



Estudio sobre la electrificación de los ferrocarriles

(Red Central)

POR

RAFAEL EDWARDS S. Y RICARDO SOLAR P.

(Comisión designada por la Dirección de los Ferrocarriles)

Santiago, 20 de Noviembre de 1918

SEÑOR DIRECTOR GENERAL:

El estudio sobre la electrificación de la Red Central ha demostrado la conveniencia de implantar la tracción eléctrica en las líneas de mayor tráfico de la Empresa, y en especial en los trozos Valparaíso-Santiago y las Vegas-Los Andes, de la primera zona.

El costo de las obras que es necesario realizar y de los elementos de transportes que es preciso adquirir para llevar a efecto el cambio del sistema de tracción, es de \$ 20 670 000 de 18 d., de los cuales, por las razones expuestas en el curso de este estudio, sólo \$ 7 960 000 de 18 d., corresponden a una inversión de capital realmente exigida por la electrificación.

La economía que puede obtenerse con el establecimiento de la tracción eléctrica en las líneas de la primera zona es de \$ 848 000 de 18 d., más 1 250 000 m. c. para un tráfico igual al del año 1917. Se ha llegado a estas cifras considerando no el gasto realmente ocasionado por la tracción a vapor durante el año 1917, sino una cantidad sensiblemente menor que representa el gasto que, para hacer frente a la movilización del año citado, habría originado la tracción a vapor si la Empresa hubiera dispuesto de elementos apropiados para el servicio y si el valor de los materiales en 1917 hubiera sido el correspondiente a los años normales.

De acuerdo con las ideas expresadas en el presente estudio, la Empresa obtendrá las mayores ventajas económicas de la electrificación; en primer lugar limitando su acción al establecimiento de la tracción eléctrica en sus líneas, y dejando la construcción de centrales y el suministro de la energía a las empresas que actualmente ejercen esta industria o a las que puedan establecerse sobre la base del consumo de la tracción eléctrica; y en segundo lugar, procediendo a la electrificación de sus líneas después de haber elegido el sistema más conveniente

en vista del resultado de una licitación pública amplia que permita la concurrencia de todas las casas especialistas en tracción eléctrica.

Si la Dirección General acepta las conclusiones expuestas, será preciso proceder a la preparación de las Bases de la licitación pública, tanto para la provisión de la energía eléctrica destinada al servicio de tracción, como para la electrificación de las líneas y el suministro del material rodante eléctrico.

Saludan a Ud.

RAFAEL EDWARDS
RICARDO SOLAR

CAPITULO I

COSTO DEL ESTABLECIMIENTO DE LA TRACCIÓN ELÉCTRICA EN UNA RED FERROVIARIA

El aumento de la capacidad de movilización y la economía en los gastos de tracción, son los principales fines que persiguen las empresas ferroviarias cuando proceden a electrificar sus vías.

En el caso de nuestra Red Central, tienen gran importancia las consideraciones basadas en las economías que permite realizar la tracción eléctrica; en cambio, el aumento de la capacidad de movilización de la línea, es un problema que se presenta sólo en algunas partes de la red y que puede ser resuelto satisfactoriamente sin necesidad de recurrir a la electrificación.

Serán por lo tanto las cifras a que alcancen las economías derivadas del cambio de sistema en relación con el capital que exija el establecimiento de la tracción eléctrica, las que decidirán sobre la conveniencia de electrificar nuestra red, o por lo menos, una parte de las líneas que la forman.

Antes de entrar al estudio de las economías que es posible introducir en los gastos de la Empresa, hemos estimado necesario exponer la forma en que debe apreciarse el costo del establecimiento de la tracción eléctrica en una red ferroviaria en explotación.

La suma que es necesario invertir para implantar el nuevo sistema de tracción está destinada a la adquisición o instalación de los siguientes elementos:

- Locomotoras eléctricas,
- Líneas de contacto,
- Sub-estaciones,
- Líneas de transmisión, y
- Centrales.

*
*
*

Locomotoras eléctricas.—El costo de adquisición de las locomotoras eléctricas no debe en realidad considerarse como una inversión de capital. Dentro de ciertos límites, puede clasificarse como un gasto de explotación. En efecto, en una empre-

sa ferroviaria, como por lo demás en una empresa industrial cualquiera, los gastos de explotación relacionados con las maquinarias comprenden no sólo los gastos de conservación y reparación que ellas exigen, sino también los gastos originados por su renovación, siempre que ellos tengan por objeto y no sean superiores a los necesarios para mantener el valor primitivo de las instalaciones. Estas, como es natural, aunque sean conservadas en perfecto estado de funcionamiento, van disminuyendo de valor de año en año, entre otras razones, porque las maquinarias se anticuan y porque si la empresa que las utiliza quiere conservar su situación con respecto a las industrias similares establecidas posteriormente, se encuentra en la necesidad de reemplazarlas simultánea o gradualmente por maquinarias de tipos más perfeccionados.

Después de realizado este reemplazo total, si la capacidad productora de las empresas no ha aumentado, el valor de las instalaciones es igual al valor primitivo; por lo tanto, es evidente que los gastos que originó la renovación fueron gastos ordinarios de explotación.

En la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, desde hace algunos años, se procede en la forma expuesta y se consideran como gastos ordinarios los exigidos por la renovación de sus instalaciones. Con el fin de evitar que los gastos de explotación de un ejercicio, aparezcan muy elevados por el hecho de haberse realizado durante su transcurso fuertes renovaciones y que en otros años suceda lo contrario, se ha fijado para las diversas categorías de bienes de la Empresa, sumas que representan la depreciación anual de dichos bienes y que se deben considerar como gastos de explotación del ejercicio, ya sea que se inviertan o no se inviertan en las renovaciones correspondientes.

Si los gastos de renovación no exceden la cuota de depreciación, el saldo se considera como fondo de renovación y queda disponible para el ejercicio siguiente; si las renovaciones exceden la cuota de depreciación del año y los fondos provenientes de los saldos de ejercicios anteriores, el exceso se deja, según los casos, para ser cubierto con la cuota de depreciación del año siguiente, o se considera como un aumento de valor de la cuenta del activo correspondiente a la categoría de bienes en la cual se hallan efectuado las renovaciones en exceso de que se trata.

La cuota de depreciación del equipo en la Red Central de los Ferrocarriles del Estado, es de \$ 3 462 278 29 moneda corriente anual.

De esta suma corresponde:

A locomotoras	\$ 2 017 516 83
A carros de carga	» 830 732 90
A coches de pasajeros	» 614 028 56

La empresa debe reservar estos valores o invertirlos anualmente en la adquisición de equipo con el fin de mantener el valor primitivo de la dotación de

locomotoras, carros y coches, y el gasto correspondiente es considerado como un gasto ordinario de explotación.

Es evidente que si se electrifica una parte de la red central, el valor de las locomotoras eléctricas que sea necesario adquirir, deberá considerarse como gasto de renovación de locomotoras y, por consiguiente, como gasto ordinario de la Empresa.

El valor de los intereses sobre las sumas invertidas en locomotoras eléctricas no deberá por lo tanto ser considerado como gasto originado por el cambio de sistema de tracción.

Otro tanto puede decirse del valor de la depreciación de las locomotoras eléctricas, si se admite para ellas, como es natural, la misma tasa de depreciación fijada para las locomotoras de vapor.

En caso de que el costo de las locomotoras eléctricas requeridas por el trozo de línea que se electrifique sobrepase el valor de las cuotas de depreciación del período correspondiente a los trabajos y los fondos acumulados provenientes de años anteriores, el saldo deberá ser cubierto con las cuotas de depreciación de los años siguientes. El único gasto que podrá considerarse como una inversión de capital sería el correspondiente a los intereses sobre el exceso de valor de las locomotoras eléctricas, con respecto a las cuotas de depreciación acumuladas para hacer frente a la renovación de locomotoras.

Las observaciones anteriores no son aplicables naturalmente cuando la parte de la red que se electrifica es una fracción considerable del total.

Además del equipo que se adquiere con el fin de conservar su valor primitivo, necesita la Empresa comprar periódicamente equipo para satisfacer los aumentos del tráfico. Estas adquisiciones que son necesarias, si el incremento de la movilización lo exige, pueden hacerse, en lo que se respecta a locomotoras, en el caso de que se electrifique una parte de la red, invirtiendo las sumas destinadas a este objeto en locomotoras eléctricas y dejando las locomotoras de vapor que hacían el servicio en el trozo electrificado, para la movilización en el resto de la red.

El costo de las locomotoras eléctricas adquiridas en estas condiciones, es en realidad un aumento de capital, pero los intereses correspondientes no deben cargarse como gastos originados por la electrificación, ya que la inversión debía efectuarse aún cuando se conservara el servicio de vapor.

Las consideraciones expuestas se suelen tomar en cuenta indirectamente al hacer el estudio económico de la electrificación de una parte de un ferrocarril, descontando del valor de las locomotoras eléctricas que es necesario adquirir, el valor de las locomotoras de vapor que hacen el servicio cuando se efectúa la transformación. Como en general el número de locomotoras eléctricas requeridas por el tráfico es muy inferior al número de locomotoras de vapor existentes en el trozo electrificado, y como siempre el cambio del sistema de tracción se efectúa en la parte de la red que tiene mayor tráfico y, por consiguiente, locomotoras de mayor

valor, la diferencia entre el costo de las locomotoras eléctricas que es preciso adquirir y las locomotoras de vapor que quedan disponibles es muy pequeña.

La electrificación de un trozo de la red dejará además disponibles, para ser utilizado en el transporte de carga para el público, una parte del equipo destinado al transporte del carbón empleados por las locomotoras de vapor. Como es natural, el valor de este equipo, que en el momento de ponerse en servicio el nuevo sistema de tracción, puede considerarse como adquirido por la Empresa, debe tomarse en cuenta al establecerse el valor de la inversión de capital exigida por la electrificación.

*
* *

Líneas de contacto y sub-estaciones.—El costo de estas obras, que son de naturaleza enteramente diversa de las que acabamos de examinar, constituyen en realidad una inversión de capital; los intereses correspondientes y la depreciación de las instalaciones, deben ser considerados como gastos originados por la electrificación.

*
* *

Líneas de transmisión y Centrales.—La energía eléctrica necesaria para el servicio de nuestra red central, debe ser de origen hidráulico, si se quieren aprovechar en forma completa las ventajas económicas del nuevo sistema de tracción.

Sin tomar en consideración naturalmente los precios actuales del combustible, puede establecerse que en épocas normales, Chile es un país de carbón caro, los precios de costo de nuestras minas son elevados, la producción es muy inferior al consumo, y seguramente por mucho tiempo todavía, el valor del carbón en el país será fijado por el precio del combustible extranjero y por su flete hasta nuestros puertos.

En cambio, nuestros ríos, apesar de sus grandes fluctuaciones de caudal, reúnen un conjunto de condiciones, entre las cuales sólo citaremos la proximidad de su zona de gran pendiente a los centros de consumo y su conveniente repartición en la región central, que hacen bastante ventajosa la utilización y distribución de la energía que ellos pueden producir, no sólo para ser empleada en la tracción ferroviaria, sino en todos los servicios públicos y particulares que necesitan consumirla.

El examen de las condiciones de caudal mínimo y dependiente de los ríos de la zona central, aguas arriba de los valles que los utilizan para el regadío, demuestra la posibilidad de establecer centrales hidroeléctricas de potencias medianas, 5 000 a 15 000 HP. en condiciones por lo general tan favorables como las que funcionan con buenos resultados económicos en países en que el combustible tiene un valor tres o cuatro veces menor que entre nosotros.

El escaso desarrollo de las instalaciones hidroeléctricas en Chile, se debe prin-

principalmente a las pobres expectativas que se presentan para las empresas en lo que se refiere a factor de carga o sea a la relación entre la energía vendida y la energía que la central es capaz de producir en un periodo de tiempo. Un buen factor de carga, que sólo se obtiene cuando hay consumos permanentes, como en el caso de ciertas industrias, o un gran número de consumos de diversa naturaleza, es de gran importancia para las plantas hidroeléctricas, cuyos gastos de explotación, formados en su mayor parte por el interés del capital invertido, la depreciación de las instalaciones y los desembolsos exigidos por la administración, son independientes de la energía producida.

Lo que se ha dicho respecto al factor de carga en las plantas hidroeléctricas rige para las plantas termoeléctricas establecidas en países de combustible muy barato. En ellas también una fuerte proporción del precio de costo de la energía es debida a los intereses del capital y demás gastos fijos, independientes de la energía producida.

Son las condiciones del consumo y no las características de nuestros ríos las que han limitado el desenvolvimiento de la grande industria hidroeléctrica, que sólo está representada en Chile por cuatro plantas de más de 5 000 HP. instaladas con el fin de proporcionar energía a establecimientos mineros de consumo casi permanente o a las ciudades de Santiago y de Valparaiso, en las cuales la diversidad de los consumos permite obtener un buen factor de carga.

En los países que nos han precedido en la electrificación de sus líneas, se ha presentado a las empresas ferroviarias una situación muy favorable para la provisión de la energía eléctrica necesaria para el nuevo sistema de tracción; la existencia de grandes centrales hidro o termo-eléctricas en explotación, capaces de suministrar la energía exigida por el servicio eléctrico, permitió en muchos casos evitar la inversión del capital requerido por la instalación de una planta especial para la tracción ferroviaria. Para las centrales existentes, el nuevo consumo, diverso de los demás en cuanto a su repartición en el curso del día, contribuía a mejorar su factor de carga sin exigir ensanches importantes de las plantas, por el hecho de que la potencia y la energía necesarias para la tracción en las líneas férreas que unen dos grandes centros, son apreciablemente inferiores a la potencia y a la energía requerida por ellos para sus servicios internos de tracción, alumbrado y fuerza motriz.

Las empresas ferroviarias adquiriendo la energía eléctrica para la tracción, realizan un positivo beneficio; disminuyen su inversión de capital, simplifican la administración, no introduciendo un nuevo servicio de plantas productoras de energía para la tracción, y por fin, en la mayor parte de los casos, obtienen la energía eléctrica a un precio inferior al que les habría sido posible producirla con centrales propias.

Para la electrificación de nuestra red central, no encontrará la Empresa una situación tan favorable a este respecto.

Como se verá más adelante, son las líneas de la 1.^a zona las que presentan

un campo más favorable a la electrificación, pues en ellas, entre otras razones, por su gran tráfico y sus fuertes pendientes, el capital que se invierta en implantar el nuevo sistema obtendrá la mejor remuneración. Ahora bien, las centrales existentes en la región no pueden suministrar la energía eléctrica necesaria para el servicio de tracción sin efectuar importantes ensanches en sus actuales instalaciones. Por otra parte, el sistema de tracción que se ha considerado como el más conveniente para nuestros ferrocarriles, exige el empleo de la energía bajo la forma de corriente trifase a baja frecuencia, lo que si bien es cierto que no constituye una dificultad insubsanable para que las plantas existentes suministren la energía eléctrica necesaria para la tracción, en todo caso contribuye a aumentar el costo de los ensanches necesarios para hacer frente al nuevo consumo.

El servicio de la tracción eléctrica en las líneas de la 1.^a zona, exige una potencia media en el hilo de contacto de 2 360 kilowatts con potencias máximas no superiores a 6 770 kilowatts, para un tráfico igual al de 1917. Aunque estas cifras demuestran que el factor de carga es bastante bueno y que el servicio de tracción por si solo basta para justificar el establecimiento de centrales hidroeléctricas, estimamos que la Empresa no debe proceder a la construcción de plantas propias sino en el caso de que no le sea posible obtener la energía en condiciones aceptables de las centrales existentes o de las que puedan establecerse con la base del importante consumo que puede asegurar la Empresa y con las facilidades respecto a mercedes de agua, expropiaciones y servidumbres que se obtendrían del Gobierno en estos casos.

En efecto, la inversión de capital que representa para la Empresa la construcción de una planta hidroeléctrica con su planta térmica de reserva, de la potencia necesaria para la electrificación de la 1.^a zona, o bien la construcción de dos centrales hidroeléctricas, con sus líneas de transporte correspondientes, asciende aproximadamente a la suma de \$ 6 860 000 oro de 18 d. (con los precios unitarios normales aumentados en 50%). Aunque la inversión, como ya se ha dicho, es remunerativa, la obtención de esta suma puede presentar inconvenientes para la Empresa, y puede dificultar el establecimiento del nuevo sistema de tracción. Es preferible comprar la energía a un precio algo más elevado del que podría obtenerse produciéndola en plantas propias, si procediendo en esta forma se consigue disminuir el capital de primer establecimiento del servicio de tracción, eliminando así una de las mayores dificultades que se presentarán para electrificar nuestras líneas férreas.

Por otra parte, el servicio ferroviario es de por sí, bastante complejo y siempre que sea posible, debe tratarse de evitar la introducción de nuevos elementos que tiendan a dificultar la explotación.

La producción de la energía por medio de plantas propias tiene este inconveniente; en cambio, la adquisición de la energía eléctrica a plantas ajenas, simplifica el servicio, aún con respecto a la tracción a vapor.

Explotada por particulares, una central hidroeléctrica, puede mejorar su fac-

tor de carga suministrando la energía disponible a los consumidores de la región; con este fin puede utilizarse en parte la línea de transporte destinada al servicio ferroviario. La Empresa de los Ferrocarriles no podría seguramente abarcar esta nueva rama de la industria por razones análogas a las que la impiden, por ejemplo, hacer trabajos para los particulares aprovechando las instalaciones de sus talleres.

Las expectativas de un mejor factor de carga, y las condiciones económicas en que trabaja la industria particular, hacen muy probable que la Empresa pueda obtener ofertas para el suministro de energía eléctrica para la tracción a un precio equivalente o muy poco superior a la que ella conseguiría construyendo plantas propias.

Por fin, no debe perderse de vista que, con la base del importante consumo que la Empresa estará en situación de garantizar a sus proveedores de energía, puede desarrollarse en Chile el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas y la distribución de la energía eléctrica en grande escala.

Ya sea que la Empresa produzca la energía, o que la compre, las centrales y las líneas de transportes deben estar establecidas en forma que ofrezcan la más completa garantía de seguridad de funcionamiento. Además las plantas productoras de energía, deben encontrarse siempre en situación de poder hacer frente a los aumentos de consumo producidos por los incrementos del tráfico.

Estas condiciones se han tomado naturalmente en consideración al establecer las características de las centrales de particulares o de la Empresa, destinadas a producir la energía para el servicio ferroviario.

Aunque la potencia necesaria puede ser suministrada por una sola central hidroeléctrica se ha estimado conveniente, por razones de seguridad, considerar, tanto para la evaluación del costo del establecimiento como del gasto de explotación, que la energía debe ser producida por dos plantas hidroeléctricas, o por una central hidráulica y una de vapor destinada a servir de reserva.

Para los efectos de nuestro estudio hemos considerado la última de las soluciones indicadas.

*
**

Resumen. — El examen de las partidas que forman el presupuesto del costo de primer establecimiento de la tracción eléctrica en una red ferroviaria, nos conduce a las conclusiones que se expresan a continuación.

a) El valor de las locomotoras eléctricas que es necesario adquirir en reemplazo de las locomotoras de vapor en la electrificación parcial de una red, no es en realidad un gasto de primer establecimiento, sino un gasto ordinario de renovación del equipo motor, puesto que aún cuando no se realice la electrificación es necesario efectuar este gasto invirtiendo la suma correspondiente en la adquisición de locomotoras de vapor. Indirectamente se llega a un resultado equivalente

considerando como costo de primer establecimiento de la tracción eléctrica, la diferencia entre el valor de las locomotoras eléctricas que se adquieren y el valor de las locomotoras de vapor que quedan disponibles para hacer frente a las renovaciones del equipo motor en las partes de la red que no se electrifican. Las consideraciones expuestas solo rigen naturalmente, cuando se trata de la electrificación parcial de una red, de modo que el equipo eléctrico necesario pueda adquirirse con los fondos de renovación de un corto período de tiempo, o bien, de modo que pueda estimarse que las locomotoras de vapor que quedan disponibles tengan utilización en las líneas en las cuales no se cambia el sistema de tracción.

Dentro de estos límites, el capital invertido en locomotoras eléctricas, no es un gasto de primer establecimiento y tanto su interés como la depreciación de estos elementos de transporte no deben considerarse como gasto originado por la electrificación.

b) El costo de las líneas de contacto, de las líneas de transporte paralelas a la vía férrea, de las uniones de cobre de los rieles y de las sub-estaciones, es un gasto de primer establecimiento impuesto por el cambio del sistema de tracción.

c) El costo de las centrales productoras de energía y de las líneas de transporte hasta sus puntos de conexión con las transmisiones de alta tensión paralelas a las vías férreas, es un gasto de primer establecimiento, que las empresas ferroviarias pueden evitar, adquiriendo la energía a las plantas hidro o termoeléctricas que están en explotación o que pueden establecerse con la base del consumo para la tracción ferroviaria.

*
* *

Costo probable de la electrificación de la red central —Del estudio contenido en los capítulos siguientes, sobre las condiciones de explotación de nuestra red central, se desprende que las líneas de la primera zona, Valparaíso a Santiago y ramal a Los Andes, y la línea Santiago-Talca de la segunda zona, son las que permiten aprovechar mejor las ventajas que pueden obtenerse por medio de la electrificación.

La inversión en locomotoras, líneas de contacto, sub-estaciones, líneas de transporte y centrales, requerida por el establecimiento de la tracción eléctrica en la primera zona, es la que se indica a continuación:

<i>Locomotoras eléctricas</i>	<i>\$ de 18 d.</i>
45 locomotoras de carga, de pasajeros y de patio, a \$ 130 000 de 18 d. cada una	\$ 5 850 000
 <i>Líneas de contacto y líneas primarias paralelas a la vía férrea y sub estaciones</i>	
337 kilómetros de simple vía, con un valor total de (Anexo 1)	7 960 000

Centrales y líneas de transmisión

Una central hidroeléctrica y una central térmica de 20 000 kilowatts de potencia total, y las líneas de transporte correspondientes, con un valor de (Anexo N.º 1)..... 6 860 000

Valor de la electrificación de la primera zona. \$ 20 670 000

La cuota de depreciación de locomotoras de vapor asciende, como ya se ha dicho, a \$ 2 000 000 m. c. o sea \$ 1 333 000 de 18 d. (al cambio de 12 d. por peso) por año; por consiguiente, para adquirir la dotación de locomotoras eléctricas necesarias para el servicio, deberán destinarse a este objeto las cuotas de depreciación durante unos cuatro o cinco años.

El valor de inventario de las locomotoras de vapor que hace el servicio de la primera zona, es de \$ 5 447 000 de 18 d. y el valor estimado del equipo empleado en la movilización del carbón de la Empresa para las necesidades de la primera zona, es de \$ 100 000 de 18 d. Estas cifras demuestran que la electrificación de la primera zona dejará disponible para su empleo en el resto de la red, equipo de un valor sensiblemente igual al de las locomotoras eléctricas que requiere el servicio.

Por consiguiente, la electrificación de la primera zona impondrá un desembolso que asciende en total a \$ 20 670 000 de 18 d. De esta suma debe descontarse por las razones expuestas, el valor de las locomotoras, que asciende a \$ 5 850 000 de 18 d.

Debe también descontarse el valor de las centrales y de las líneas de transporte, que asciende a \$ 6 860 000 de 18 d. si la Empresa puede obtener ofertas para el suministro de la energía necesaria a precios convenientes.

El aumento de capital de la Empresa exigido por la electrificación de la 1ª zona, se reduce en este caso a la suma de \$ 7 960 000 de 18 d. (1).

(1) Hemos considerado conveniente recordar que el Programa de Obras Nuevas preparado el año 1913, consulta la ejecución de los trabajos que se indican en seguida, que fueron estimados en esa época como indispensables para efectuar el servicio en buenas condiciones con tracción a vapor, y cuya realización se hace innecesaria con el cambio de sistemas de tracción:

Doble vía de Limache a Ocoa.....	\$ 4 000 000 m.c.
Carboneras.....	» 1 065 000 m.c.
Casas de máquinas (50 % de la suma consultada).....	» 545 000 m.c.
Aguadas.....	» 40 000 m.c.
	<hr/>
	\$ 5 650 000 m.c.

Una estimación hecha sobre la base de los datos obtenidos para la 1ª zona, permite establecer aproximadamente que el costo de la electrificación de toda la red central, comprendiendo el valor de las líneas de contacto, sub-estaciones, líneas primarias, centrales y locomotoras, podría ascender a la suma de \$ 84 500 000 de 18 d.

CAPITULO II

SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN QUE MÁS SE ADAPTA A NUESTRA RED CENTRAL

Elección provisoria y elección definitiva.—Las formas más usadas en la gran tracción ferroviaria para distribuir la energía eléctrica en las líneas de contacto y para utilizarla en las locomotoras consisten en el empleo de la corriente continua a tensiones de 2400 a 3000 volts, de la corriente trifase a 15 o 16,7 periodos por segundo y 3000 volts, o bien de la corriente alternativa simple o monofase a 15000 volts y 15 períodos por segundo de frecuencia.

Los tres sistemas: continuo, trifase y monofase, han pasado ya por su periodo de ensayo y han sido aplicados en líneas de gran importancia con resultados completamente satisfactorios desde el punto de vista de la economía en los gastos de tracción y de la seguridad en el servicio.

Estimamos que la elección definitiva del sistema para nuestra red central, sólo debe hacerse en vista de los resultados de una licitación entre las casas que se han especializado en la electrificación de ferrocarriles. Sobre la base de las exigencias del servicio y de las características de la vía en la parte de la red que se decida electrificar, las casas especialistas podrán estudiar y proponer las locomotoras que más se adopten a nuestras condiciones, dentro de los sistemas que ellas preconizan. Aunque una elección de sistema hecha sobre la base de los datos relativos a locomotoras eléctricas empleadas en otros ferrocarriles o propuestas a la Empresa por los fabricantes después de estudios ligeros o incompletos, sólo puede tener el carácter de provisoria, la hemos considerado necesaria para establecer la comparación entre las condiciones del servicio de vapor y del servicio eléctrico.

Como para hacer esta elección provisoria hemos tomado sólo en cuenta los resultados realmente obtenidos por la electrificación con los tres principales sistemas, sin hacer ninguna hipótesis sobre los resultados que con ellos podrían obtenerse adaptando a las condiciones de nuestra red central los elementos que intervienen en la resolución del problema, podemos estar ciertos que si la elección provisional llega a modificarse después de una licitación entre las casas especialistas, es porque a las economías y ventajas de todo orden que pueden obtenerse con la electrificación dentro del sistema elegido provisoriamente, deben agregar-

se las que, en exceso sobre ellas, permite introducir el sistema que se adopte en definitiva.

En otros términos, habiendo tomado en cuenta para la elección provisoria sólo realidades en cuanto a los elementos que como locomotoras y otros intervienen en la electrificación y en cuanto a los resultados obtenidos, las economías que según nuestro estudio permite realizar la tracción eléctrica, con respecto a la tracción a vapor son un mínimo y los resultados de la licitación o concurso que debe proceder al establecimiento del nuevo sistema de tracción, sólo podrán mejorar las condiciones del servicio eléctrico para los efectos del estudio comparativo que nos ocupa.

* *

Características de los tres sistemas

Centrales y sub-estaciones.—Son bien conocidas las condiciones que caracterizan los tres principales sistemas de tracción eléctrica. Los resumiremos considerando separadamente las que se refieren a las centrales, líneas de transportes y subestaciones, a las líneas de contacto y por fin a las locomotoras.

La electrificación de una línea férrea, como ya lo hemos hecho presente, se facilita considerablemente cuando hay facilidad de adquirir en buenas condiciones la energía eléctrica necesaria para la tracción, a las plantas destinadas a suministrar energía para otros servicios.

Por regla general, las distribuciones públicas emplean la corriente trifase a alto voltaje y con frecuencia de 50 a 60 períodos por segundo.

La tracción por corriente continua exige el uso de sub-estaciones rotatorias para la transformación de la energía tanto en el caso que ésta sea suministrada por centrales especiales para el servicio de tracción o por plantas destinadas al servicio del público.

El sistema trifase requiere el empleo de sub-estaciones estáticas si la energía proviene de una planta que la produce especialmente para la tracción a la frecuencia de 15 períodos por segundo; exige además el uso de transformadores rotatorios de frecuencia, si la energía es comprada a centrales que la generan a distinta frecuencia. Igual cosa sucede con el sistema monofase, con la diferencia de que el número de sub-estaciones necesario con este último es notablemente inferior al que exige el trifase por razón del elevado voltaje empleado en la línea de contacto con el sistema de la corriente alternativa simple. Por consiguiente, puede afirmarse que cuando la energía no se produce en plantas especiales para la tracción, el sistema trifase y el sistema continuo exigen una inversión semejante para el establecimiento de las sub-estaciones y el sistema monofase requiere una inversión inferior por el menor número de sub-estaciones que necesita en igualdad de condiciones.

Sin embargo, es posible que suceda que las centrales destinadas a suministrar energía para el servicio del público y para la tracción ferroviaria, tengan a

esta última como su mayor consumidor; en este caso convendrá establecer estas plantas con generadores a baja frecuencia, con el fin de que la energía necesaria para la tracción por los sistemas trifase o monofase sólo exija una transformación estática. La energía suministrada a los demás consumidores requerirá transformación de voltaje, de frecuencia o de forma de corriente según la naturaleza de los consumos.

Con plantas así establecidas, los sistemas trifase y monofase permiten realizar apreciables economías sobre el sistema continuo, por el menor costo de instalación y de conservación de las sub-estaciones estáticas con respecto a las sub-estaciones rotatorias. El sistema monofase conserva sobre el trifase su ventaja debida al menor número de sub-estaciones requeridas.

* *

Líneas de contacto.—Para la distribución de la energía eléctrica en el hilo de contacto, en el sistema continuo y en el trifase se emplea una tensión de 3 000 volts y 15 000 volts en el monofase. Si hace diez años era posible dudar de la practicabilidad del empleo del doble hilo de contacto exigido por el sistema trifase, o del aislamiento del conductor aéreo a 15 000 volts del sistema monofase, hoy día después de conocer los resultados obtenidos en los ferrocarriles italianos, suizos, norteamericanos y alemanes, no puede sino reconocerse que no hay ningún inconveniente en adoptar los sistemas de tracción que exigen tales disposiciones.

El costo de las líneas de contacto en plena vía es mayor en el sistema trifase que en el continuo y monofase; en las estaciones la diferencia de costo a favor de estos últimos se acentúa.

Puede considerarse que en conjunto las líneas de contacto establecidas para la tracción eléctrica por el sistema trifase cuestan un 40% más que las correspondientes a los sistemas continuo y monofase.

La electrificación por corrientes alternativas simples exige modificaciones en las líneas telegráficas y telefónicas que emplean la tierra como conductor, menor es el efecto de las corrientes trifases y prácticamente nulo el de las corrientes continuas.

* *

Locomotoras.—El elemento decisivo de la elección de sistema es en realidad la locomotora.

De los servicios de pasajeros y carga que está destinada a realizar, el segundo es con mucho el más importante en nuestros ferrocarriles y es el que viene a influir en la elección de sistema; la movilización de pasajeros puede efectuarse en condiciones sensiblemente equivalentes con cualquiera de los tres sistemas de tracción eléctrica.

En un trayecto de perfil y planta dados el costo directo de movilización de un

tren de carga, (1) consta de dos sumandos: El primero comprende el gasto en energía eléctrica, en los consumos diversos y en las reparaciones de las locomotoras. Todos estos términos son sensiblemente proporcionales a la energía gastada, y en un trayecto determinado, al peso total movilizado, y aún aproximadamente al peso del tren arrastrado.

El segundo sumando comprende el valor de los jornales del personal de la locomotora y del tren y el gasto originado por la locomotora en la casa de máquinas. Estos gastos son aproximadamente proporcionales al tiempo empleado en el trayecto de que se trata o inversamente proporcionales a la velocidad media con que se ha efectuado el recorrido.

Sin necesidad de recurrir a una expresión algebraica puede fácilmente reconocerse que el gasto de movilización de un tren dado será tanto menor cuanto más elevada sea la velocidad media empleada en el viaje, y que el gasto por tonelada movilizada en todo el trayecto será tanto menor cuanto mayor sea el número de toneladas arrastradas entre las cuales deben repartirse los gastos correspondientes al segundo sumando que es independiente del paso del tren.

El costo mínimo corresponderá, pues, dentro de ciertos límites, al tren más pesado posible y movilizado con la mayor velocidad media posible. La locomotora de mayor potencia será, por consiguiente, la que nos permite realizar la movilización en condiciones más económicas.

Esta conclusión sólo es exacta dentro de ciertos límites; en efecto, sin contar con las evidentes restricciones que impone la resistencia de la vía y la potencia de la planta generadora al aumento del peso y de la velocidad de los trenes, debemos tomar en cuenta que la energía gastada en el trayecto no es enteramente independiente de la velocidad y que los gastos de reparaciones de locomotoras son a la vez proporcionales al camino recorrido y al trabajo efectuado; además, aunque los salarios del personal de la locomotora y del tren son proporcionales al tiempo que ocupa, no siempre es posible aprovechar completamente este personal durante el tiempo que queda disponible por efecto de la mayor velocidad media de los trenes de carga.

Por fin, los salarios del personal de un tren de carga sin freno de aire, son a la vez proporcionales al tonelaje del tren y al tiempo que demora en efectuar su recorrido.

En todo caso, en términos generales, puede establecerse que la mayor economía en la movilización se obtiene en locomotoras de la mayor potencia compatible con las condiciones de la línea. Este hecho es bien reconocido por todas las empresas ferroviarias, que tienden a aumentar los pesos de sus trenes, aún en líneas en que esta medida no se justifica por la gran intensidad de tráfico y solamente con el fin de repartir entre un gran número de toneladas, los gastos generales del tren,

(1) En el ejercicio de 1917, el 35% de los gastos totales de la Empresa es constituido por el gasto directo de movilización.

que en los países de combustible barato son comparables a los gastos proporcionales al tonelaje arrastrado (1).

El sistema de tracción eléctrica que proporcione la locomotora capaz de desarrollar la mayor potencia que permita la vía, será el que debemos adoptar, ya que los demás elementos de comparación examinados, dejan a los tres sistemas en condiciones sensiblemente equivalentes.

Los dos factores de la potencia de la locomotora: velocidad y esfuerzo, tienen, como es natural, límites que no se pueden sobrepasar. La velocidad máxima admisible para los trenes de carga depende principalmente de las condiciones de la vía; el valor actualmente tolerado en los trozos de más estrechas curvas de nuestra red central sobrepasa el valor máximo que otras consideraciones nos inducirán a admitir; así por ejemplo, en la bajada del Tabón en la 1ª zona, los trenes de carga deciden a una velocidad superior a 60 kilómetros por hora, y como se verá más adelante, hemos adoptado como velocidad constante, tanto a la subida como a la bajada menos de 45 kilómetros por hora.

El esfuerzo de tracción que la locomotora puede desarrollar en la llanta de sus ruedas motrices está limitado en primer término por la adherencia; el esfuerzo en la llanta no puede ser superior en las locomotoras eléctricas a un 0.20 - 0.25 de su peso adherente.

Por otra parte, el peso de las locomotoras no deberá sobrepasar el que pueden soportar nuestra vía y nuestras obras de arte y para su mejor aprovechamiento deberá ser en su totalidad adherente.

De lo expuesto se desprende que la locomotora más conveniente será aquella que con un peso total adherente, origine sobre la vía y los puentes esfuerzos iguales o inferiores a los que estos resisten y sea capaz de desarrollar con la máxima velocidad admisible, un esfuerzo en la llanta que pueda llegar al límite impuesto por la adherencia.

Estas condiciones son satisfechas por las locomotoras del sistema trifase, que están en servicio en los ferrocarriles del estado Italiano desde hace ya muchos años.

Las locomotoras continuas y monofases provistas de motores en los cuales la potencia absorbida no aumenta en proporción al esfuerzo desarrollado, a causa de la disminución de la velocidad que acompaña en los motores serie a los incrementos del par, se encuentran teóricamente en mejores condiciones para permitir la realización del costo mínimo del servicio de carga, que la locomotora trifase, cuyos motores de inducción son de velocidad sensiblemente constante, dentro de los diversos regímenes de marcha. Sin embargo, los tipos de locomotoras conti-

(1) De las publicaciones de la Interstate Commission se desprende que en el conjunto de los ferrocarriles norteamericanos, (1914) el consumo de combustible representó un gasto de 85 000 000 de dollars, contra 57 000 000 de dollars a que ascendió el valor de los jornales de maquinistas y fogoneros de trenes de pasajeros y carga.

nues o monofases actualmente en servicio, tienen un peso tan elevado por unidad de potencia, en comparación con las locomotoras trifases, que hacen desaparecer la ventaja anotada y justifican la elección de esta última para la tracción eléctrica en nuestra red central.

Como ya hemos tenido ocasión de manifestarlo, esta elección de sistema solo tiene el carácter de provisoria y podrá ser modificada si las casas especialistas en tracción eléctrica, teniendo presente las condiciones de nuestras líneas férreas llegan a establecer tipos de locomotoras iguales o superiores a las adoptadas.

Es de gran importancia para la Empresa la posibilidad de emplear locomotoras de potencia superior al doble de sus más poderosas máquinas de vapor actuales, sin necesidad de efectuar ningún refuerzo en sus vías, ni en sus puentes y obras de arte, y aún pudiendo acometer la reconstrucción de las que necesiten ser renovadas por razones ajenas a sus condiciones de resistencia, partiendo de la base de trenes tipos considerablemente más livianos que los impuestos por los pliegos vigentes en previsión del aumento constante del peso de las locomotoras de vapor exigidas por el tráfico.

El aumento de la potencia de las locomotoras, permitirá aplazar la construcción de la doble vía proyectada en algunos trozos de la red, y hará innecesarias las modificaciones de perfil, algunas de ellas bastante costosas, requeridas por la tracción a vapor o por la tracción eléctrica con locomotoras de escasa potencia, dentro del peso compatible con las condiciones generales de la vía.

Estas consideraciones tienen especial importancia para nuestra red, cuyos puentes y obras de arte son muy numerosos y cuya vía está constituida en gran parte por rieles livianos cuyo reemplazo por material más pesado puede evitarse mediante la adopción de locomotoras eléctricas de poco peso y gran potencia.

Es bien difícil estimar en cifras la economía que representa para la Empresa el aplazamiento talvez indefinido de las inversiones en refuerzos de la línea ferrea, pero en todo caso se trata de fuertes sumas que pueden ahorrarse si al establecer la tracción eléctrica, se elige un sistema que permita el empleo de locomotoras de peso reducido en relación con la potencia que pueda desarrollar.

La adopción de un sistema cuyas locomotoras poseen esta propiedad aleja el peligro que ahora no existe, de la saturación de algunos trozos de la red.

Para facilitar la exposición de las propiedades que caracterizan las locomotoras de los tres sistemas de tracción en cuanto a su funcionamiento, y demás condiciones, estimamos conveniente indicar los tipos de locomotoras que hemos considerado como representativos de cada sistema para los efectos de este estudio.

Como tipos de locomotoras de corriente continua se han adoptado los propuestos a la Dirección General por la General Electric Company, con fecha 5 de de Julio de 1918, que se definen a continuación:

Locomotoras de carga (3 000 volts). Potencia disponible al régimen de 1 hora de marcha 1 330 HP.

Esfuerzo de tracción al régimen de una hora de marcha.....	19 500 Kgs.
Velocidad al régimen de 1 hora de marcha.....	18,5 K. hora
Esfuerzo de tracción continuo.....	
" " " máximo.....	32 700 Kgs.
Velocidad máxima.....	56 K/hora
Peso total adherente.....	109 T.
Número de ejes.....	8
Peso por ejes.....	13,6 T.
Base rígida.....	4,25 mts.

Locomotora de pasajeros. (El mismo tipo cambiando sólo la relación de engranajes para obtener una velocidad máxima de 72 K hora.

La locomotora monofase tomada como tipo es la adoptada por el Estado Suizo (1) cuyas características son:

Potencia disponible al régimen de una hora de marcha.....	2 250 HP.
Esfuerzo de tracción al régimen de una hora de marcha.....	12 000 Kgs.
Velocidad al régimen de una hora de marcha.....	50 K/hora
Esfuerzo de tracción máximo.....	18 000 Kgs.
Velocidad máxima.....	75 K/hora
Peso total.....	106 T.
Peso adherente.....	74 T.
Número de ejes (2 directores).....	6
Peso máximo por eje.....	1,85 T.
Base rígida.....	2,90 mts.

Por fin, la locomotora trifase del Estado Italiano, modificada por la casa constructora para adoptarla a la trocha de 1 676 m. que hemos considerado para los efectos de este estudio, tiene las siguientes características:

Potencia disponible al régimen de una hora de marcha.....	2 000 HP.
Esfuerzo de tracción al régimen de una hora de marcha, en 45 K/H.....	12 000 Kgs.
Esfuerzo de tracción máxima.....	16 000 Kgs.
Velocidades de régimen, 22,5 45..... y	60 K/H.
Esfuerzo de tracción continuo a las velocida-	

(1) Génie Civil, Junio de 1918.

des de 22,5 y 45 Km.....	8 500 Kgs.
Esfuerzo de tracción al régimen de 1 hora de marcha en 60 Kg.....	8 800 Kgs.
Esfuerzo de tracción al régimen continuo de 60 Km.....	6 200 Kgs.
Peso total adherente.....	66 T.
Número de ejes (2 móviles).....	5
Peso por eje.....	13,2 T.
Base rígida.....	3,84 mt.

La locomotora de pasajeros sólo difiere de la definida en el diámetro de las ruedas; las velocidades de régimen son 27.54 y 72 kilómetros por hora, los esfuerzos de tracción correspondientes son de 9 600 y 7 040 Kgs. y el esfuerzo de tracción máximo es de 12 800 Kgs.

Como ya se ha dicho, las locomotoras eléctricas de los tres sistemas han pasado por su periodo de prueba y han demostrado en el servicio que tienen tales condiciones de seguridad y de resistencia que pueden considerarse innecesarias las comparaciones efectuadas desde este punto de vista.

Las locomotoras de corriente continua de 2 400 a 3 000 volts que existen en los Estados Unidos solamente, son 90 con 200 000 HP de potencia en conjunto; del sistema monofase hay en servicio en este mismo país, 190 locomotoras, con 250 000 HP y, por fin, los ferrocarriles del Estado Italiano emplean 150 locomotoras trifases, con 800 000 HP de potencia en total. (1)

Al describir las locomotoras de los tres sistemas, no haremos mención de las disposiciones que son comunes a todas ellas o que no tienen interés para nuestro estudio y sólo nos detendremos a examinar las condiciones que caracterizan sus elementos más importantes.

* * *

Locomotoras monofases.—Las locomotoras del sistema monofase reciben la energía eléctrica a una tensión elevada, por lo general 15 000 volts en el enrollamiento primario de transformadores estáticos, cuyo secundario alimenta los motores de colector de corriente alternativa que accionan a través de engranajes o bielas las ruedas motrices de la locomotora. El voltaje del secundario puede variarse entre unos 150 y 400 volts mediante el empleo de contactos de reducción o de reguladores de inducción formados por dos enrollamientos dispuestos de manera que su desplazamiento relativo genere en uno de ellos una diferencia de potencial variable que puede agregarse o restarse de la producida por el secundario del transformador.

Hay numerosos tipos de motores monofases de colector para tracción; los

(1) Le Génie Civil, 13 Mayo de 1916.

más usados son del tipo serie compensado; su inducido es análogo al de los electromotores de corriente continua y su inductor o estator tiene tres enrollamientos; el principal, el de compensación y el de conmutación. Estos dos últimos están dispuestos comunmente en paralelo. Los electromotores pueden, además, funcionar como motores de repulsión cuando es necesario desarrollar un gran esfuerzo de tracción. En algunas locomotoras monofases se emplean en estos casos los enrollamientos de conmutación, montados en paralelo unos con respecto a los otros, como igualizadores de la velocidad de los motores que existen en la locomotora.

La recuperación de energía eléctrica en las bajadas puede obtenerse en el sistema monofase por diversos procedimientos: en una locomotora con dos motores pueden, por ejemplo, desconectarse los inductores y unir uno de ellos con el secundario del transformador correspondiente. La corriente alternativa generada en su inducido se utiliza en la excitación del otro motor y, por fin, la corriente producida en el inducido de este último va al secundario del transformador, que trabaja con este motor; la energía eléctrica así generada en el primario puede ir a la línea de contacto, ya que su voltaje puede fácilmente regularse y ya que la corriente así generada tiene la fase exigida para la marcha en paralelo del generador de colector de la locomotora y de los generadores sincrónicos de la central.

Si se quiere obtener una recuperación que no esté limitada por la potencia de un motor, es necesario emplear un transformador especial destinado a excitar el estator de los electromotores; como la tensión de la energía eléctrica generada en los inducidos con semejante excitación no tendría el decalaje de 180° necesario para la marcha en paralelo con la red, es necesario emplear un transformador rotativo de fases que decala la corriente de excitación en 90° . Para compensar la influencia de fenómenos secundarios como los escapes magnéticos, se emplean disposiciones que aumentan la complicación del aparellaje.

La variación de velocidad se obtiene con la locomotora monofase por la variación de la tensión en los bornes de los electromotores, que los contactos de reducción o los reguladores permiten fácilmente realizar.

Caracterizan a la locomotora monofase, el empleo de transformadores estáticos que constituyen en realidad una sub-estación móvil y que aumenta con respecto a los otros sistemas el peso arrastrado por la locomotora y su costo e igualdad de potencia.

Esta condición contribuye a contrarrestar la ventaja anotada a favor del sistema monofase y que consiste en el reducido número de sub-estaciones fijas que requiere, a causa del elevado voltaje empleado en la línea de contacto.

Los motores de colector monofase, aunque funcionan correctamente, son menos ventajosos que los motores de inducción y que los electromotores continuos empleados en los otros dos sistemas, tanto por su rendimiento, como por su peso en igualdad de condiciones y por el costo exigido por su conservación.

Por fin, la recuperación de energía en las bajadas, requiere la intervención del maquinista.

*
* *

Locomotoras trifases.—En las locomotoras del sistema trifase, la energía eléctrica, a una tensión de 3 000 volts es utilizada directamente en el estator de los electromotores de inducción, cuyo rotor acciona las ruedas motrices por intermedio de bielaa.

Las locomotoras existentes tienen dos motores 1 000 H. P. cada uno, con su estator dispuesto en tal forma que el número de polos pueda variarse de 8 a 6, lo que permite obtener dos velocidades de régimen con los dos motores en paralelo. El funcionamiento en cascada o sea con el estator de un motor alimentado por la corriente generada en el rotor del otro, da una tercera velocidad de régimen. Los rotores se encuentran comunicados con el reostato de demarraje por medio de frotadores y anillos situados en la parte exterior de la locomotora; se usa en estas locomotoras un reostato líquido formado por electrodos de fierro sumergidos en una disolución de carbonato de sodio, cuyo nivel puede hacerse variar por la acción del aire comprimido.

Son conocidas las propiedades de los motores de inducción trifase o de campo rotatorio y sus condiciones de reversibilidad que hacen que la recuperación de energía eléctrica en las bajadas se realice automáticamente en la locomotora trifase mediante el funcionamiento de los motores como generatrices asincrónicas. Esta propiedad del electromotor de inducción contribuye además en forma indirecta a amortiguar las variaciones de la potencia exigida a la central por las locomotoras; en efecto, un gran consumo momentáneo originado—por ejemplo—por un derramaje en condiciones difíciles, provoca una ligera disminución de frecuencia en los generadores de la central, y hace que los electromotores de las locomotoras que en ese instante se encuentran en marcha, funcionen como generatrices asincrónicas en paralelo con los alternadores de la planta contribuyendo a satisfacer el pedido momentáneo extraordinario de potencia.

La recuperación de las bajadas permite obtener un frenaje eléctrico de los trenes sobre cuyas ventajas es innecesario insistir.

La locomotora trifase se caracteriza por su gran sencillez; su peso reducido a igualdad de potencia y su gran rendimiento. Las condiciones excepcionales del motor de inducción trifase son conocidas; en estos últimos años, se han construido locomotoras de un sistema especial de fase desdoblada (split phase) con el objeto de utilizar los motores trifases de este tipo; la energía eléctrica llega a la locomotora bajo la forma de corriente monofase a alto voltaje y en ella se transforma por medio de un convertidor rotatorio en corriente trifase que se emplea en los motores de inducción de la locomotora. Este sistema es poco aplicable en nuestros ferrocarriles por el aumento de peso que introduce en las locomotoras el convertidor de fases.

En compensación de las ventajas enumeradas, tiene la locomotora trifase el

inconveniente derivado de la constancia de la velocidad del motor de inducción; en realidad, esta desventaja es más bien aparente en las locomotoras dispuestas de manera de obtener tres velocidades de régimen. Otra objeción que suele hacerse al motor trifase está basada en el hecho de que su par motor a igualdad de deslizamiento es proporcional al cuadrado del flujo resultante en el rotor, o aproximadamente al cuadrado de la tensión aplicada en los bornes del estator. Pero como por el reducido paso de la locomotora trifase en relación con su potencia, el par a la velocidad de régimen que permite desarrollar el esfuerzo máximo queda limitado por la adherencia y no por la elevación de temperatura de los enrollamientos del rotor y del estator, el efecto de un descenso de voltaje será un aumento del deslizamiento y de la corriente en el rotor hasta que la locomotora desarrolle el esfuerzo correspondiente a sus condiciones de marcha. En los ensayos de las locomotoras trifases se ha comprobado que un descenso momentáneo del voltaje de la línea de contacto de 3 000 a 2 000 volts provoca aumentos de corriente que permiten conservar el valor del par máximo sin que la elevación de temperatura de los enrollamientos llegue a límites inadmisibles.

* * *

Locomotoras continuas.—Las locomotoras de corriente continua están provistas de motores serie. En los tipos modernos se emplean motores hasta de 1 500 volts, agrupados en series de dos, de manera que, la locomotora pueda trabajar bajo una tensión de 3 000 volts. El uso de los polos auxiliares permite obtener una buena conmutación con las duras condiciones a que está sometido un motor de tracción hasta con tensiones de 1 200 a 1 500 volts.

Las características de los motores serie son, particularmente, apropiadas para el servicio de tracción; dentro de ciertos límites puede obtenerse con ellos un mejor aprovechamiento de la potencia disponible que con los motores polifases de inducción, tanto por las condiciones mismas del motor de este tipo, como por la combinación de los grupos de dos motores que funcionan en serie y que pueden disponerse en paralelo, en serie o en serie paralelo.

En la mayor parte de las locomotoras continuas se emplean motores de alta velocidad que accionan las ruedas motrices por medio de engranajes.

La recuperación de energía en las bajadas se efectúa en las locomotoras modernas empleadas en el ferrocarril de Chicago, Milwaukee, St. Paul y en el ferrocarril eléctrico que existe en la provincia de Coquimbo (Bethlehem Chile Iron mines) por medio de una excitación especial de los motores, cuyo valor varía de manera de mantener la corriente generada dentro de los límites que permite soportar el enrollamiento del motor y de disminuir la acción de las sobrecargas originadas por los fuertes consumos de energía que pueden tener lugar a la proximidad del tren en el cual se verifica el frenaje eléctrico.

Esta recuperación puede efectuarse a cualquier velocidad, lo que representa una ventaja de la locomotora continua con respecto a la trifase.

El empleo de altos voltajes, en la línea de contacto con el sistema continuo y las propiedades del motor serie tan favorables para el servicio de tracción, han hecho que este sistema haya sido el más empleado en estos últimos años; el elevado peso de sus locomotoras por unidad de potencia, que pueda esperarse fundadamente que sea disminuido en el futuro, es el motivo principal que nos ha inducido a no considerarlo aconsejable para nuestra red central. Al efectuar la comparación entre este sistema y el trifase en lo que se refiere al peso por unidad de potencia, se ha tomado debidamente en cuenta las ventajas del motor serie con respecto al motor de inducción en cuanto a las variaciones del esfuerzo y de la velocidad, ventajas que justificarían la adopción de una locomotora continua, aún con un exceso de peso por unidad de potencia sobre la locomotora trifase.

*
**

Resumen.—El examen de los principales sistemas de tracción eléctrica nos ha conducido a la elección del sistema trifase. Esta elección tiene el carácter de provisoria y podrá ser modificada si en la licitación que debe preceder al establecimiento de la tracción eléctrica, se obtienen mejores condiciones mediante la adopción de otro sistema.

De los elementos que intervienen en la electrificación: la central, las líneas de transporte, las sub-estaciones y la línea de contacto, no tienen gran influencia en el estudio comparativo. La locomotora, cuyas condiciones de funcionamiento tienen importancia considerable en los gastos directos de tracción es en realidad el elemento que más influye en la elección de sistema.

Al adoptar el sistema trifase se tomó especialmente en consideración que la locomotora con motores de inducción, dentro de las condiciones de la vía y de las obras de arte de nuestra red central permite realizar las mayores economías en la tracción de los trenes de carga, permite además disminuir o suprimir los desembolsos que originan los refuerzos de la vía y puentes exigidos por los incrementos del tráfico, y, por fin, por el gran aumento de capacidad de movilización que procura, aleja la época en que nuestras líneas de simple vía puedan hacerse insuficientes para las necesidades del tráfico.

CAPÍTULO III

ECONOMÍAS EN LOS GASTOS DE EXPLOTACIÓN

Consideraciones generales.—La implantación del sistema eléctrico en el servi-

cio de tracción de un ferrocarril sólo tiene influencia económica en algunas partidas de sus gastos de explotación.

La comparación del monto de estas partidas, deducida del examen de los documentos correspondiente a nuestra red central, con los valores que ellas deben alcanzar una vez realizada la electrificación, no nos permite apreciar correctamente las ventajas de la tracción eléctrica sobre la tracción de vapor en nuestras líneas férreas. Con la tracción a vapor pueden obtenerse aún importantes economías, especialmente mediante el empleo de tipos de locomotoras adecuadas al servicio y mediante el perfeccionamiento de las instalaciones destinadas a sus reparaciones.

La influencia de estos factores debe naturalmente tomarse en cuenta al establecer la comparación entre el sistema actual de vapor y el sistema eléctrico aplicado a la tracción.

Los Gastos de Explotación de nuestra red central, están actualmente divididos en las ocho grandes categorías que se indican a continuación:

- A Administración general,
- B Administración de zona,
- C Via y Obras,
- D Transportes,
- E Tracción,
- F Maestranzas,
- G Protección social,
- Ha y Hb Castigos.

Cada una de estas categorías está a su vez dividida en cuentas cuyo número total es de sesenta y tres.

Muchas de estas cuentas o partidas comprenden a la vez gastos que son afectados por el cambio de sistema de tracción y gastos que no lo son, de manera que las cifras anotadas en los balances de la Empresa como valor del dinero gastado en estas partidas, necesitan ser analizadas para poderlas utilizar en nuestro estudio.

Por otra parte, en la preparación de la clasificación de los Gastos de Explotación que rige actualmente—y que está en vías de ser modificada—no se tomó en cuenta la conveniencia que existe de que a cada partida de gastos sólo se carguen las sumas invertidas en una categoría de trabajos determinados, con el fin de evitar de que figuren en conjunto con ellos, cuotas fijadas arbitrariamente de los gastos generales relacionados con los trabajos de que se trata. Así, por ejemplo, a la cuenta «Reparación de Locomotoras de pasajeros», no sólo se cargan las sumas gastadas en jornales y materiales en la reparación de esta clase de locomotoras, sino que también se carga una cuota de los gastos diversos de las Maestranzas, como son, entre otros, la inspección, la fuerza motriz, el alumbrado y los gastos generales de los talleres destinados a locomotoras.

Por las razones indicadas no se ha podido utilizar en el presente estudio los

dátos contenidos en los cuadros estadísticos publicados por la Empresa, sino que ha sido necesario recurrir a los documentos originales que permiten reconstituir las partidas de gastos que interesan para la comparación de los sistemas de tracción.

Con el objeto de facilitar el estudio comparativo de los gastos influenciados por la electrificación, con los gastos correspondientes en los ferrocarriles Norte-Americanos, se ha adoptado la clasificación impuesta por la Comisión Federal de Comercio (Instertate Commerce Commission) a las empresas ferroviarias de los Estados Unidos.

* * *

Las principales partidas de los gastos de explotación que serán afectadas por el cambio de sistema son las que se indican en seguida.

Tracción

Combustible para locomotoras,
Personal de locomotoras,
Gastos de casas de máquinas,
Agua para locomotoras,
Lubricantes para locomotoras.

Maestranzas

Reparación de locomotoras.

Transportes

Personal de trenes,
Alumbrado de trenes y estaciones.

Vías

Conservación de la vía.

La mayor parte de los gastos correspondientes a los ítems enumerados serán disminuidos por efecto del cambio de sistema de tracción y en reemplazo de los que serán suprimidos se tendrán las partidas nuevas siguientes:

Energía eléctrica para el servicio de tracción;
Conservación de las líneas aéreas;
Conservación de las sub-estaciones;
Depreciación de líneas aéreas y subestaciones.

Procederemos al estudio detallado de cada una de las partidas de gastos afectados por la electrificación, examinando su monto en el último año de explota-

ción (1917) apreciando la posibilidad que existe de introducir economías dentro del sistema de tracción a vapor y determinando por fin el monto del gasto correspondiente a cada partida una vez implantada la tracción eléctrica.

*
*
*

Combustible para locomotoras.—El consumo de combustible en la red central, en los últimos tres años, ha sido el que se indica en seguida, para cada uno de los tres servicios en que se divide la tracción.

	1915	1916	1917
Locomotoras de pasajeros...	82 728 T.	79 035 T.	88 645 T.
Carga	255 442 »	252 930 »	268 652 »
Patios	55 105 »	54 938 »	55 027 »
Peso total.....	393 275 T.	386 903 T.	411 724 T.
Valor \$ m/c.....	15 756 000	15 650 000	14 800 000 (1)

El combustible consumido en los trenes de servicio y en el remolque, está comprendido en la cifra indicada para las locomotoras de carga.

El cambio del sistema de tracción hace desaparecer de los Gastos de Explotación la importante partida del combustible para locomotoras para remplazarla por la partida correspondiente al costo de adquisición o de producción de la energía eléctrica.

De la comparación de la energía necesaria para la movilización de los diversos tipos de trenes a lo largo de la red, con el consumo del carbón de la locomotora que efectúa la movilización, hemos deducido que, en general, el trabajo realizado por las locomotoras no corresponde al tonelaje de combustible consumido, hecho que se explica, entre otras razones, porque muchos de los tipos de locomotoras no son adecuados al servicio en que se emplean. Por lo tanto, sin necesidad de modificar el sistema de tracción pueden realizarse economías de combustible cuyo monto es necesario conocer para la correcta apreciación de las ventajas del sistema eléctrico.

(1) Estas cifras no comprenden el costo de movilización del carbón desde el punto de entrega hasta las carboneras, y desde éstas hasta el tender de la locomotora.

Para determinar el monto de esta posible economía de combustible, ha sido preciso:

a) Calcular la energía necesaria en el cilindro de la locomotora para la movilización de todos los trenes de pasajeros y de carga en un periodo de tiempo determinado;

b) Deducir de los documentos relativos al consumo de combustible, la cantidad de carbón gastada durante ese mismo periodo de tiempo en la movilización de los trenes de pasajeros y de carga considerados.

La relación entre estas dos cantidades representa el valor del consumo de combustible por unidad de energía desarrollada en el cilindro de las locomotoras; la comparación de este valor con el correspondiente a otros ferrocarriles de vapor, nos permite apreciar la influencia que puede tener en esta partida de los gastos de explotación, las mejoras que quedan aún por realizar con el actual sistema de tracción.

Además, en vista de la importancia del consumo del combustible en las locomotoras de patio, ha sido necesario realizar un estudio detallado sobre las condiciones en que se efectúa actualmente este servicio.

*
* *

Energía necesaria para la movilización de los trenes de pasajeros y de carga.—

El procedimiento más completo para la comparación de los consumos de carbón en servicios ferroviarios, está basado en el cálculo de la energía necesaria para el movimiento de los trenes. En él se toman en cuenta la mayor parte de las condiciones en que se efectúa la movilización, tales como el perfil de la vía, la velocidad, los demarrajés, las detenciones, etc., y que tienen influencia en el consumo de combustible.

Estas condiciones no son consideradas en los procedimientos basados en la terminación de las toneladas kilómetros de tren o en las toneladas kilómetros totales, reales o virtuales, que suelen seguirse para establecer comparaciones sobre gastos de carbón.

El consumo de combustible de una locomotora en un trayecto dado no depende tan sólo de la energía producida, sino también de sus condiciones de funcionamiento que pueden representarse por la relación a diversas velocidades entre la potencia generada y la potencia máxima que la locomotora puede generar.

Al estimar el consumo de combustible sobre la base de la energía total exigida para la movilización de los trenes en un trozo de la línea, no se toma en realidad en cuenta la influencia de este factor. Este hecho no tiene en realidad gran importancia para el fin que perseguimos, que es la comparación del consumo medio del carbón por H. P. hora indicado producido por nuestras locomotoras de vapor, con el valor medio correspondiente a otros ferrocarriles.

En efecto, el elevado consumo unitario de combustible en nuestra red puede

provenir, entre otras causas, de las bajas presiones empleadas en los calderos, escaso número de locomotoras provistas de sobrecalentador de vapor, del estado de conservación defectuoso, o del desfavorable régimen de marcha a que funcionan.

Todas estas condiciones son del mismo orden y pueden modificarse mediante la adopción de locomotoras más modernas y de características apropiadas al servicio que tienen que desempeñar de manera que su régimen medio de funcionamiento corresponda a un reducido consumo de combustible.

El cálculo de la energía necesaria para la movilización de los trenes se ha efectuado separadamente para las cuatro zonas, considerando sólo las líneas principales y los ramales de mayor importancia. (1)

Los tipos de trenes de pasajeros y de carga considerados, corresponden a los tipos medios de los trenes de cada zona. Así, por ejemplo, en la 1.^a y 2.^o zonas se ha tomado un tipo de tren expreso, uno de tren ordinario y uno de tren de carga, arrastrados por locomotoras de la misma naturaleza de las que actualmente se emplean y marchando a velocidades medias deducidas de los itinerarios que están en vigencia.

Los valores de la energía consumida han sido referidos a la unidad de tráfico, y están expresados en caballos-hora en el cilindro de la locomotora por tonelada kilómetro de tren y por tonelada kilómetro de locomotora.

En el Anexo N.º 2 se encuentra la exposición detallada de las operaciones que ha sido necesario realizar para el cálculo del trabajo exigido por la movilización de los trenes.

Indicamos a continuación un resumen de los resultados obtenidos:

-
- (1) Las líneas tomadas en consideración en este estudio son las siguientes:
- 1.^a zona.—Línea central y ramal a Los Andes;
 - 2.^a zona.—Línea central;
 - 3.^a zona.—Línea central y ramal a Talcahuano;
 - 4.^a zona.—Línea central y ramal a Valdivia.

I ZONA (186 Km.) LÍNEA CENTRAL

SERVICIO		HP hora por T. Km. de locomotora	HP horas por T. Km. de tender y tren	Composición del tren medio Locomot.-tren	HP horas consumidas en todo el trayecto por el tren medio incluyendo remolques.				
					Locomotoras, tender y tren (1)	Remolque	SUMA	Influencias de las aceleraciones pos. y neg.	TOTAL
Expresos	NS	0.061	0.031	63 + 216 = 279 T.	1970	270	2240	190	2430
	SN	0.042	0.016	63 + 216	1140	120	1260	250	1510
Omnibus	NS	0.048	0.030	58 + 229 = 287	1750	110	1860	260	2120
	SN	0.032	0.015	58 + 229	960	50	1010	320	1330
Carga	NS	0.040	0.028	58 + 327 = 385	2110	250	2360	40	2400
	SN	0.026	0.015	58 + 327	1180	100	1280	90	1370

II ZONA (249 Km.) LÍNEA CENTRAL

Expresos	NS	0.027	0.012	46 + 151	760	..	760	170	930
	SN	0.037	0.021	..	1240	..	1210	130	1340
Omnibus	NS	0.033	0.012	58 + 237	1186	..	1190	460	1650
	SN	0.041	0.023	..	1942	..	1940	280	2220
Carga	NS	0.019	0.012	49 + 315	1174	126	1300	..00	1400
	SN	0.043	0.022	49 + 425	2855	355	3210	30	3240

III ZONA (376 Km.) LÍNEA CENTRAL

Pasajeros	NS	0.031	0.016	36 + 174	1465	..	1470	240	1710
	SN	0.026	0.013	36 + 174	1202	..	1200	290	1490
Carga	NS	0.027	0.015	41 + 172	1386	92	1480	50	1530
	SN	0.021	0.010	41 + 336	1584	21	1610	50	1660

IV ZONA (454 Km.)

Pasajeros	NS	0.027	0.014	43 + 135	1384	..	1380	340	1720
	SN	0.031	0.018	43 + 135	1705	..	1710	280	1990
Carga	NS	0.023	0.012	46 + 222	1681	41	1720	80	1800
	SN	0.028	0.016	46 + 260	2465	16	2480	50	2530

(1) Las cifras que figuran en esta columna representan la energía necesaria para la movilización del tren medio, calculada en la forma corriente, es decir, sin tomar en cuenta el trabajo correspondiente a la aceleración en el demarraje, ni la disminución de energía correspondiente a la retardación en las detenciones.

Las cifras que figuran en la columna VII del cuadro resumen, representan la energía que es necesario desarrollar en el cilindro de la locomotora para la movilización del tren medio de un tipo determinado, en el trayecto correspondiente a la línea principal de las cuatro zonas en que está dividida la red central. Estos valores no comprenden el aumento de trabajo exigido por los demarrajajes, ni la disminución de energía correspondiente a las detenciones que han sido estimadas separadamente y cuyos valores medios se encuentran anotados en la columna VIII. Por fin, la columna IX contiene los valores totales del trabajo que es necesario desarrollar en el cilindro de las locomotoras para la movilización de los diversos tipos de trenes.

Las composiciones de trenes medios indicados en el cuadro, han sido determinadas por la relación entre las toneladas kilómetros de locomotoras y las locomotoras kilómetros que han hecho el servicio correspondiente durante el año 1917 y por la relación entre las toneladas kilómetros de tren y los trenes kilómetros de cada categoría de servicio durante el mismo año.

La influencia de los remolques ha sido tomada en cuenta agregando a la energía necesaria para el movimiento del tren y de su locomotora, el trabajo exigido por la locomotora auxiliar dentro de las actuales zonas de remolque.

El valor total de la energía que ha sido necesario desarrollar en el cilindro de las locomotoras para hacer frente a la movilización tomando en cuenta el efecto de la partida y detenciones de los trenes de carga y de pasajeros que han recorrido la línea principal durante el año 1917, es el que se indica a continuación.

	ACELERACIONES	HP HORAS
1. ^a zona.—Valparaíso Santiago	22 179 000+	1 781 000 = 23 960 000
1. ^a zona.—Ramal Las Vegas Los Andes	1 474 000+	75 000 = 1 549 000
2. ^a zona.—Santiago a Talca	23 837 000+	1 808 000 = 25 645 000
3. ^a zona.—Talca a San Rosendo	10 963 000+	879 000 = 11 842 000
3. ^a zona.—San Rosendo a Talcahuano	2 420 000+	196 000 = 2 616 000
3. ^a zona.—San Rosendo a Victoria	6 087 000+	468 000 = 6 555 000
4. ^a zona.—Victoria a Valdivia y Puerto Montt	9 354 000+	785 000 = 10 139 000

En el Anexo N.º 3 se ha incluido un cuadro que contiene los datos mensuales relacionados con la energía desarrollada por las locomotoras de carga y pasajeros durante el año 1917.

**

Combustible consumido en la movilización de los trenes de pasajeros y de carga

Los libros que se llevan en el departamento de Tracción con el objeto de fijar los premios de los maquinistas, permiten deducir con bastante aproximación el peso del combustible consumido en un trozo de la línea por un tren de composición determinada.

Estos libros contienen para cada locomotora de trenes expresos, ómnibus o de carga, los datos mensuales correspondientes a su consumo de carbón, a su recorrido y al tonelaje kilométrico del tren arrastrado, expresado en ejes-kilómetros para los trenes de pasajeros y en ejes-kilómetros cargados o vacíos para los trenes de carga.

La falta de anotaciones relativas a la naturaleza del trayecto de algunas locomotoras (trayecto que puede ser hecho en la línea principal o en los ramales) impidió efectuar la determinación directa del consumo mensual de combustible en relación con las toneladas kilómetros de locomotoras y las toneladas kilómetros de tren para cada servicio.

Las correcciones efectuadas para tomar en cuenta este hecho, se encuentran expuestas en el Anexo N.º 3. Como la falta de indicaciones comprende sólo un número reducido de locomotoras, y como la corrección es bastante aproximada, puede considerarse que la cifra obtenida para el consumo de combustible con relación a las unidades de tráfico de locomotoras y trenes en la línea principal y en los ramales más importantes, está afectada en un error muy pequeño.

Al valor así obtenido es necesario agregar el consumo de carbón de las locomotoras de remolque. En los datos sobre este servicio figura en conjunto el gasto de carbón en remolque de trenes de pasajeros y de carga; se ha hecho la distribución entre los diversos tipos de trenes, tomando en cuenta el número de trenes de cada categoría, que necesitan remolque y que pasan por los trozos en que existe el servicio de remolque de cada zona.

Los resultados obtenidos para el año 1917 se indican a continuación:

I ZONA (186 KM.) LÍNEA CENTRAL

Servicios	Tonelada kilómetro de			(Toneladas) Consumo de combustible		
	Locomotoras	Remolques	Ténder y tren	Locomotora	Remolque	Total
Expresos	17 460 000	3 637 000	62 404 000	5 336	2 111	7 447
Omnibus	32 970 000	3 637 000	13 633 000	14 560	2 111	16 671
Carga	86 110 000	18 710 000	50 271 000	45 850	10 760	56 610

II ZONA (249 KILÓMETROS) LÍNEA CENTRAL

Expresos	3 876 000		12 426 000	1 192		1 192
Omnibus	48 620 000		198 190 000	15 490		15 490
Carga	98 000 000	47 550 000	784 300 000	45 880	18 030	63 910

III ZONA (376 KILÓMETROS) LÍNEA CENTRAL

Expresos						
Omnibus	48 600 000		234 300 000	16 800		16 900
Carga	124 000 000	9 150 000	774 570 000	42 590	3 940	46 540

IV ZONA (454 KILÓMETROS)

Omnibus	37 200 000		116 500 000	10 200		10 200
Carga	63 400 000	2 540 000	331 270 000	22 400	1 240	23 840

RAMAL A LOS ANDES

Pasajeros	4 500 000		16 950 000			
Carga	4 740 000		33 880 000			

RAMAL DE SAN ROSENDO A TALCAHUANO

Pasajeros	7 120 000		34 360 000			
Carga	15 800 000		101 240 000			

Consumo de combustible por unidad de energía desarrollada en el cilindro de la locomotora.—Del valor del trabajo exigido para la movilización de una tonelada-kilometro de locomotora y de una tonelada-kilometro de tren para cada servicio y para cada zona; del tráfico expresado en toneladas-kilometros de locomotoras y de trenes durante un periodo de tiempo; y de la cifra que representa el consumo de combustible durante ese mismo tiempo y para una misma zona y un mismo servicio, hemos deducido el consumo de carbón por unidad de energía desarrollada por las locomotoras.

El Anexo N.º 3 contiene los cuadros en que se indican estos valores deducidos mes a mes para la primera y segunda zonas y para los diversos servicios con siderados.

Damos a continuación los valores medios de estos consumos:

		Expresos, 2,86 Kgs. de carbón por HP hora en el cilindro de la locom.											
1.ª zona	Omnibus	3,68	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Carga	3,77	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2.ª zona	Expresos	3,59	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Omnibus	3,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Carga	3,48	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

Estas cifras, en las cuales no está tomado en cuenta el efecto de los demarrajajes, frenajes, detenciones, y puesta en presión de las locomotoras, se modifican en la proporción que se indica en seguida, si se considera la influencia de los factores enumerados en la forma expuesta en el Anexo N.º 4.

		Expresos 2,31 Kgs. de carbón por HP hora en el cilindro de la locom.											
1.ª Zona	Omnibus	2,76	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	Carga	3,19	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

De la comparación de estos valores con los correspondientes a otros ferrocarriles, se desprende que el concurso de combustibles por unidad de energía es elevado, y puede ser disminuido en una cantidad apreciable conservando el actual sistema de tracción, pero mejorando las condiciones en que se efectúa el servicio.

Del examen de los resultados obtenidos en los ensayos de consumo de locomotoras de simple expansión y sin sobrecalentamiento efectuados en los Estados Unidos el año 1904, se desprende que el gasto medio de combustible por HP hora indicado es de 1,5 kilogramos.

El valor medio que aconseja adoptar para los estudios de tracción la American Locomotive Company para locomotoras de este mismo tipo es de 1,84 kilogramos de carbón por HP hora indicado.

El empleo del vapor recalentado hace descender esta cifra a 1,5 kilogramos por HP hora indicado.

Las experiencias realizadas por el señor Murray en el ferrocarril New York New Haven and Hartford (American Institute of Electrical Engineer, 1911) dan un consumo de 1,8 kgs. por HP horas medido en el cilindro de la locomotora.

De las estadísticas de los ferrocarriles belgas se desprende que el consumo medio de combustible durante los últimos años de explotación ha sido de 2,36 kgs. por HP hora. Aunque no está claramente expresado en las estadísticas, parece que esta cifra es la relación entre el trabajo efectivo realizado por las locomotoras y el carbón gastado por ellas; por lo tanto, si se descontara de la cantidad de combustible consumido, el correspondiente a la puesta en presión, detenciones etc., el consumo por HP hora sería algo menor.

Las estadísticas italianas del período comprendido entre 1907 y 1913, indican un consumo de 1,83 kilos por HP hora (1).

Puede por consiguiente establecerse, aún dejando margen para los efectos derivados de la inferioridad del carbón empleado en nuestra red central durante los últimos años, con respecto al consumido en los ferrocarriles citados, que el gasto actual de carbón por unidad de energía es elevado y no puede servir de base para estimar las economías que puede reportar la electrificación.

Estimamos prudente considerar que el consumo de combustible puede reducirse en nuestros ferrocarriles hasta unos 2,5 kilogramos por HP hora indicado en las locomotoras de carga y de pasajeros, en atención a las mejoras de todo orden que pueden introducirse en la tracción de vapor. Esta cifra no comprende naturalmente, el combustible necesario para el caldeo de las locomotoras, ni el correspondiente a las pérdidas por irradiación; este consumo ha sido calculado separadamente, tomando en cuenta las condiciones reales del servicio en lo que se refiere al número de locomotoras empleadas y a la duración de las detenciones según los itinerarios del año 1917.

Adoptando esta cifra, el consumo de carbón en el servicio de carga y de pasajeros durante el año 1917, que es el que sirve de base para todo nuestro estudio, sería el que se indica en seguida:

(1) Génie Civil 30 1-1915.

	Consumo real en toneladas (1917)	Consumo cal- culado a 2,5 kgs. HP hora en toneladas	Caldeo e irra- dación	Total toneladas
Linea central y				
1. ^a Zona.....	87100	63800	8700	72500
Ramal a los Andes				
2. ^a Zona Línea central.....	80592	64100	8100	72200
Linea central y				
3. ^a Zona.....	72040	52500	7200	59700
Ramal a Talcahuano				
Linea central y				
4. ^a Zona.....	34040	25400	3400	28800
Ramal a Valdivia				
Red.....	273772	205800	27400	233200

Las cifras anotadas se refieren, como ya se ha expresado anteriormente, sólo a la línea principal y a los ramales importantes de cada zona.

(Continuará)

1ª ZONA

OMNIBUS Nº5

1ª ZONA

OMNIBUS Nº 6.

Main table with columns for ESTACIONES, DISTANCIAS, TIEMPOS, VELOCIDADES, and ESFUERZOS DE TRACCION Y ENERGIA NECESARIA. It contains two sections of data for the 1st zone, one for Omnibus Nº5 and one for Omnibus Nº6.

VELOCIDAD COMERCIAL Vc = 186 / 5.74 = 32.7 K/mh/HORA.
VELOCIDAD MEDIA EFECTIVA Vc = 186 / 4.424 = 42.3 "
RESISTENCIA MEDIA EN RECTA HORIZ. POR 1 TON. CARRO DE PASAJEROS. R1 = 833 / 186 = 3.4 K/mh/TON.
RESISTENCIA MEDIA TOTAL PARA LOS CARROS DE PASAJEROS F1 = 125.8 / 186 = 0.67
COEFICIENTE VIRTUAL PARA LOCOMOTORAS 3 EJES ACPS F2 = 13.1 / 904 = 0.0145

VELOCIDAD COMERCIAL Vc = 186 / 5.75 = 32.3 K/mh/HORA.
VELOCIDAD MEDIA EFECTIVA Vc = 186 / 4.418 = 42.1 "
RESISTENCIA MEDIA EN RECTA HORIZ. POR 1 TON. CARRO PASAJEROS. R1 = 833 / 186 = 3.4 K/mh/TON.
RESISTENCIA MEDIA TOTAL PARA LOS CARROS DE PASAJEROS F1 = 125.75 / 186 = 0.67
COEFICIENTE VIRTUAL PARA LOCOMOTORAS 3 EJES ACPS F2 = 13.1 / 904 = 0.0145