

taja del motor eléctrico está en conservar un peso constante, sin necesidad de abandonar al aire los productos de la combustión que, deslastrando de continuo el globo, tienden á remontarlo por la atmósfera.

Los motores eléctricos que acabamos de describir no pueden en modo alguno luchar en potencia con los motores ordinarios, como las máquinas de vapor, ni casi se ha logrado construir algunos cuya fuerza equivalga á más de un caballo de vapor. La razón de esto nos la dan los principios de la teoría mecánica del calor; el trabajo de las máquinas electromotoras es otra de las formas de la potencia calorífica que desarrollan las acciones químicas de la pila; mas como este modo de producción del calor es mucho más costoso que el que consiste en quemar el carbón necesario para producir vapor, resulta necesariamente de aquí que la fuerza electromotriz es mucho menos económica que la del vapor de agua. Por lo demás, así lo ha confirmado plenamente la experiencia.

Pero si los motores eléctricos ligeros no pueden luchar por tal concepto con la máquina de vapor ó con los demás motores industriales, si por espacio de largo tiempo ha parecido imposible utilizarlos en la grande industria, hay otra clase de servicios que pueden prestar siempre que se trata de obtener una fuerza poco considerable, pero que requiere regularidad, rapidez suma y acción á gran distancia. En tales condiciones, tienen una superioridad aumentada por la facilidad en el modo de hacerlos funcionar y de interrumpir el trabajo, por la carencia de todo peligro y por el poco espacio que necesitan. Acabamos de presentar algunos ejemplos de las varias aplicaciones de que se les ha reconocido susceptibles: pero desde las primeras pruebas se comprendió la clase de servicios que estaban llamados á prestar. Por esto M. Froment, el hábil y malogrado inventor de la máquina de rotación directa que hemos descrito anteriormente, se valía de esta clase de máquinas para las delicadas operaciones de mecánica científica á que se dedicaba. Las aprovechaba para mover tornos, máquinas de dividir, esos artefactos de tanta precisión que trazaban en un tubo de vidrio divisiones sumamente finas, hasta 1,000 trazos en el espacio de un milímetro. La precisión, la delicadeza infinita de esta máquina hacían de ella una maravilla mecánica.

## CAPITULO XI

### TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE LA FUERZA

#### I

##### TRANSMISIÓN DE LA FUERZA

Anteriormente hemos visto que el principio de la reversibilidad, aplicado á las máquinas eléctricas, había sido el punto de partida de importantes progresos en la construcción de los motores que sacan de la electricidad toda su potencia. Mientras el generador de la electricidad ha sido la pila, mientras el fluido se ha sacado de una combinación química como la combustión del zinc, operación costosa y molesta, ha habido necesidad de limitarse á los pequeños motores, á los que dejamos descritos en el capítulo precedente. Pero la cuestión ha variado de aspecto cuando se ha pensado en emplear

como máquinas generadoras las grandes máquinas de Gramme, en las cuales el manantial de la electricidad es la fuerza mecánica de un motor cualquiera. Y en efecto, si se hace mover una máquina Gramme por medio del vapor ó de un salto de agua, y en seguida se la pone en comunicación eléctrica con otra máquina idéntica á la primera, ésta se pondrá en movimiento á su vez, transformando así en trabajo mecánico la energía eléctrica producida también por un trabajo mecánico. Por otra parte, se entiende que en esta transformación quedaría absorbida una parte del trabajo de la máquina generadora, en forma de calefacción de las máquinas y del circuito, y por tanto la utilidad de la transformación de la electricidad en trabajo por este sistema de transmisión sería nula y hasta negativa, si no permitiera resolver un problema que hasta el presente no había tenido solución: nos referimos al de la transmisión de la fuerza á larga distancia.

En la actualidad, la transmisión de la fuerza del motor, sea rueda hidráulica ó máquina de vapor, está necesariamente limitada á cortas distancias, haciéndose por medio de correas y poleas y de cables teledinámicos. Cuando se hace uso de motores de gas ó se utilizan saltos de agua, se puede transmitir la potencia del motor por una canalización ó emplearla en comprimir el aire que circula en seguida por los tubos, de lo cual hemos visto ejemplos en los grandes trabajos de perforación de los túneles de los Alpes, en el collado de Frejus ó en el San Gotardo. Pero en todos estos casos la distancia es forzosamente limitada y además la transmisión exige obras de instalación costosas. En cambio la electricidad pasa instantáneamente, por decirlo así, de la máquina generadora á la receptora ó motora, sin más intermediario que un alambre conductor aislado convenientemente.

Más de un interesante ejemplo de la posibilidad de dicha transmisión ha sancionado ya esta nueva aplicación de la electricidad á los trabajos industriales. Antes de describir algunos de ellos, séanos permitido insistir sobre un punto muy importante, cual es el de saber la influencia que la distancia puede ejercer en el rendimiento de las máquinas y la medida en que debe crecer el diámetro de los hilos con la fuerza que se haya de transmitir. M. Deprez, que ha hecho un estudio muy completo de este asunto, dice que el rendimiento en cuestión es igual á la relación de la fuerza contra-electromotora desarrollada por la rotación de la segunda máquina, con la fuerza electromotora de la primera, y que siendo esta relación independiente de la resistencia del circuito, el rendimiento es á su vez independiente de la distancia. Teóricamente, un hilo de un diámetro tan pequeño como se quiera podría transmitir una cantidad de energía ilimitada, pero con la condición de que la tensión eléctrica sea tanto mayor cuanto menos considerable la sección del hilo. Esta última condición es la que impone un límite á la pequeñez de las dimensiones del hilo, á causa de las dificultades de aislamiento para una tensión considerable.

Aplicando los principios teóricos expuestos al cálculo del rendimiento que darían dos máquinas Gramme idénticas, enlazadas con un alambre de cobre de 4 milímetros de diámetro, M. Deprez ha visto que sería el 65 por 100. "Es posible, dice, transmitir con dos máquinas idénticas del tipo C un trabajo útil de 10 caballos á 50 kilómetros de distancia, por medio de un alambre telegráfico ordinario, siendo de unos 16 caballos la fuerza motora inicial."

Fácil es darse cuenta de la inmensa trascendencia que semejante aplicación tendrá en lo futuro, si llegan á resolverse todas las dificultades que pueden presentarse en la práctica. De este modo, no tan sólo se podrá transmitir y distribuir en puntos remotos

las fuerzas desarrolladas por los motores actuales, sino que muchas fuerzas naturales, inútiles hoy porque los puntos en que se hallan están á gran distancia de los centros de población, repartirán por dondequiera los millares, los millones de caballos de que consta su potencia actualmente perdida. Lleguemos ahora á los experimentos realizados ya, y que prueban que la transmisión eléctrica de la fuerza no ha quedado reducida al estado de mera teoría. Hemos dicho ya que M. H. Fontaine hizo la primera aplicación del principio de la reversibilidad en la Exposición universal de Viena de 1873. A continuación siguieron la aplicación de la electricidad á las faenas agrícolas realizada por M. Félix en Sermaize y por M. Menier en Noisiel, la instalación en Berlín de los caminos de hierro y tranvías eléctricos de M. Siemens, y por último la reunión en la Exposición de Electricidad de estas diferentes aplicaciones que vamos á describir rápidamente.

## II

## LABRANZA Y OTRAS FAENAS AGRÍCOLAS POR LA ELECTRICIDAD

Durante el mes de mayo de 1879, M. Félix hizo un experimento interesante en su explotación de azúcar de remolacha sita en Sermaize (Marne), experimento que tenía por objeto la labranza por medio de la electricidad, valiéndose al efecto de un sistema de transmisión que enviaba la corriente y la fuerza desde la fábrica hasta el campo donde se hacía el ensayo. He aquí cuál era la disposición adoptada.

El arado que se había de poner en movimiento era doble y de inversión, con tres rejas á cada lado, en una palabra, parecido á los que se usan en la labranza por vapor. En dos cabrias colocadas en los extremos del surco que se debía trazar se enrollaba por un lado y se desenrollaba por otro el cable de acero que arrastraba el arado. Cada una de las carretas de cuatro ruedas que llevaban las cabrias contenía además dos máquinas Gramme puestas en movimiento por la corriente eléctrica enviada desde la fábrica, en donde había otras dos máquinas Gramme, movidas por la de vapor, enlazadas á cada cabria por dos alambres de 30 á 40 milímetros cuadrados de sección. El movimiento de las máquinas motoras se comunica á cada cabria del modo siguiente: En cada carreta hay un árbol central que lleva en uno de sus extremos una polea movida por la frotación de unas ruedas macizas que corren por las máquinas; en el otro extremo tiene dos piñones, uno de los cuales engrana en la cabria al paso que el otro ejerce su acción en el eje de las ruedas. Cuando el surco queda terminado en una dirección, se da vuelta á un conmutador que hace pasar la corriente á las máquinas Gramme de la segunda cabria, la cual empuja á su vez el arado en sentido opuesto. Trazados ya los dos surcos, la acción de las máquinas sobre el segundo piñón del árbol central hace que las carretas avancen á su vez. He aquí ahora algunos detalles suministrados por M. Barral sobre los resultados obtenidos en este experimento: "En condiciones ordinarias, dice, se toma una fuerza de treinta caballos de las máquinas motoras de la fábrica, pudiendo transmitirse la de quince hasta 2 kilómetros de distancia para empujar el arado. El aprovechamiento de esta fuerza es, pues, de 50 por 100; pero disminuye con la distancia, y á 5 ó 6 kilómetros ya no es más que de un 40 por 100. Todavía quedan grandes progresos que realizar por este concepto; el empleo de aisladores más perfectos es un problema por resolver. Por lo demás, no debe recelarse el hacer uso de aparatos de más potencia cuando la importancia de la explotación lo permite, con lo cual se

podrá irradiar la fuerza á muchos kilómetros alrededor del centro de la finca. Fácilmente se comprenderá que en lugar del arado se pueden amarrar al cable rastrillos, rodillos, layas, sembradoras, segadoras, y en una palabra todos los útiles y herramientas que sirven para la labranza. El precio de éstos, comprendiendo las dos máquinas Gramme de la fábrica, las dos cabrias con sus máquinas eléctricas, los cables de tracción y los conductores de cobre para 1 ó 2 kilómetros asciende á unos 50,000 francos. Estas máquinas pueden servir también para cualquier otro uso, y en caso necesario para el alumbrado eléctrico.,

Asegúrase que el arado de Sermaize labra de 30 á 40 áreas por hora, ó sea de 3 á 4 hectáreas en diez horas de trabajo. Los señores Félix y Chretien han empleado el

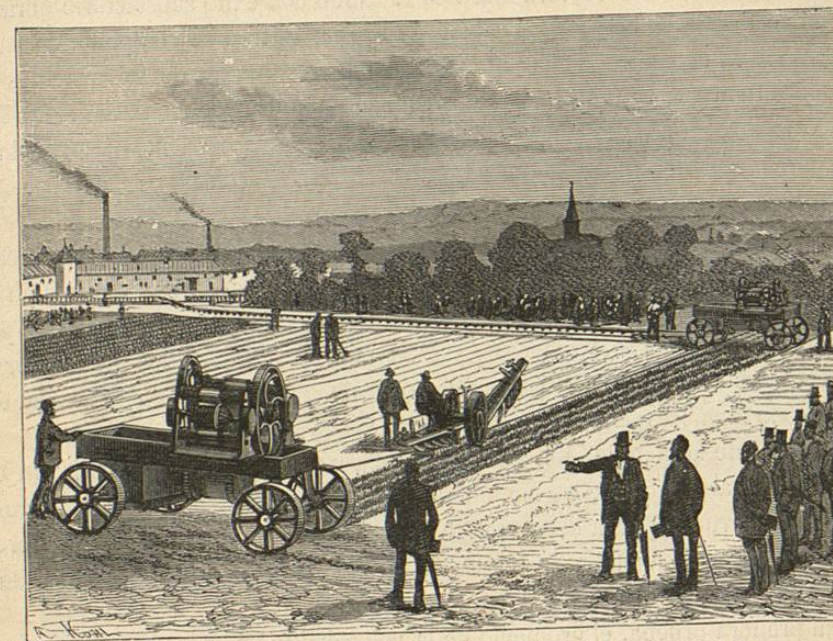


Fig. 438.—Experimento de labranza por medio de la electricidad

mismo sistema de transmisión para descargar los barcos que llevaban las remolachas á la fábrica y cargar los vagones que conducían el azúcar á la refinera; M. Arbey, para hacer funcionar dos sierras, una rotatoria que servía para convertir en tablones troncos enteros de árboles, y otra vertical que hacía trabajos más delicados; M. Chenot, para machacar piedra y para un martinete muy ingenioso. M. Barral, de quien tomamos una parte de estos detalles, menciona también la aplicación de la electricidad para poner en movimiento bombas centrífugas.

Volviendo á la labranza eléctrica, añadiremos que también la ha probado M. Menier en su propiedad de Noisiel. Allí, la fuerza motriz que ponía en movimiento las máquinas generadores Gramme era un salto de agua, que ofrecía naturalmente mucha más ventaja que el vapor desde el punto de vista económico. Comprendese por lo demás que la transmisión eléctrica de la fuerza, de la que acabamos de describir ó citar algunas aplicaciones, será sobre todo conveniente en los casos en que la Naturaleza suministre la fuerza, ó si se la saca del vapor, en las fábricas en que quede fuerza de esta clase disponible; y que lo será mucho más en las fábricas en que, siendo intermitente el trabajo de las máquinas, convenga no desperdiciarlo en los períodos de suspensión de las faenas á que se las destina.

## III

## CAMINOS DE HIERRO Y TRANVÍAS ELÉCTRICOS

Una de las más interesantes aplicaciones de la transmisión de la fuerza por la electricidad, y quizás también una de las más importantes, es la que consiste en hacer andar por medio de dicho fluido uno ó muchos vagones por las barras ó rieles de un ferrocarril ó por los de un tranvía. Los señores Siemens, de Berlín, hicieron los primeros ensayos de este género.

El primer sistema de ferrocarril eléctrico funcionó con éxito satisfactorio durante la Exposición celebrada en 1879 en la capital de Prusia. El tren se componía de una pequeña locomotora de cuatro ruedas que arrastraba tres coches de seis asientos y de cuatro ruedas también. El motor era una máquina de corrientes continuas del sistema Siemens, colocada á un nivel superior al de las ruedas. Las corrientes iban á parar á la bobina por medio de un par de penachos, análogos á los colectores Gramme, que se apoyaban de un modo continuo en un riel central, barra de hierro puesta de canto en medio de la vía y aislada con viguetas de madera. Este riel estaba en comunicación constante con la máquina generadora fija, del mismo tipo que la primera y cuyo otro polo comunicaba con los dos rieles comunes. La corriente, después de animar y poner en movimiento la bobina del receptor, pasaba por las ruedas y los rieles. Por otra parte, todas las ruedas de los vagones así como las de la locomotora comunicaban entre sí por medio de alambres de cobre.

El conductor de la máquina iba sentado en ella y tenía á mano izquierda un conmutador con el cual establecía las comunicaciones eléctricas, es decir, ponía el tren en marcha ó las interrumpía para detenerlo. En este último caso, con la mano derecha manejaba un freno que sujetaba las ruedas delanteras de la locomotora y contribuía á parar el tren.

En esta primera prueba, el promedio de la velocidad fué de 2 á 3<sup>m</sup>,50 por segundo, y el trabajo desarrollado (sin comprender el de remolque de la máquina) de dos á tres caballos y medio de vapor.

Dos años después, Siemens y Halske inauguraban un pequeño ferrocarril eléctrico, bajo un plan nuevo, entre el Instituto central de cadetes y Lichterfelde, estación del camino de hierro de Anhalt á Berlín, en una longitud total de 2,450 metros. En este nuevo sistema se suprime el riel central, siendo los mismos rieles de la vía los que sirven de conductores; ha habido, pues, necesidad de aislarlos de todo contacto con el suelo, excepto con las traviesas de madera sobre las cuales descansan. La máquina generadora fija, instalada en un departamento de la estación de Lichterfelde, está puesta en acción por una máquina de vapor rotatoria. De los polos del generador eléctrico parten unos cables, que pasando por debajo de tierra llevan la corriente á los rieles, de los cuales pasa á la máquina locomotora, la cual no es otra cosa sino un carruaje ordinario de tranvía, de suerte que todo se reduce á un remolcador y á carruajes para los viajeros, como en la Exposición de Berlín. Estos últimos, en número de 26, ocupan los asientos del interior del coche. Entre los dos pares de ruedas del vehículo está instalada la máquina Siemens que las pone en movimiento; una polea centrada en el eje de la bobina lleva dos correas cada una de las cuales se introduce en una garganta abierta en la circunferencia de cada rueda de un mismo lado del carruaje, de suerte

que los dos ejes están puestos á la vez en movimiento. En cuanto á la corriente, he aquí cómo pasa de la máquina generadora á la locomóvil del tranvía. Hemos dicho que los rieles sirven de conductores, y por consiguiente el contacto directo con las ruedas metálicas la hace pasar á la circunferencia de dichas ruedas, y de allí por unas tiras de metal á una caja cilíndrica con la cual están en contacto perenne los penachos colectores puestos en comunicación con la máquina. Por medio de un conmutador, que el conductor maneja á cada extremo del vehículo, lo puede poner en marcha ó detenerlo.

El peso total de la locomóvil del ferrocarril eléctrico, cargada con el número máximo de viajeros, es de 4,800 kilogramos; debe marchar con la velocidad media re-

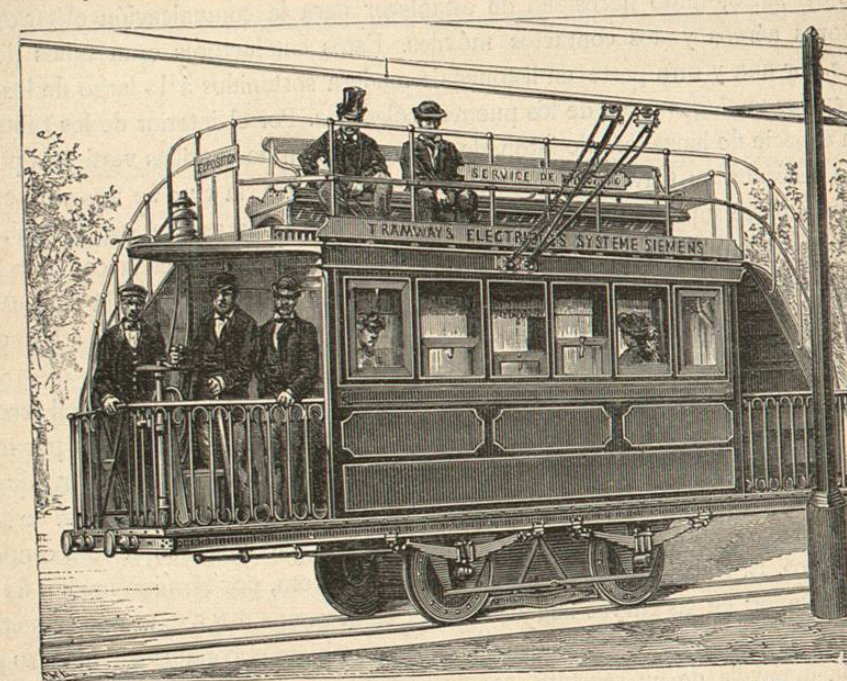


Fig. 439.—Tranvía eléctrico de la Exposición de Electricidad, sistema Siemens

glamentaria de 20 kilómetros por hora, velocidad que en línea horizontal puede llegar á 35 ó 40 kilómetros, en cuyo caso la máquina motora, que pesa 500 kilogramos, desarrolla un trabajo de 5,5 caballos de vapor.

Como se ve, en este nuevo sistema de ferrocarril eléctrico, los señores Siemens y Halske han podido utilizar los rieles de la vía como conductores de ida y vuelta. Estos rieles, del sistema Vignole, están separados del suelo, del cual los aislan unas traviesas de madera. Pero este modo de comunicación de la máquina generadora fija con la motora del vehículo no es ya posible cuando se trata de tranvías que han de cruzar por las calles, por las que circulan continuamente transeúntes, jinetes y carruajes. Por esto dichos constructores solicitaron en un principio autorización para establecer una línea aérea, que era la solución más racional de las dificultades con que tropezaba semejante vía férrea; de este modo el aislamiento de los rieles conductores hubiera sido todo lo completo posible, y una vía establecida á la altura de los primeros pisos no hubiera estorbado la circulación ordinaria; pero habiéndoseles denegado la autorización pedida, los inventores tuvieron que hacer la prueba en una línea establecida al nivel del suelo, aislada entonces de la comunicación como las demás vías férreas. Sin embargo, habiendo obtenido la concesión de una línea de tranvías entre Charlottenburgo y Spandau, pero