

La Aplicación de la Tracción Eléctrica a las grandes líneas con algunas consideraciones al caso Santiago-Valparaíso

POR

CARLOS VALENZUELA CRUCHAGA

(Conferencia dada en el Instituto el 28 de Mayo de 1919)

I

La aplicación de la tracción eléctrica a las grandes líneas férreas servidas hasta aquí con tracción a vapor, representa uno de los esfuerzos más trascendentales, más útiles e ingeniosos que pueda exhibir la técnica humana en el curso de su historia secular.

En pueblos como Chile, ricos en fuerzas hidráulicas y con carbón caro, con trazados difíciles en que abundan los túneles y las fuertes gradientes, el nuevo sistema de tracción trae aparejado consigo tales ventajas que harán de él en un futuro cercano, el sistema por excelencia adecuado a nuestras grandes líneas férreas.

La característica fundamental del sistema eléctrico que lo diferencia sustancialmente de su similar a vapor, determinando al mismo tiempo sus méritos y deméritos relativos, consiste en la absoluta separación entre la central generadora de fuerza y el vehículo motor.

En tanto que la locomotora a vapor arrastra consigo la central generadora, de energía, inclusive sus depósitos de carbón y agua, la locomotora eléctrica recibe la energía por un alambre de contacto a tensión elevada o por un tercer riel sostenido por aisladores y la transmite a los motores que accionan la locomotora.

En el primer caso, servicio a vapor, hay interdependencia estrecha entre la velocidad del motor y la velocidad del tren, interdependencia que limita el efecto útil del vapor con el aumento del grado de admisión necesario para desarrollar una gran potencia. Es así que en este servicio si se quieren salvar gradientes fuertes con cierta velocidad hay que recurrir a la marcha con gran admisión, la que produce un mal aprovechamiento del vapor y del combustible quemado.

Luego después, la potencia de la locomotora a vapor queda limitada por el

galibo de la vía y por la condición de que el marco rígido pueda inscribirse en las curvas de la línea.

Para la locomotora eléctrica no existen estas sujeciones de potencia, que es prácticamente ilimitada. Como el motor eléctrico es capaz de desarrollar una gran potencia bajo dimensiones comparativamente pequeñas, siempre se podrá montar en el marco de la locomotora el número de motores que se necesiten para desarrollar la potencia prevista.

En los últimos tiempos se han hecho notables experiencias para fijar los consumos específicos en el sistema a vapor. Merecen recordarse entre ellos los acometidos por el ingeniero Mr. Murray en el ferrocarril New-York-New Haven and Hartford y los de la American Locomotive C.^o, cuya prolija documentación ya publicada, constituye una valiosa fuente de información.

Según estas experiencias puede estimarse en 1,8 k el consumo de carbón por HP hora indicado en las locomotoras de simple expansión y sin sobrecalentamiento. El empleo del vapor recalentado hace descender estas cifras a 1,5 k por HP hora. Ahora bien, asimilando el kwtt-hora puesto en los bornes del motor al HP-hora indicado de la locomotora a vapor y recordando el elevado rendimiento de la línea aérea, transformadores, generadores, etc., superior a 80 %, encontramos que en un caso el HP-hora vapor necesita para producirse 1,8 k de carbón y en el otro caso el kwtt-hora transmitido desde una central térmica no alcanza a exigir 1,2 k de carbón con las turbinas modernas. Es decir, que sólo por este capítulo encontramos ya en el sistema eléctrico una economía en el consumo de combustible superior a un 20 %.

Pero en estas grandes centrales térmicas existe aún la posibilidad de consumir carbones de calidad inferior. Este es el caso, por ejemplo de la gran línea Magdeburgo-Halle Leipzig, cuya central en Muldenstein consume lignitas de 3500 a 2700 calorías que costaban 2 marcos la tonelada.

Por fin la energía que acciona las locomotoras eléctricas puede provenir de centrales hidro-eléctricas, que en ocasiones permiten captar la fuerza hidráulica en condiciones excepcionalmente favorables.

Otro aspecto altamente interesante de la tracción eléctrica es su capacidad de descongestionar las líneas saturadas o en camino de saturarse por el aumento constante del tráfico. Como se sabe el aumento creciente del tráfico en una línea determina el uso de locomotoras más y más potentes, sea en simple o en múltiple tracción a fin de formar grandes trenes y repartir los gastos fijos sobre un mayor número de toneladas transportadas. Cuando este recurso no satisface, se echa mano de la doble vía. Pero naturalmente estos aumentos en la capacidad de acarreo van ligados a gastos muy crecidos; prohibitivos en ocasiones, que conviene salvar con una solución más económica.

Gracias a su gran peso adherente, al alto grado de potencia y de sobre carga que es capaz de desarrollar el motor eléctrico y a su mayor adherencia, 1/4 a 1/5 contra 1/6 a 1/7 de la locomotora a vapor, debido a los movimientos

exclusivamente rotatorios de todos sus órganos, la locomotora eléctrica está en condiciones no sólo de arrastrar trenes más grandes que los que se forman con el servicio a vapor, sino también de desarrollar aceleraciones notablemente más elevadas.

La consecuencia final es una disminución en el número de locomotoras y un aumento en la capacidad de acarreo de la línea.

El equipo eléctrico de tracción es más favorable para la conservación de la vía que el a vapor, en atención a que en él no existen las masas animadas de movimientos rectilíneos alternativos. El rodado es más suave y regular. Además existe la posibilidad de un frenaje económico por medio de la recuperación.

La experiencia enseña que los gastos de conservación y mantenimiento de la locomotora eléctrica son menores que los de su similar a vapor. En varios ferrocarriles americanos dotados de buenas maestranzas se calcula en 52 dollars el costo de reparación por 1000 locomotoras -km. con servicio a vapor y 30 dollars con servicio eléctrico, esto es, un 40% de economía. Este hecho encuentra su explicación tanto en el menor número de locomotoras, como en la mayor sencillez y fácil recambio de las piezas que integran la locomotora eléctrica.

Por otra parte, la presencia del tender con su consiguiente demora en el aprovisionamiento de carbón y agua, la limpieza y puesta en presión, y sobre todo las enfermedades de que adolece el caldero de la locomotora a vapor, disminuyen el tiempo útil de explotación, limitando su recorrido anual alrededor de 40000 kms. en promedio. Con la locomotora eléctrica se va en cambio a los 70000 y aún a los 100000 kms. por año.

Otro aspecto favorable para la tracción eléctrica es la ausencia de chispas y de humo que son causas de incendios o de ataques en los techos de las estaciones. En los túneles de importancia se hace necesario establecer costosas instalaciones de ventilación, que quedan de hecho suprimidas con la tracción eléctrica. Casi todos los grandes túneles del mundo han implantado el servicio eléctrico: el Simplon, el Loetschberg, los Giovi, el Cascade, el Saint-Clair, el Mont Cenis y pronto tendrá el San Gotardo.

Agreguemos para terminar que el manejo de la locomotora eléctrica es más sencillo y más cómodo que el de la locomotora a vapor: poco más que manejar un tranvía urbano. Las señales se hacen más perceptibles durante la noche que con el sistema a vapor, gracias a la ausencia del fogón, con lo que se gana en seguridad.

Expuestas ya esta serie de circunstancias que determinan una superioridad incontestable del sistema eléctrico sobre el a vapor, cabe preguntarse, ¿por qué no se electrifican, pues, todas las líneas a vapor del mundo entero?

La primera razón estriba en las grandes inversiones de capital que requieren las líneas eléctricas: una central cualquiera cuesta sus 5 o 10 millones de pesos. El km. de transmisión, sus 10 a 20 mil pesos. Una locomotora de pasajeros, \$ 200 000, etc.

Por otra parte el servicio a vapor se halla tan perfeccionado en Europa y Estados Unidos, la mano de obra tan diestra, el valor del combustible tan barato, 3 dollars la ton. en Estados Unidos y 12 a 15 francos en Europa—por lo menos antes de la guerra— que realmente las administraciones ferroviarias tienen sobrada razón para titubear ante la perspectiva de un cambio radical en sus antiguas prácticas ferroviarias que no traiga aparejadas claras y muy positivas economías en dinero.

El interés y la amortización de los grandes capitales invertidos en las electrificaciones, sumados a los gastos ordinarios de explotación, deben ser menores o a lo sumo iguales a los gastos de la explotación a vapor. Ahora bien, esta condición no es común en la mayoría de los casos, salvo en ocasiones tan calificadas como las líneas congestionadas por el aumento del tráfico o aquéllas que por sus trazados difíciles presentan una explotación cara con servicio a vapor.

Otra causa que ha retardado la difusión de la tracción eléctrica la forman razones de orden militar: se temía que la destrucción de una central en tiempos de guerra paralizara el servicio de toda línea. Y la Europa que vivía en ascuas desde muchos años antes de la guerra, por cierto que le dió gran importancia a estas razones extratélicas. Sin embargo, con los progresos realizados por la aviación en la última guerra, el peligro de las paralizaciones del tráfico subsiste prácticamente en igual grado para los dos sistemas. Y en todo caso las líneas eléctricas permiten sin ningún inconveniente el tráfico con locomotoras a vapor.

Finalmente, ha habido una lucha franca entre todos los sistemas eléctricos entre sí que se disputaban la hegemonía, y otra mucho más encarnizada de parte de las fábricas de locomotoras a vapor contra sus rivales eléctricas, lo que no obstaba, por lo demás, a que estas mismas fábricas construyeran las partes mecánicas de las locomotoras eléctricas. En 1913 se puso de manifiesto en el Reichstag al tiempo de discutirse y aprobarse la electrificación de las líneas de circunvalación de Berlín, archi congestionadas con el aumento del tráfico, una obstrucción sistemática al proyecto del Gobierno propiciada por intereses ligados al sistema a vapor.

Además, la introducción del sistema eléctrico exige un esfuerzo de estudio técnico de cierta importancia: ha habido que preparar racionalmente desde el maquinista y el personal que revisa las líneas aéreas, hasta los ingenieros de las administraciones, habituados todos a la inveterada usanza del servicio a vapor. Y se comprende que este capítulo diera lugar, aunque *inconfesadamente*, a algunas resistencias para aplicar el sistema eléctrico.

*
* *

Las propiedades anteriores, que ponen de relieve la superioridad de la tracción eléctrica sobre la a vapor, son comunes en mayor o menor grado a los tres sistemas eléctricos más usuales, a saber: el monofásico, el trifásico y el a corriente continua.

Pero, para llegar a este alto grado de perfeccionamiento, en los últimos años del siglo pasado y en lo que va corrido del presente, los fabricantes de material eléctrico se han dedicado con activo celo a ensayar y experimentar nuevos tipos de motores, de transmisiones, etc., haciendo en ocasiones sacrificios pecuniarios considerables. Cuando el buen éxito coronaba sus esfuerzos y se lanzaba a la concurrencia pública alguna innovación de importancia era natural que la firma luchara por implantar sus aparatos y dispositivos en los ferrocarriles particulares y fiscales, en abierta concurrencia con los demás fabricantes de otros dispositivos y de otros sistemas que intentaban también introducir los suyos.

Se ha trabado así una interesante lucha, que si bien es cierto que por un lado era un enérgico incentivo de mejoramiento para cada sistema, por otro suministraba buenas armas a los sostenedores del sistema a vapor, quienes no pedían nada mejor que dividir a sus adversarios.

Felizmente la experiencia de varios años recogida en el servicio ferroviario de grandes líneas con todos los sistemas, ha venido a demostrar con hechos claros y concretos que los tres sistemas son muy comparables entre sí y que la prioridad de uno sobre otro es una cuestión local.

Cualquiera que sea el sistema de que se trate, la energía eléctrica se genera a gran voltaje en una central situada cerca de alguna mina de carbón, de algún yacimiento de turba, en la vecindad de alguna caída de agua o a la orilla del mar o de canales de navegación que faciliten el acarreo de combustible. Hasta donde sea posible, se acerca la central al centro de gravedad de la red a fin de acortar la longitud de las transmisiones.

La energía eléctrica se genera en forma de corriente monofásica o trifásica a 4 o 5 mil volts de tensión en los alternadores y se eleva su voltaje a 60 000, 100 000 y más volts por medio de transformadores estáticos para realizar una transmisión económica. La elevación de tensión, si bien es cierto que aumenta las dificultades y los costos de aislamiento, también lo es que la economía realizada en el peso del cobre compensa con creces aquellos mayores gastos.

Para hacerla utilizable a las necesidades prácticas de la tracción, se hace sufrir una segunda transformación a la corriente, bajando su tensión generalmente a 15 000 volts si se trata del sistema monofásico y a 3 000 si se trata del trifásico. Cuando el sistema adoptado es el continuo se convierte la corriente trifásica en continua por medio de motores generadores o de convertidores rotatorios también a la tensión de 3 000 volts. Esta transformación de la corriente se opera en sub-estaciones espaciadas de 12 a 15 km. más o menos, a lo largo de la línea si se trata del sistema trifásico o del continuo y a mayor distancia, debido a su mayor voltaje, si se trata del sistema monofásico. De la sub-estación va la corriente a la línea aérea de contacto o a un tercer riel dispuesto paralelamente a la vía.

El tercer riel ofrece grandes ventajas desde el punto de vista de su resistencia y fácil acceso, pero su aislamiento es difícil de realizar a una tensión superior a 1 000 volts. Por otra parte es peligroso en las estaciones y su mantenimiento

cuesta caro. Pero principalmente el punto de la tensión baja, como el de la gran impedancia para el transporte de la corriente alterna, son las dos causas que lo inhabilitan para usarse en las grandes líneas. Su campo de aplicación queda restringido a los metropolitanos y a ferrocarriles inter-urbanos con tensiones de 500 a 800 volts. (Fig. 1).

El otro sistema, en cambio, se ha generalizado en todas las grandes líneas eléctricas. El conductor aéreo presenta en este caso dificultades mucho más serias que en el caso ordinario de los tranvías urbanos, ya sea debido a la gran velocidad con se desliza a lo largo de él con cierta presión el toma corriente, sea a la acción de la temperatura y del viento, sea al aislamiento. El primer punto exige que el alambre se mantenga rígidamente horizontal a fin de evitar los esfuerzos de cizalle que agregados a las chispas concluirían por deteriorar prematuramente todo conductor que presentare ondulaciones. Se agrega a la dificultad anterior la acción de la temperatura ambiente, sujeta a oscilar en climas rígidamente entre límites bastante grandes, y la presión del viento que unida a la acción anterior puede provocar en distancias de 100 m. sollicitaciones peligrosas. Finalmente la tensión eléctrica elevada requiere un aislamiento seguro. Las diversas firmas que se ocupan de estos trabajos han satisfecho completamente los requisitos anteriores, mediante una serie de soluciones ingeniosas algunas de las cuales vamos a exponer sumariamente.

Hay dos sistemas de suspensión para el alambre, a saber: la suspensión longitudinal y la transversal. La primera se ha aplicado en los conductores de un alambre y la segunda en los de dos. En principio la suspensión longitudinal se compone de un cable de acero eléctricamente aislado, soportado por torres metálicas espaciadas de 60 a 100 metros, que suspende un alambre auxiliar al que se sujeta el conductor de acero. En el sistema propuesto por la Casa Siemens-Schuckert, por ej., (Fig. 2) se ven tres alambres dispuestos sucesivamente a cierta distancia unos de otros. El alambre inferior es un conductor de cobre duro de sección perfilada, generalmente de 100 mm². Este conductor va suspendido al alambre auxiliar de hierro colocado inmediatamente arriba de él, por medio de pinzas de bronce, que le permiten deslizarse longitudinalmente manteniendo siempre la horizontalidad. El alambre auxiliar va suspendido por alambres verticales, que en largos proporcionados a la flecha de la catenaria lo ligan al cable de acero superior. Finalmente este cable se suspende desde un principio dándole una flecha bastante grande de tal manera que las variaciones en el largo provocadas por las diferencias de temperatura no la influencien sensiblemente. Para impedir las oscilaciones laterales del conductor se le ligan conjuntamente con el alambre auxiliar en cada poste a una tornapunta formada de un tubo de gas aislado eléctricamente del poste y susceptible de girar vertical y horizontalmente con la presión del conductor. El conductor aéreo no tiene soldaduras: son largos trozos de alambre de unos 1500 m. que se rematan en pesos convenientemente proporcionados. Estos pesos mantienen, con ayuda de una roldana, automáticamente la tensión requerida

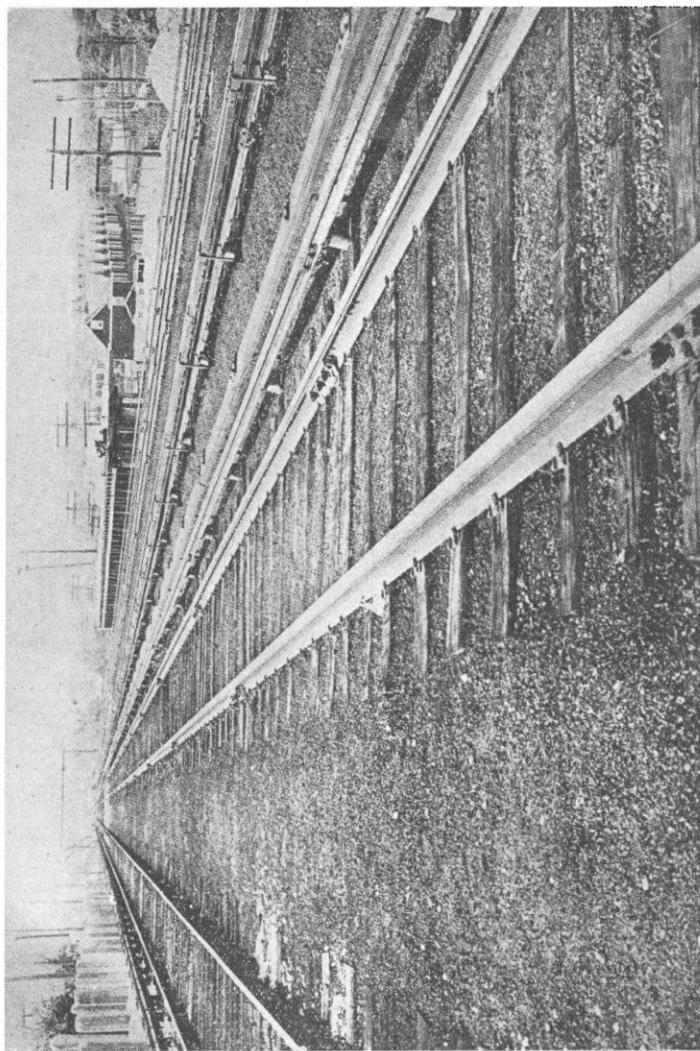


Fig. 1.—Ferrocarril eléctrico de Long Island (E.E. U.U.). Se observa a la derecha de la vía central el tercer riel, soportado por aisladores y defendido por tablones. Conduce la corriente a 650 volts de tensión.

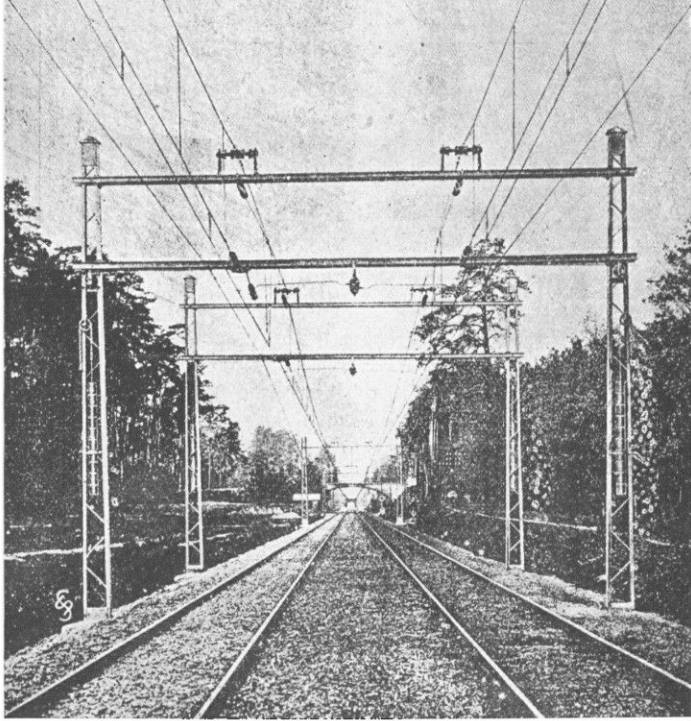


Fig. 2.—Aparejo aéreo de la línea Magdeburgo-Halle-Leipzig, tipo Siemens Schuckert. Nótese los tensores del alambre dispuestos al final de cada trozo de 1,600 metros.

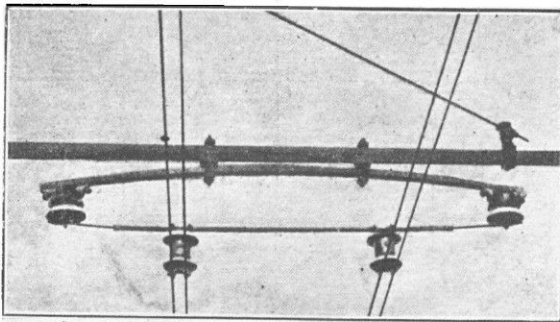


Fig. 3.—Muestra la forma de suspensión de las líneas trifásicas.
(Estado Italiano)

en el alambre. Con dispositivos semejantes al descrito, resuelven el mismo problema las otras firmas.

Esta transmisión, a pesar de las complicaciones más aparentes que reales, tiene la ventaja de permitir grandes distancias entre los postes, con lo que se consigue una economía en la transmisión.

La suspensión transversal soporta únicamente los dos conductores directamente, con un dispositivo semejante al que se usa para sostener el trolley de los tranvías urbanos. En Italia tales transmisiones se han hecho de tubos Mannesmann dispuestos cada 25 a 30 m. (Fig. 3).

Muchas veces estos mismos postes sostienen los alimentadores de alto voltaje.

Examinemos ahora el paso de la corriente hasta los motores y los medios como éstos transmiten el movimiento a las ruedas motrices. Ya habíamos dicho que en el sistema monofásico el conductor aéreo transporta la corriente a 15000 volts. Ahora bien, como los motores monofásicos no trabajan ordinariamente a un voltaje superior a 400 volts y que puede descender aún a 150 volts, para hacer variar la velocidad, resulta que hay que instalar en la locomotora misma un transformador. Este transformador aumenta el peso de la locomotora monofásica a igualdad de potencia útil, encarece su valor, neutralizando en parte las ventajas derivadas del menor número de sub-estaciones fijas de la línea. Los otros sistemas no necesitan transformador para accionar sus motores.

El motor de tracción, que es el órgano más importante de la locomotora, debería poder desarrollar un fuerte torque de demarrage capaz de producir una gran aceleración a la partida y alcanzar en cortos momentos la velocidad normal que debe llevar el tren en su marcha. En seguida el torque debería disminuir automáticamente, con el aumento de velocidad, produciéndose así aproximadamente, una auto regulación de potencia.

Tal es la característica del motor serie a corriente continua y sensiblemente la misma de los motores en series compensadas y de repulsión que usa el sistema monofásico. En cambio el motor trifásico tiene una característica más desfavorable: el par de arranque es pequeño y no se produce la auto regularización de potencia, lo que equivale a decir que su velocidad no varia con el aumento de la carga, o sea, tratándose de la tracción, no varía con la forma del perfil, manteniendo su velocidad practicamente igual en subida que en bajada. La variación de velocidad en este motor se consigue variando el número de polos, con lo que se obtienen cambios de velocidades de régimen para los dos motores en paralelo. Hay todavía una conexión, llamada en cascada en que el estator de un motor es alimentado por la corriente del rotor del otro, que permite otra velocidad de régimen. Estas limitaciones en la velocidad del motor trifásico quedan compensadas, acaso con creces, por su capacidad para la recuperación. Estos motores accionados por una fuerza externa a una velocidad mayor que el sincronismo an a generar corriente, que en el caso de la tracción eléctrica se de-

vuelve al conductor aéreo, trabajando en esta forma la locomotora como una central ambulante. Para este objeto en las bajadas, el tren va empujando la locomotora cerro abajo, produciéndose en estas condiciones un frenaje económico en que no se gastan rieles, ni frenos ni ruedas. Sin perjuicio de todo ello las locomotoras llevan también frenos de aire.

La recuperación de energía puede hacerse también con el sistema monofásico y con el continuo. Mas, en el monofásico no se realiza automáticamente y da lugar a algunas complicaciones en la maquinaria eléctrica. En cambio en el continuo la recuperación se realiza fácilmente y aún a cualquier velocidad, lo que significa una ventaja respecto de la trifásica que exige una velocidad mayor que el sincronismo para este objeto.

Veamos ahora como se transmite el movimiento desde los motores a las ruedas motrices. En los primeros ferrocarriles que fueron los tranvías urbanos, cuyo radio de acción se fué extendiendo más y más a medida del progreso de la técnica, al metropolitano y al ferrocarril vecinal, el motor transmitía el movimiento a las ruedas por medio de engranajes. Pronto se vió que la formación de trenes pesados con wagones automotores sucesivamente dispuestos unos detrás de los otros, no solucionaba económicamente el problema de la gran tracción, una vez por la complicación a que daban lugar las conexiones de los numerosos motores entre sí, y otra vez por la acción desfavorable que ejerce sobre la vía la presencia de masas pesadas, colocadas en una situación baja del vehículo, como ocurre en los automotores. Se pensó entonces en elevar el centro de gravedad del vehículo, como en la locomotora a vapor, para obtener una marcha más suave y se levantó el motor a cierta altura sobre los ejes. Así se consiguió mayor espacio para emplazar motores más grandes y potentes y se mejoraron las condiciones de ventilación y abordabilidad de los diversos órganos. Se acoplaron los ejes motores entre sí y se usó biela y manivela como en la locomotora a vapor; la locomotora eléctrica quedaba terminada en sus líneas generales.

Fuera de los engranajes como elemento de transmisión, que aún han subsistido en las locomotoras a corriente continua de la G. E. C., se usan todavía otros dos tipos de dispositivos respectivamente por cada uno de los sistemas monofásico y trifásico. En el primero de ellos, el dispositivo ideado por von Kando (Fig. 3), transmite directamente el movimiento de los motores a los ejes por medio de un bastidor rígido triangular. La disposición en sí es muy ingeniosa, pero no resuelve completamente el problema de elevar el motor en el marco de la locomotora. La otra forma usada en las locomotoras monofásicas alemanas emplea un falso eje, colocado a ambos lados del bastidor de la locomotora a la altura de los otros ejes y unidos con éstos por medio de bielas horizontales y con el motor con bielas inclinadas (Figs. 5). Este dispositivo amortigua suficientemente las reacciones sobre las manivelas y permite obtener una situación elevada para el motor y para el centro de gravedad de la locomotora. Ello implica, sin embargo, un aumento en el trabajo de rozamiento. Al revés de lo que ocurre en la locomotora a vapor,

Fig. 4.—Atalaje tipo Kando, del Estado Italiano.

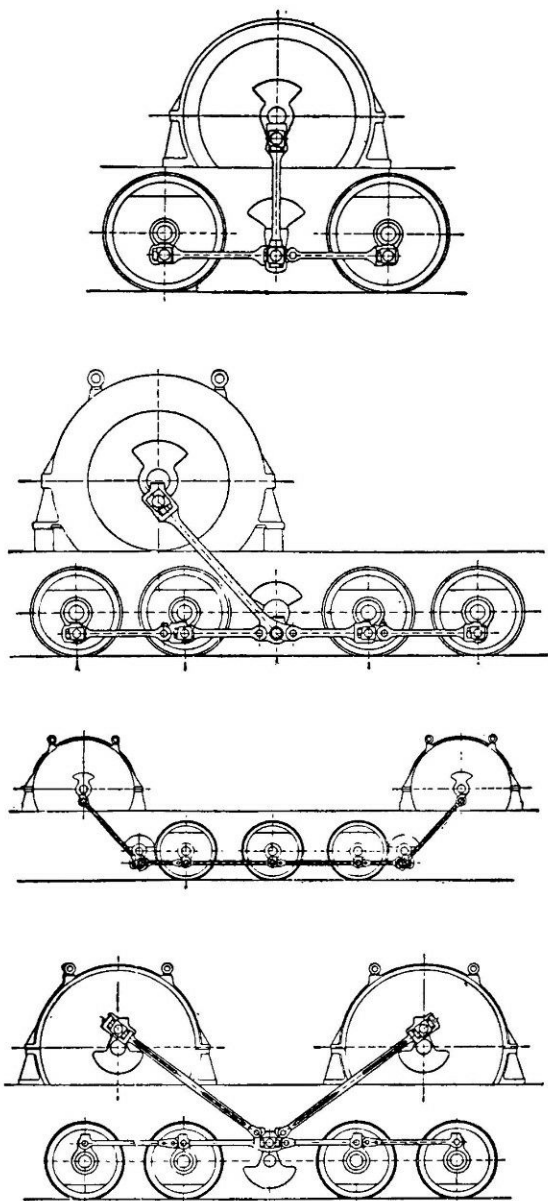
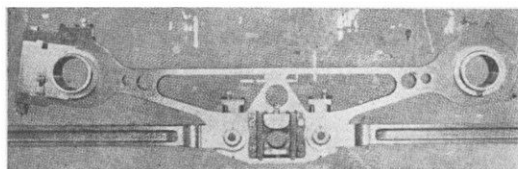


Fig. 5.—Diversos tipos de atalaje para uno y dos motores de la Casa Siemens Schuckert.

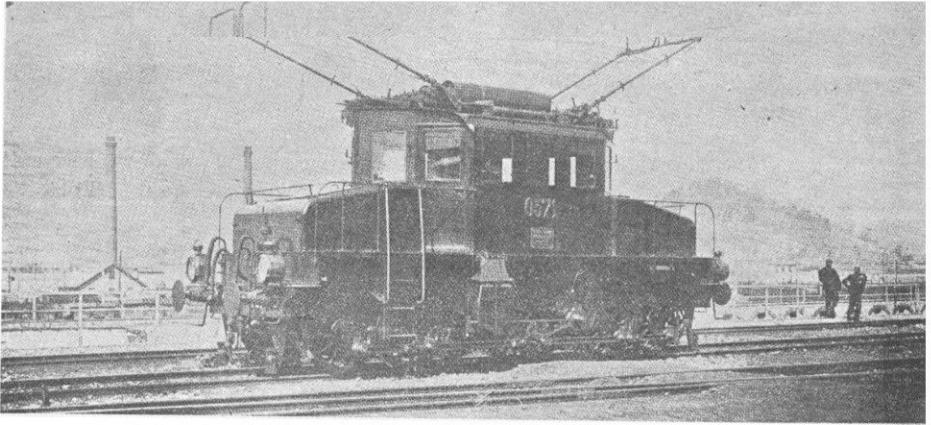


Fig. 6

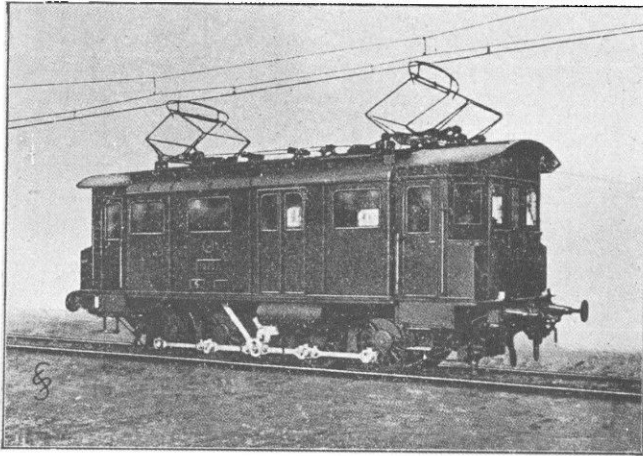


Fig. 7

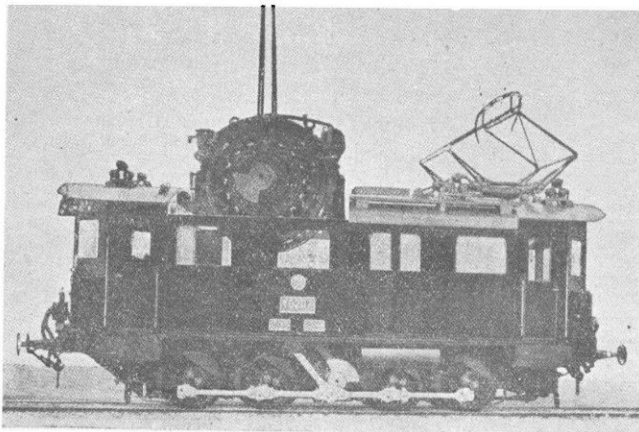


Fig. 8

- Fig. 6.—Locomotora trifásica de los Giovi, 2,000 H P, 5 ejes acoplados, 60 toneladas de peso adherente.
 Fig. 7.—Locomotora para trenes de carga, tipo D del Estado Prusiano.
 Fig. 8.—Muestra cómo se extrae un motor (locomotora monofásica)

el atalaje de accionamiento entre el motor y los ejes describe ahora únicamente movimientos circulares. La fuerza centrífuga de la biela se equilibra de una manera sencilla por medio de contrapesos lográndose en definitiva una marcha más suave y regular que con la locomotora a vapor.

La disposición y arreglo de los ejes ha ido haciéndose de manera de realizar una repartición simétrica de las cargas. Los alemanes en sus locomotoras eléctricas de grandes velocidades usan bogies de dos ejes. Para velocidades menores usan el bogie tipo Krausc Helmholtz, compuesto de un eje motor y un eje portante. Por fin suelen disponer también ejes susceptibles de orientarse radialmente. En las locomotoras de carga suprimen los ejes portantes.

De ordinario los ejes se disponen simétricamente respecto al centro de la locomotora, de tal manera que el vehículo pueda marchar a voluntad hacia adelante o hacia atrás, con lo que se evitan pérdidas de tiempo en las tornamesas.

En las líneas abundantes en curvas de corto radio, la inscripción se facilita construyendo la locomotora en dos unidades separadas, articuladas entre sí y eléctricamente acopladas.

En cuanto a su forma exterior se ha construido la locomotora eléctrica con la casucha en el medio y los motores en las estremidades, protegidos por construcciones adecuadas, o bien, en forma de auto motores con igual alto en toda su extensión, (Fig. 6 y 7). Se ha querido ver en la primera forma una menor resistencia al viento, en cambio los órganos eléctricos quedan menos accesibles. En la segunda forma, al contrario, la visita de los motores es posible aún durante la marcha del vehículo. Los compartimentos del conductor están ubicados en tal caso en ambos extremos. Ahí tiene a mano los diversos órganos de mando y control: rehóstató de arranque o bien, transformador, freno, tacómetro, voltmetro, amperómetro, etc. Únicamente la esfera de los aparatos se mantiene alumbrada durante la noche: el compartimento mismo permanece a oscuras a fin de favorecer la visibilidad de las señales.

En el techo de la locomotora sobre los motores y transformadores, si se trata de la locomotora monofásica, existen grandes obturaciones que permiten extraer con facilidad órganos, sea para cambiarlos, sea para atender a sus reparaciones, (Fig. 8).

La ventilación de los motores y transformadores es una cuestión muy importante, ligada íntimamente a la potencia permanente que es capaz de desarrollar la locomotora. A este objeto se disponen a veces en la delantera del vehículo, grandes ventanas, protegidas por persianas, que proyectan sobre el motor y transformador una fuerte corriente de aire. Válvulas especiales instaladas en el techo favorecen también la ventilación (1).

(1) Viene en seguida, y a modo de una aplicación de lo anterior, la exposición resumida del informe de los señores Edwards y Solar sobre la Electrificación de la Red Central de los FF. CC. del E, ya publicado en números anteriores de los Anales.

Vemos pues, Señores, que la electrificación de la 1.^a Sección realizada en la forma proyectada por la Comisión informante, representa un buen negocio para la Empresa a la vez que un factor de progreso y de comodidad en los transportes, eternamente criticados — aunque no siempre con plena justicia — por nuestro público exigente. Pero el negocio y el factor de progreso, más que para la Empresa, son para el país.

En efecto, ha adquirido ya el carácter de un axioma la estrecha concomitancia que existe entre el desarrollo y prosperidad de la gran industria y nuestro porvenir como nación en el hemisferio austral.

No nos cupo en suerte al igual que a la Argentina y al Brasil, el patrimonio de un enorme territorio agrícola, fácil de cultivar y de convertir en un inmenso emporio de riqueza y población. En cambio nos dotó la naturaleza con prodigalidad, fuera del salitre y del cobre, del carbón y del fierro, que son las dos inmensas pilastras en que descansa el edificio económico de todos los grandes pueblos directores del mundo moderno, llámense Inglaterra, Estados Unidos o Alemania.

Nuestros gobernantes tienen pues, trazado el camino que debe recorrer el país en su crecimiento futuro. El dilema es claro y terminante: o desarrollar nuestras riquezas industriales y con ellas nuestra población y prosperidad, o vegetar tristemente al lado de nuestros vecinos del Atlántico lanzados ya en una carrera extraordinaria de progreso.

Ahora bien, el gran auxiliar de esta política industrial tiene que ser el desarrollo y aprovechamiento racional de nuestras abundantes fuerzas hidráulicas y yacimientos carboníferos. Aunque a primera vista pareciera existir cierta exclusión, cierta concurrencia entre los dos tipos de carbón, como quiera que ambos se utilizan en los procesos de generación de energía, en realidad de verdad los dos carbones tienen sus esferas de acción bien definidas que no interfieren entre sí: por su escaso rendimiento calorífico y su alta eficiencia para el transporte y aprovechamiento mecánico, está indicado para la electricidad el campo de la fuerza, y vice-versa, para la hulla el aspecto calorífico. Tal es, por lo demás la forma en que tiende a consumirse más y más el carbón en el mundo. El Señor Gandarillas Matta en su interesante obra «La producción y consumo del carbón y su influencia en el desarrollo económico de las naciones», estudiando en detalle el consumo total de carbón producido en Alemania y Gran Bretaña, llega a la conclusión de que sólo una tercera parte sirve para impulsar los ferrocarriles, las máquinas de las fábricas, los vapores, etc., utilizándose el resto en los procesos metalúrgicos, economía doméstica y en general en todas aquellas formas que aprovechan el calor y no la energía mecánica generada por el combustible, precisamente aquellas en que la electricidad no puede reemplazar con ventaja al carbón.

Recíprocamente, el desarrollo de la energía hidroeléctrica y su venta a bajo precio, lejos de disminuir el empleo del carbón, han traído aparejados con el desarrollo de las industrias el aumento en el consumo del combustible.

El caso se ha visto recientemente con las electrificaciones de la costa del Mediterráneo en Francia.

Por otra parte, nuestro país se presta admirablemente a la electrificación general de su territorio. La circunstancia de que dispongamos a lo largo de nuestro angosto país de una serie de ríos caudalosos con grandes caídas de agua capaces de generar potencias importantes y que estos saltos se hallen muy cerca de las zonas de aprovechamiento, ha hecho concebir la idea de realizar la captación general de estas fuerzas para transportarlas por una arteria central y distribuirla en todos los centros de consumo en condiciones excepcionalmente económicas.

Este mismo problema se viene estudiando en varios países, aún en aquellos en que por su enorme producción de hulla, tales como Inglaterra, parecería innecesario lanzarse en estas costosas obras eléctricas. Sin embargo existe la preocupación entre algunos de sus estadistas de vincular la grandeza y el poderío de la nación inglesa a su riqueza carbonera, en tal forma que creen ver en la disminución de las existencias de carbón el decaimiento de la potencia industrial de Inglaterra y con ella su población y hegemonía mundial. De ahí, pues, el interés de economizar estos recursos vitales buscando medios más eficientes de aprovechamiento. Según el proyecto del sabio Presidente del Instituto de Ingenieros Electricistas Sr. De Ferranti, citado por el Sr. Gandarillas, se construirían en Inglaterra 100 centrales en las minas y en puntos donde pudiera transportarse el carbón por vía de agua, con una capacidad de 250000 kwts.

El tonelaje de carbón consumido actualmente como combustible alcanza a 150000000 de tons. que con la electrificación general del país descendería a 60000000 de tons. El proyecto en referencia estima que el kwtt-hora costaría la insignificante suma de 1/8 de penique. Y agrega: «con este precio todos los trabajos humanos se aliviarían en forma inverosímil y podríamos llegar así a modificar nuestro concepto sobre la naturaleza del trabajo. Los centros poblados se transformarían por completo, y de sucios y llenos de hollín se convertirían en limpios y saludables. La vida de las mujeres, especialmente la de las clases trabajadoras, cambiaría en absoluto. El servicio doméstico se haría fácil y liviano. La agricultura pasaría a ser científica y a mejorar notablemente su rendimiento gracias a los abonos que podrían obtenerse como subproductos de las centrales, a razón de 150 libras por acre cultivado.

Steinmetz, el conocido ingeniero consultor de la G. E. C., estudiando el mismo problema con relación a los Estados Unidos, llega a algunas conclusiones de sumo interés aplicables al caso de Chile. Steinmetz estima en 867 millones de tons. la producción actual de carbón en Estados Unidos, de las cuales la mitad se utiliza para producir fuerza y la otra mitad se consume en procesos metalúrgicos y de calefacción.

Avaluando la energía química del promedio del carbón yankee en un poco más de 7000 calorías, resulta que la energía química de una tonelada de carbón es aproximadamente equivalente a la energía eléctrica de un kwtt-año con 24 ho-

ras de servicio. Con una eficiencia de 50 % los 867 millones de tons. producirían 217000000 de kwts. como energía utilizable a la hora actual.

Steinmetz examina en seguida la energía hidráulica total de Estados Unidos que avalúa en 230000000 de kwts. y estima que con estas cifras el país no alcanzaría ni con mucho, en un futuro ya cercano a reemplazar la energía derivada del carbón por energía eléctrica, aunque pudieran captarse todas las caídas de agua de Estados Unidos ya sean grandes o pequeñas. E insiste como en el caso de Inglaterra, por aconsejar el ahorro en el consumo del carbón negro y la sustitución por carbón blanco, prácticamente indefinido en su duración.

Al examinar el mapa pluviométrico del país, Steinmetz observa que la mayor parte de las fuerzas hidráulicas norte americanas se derivan de ríos poco caudalosos, que encuentran su origen en zonas de área pequeña, con escasas aguas lluvias, pero ubicadas a gran altura sobre el nivel del mar. Solo una parte comparativamente reducida de la energía hidráulica se presenta concentrada en grandes caudales, capaces de generar fuertes cantidades de energía hidro-eléctrica en condiciones económicas.

Entre tanto, es un hecho comprobado, que a la hora actual la central hidro eléctrica corriente, compuesta de turbina y generador sincrónico es absolutamente inadecuada, comercialmente hablando, para desarrollar potencias pequeñas: una central de 1000 HP., por ejemplo, rara vez resulta económica y una de 100 HP., lo es aún con mayor dificultad. Y esto es debido a que la actual central sincrónica inclusive elementos auxiliares como ser planta excitadora, dispositivos de regulación y contral, etc., constituye un sistema complicado y costoso en sus gastos de instalación. En tal forma que siendo prácticamente idénticos los elementos de excitación, control y regularización de una central grande que de una pequeña, resulta que el kwtt. producido en esta última se recarga en una tasa considerablemente más elevada que en el caso anterior, llegando a valores prohibitivos. Se hace, pues, indispensable crear un nuevo tipo de central, capaz de hacer una captación económica de las abundantes corrientes de agua de poco caudal, pero de gran desnivel que bajan de las montañas.

Steinmetz propone para este objeto el generador de inducción, que es en buenas cuentas el motor asíncrono trifásico accionado por una fuerza externa a una velocidad superior a la del sincronismo, circunstancia que lo obliga a pasar de receptor a generador de electricidad. Digamos de paso que este mismo es el principio de la recuperación de energía obtenida en la locomotora trifásica que ya consideramos anteriormente.

Tal estación automática requiere vigilancia unicamente de tiempo en tiempo y no necesita los complicados auxiliares de las grandes estaciones en lo que respecta a excitación, control y regularización. Pero no es en la reducción de los costos de primer establecimiento, sino en la aplicación del mismo principio que ha determinado el triunfo económico del motor eléctrico en la vida diaria, donde hay que buscar la mejor expectativa de buen éxito para el futuro de esta central de

inducción, a saber: *colectar eléctricamente la potencia hidráulica tal como se la distribuye eléctricamente.*

De la misma manera que hoy en día no se convierte la energía eléctrica en energía mecánica en un sólo punto mediante un gran motor y se la distribuye por correas y transmisiones sino que se la distribuye eléctricamente por medio de conductores y se la convierte en energía mecánica allí donde se la necesita con ayuda de motores individuales, lo mismo puede procederse con la energía hidráulica. Se convertiría análogamente la potencia hidráulica, esto es, potencia mecánica en eléctrica, por generadores individuales colocados a lo largo de las corrientes donde hay caídas de agua y entonces se captaría esta potencia eléctricamente con líneas colectoras de voltaje medio y finalmente con líneas transmisoras de alto voltaje. Recíprocamente, si se pretendiera captar mecánicamente esta potencia de las pequeñas corrientes juntándolas por medio de un canal colector y conduciéndolas a una central única, resultaría en la mayor parte de los casos una solución excesivamente costosa, irrealizable.

Concebido en estos términos el sistema preconizado por Steinmetz, es de la más alta importancia para el porvenir hidro-eléctrico de nuestro país, llamado por tantas razones a ser el eje de nuestra vida industrial del futuro. El régimen torrencial de nuestros ríos que implica tantas veces el aditamiento de un grupo termo eléctrico o la regularización del caudal de aguas con obras de embalse, ambas soluciones de costo elevado, encontrará en el nuevo tipo de central una espléndida oportunidad de desarrollo.

Luego después se aprovecharían las pequeñas caídas en forma económica haciéndolas trabajar en paralelo con las grandes centrales, de tal manera que ayudándose mutuamente, asegurarían la constancia y regularidad en la producción de fuerza.

Hasta hoy la dificultad casi insuperable que ha encontrado el desarrollo de nuestras fuerzas hidráulicas ha sido el escaso aprovechamiento comercial que se le ofrece a la energía producida en las centrales, respecto al gran total que son capaces de producir. En términos técnicos, al bajo factor de carga de estas centrales, que las condena a llevar una vida anémica, cuando no a cerrar sus puertas, ante las pesadas cargas de intereses y amortizaciones que deben servir.

Pues bien, la electrificación de nuestros ferrocarriles vendría a facilitar enormemente la realización de este ideal, ya que sus consumos permanentes y elevados (en la 1.ª Sección serían más de 20 000 000 de kwts-horas) mejorarían el factor de carga de las centrales, resolviendo inmediatamente el problema de la rentabilidad de la instalación.

El buen éxito que seguramente mostrará la electrificación de la 1.ª Sección, la hará ampliarse a la 2.ª. Se construirían nuevas centrales que se ligarían a las primeras, para ir desarrollando en seguida paulatinamente sus distribuciones secundarias. A la vuelta de pocos años habríamos cubierto una gran zona del país con una gigantesca red de transmisiones eléctricas, portadoras de cultura y pro-

greso. Esta red le daría vida a grandes fábricas de electro-siderurgia, y al horno eléctrico en nuestras cordilleras para tratar económicamente los cobres de baja ley.

La fuerza eléctrica vendida en condiciones ultra económicas, con tarifas especiales, permitiría usarla en la calefacción de las casas y en todos los usos domésticos la cocina inclusive. La agricultura de secano, tan extensa en nuestro país, se beneficiaría grandemente ya que así podría elevar aguas en condiciones económicas. La agricultura de riego tendría mil ocasiones de usarla ampliamente y con grandes ventajas. Nuestros puertos, nuestras minas de carbón, y aún quizá si las salitreras podrían también beneficiarse con esta inmensa riqueza.

En especial la provincia de Valparaíso por su densidad de población, por el alto valor de la propiedad agrícola, por su riqueza general, vería alzarse antes que en ninguna otra parte, las fábricas sin humo, fuente de riqueza y prosperidad. Y a caso Viña del Mar donde ya hay buenas industrias, podría llegar a ser, toda proporción guardada, el Niágara Falls meridional, la ciudad de la hulla blanca.

Tales son, señores, los aspectos inmediatos y lejanos, brevemente resumidos, a través de los cuales vemos la electrificación de nuestros ferrocarriles. Será el despertar de una era de grandes transformaciones, de progreso no soñados, que harán por fin de nuestra tierra *la copia feliz del Edén*, de que nos hablara el vate nacional.

Sin embargo, la historia se repite eternamente en todas las actividades de la vida humana. Casi podría decirse que no ha habido nunca en la historia de la humanidad, alguna gran reforma, alguna gran medida de progreso en el orden moral o en el orden material que no haya sido encarnizadamente combatida por los mismos que van a usufructuar de ella a corto plazo. Parece inútil recordar aquí los ejemplos, que sobran por lo demás, en la aplicación de la maquinaria moderna a las industrias manufactureras. Pero no hemos de pasar por alto sin recordar un caso de mucha actualidad en este momento, a saber, la industria de transportes con birlochos y carretas que había antaño entre Santiago y Valparaíso. Todo el mundo sabe que en el Senado de la República se levantó en aquellos años una fuerte oposición al establecimiento del ferrocarril Santiago-Valparaíso, precisamente en nombre de los intereses de la carreta y del birlocho.

No es de extrañarse que la electrificación Santiago-Valparaíso, que es una gran medida de progreso, sea también vivamente resistida precisamente por los primeros que han de beneficiarse con ella. Felizmente, esta vez no ha sido en el Senado ni en la Cámara de Diputados, donde se levanta la resistencia: ha sido, señores, en las filas del periodismo, donde siempre habían formado en nuestro país los zapadores del progreso nacional.

No tenemos la intención de bajar a la arena candente de la polémica, ni queremos tampoco refutar, uno a uno, la serie de cargos infundados que se han hecho a este gran proyecto. Así no entraremos a probar a los periodistas de Valparaíso, contra lo que ellos han sostenido, que ya se han hecho estudios definitivos sobre

la electrificación, ni a convencerlos de que estos trabajos no cuestan 25 millones con cara de 30, como dice «El Mercurio» en su edición de 17 de Abril, ni 51 millones o más como dice en la edición del 21, sino \$ 7 960 000 oro. Tampoco nos detendremos a considerar la anunciada congestión del tráfico en la 1.^a Sección, que según ellos no es capaz de conjurar definitivamente la tracción eléctrica, por haber demostrado antes cuán infundados son esos temores.

Queremos únicamente poner en claro un error de concepto, una confusión lamentable en que han incurrido los periodistas porteños, obcecados en su afán de atacar la electrificación de la 1.^a Sección.

La Ley de Reorganización de los Ferrocarriles, dictada en 1914, establece en forma perentoria *que la Empresa debe hacer sus gastos con sus entradas*. Esa ley le dió autonomía a la Empresa, le dió personal técnico y la autorizó para percibir un empréstito por £ 4 710 000 a fin de mejorar su equipo y modernizar sus instalaciones.

Ahora bien, la Dirección de los FF. CC., que tiene la responsabilidad de aquel mandato ante el país ve que la explotación de una de sus líneas es cara, es onerosa, deja pérdidas, ¿qué debe hacer? Sencillamente estudiar las causas que determinan estas pérdidas y sugerir y aplicar los remedios que hayan de ponerle atajo. Si este estudio le señala, pongamos por caso, la tracción eléctrica, o la tracción con petróleo, o la tracción con leña, como el medio más eficaz de mejorar la explotación, aplicará la tracción eléctrica, el petróleo o la leña, precisamente cumpliendo con la consigna de hacer sus gastos con sus entradas dentro del régimen de autonomía que le ha creado la ley.

Aunque la Empresa de los FF. CC. pueda construir nuevas líneas con sus reservas, se comprende que esta actividad será siempre en ella excepcional, como quiera que su papel está señalado en la explotación de las líneas que le entrega el Gobierno, y en este sentido su ideal debe ser explotarlas satisfactoriamente, con ventaja y comodidad para el público y con utilidades, o por lo menos sin pérdidas para la Empresa.

Así las cosas ¿por qué pues ha de chocar con nadie la aplicación de una reforma que trata de implantar la Empresa en su explotación? ¿No está haciendo uso de sus derechos privativos? ¿No le ha trazado la ley un marco rígido, el de hacer sus gastos con sus entradas, marco indeformable que no debe, que no puede romper sin menoscabar su prestigio y destruir por su base todo el fundamento de su institución?

Ponen el grito en el cielo los opositores a esta gran medida de progreso, creyendo que con ella se va a retardar la construcción del ferrocarril por Casablanca. Para ser lógicos deberían oponerse a la traída de locomotoras Mikado, capaces de más que duplicar la capacidad de acarreo actual de la línea Santiago-Valparaíso, deberían oponerse a la construcción de la doble vía entre Limache y Ocoa, a las carboneras mecánicas, a las nuevas aguadas, nuevas maestranzas y casas de má-

quinas, en una palabra a todas las medidas previstas en el futuro plan de obras para mejorar las condiciones de explotación de la 1.ª Sección.

Ya vimos en el curso de esta exposición que aun existe amplio margen para mejorar el actual servicio a vapor, pudiendo llegar si no a los «records» que es capaz de batir la tracción eléctrica, por lo menos a una situación considerablemente superior a la actual. Pero las inversiones pecuniarias que habría que hacer para realizar este objetivo se equilibran, al poco más o menos, con las inversiones necesarias para establecer la tracción eléctrica y en cambio las economías de este último sistema superan con mucho a las primeras.

Por último establezcamos claramente que la instalación del servicio eléctrico en la 1.ª Sección, como la implantación del plan de señales o de cualquier medida de eficiencia en sus transportes que adopte la Empresa, no excluye en modo alguno la construcción de otro ferrocarril por Casablanca o por donde se quiera trazarlo.

Si el Gobierno quiere construir un ferrocarril por Casablanca, en santa hora que lo construya, pero no se le impida, señores, a la Empresa que aplique los recursos más modernos de la técnica para mejorar sus transportes, ni se prive tampoco al país de la iniciación de esta política hidro-eléctrica que hará de Chile un país industrial, poderoso y respetado en Sud-América.

Para terminar esta disertación demasiado larga, permitidme, Señores, que recuerde aquí con admiración los nombres del Ministro Sr. Serrano Arrieta y del Presidente de la República que con criterio de verdaderos estadistas supieron discernir la importancia trascendental que tiene para el país la electrificación de los ferrocarriles y decidir la ejecución de la obra.