imanes, distribuidos del mismo modo

(1) Se ha padecido un error al dibujar en la figura la posición de esta corredera. El hilo *a* es el que debe tocar la placa metálica, mientras que *b* descansa sobre el marfil. Rogamos al lector que suponga corregido este error para comprender la explicación del texto.

modo, cuando dos armaduras opuestas estén precisamente enfrente de los dos electro-imanes EE, las otras estarán antes ó después, según el sentido del movimiento. Supongámonos en el de las flechas, ó de derecha á izquierda. En este caso, la corriente de la pila pasa por las bobinas E' E' y deja las EE. Las armaduras que siguen en el sentido del movimiento serán atraídas, y el movimiento continuará en el mismo sentido hasta que dichas armaduras lleguen delante de los polos E' E'. En este momento, la corriente se desvía de estas últimas bobinas para pasar á E'' E'', y entonces las armaduras siguientes serán las atraídas, y así indefinidamente. Claro está que en una vuelta entera habrá tantas atracciones cuantas sean las veces que el ángulo de avance de los electro-imanes esté contenido en la circunferencia, es decir, veinticuatro (porque la diferencia entre $\frac{1}{6}$ y $\frac{1}{8}$ es efectivamente $\frac{1}{24}$).

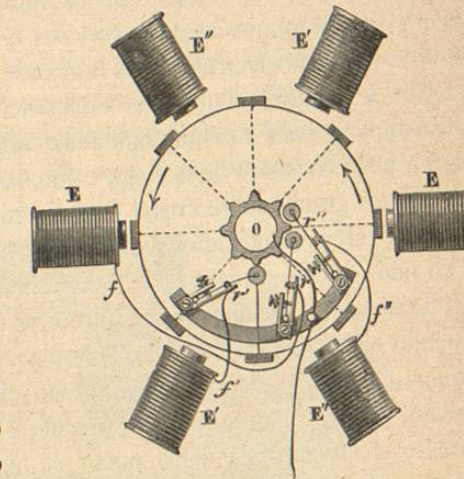


Fig. 434.—Electromotor Froment: acción de las corrientes sobre las armaduras

Estas interrupciones y pasos alternativos de la corriente se obtienen con un distribuidor, cuya disposición y cometido se comprenderán fácilmente examinando las figuras 434 y 435. Este distribuidor consiste en una rueda R centrada en el eje de rotación, provista de ocho dientes, número igual al de las armaduras, y moviéndose con éstas; dicha pieza está en comunicación constante con el polo positivo de la pila. Este distribuidor lleva además tres muelles $r r' r''$ fijos á un sector circular inmóvil y enlazado cada cual con los pares diametralmente opuestos de los imanes por medio de los hilos $f f' f''$, cuyos muelles tienen sus extremos situados, con relación á los dientes de la rueda, del mismo modo que lo están las bobinas relativamente á las armaduras de hierro dulce. Cuando dos de éstas se hallan exactamente enfrente de E E, el muelle r que comunica con los electro-imanes E E está delante de un diente que acaba de soltar, al paso que r' toca el diente anterior y cierra el circuito en las bobinas E' E'. A la vigésimacuartavuelta, r' soltará el diente y r'' tocará otro á su vez, lanzando la corriente á las bobinas E'' E''.

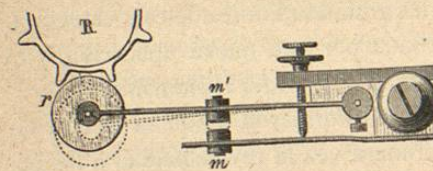


Fig. 435.—Distribuidor de la máquina electromotora de Froment

En una palabra, el circuito se cerrará á cada fracción de vuelta igual á $\frac{1}{24}$, y por el muelle puesto en contacto con un diente de la rueda R pasará á las bobinas que se hallan delante de las armaduras la misma cantidad angular.

La corriente vuelve al polo negativo por un hilo común, después de animar cada par de carretes, pero no cesa de actuar sobre un electro-imán hasta haber pasado al siguiente, disposición ingeniosa merced á la cual se debilita la chispa producida en virtud del nacimiento de la extra-corriente.

De este modo se atenúa en gran parte la oxidación de los contactos que esta descarga causa á la larga.

III

MOTORES ELÉCTRICOS ACTUALES

El motor Froment que acabamos de describir figuraba también en la Exposición de Electricidad entre los objetos que constituían las colecciones retrospectivas. En este artículo presentaremos algunos curiosos ejemplos del uso á que lo había destinado el inventor. Algunos electromotores fundados en el mismo principio, otros basados en la atracción y repulsión simultáneas de los electro-imanés han ofrecido escaso interés porque sus aplicaciones son muy limitadas. Sólo se puede exigir de ellos servicios que requieran poco consumo de trabajo, como dar vueltas á una rueda de ventilación, á una moleta para grabar sobre cristal ó poner en movimiento juguetes científicos.

Hasta estos últimos años no han fijado los físicos sus miras, sus ideas y sus proyectos en una aplicación más racional de la fuerza eléctrica, apelando para ello á un principio de mecánica formulado por Carnot, el de la reversibilidad. Calcularon que si, consumiendo cierta cantidad de fuerza, produciendo cierta cantidad de movimiento en una máquina electro-dinámica, se obtenía por resultado una corriente eléctrica de cierta intensidad, recíprocamente, proporcionando á la misma máquina ó á otra semejante una corriente eléctrica, se la debía poner en movimiento. En una palabra, en la primera hipótesis el trabajo se transforma en electricidad; en la segunda ésta es la que se transforma en aquél. La comprobación de este principio no podía menos de dar la razón á la teoría, y á ella procedió uno de nuestros más ilustrados electricistas, H. Fontaine, á quien se le ocurrió la idea, en la Exposición de Viena de 1873, de acoplar á alguna distancia dos máquinas Gramme. Una de ellas estaba movida por un motor de gas: las corrientes producidas así pasaban por un alambre á la segunda máquina á un kilómetro de distancia de la primera, la ponían en movimiento y la permitían hacer funcionar una bomba centrífuga. Desde entonces ningún inventor de máquinas electro-dinámicas de movimiento continuo ha dejado de aplicarles el principio de la reversibilidad, de suerte que se las puede utilizar á beneplácito como generadores de electricidad ó como electromotores. Más adelante nos ocuparemos de los grandes motores de esta categoría, cuando tratemos de la importante cuestión suscitada por esta nueva aplicación, y al decir esto nos referimos á la *transmisión de la fuerza á grandes distancias*.

M. Deprez, que ya en 1848 concibió la idea de transformar la máquina electro-dinámica de Siemens en electromotor, aplicó por primera vez la reversibilidad á los pequeños motores, á aquellos cuya fuerza se mide por unos cuantos kilogrametros. Muy pronto conoció la ventaja que resultaba de tomar por inductor, en vez de un electro-imán, un imán permanente cuya masa debía ser grande relativamente á la del electro-imán móvil. Luego, en lugar de colocar la bobina transversalmente como la ponía Siemens en su primera máquina magneto eléctrica, M. Deprez la puso paralelamente á los brazos del imán, para aprovechar así mejor la potencia magnética de este último. La figura 436 muestra la disposición adoptada por el inventor.

Entre los brazos de un imán permanente de herradura, formado de muchas placas superpuestas, se ve la bobina Siemens de doble T, que gira sobre su eje cuando la corriente de una pila, pasando por los penachos de latón de un conmutador de inversión de polos, atraviesa la bobina y polariza sus superficies polares. La atracción de los polos de nombres contrarios y la repulsión de los del mismo nombre ocasionan el movi-

miento de rotación que cambiaría de sentido á cada media vuelta á no ser por el cambio de sentido de la corriente que produce el conmutador. Los penachos están fijos en un sistema móvil alrededor del eje de la bobina que, inclinándolos más ó menos, permite desviar á beneplácito sus puntos de contacto de la hendidura del conmutador, de modo que se pueda graduar la velocidad engendrada por una corriente de intensidad dada; también se puede cambiar el sentido de la rotación sin tocar los hilos de pila, para lo cual basta inclinar lo suficiente el sistema de penachos para que sus contactos con las chapas del conmutador sean alternos.

El motor Deprez lleva también un regulador de velocidad, el cual consiste en un pequeño muelle que comunica por un lado con una de las puntas del hilo de la bobina; por el otro hay un tornillo de gradación que presenta su punta á una pieza de platino soldada al conmutador. Este extremo del muelle es más grueso que el otro, y con el

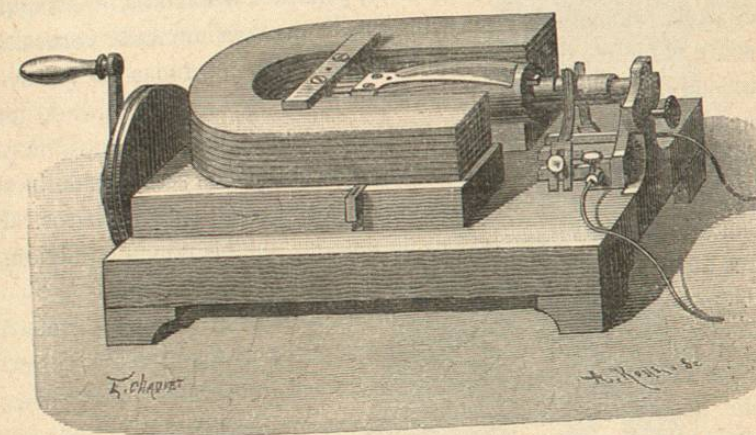


Fig. 436.—Motor eléctrico de Marcelo Deprez

aumento de velocidad tiende á desviarse por efecto de la fuerza centrífuga. Entonces cesa el contacto con la punta del conmutador, se rompe el circuito, la velocidad disminuye, y cuando ésta recobra su valor normal se cierra aquél de nuevo.

M. d'Arsonval ha hecho muchos experimentos sobre el *producto de los motores eléctricos*, resultando de ellos que los del sistema Deprez pueden prestar grandes servicios, cuando el trabajo que se necesita no pasa de 2 ó 3 kilogrametros por segundo. Un pequeño modelo, cuya bobina sólo tenía 30 milímetros de diámetro por 35 de longitud y pesaba 200 gramos, cuyo imán pesaba 1,700 gramos y cuyo peso total no llegaba por consiguiente á 2 kilogramos, ha suministrado con 5 elementos Bunsen un trabajo de 51 kilogrametros por segundo con una velocidad de 204 vueltas. Cada gramo de zinc consumido en la pila daba lo menos 134 kilogrametros. Otro modelo, cuya bobina pesaba 400 gramos y el imán 1,700, dió 2,5 kilogrametros por segundo con una velocidad de 3,000 vueltas por minuto: proporcionaban la corriente 8 elementos Bunsen planos, modelo de Ruhmkorff.

Arsonval dedicó también sus experimentos á comparar motores del mismo tipo, compuestos de una bobina Siemens que giraba entre electro-imanés, como están dispuestas las máquinas Siemens y Ladd, y otros motores pequeños derivados del mismo sistema, habiendo deducido que, sea cualquiera la agrupación de los dos circuitos, fija ó móvil, y ya se los reuna en tensión ó en derivación ó se los ponga independientes, *los motores de imanes permanentes dan un producto superior á los mismos motores*