



INFORME

SOBRE LA PRESENTACION DEL SINDICATO DE OBRAS PÚBLICAS REFERENTE A LA ELECTRIFICACION DEL FERROCARRIL DE ARICA A LA PAZ

(Seccion Arica-Tacora)

POR A. E. SALAZAR

Profesor de Electrotecnia en la Universidad de Chile

SEÑOR DIRECTOR:

Tengo el honor de presentar a Ud. el informe que, por encargo del señor Ministro, se ha servido Ud. pedirme acerca de la presentacion del Sindicato de Obras Públicas, referente a la electrificacion del ferrocarril de Arica a La Paz, en la seccion de Arica a Tacora.

Designado conjuntamente para el mismo objeto el señor Kranz, ingeniero de esa Direccion Jeneral, hemos creido conveniente, para el mas espedito desempeño de nuestro cometido, informar por separado, sin que esto implique desacuerdo en las conclusiones jenerales a que en nuestro estudio llegamos.

Los puntos a que debe referirse el informe son los siguientes, segun oficio de esa Direccion, número 2,371, de 19 de Octubre.

1.º Juicio crítico de la solucion propuesta, desde el punto de vista electrotécnico.

2.º Dada por efectiva la potencia hidráulica necesaria, apreciar el valor de dicha solucion, comparada con la traccion a vapor, bajo los siguientes aspectos:

- a) Potencia.
- b) Continuidad i permanencia del servicio de explotacion.
- c) Seguridad.
- d) Rapidez de las comunicaciones. (Horarios).
- e) Economía de explotacion.
- f) Ensanches ulteriores.

I.— JUICIO CRÍTICO DESDE EL PUNTO DE VISTA ELECTROTÉCNICO

La base de toda la cuestion relativa a la electrificacion propuesta es saber si existe o no actualmente un sistema de ferrocarril eléctrico real i verdaderamente aplicable al

caso presente; sencillo i económico en cuanto a su operacion i mantenimiento; eficaz, desde todo punto de vista en cuanto a las exigencias del tráfico; libre, en suma, de las objeciones que en este orden de ideas se han hecho a la traccion eléctrica aplicada a las grandes líneas de ferrocarriles.

Si este conjunto de condiciones no fuera realizable todavía sino de un modo imperfecto, no habria para qué discutir la proposicion hecha al Supremo Gobierno por el Sindicato, en orden a la electrificacion aludida. En caso contrario, cabe entrar a apreciar la solucion propuesta, para la electrificacion parcial del ferrocarril de Arica a La Paz, bajo los diversos aspectos señalados por esa Direccion Jeneral.

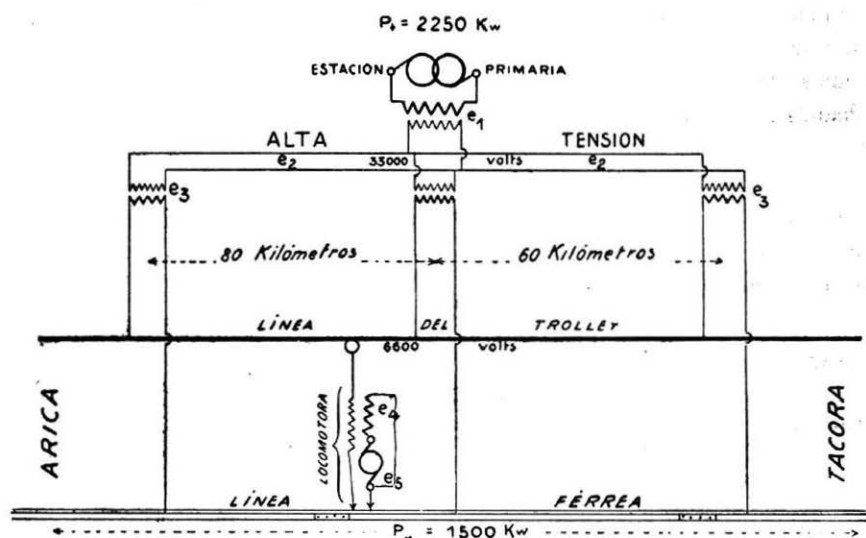
En los actuales momentos, tres son los sistemas de ferrocarriles eléctricos en uso. Enumerados en el orden cronológico de su creacion i desarrollo, tenemos:

1. Sistema de corriente continua.
2. Sistema trifase, con motores de induccion.
3. Sistema unifase, con motores de conmutacion.

De estos tres sistemas, el de corriente continua—tratándose de líneas largas i no de un servicio urbano como el de Santiago—no puede emplearse hasta aquí sino en combinacion con una trasmision polifase de alta tension. Desde el punto de vista técnico, el resultado es, a no dudarlo, satisfactorio, pues el motor continuo se adapta a cualquier peso de trenes o tasa de aceleracion. Es inaplicable, sin embargo, en casos como el contemplado, por ser mui costoso en primera instalacion, i exigir sub-estaciones con maquinaria rotatoria en diversas partes del trayecto. Cada una de estas sub-estaciones requiere para su vijilancia i manejo un personal competente, resultando así mas costoso i ménos seguro que en los otros dos sistemas, el servicio de esplotacion.

El sistema trifase es ya un gran avance respecto del anterior. Bastaria a probar su adaptabilidad a las largas líneas el buen éxito que ha tenido en la interesante línea de Valtellina (Italia), operada eléctricamente en sus 108 km. desde 1902. Con todo, presenta todavía algunos inconvenientes que, en ausencia de otro sistema mas perfeccionado, no harian recomendable un proyecto de electrificacion como el de Arica a Tacora. Consiste el mas serio de estos inconvenientes en el empleo obligado de doble alambre aéreo. La línea doble complica considerablemente el problema de las junciones i los desvíos; exige doble trolley i, a mas, dificulta el aislamiento eléctrico, el cual hai que mantener no sólo respecto de tierra (el riel), sino entre alambre i alambre. En cuanto al motor trifase mismo, hai que decir que no es el ideal para un servicio de ferrocarriles, pues es un motor de velocidad constante, prácticamente, para toda carga, lo que introduce complicaciones en la construccion i manejo del regulador de marcha. A mas, en este sistema, como en todos los de carácter polifase, una pequeña diferencia en el tamaño de las ruedas motrices resulta en una notable desigualdad en la carga de los motores. Si, por ejemplo, unas ruedas son mas viejas que otras, ciertos motores harán todo el trabajo i aun pueden mover a los otros como a jeneradores. La diferencia de tamaño de las ruedas casi no ejerce influencia en el sistema por corriente continua ni en el sistema que paso a considerar en seguida, i que es el propuesto por el Sindicato: el de corriente alterna simple o unifase, con motores de conmutacion.

Desde mucho tiempo atras se ha comprendido que la solucion verdaderamente práctica i económica del problema de los ferrocarriles eléctricos dependia de la combinacion de los siguientes elementos: 1) el empleo de los mas altos potenciales; 2) el de transformadores estáticos en vez de transformadores rotatorios; 3) el de un solo conductor aéreo; i 4) de un motor alterno unifase, de alto factor de poder, i con las características de un motor continuo, en cuanto a torque, eficiencia i regulacion.



Hasta hace poco, apenas cuatro años, solo las tres primeras condiciones eran realizables; faltaba el motor. Pero, atacado seriamente el problema del ferrocarril unifase, en 1900, con la mira de una solución final, ya en 1902 era posible hacer pruebas del nuevo sistema, en escala comparable a la de condiciones reales de un ferrocarril. En el corto espacio de tiempo transcurrido desde entonces, el motor alternante unifase ha demostrado ya su adaptabilidad a los casos mas difíciles de servicio de ferrocarriles eléctricos, tanto en Estados Unidos como en Europa.

Las características del sistema son:

1.º Empleo de los mas altos potenciales, en los *feeders* i en el alambre del *trolley*, con la consiguiente gran economía de cobre. Esto no es posible en el sistema continuo, i solo parcial o limitadamente hacedero en el trifase.

2.º La reducción de la alta tensión (33 000 a 6 600 volts en el presente caso) se hace, como en todo sistema alternante, por transformadores estáticos, de alta eficiencia, seguros i automáticos. Queda así suprimido el empleo de convertidores rotatorios, cuyos principales inconvenientes ya se han señalado. En esto iguala al trifase i supera al continuo.

3.º Empleo de un solo alambre aéreo. En esto iguala al continuo i supera al trifase.

4.º La sencilla, eficaz i económica regulacion de marcha. Esta operacion la realizan ménos satisfactoriamente, desde todo punto de vista, los otros dos sistemas considerados. En el unifase, la velocidad de los motores no se regula con interposicion de resistencias muertas, que desperdician gran suma de enerjía, sino graduando el número de vueltas del secundario del trasformador que quedan en circuito con el motor; así como el maquinista de la locomotora a vapor, moviendo la manilla, abre mas o ménos la válvula de admision.

Es indudable que en los actuales momentos el problema de la electrificacion de los ferrocarriles sin sujecion a distancias ni restricciones en cuanto a exigencias de servicio, tiene una solucion, que ha sido calificada de brillante, en el sistema cuyas características se acaban de bosquejar. El consenso de la prensa técnica puede considerarse unánime al respecto.

El desarrollo comercial del ferrocarril eléctrico unifase llega en el justo momento en que debe decidirse por el Supremo Gobierno si la seccion de la costa a Tacora, en el ferrocarril a La Paz debe explotarse a vapor, con línea de cremallera, o bien eléctricamente con locomotoras de adherencia, segun dicho sistema unifase.

II.—COMPARACION ENTRE LOS DOS SISTEMAS DE TRACCION PROPUESTOS

Aceptada como practicable, desde el punto de vista electrotécnico, la solucion propuesta por el Sindicato, falta apreciar su valor, comparándola con la traccion a vapor, bajo los diversos aspectos que a continuacion se discuten.

a) *Potencia*

Punto de partida de este cálculo es el valor de la potencia eléctrica asignado en la propuesta a la estacion primaria que se instalaria a la altura del km 88. En su presentacion de 11 de Octubre al señor Ministro de Industria i Obras Públicas, el Sindicato espone que el propósito es instalar en la planta hidro-eléctrica de Puluni 3 jeneradores de 750 kilowatts cada uno, fuera de un cuarto jenerador del mismo poder i su correspondiente motor hidráulico, como reserva. A mas de esto, habria una pequeña planta duplicada independiente de 2×55 kilowatts, destinada a la escitacion de los alternadores i al alumbrado de la estacion de fuerza.

Son, entónces, $3 \times 750 = 2\ 250$ kilowatts, los disponibles en el oríjen como potencia total. Agregando los 55 kilowatts para la escitacion, etc., se llega a un número redondo de 2 300 kilowatts,

Se puede admitir, a plena carga, una eficiencia combinada de 75% para los alternadores i las ruedas Pelton-Francis, lo que es conforme a los resultados de la práctica comercial. Entónces la potencia de la caída de agua deberá ser de

$$\frac{2\ 300}{.75} = 3\ 060 \text{ kilowatts.}$$

Esto equivale a unos 4 000 H. P. Como en la presentacion antedicha se dice testualmente que «la fuerza permanente en el rio Lluta asciende segun los cálculos del señor Harding a unos 70 000 HP», luego, aun suponiendo que en esto haya un error de cero i que se trate solq de 7 000 HP., la potencia hidráulica mínima permanente, escede casi en el doble de la requerida por la instalacion jeneral, ántes de pensarse en ensanches.

Falta calcular cuántos de los 2 250 kilowatts de los tres alternadores, funcionando a la vez a plena carga normal, llegaran a utilizarse en las llantas de las ruedas de las locomotoras eléctricas, a traves de la serie de pérdidas inherentes al sistema. La figura siguiente ilustra diagramáticamente este cálculo.

Representacion diagramática del establecimiento de la eficiencia final, $\frac{P_u}{P_t} = 66\%$, del sistema eléctrico proyectado. (1).

Sean:

$P_t = 2\,250$, potencia de orijen, en kilowatts.

$e_1 = .98$, eficiencia de la trasformacion de subida.

$e_2 = .95$, » media de las líneas de alta tension.

$e_3 = .98$, » de los trasformadores de reduccion.

$e_4 = .96$, » media de los trasformadores en las locomotoras.

$e_5 = .76$, » » » motores, tomando en cuenta engranaje i fricciones hasta las ruedas.

La pérdida en el alambre del trolley se da por incluida entre e_3 i e_4 .

Lo anterior nos da como potencia utilizable:

$$P_u = 2\,250 \times .67 = 1\,500 \text{ kilowatts.}$$

Luego, la eficiencia final puede estimarse a lo sumo en un 60%, en funcionamiento de la instalacion a plena carga.

En la nota «Electrificacion» suministrada a los informantes por el Sindicato, como complemento de los datos consignados en la presentacion de 11 de Octubre al señor Ministro, se establece un «rendimiento efectivo de 80 %» entre los mismos puntos; pero esto no es posible, si se atiende al análisis que precede, i que considero mas bien lijeramente optimista.

Comparacion de este resultado con la potencia de vapor

En la presentacion se dice: «Todas las locomotoras, incluso las de maniobra, serán idénticas. Pesarian mas o ménos 36 T. i serian de 240-320 H. P.». Es decir, de 180-240 kilowatts.

(1) Este diagrama necesita dos esplicaciones: 1.^a En la estacion primaria la alimentacion se haria directamente del jenerador al trolley i no por intermedio del trasformador estático indicado; 2.^a en la locomotora hai un autotransformador i no un trasformador ordinario. Ambas circunstancias son lijeramente favorables a la eficiencia final, que por lo mismo, estaria mas cerca del 70% que del 66% indicado.

Deduciendo de los 1 500 kilowatts utilizables en la via, desde Arica a Tacora, los 300 kilowatts que absorberian los diversos servicios locales en la estacion de Arica, queda una potencia efectiva para la traccion de los trenes, de 1 200 kilowatts: son 5 locomotoras trabajando simultáneamente a su máximo de 240 kilowatts cada una; o bien, un mayor número de locomotoras, pero con un promedio de menor potencia por unidad de traccion.

Segun las tablas de Davis, relativas a la traccion eléctrica (Foster: *Electrical Engineer's Pocket-Book*, 6.ª edicion, páj. 450), en gradiente de 6% i para una velocidad de 12 km, se requiere una potencia efectiva de 3 caballos, o sean 2.25 kilowatts por tonelada. Es evidente, entónces, que una sola locomotora eléctrica de la máxima potencia señalada no podrá arrastrar sobre 6%, a razon 12 km, las 150 T. netas del tren correspondiente a la traccion a vapor: serán necesarias dos locomotoras eléctricas acopladas para llegar al resultado establecido para la locomotora a vapor en la página 30 de las propuestas de 2 de Enero de 1906.

Segun las mismas tablas, para arrastrar 150 T., *en riel seco*, con una pendiente de 6% se requiere un peso de locomotoras, de 64 T. Luego, por este otro camino se llega a la misma conclusion de que serian necesarias, para tal servicio, dos locomotoras a la vez.

La potencia eléctrica disponible en la via, equivaldria así a la traccion a vapor en las condiciones de explotacion inicial del ferrocarril, suponiendo que en un mismo instante físico subieran entre Arica i Tacora tres trenes con locomotoras de vapor, que desarrollasen en conjunto unos 1 600 H. P. efectivos.

En la propuesta del 2 de Enero se establece (p. 31) respecto de la traccion eléctrica que «Una locomotora podrá llevar un tren de carga con peso de 140 T. neto sobre 6% a razon de 10 km. por hora». En tanto, respecto del vapor establece (p. ...) que sobre la misma gradiente, para un tren de 150 T. la velocidad será de 12 km. Si bien del aumento de potencia eléctrica, respecto de lo indicado en la propuesta de 2 de Enero, se desprende segun el análisis de mas arriba, que eléctricamente tambien se obtendrán para el mismo caso la velocidad indicada, con dos locomotoras, convendria no obstante esclarecer mejor el punto con el contratista, en la hipótesis de aceptarse la electrificacion por el Supremo Gobierno.

En resumen, sobre este primer aspecto de la cuestion: La traccion eléctrica, en la propuesta modificada últimamente por el Sindicato puede equipararse numéricamente, tocante a potencia disponible, a la traccion a vapor calculada para un tráfico de los primeros tiempos de explotacion de la línea.

b) Continuidad i permanencia del servicio de explotacion

Cuestion es esta que hai que tratar desde el punto de vista jeneral; i, a mas, con referencia a las circunstancias especiales de localidad, naturaleza del servicio, etc., que puedan modificar en uno u otro sentido las conclusiones establecidas para el primer caso.

La continuidad i permanencia del servicio de explotacion de una via férrea servida

eléctricamente i con una instalacion hidráulica como fuente de enerjía primera, necesariamente está subordinada a las condiciones de seguridad material que caractericen el entero sistema hidro-eléctrico, en su conjunto i sus detalles. A mas, a estas condiciones debe corresponder permanentemente una buena direccion técnica i, no hai para que decirlo, una administracion vijilante i previsoras.

Hai ya suficiente esperiencia acumulada en otros paises, que prueban que la hidro-electrificacion de los ferrocarriles, ha dado i está dando resultados enteramente satisfactorios al respecto. Por ejemplo en Italia—pais que no se cita como modelo en materias ferrocarrileras,—dos líneas comparativamente largas, en pais montañoso, entre Varese i Milan, fueron electrificadas hace unos cuatro años, con un resultado que confirma lo anteriormente espuesto. Es pertinente decir, *en passant*, que en ámbos casos la electrificacion fué resuelta en vista del informe de los ingenieros encargados de investigar si convendria o nó sustituir la traccion a vapor por la eléctrica.

Una de esas líneas, la de Valtellina que ya he tenido ocasion de citar, es exclusivamente hidro-eléctrica. Ahora bien, en reciente investigacion mandada por el directorio de la Erie Railroad Company (E. U.) ferrocarril actualmente en curso de electrificacion, el informante espone que el ferrocarril de Valtellina despues de tres años de funcionamiento eléctrico, no solo ha mantenido una perfecta continuidad en el servicio, sino tambien demostrado su capacidad para hacer frente a toda forma de trabajo realizable por locomotoras a vapor, no importa cuan pesado o complicado pueda ser el tráfico.

Téngase presente que en el ejemplo citado el sistema que se emplea es el trifase, con doble *trolley* i doble alambre aéreo, decididamente ménos sencillo, i de ménos fácil manejo i mantenimiento en su conjunto, que el moderno sistema eléctrico unifase, opcionalmente propuesto con el de vapor, para la línea Arica-Tacora.

La estabilidad de las instalaciones hidro-eléctricas i de líneas de trasmision, cuando son bien construidas i concebidas, ha quedado palmariamente de manifiesto con el poquísimo o ningun daño que sufrieron las de Valparaiso, a causa del terremoto del 16 de Agosto.

Se podria oponer a esta cita el caso de esta capital, en que el servicio de traccion eléctrica ha sufrido entorpecimiento lamentable durante varios meses del presente año. Como me ha tocado intervenir en las cuestiones motivadas por estos accidentes, estoi en situacion de poder afirmar aquí, a propósito del punto en dilucidacion, que en realidad no se ha tratado de falla del sistema eléctrico, sino de imprevisiones administrativas, que venian de mui atras.

Por lo que toca a las circunstancias de órden especial que pudieran intervenir como factores contrarios a la electrificacion propuesta, no tengo otros datos que los consignados en las propuestas de 2 de Enero.

Hai que mencionar entre otros los siguientes párrafos:

«La parte del trayecto en faldeo que el ferrocarril va a salvar por el valle de Lluta, es de lo mas accidentado: el rio hace recodos bruscos, las faldas son abruptas, a veces casi verticales i, miéntras que sus taludes se elevan hasta alturas superiores a 1 500 m.,

el pié presenta puntas i entradas sucesivas i millares de rodados que dificultan la colocacion de la línea férrea.» (Páj. 19).

I, mas adelante, en la páj. 27: «.....en el trayecto de 50 km. (el ferrocarril) es mui difícil de construccion i *espuesto durante la explotacion* a accidentes de derrumbes, caidas de peñascos i a las aguas del rio.»

Por último, se hace mencion de un frio intenso, de 15° a 20° bajo cero en la noche, *aun en verano*. Esto puede ser causa de rupturas en las líneas eléctricas, con la consiguiente perturbacion del servicio.

Es de suponer que estas circunstancias, de carácter puramente local, habrán sido tomadas en cuenta por los ingenieros del Sindicato i los de la Compañía Westinghouse, en la elaboracion del proyecto de electrificacion. En tal caso, es permitido decir en resumen, tocante al punto b), que si se reunen los tres factores—buena calidad de las obras, buena direccion técnica i buena administracion—a que hice referencia mas arriba, no hai razonablemente por que temer del lado de la continuidad i permanencia del servicio de explotacion.

c) Seguridad

Bajo este epígrafe creo que debo referirme principalmente a las garantías comparativas entre el sistema eléctrico i el de vapor, en orden a los accidentes que pueden producirse en el servicio de traccion.

Parece indiscutible, a este particular, que el peligro mas serio se deberá a lo fuerte i prolongado de la gradiente a traves de un valle profundo i tortuoso, en una estension considerable del ferrocarril en construccion.

En igualdad de circunstancias, la traccion eléctrica es mas segura, pues a mas de contar con los sistemas de freno mas eficaces que pueden emplearse con el equipo a vapor, cuenta con el poderoso recurso del freno eléctrico. Si las funciones de este son de la mayor importancia en el orden económico, como moderador de las velocidades en las bajadas, no lo son ménos importantes como preventivo de accidentes. A este fin, eso si, es necesario que el personal del tren esté familiarizado con su uso, i no lo considere meramente como un freno de emergencias.

Se ha comprobado recientemente en Halifax (Inglaterra) que los carros eléctricos corriendo a razon de 45 km. gradiente abajo de $4\frac{1}{2}\%$, se detienen a la distancia de poco mas de 100 m. en 13 segundos despues de aplicado esclusivamente el freno eléctrico.

En cuanto a los peligros propiamente de carácter eléctrico en un línea como la de Arica a Tacora, pueden considerarse sin importancia, a juzgar por la esperiencia adquirida sobre el particular en otras partes. Existen ya en explotacion líneas férreas eléctricas del sistema unifase en Italia, Austria, Alemania, Suiza, Francia, Béljica, Suecia i Norte América. Los potenciales usados en los alambres del trolley llegan a 3 000, 6 000, 10 000, i 15 000 volts.

En Suecia se acaba de ensayar una tension de 20 000 volts. En ningun caso se ha tropezado con inconvenientes de servicio ni con peligros para el personal de los trenes o para el público.

d) Rapidez de las comunicaciones (Horarios)

Bajo este aspecto, la comparacion entre la traccion eléctrica i la a vapor, es materia desde un principio resuelta en favor de la electricidad. Los ingenieros de los ferrocarriles a vapor han insistido, cada vez que se ha presentado el caso, en que la traccion eléctrica es mas cara; por lo ménos cuando no se emplea fuerza hidráulica, o la electrificación de los ferrocarriles se refiere a países en que el combustible usado en las locomotoras es barato. Pero han podido negar que el sistema tiene que ser necesariamente superior en cuanto a las conveniencias del tráfico, i por muchos motivos.

Baste tener presente las siguientes cualidades características de la traccion eléctrica en jeneral: disminucion del tiempo perdido en parar i sobre en todo en poner en marcha los convoyes; ningun pérdida de tiempo en tomar agua o carbon; velocidad independiente de la habilidad de los fogoneros en mantener la presion, principalmente en las subidas; facilidad en variar el tamaño de los trenes, de modo que éstos correspondan a las justas necesidades del servicio, salvando así kilometraje vacío, etc.

Es tal la flexibilidad del sistema eléctrico que, en igualdad de potencia disponible, resultada aumentada la capacidad de acarreo de una línea, comparado con la traccion a vapor. De ahí que, aun en Inglaterra, el país del carbon ultra-barato, se esté adoptando en muchos casos la electrificación, no tanto por la economía directa en el gasto de arrastre de los trenes, cuanto por la circunstancia señalada, con la siguiente mejora en los itinerarios u horarios.

Demás está decir, con respecto al presente informe, que esta conclusion favorable a la electrificación propuesta presupone que las condiciones estipuladas en a), b) i c) son satisfechas cumplidamente.

Una última reflexión tocante a la materia tratada bajo el presente encabezamiento d): esperar para la electrificación un cambio de un sistema a vapor ya establecido, no conviene. Por lo ménos, mientras haya tráfico misto, el eléctrico queda en desventaja, pues no puede desarrollarse bien.

e) Economía de explotacion

Calcula el Sindicato constructor del ferrocarril de Arica a la Paz, en su propuesta de 2 de Enero (páj. 41), que el total de economías anuales, adoptando la traccion eléctrica entre la costa i Tacora, será de \$ 530 000, o sea en libras esterlinas, mas o ménos £ 40 000.

En su reciente presentacion al Ministerio de Industria i Obras Públicas, modifica el anterior resultado en sentido *aun mas favorable*, diciendo: «Calcula el señor Harding que la ganancia anual que resultaria al Supremo Gobierno por la electrificación, asciende a £ 60 000. Es decir que el ya conocido aumento de costo de construccion quedará liquidado en ménos de tres años».

Para verificar sustancialmente la exactitud de este cálculo, sin entrar en detalles que poca influencia pueden ejercer en el resultado jeneral, basta someter a un somero análisis el establecimiento hecho por el Sindicato (Anexo «Electrificación»):

- 1.º. del costo de la energía eléctrica, por un lado; i,
- 2.º. del costo del carbon, en caso de la traccion a vapor.

El factor determinante del costo del kw. hora en una instalacion eléctrica es el llamado «factor de carga». Este factor, en el caso presente, será como de 50%, o poco ménos; es decir un factor mui favorable, con arreglo a la esperiencia hasta aquí adquirida en esta materia.

El Sindicato calcula que el tráfico de los cinco trenes diarios de mas o ménos 950 T. cada uno, absorberia una energía de 14 000 a 15 000 kw.-horas; agregando a esto lo consumido en Arica con los 300 kw. de potencia asignados a esta estacion, se llega a un consumo total de 18 000 kw. horas al dia: esto, es la mitad del 100% representado por el producto.

$$24 \times 1\,500 = 36\,000 \text{ kw.-horas,}$$

en caso de un funcionamiento de las 24 horas del dia.

Ahora bien, para una instalacion hidro-eléctrica de 2 250 kw. en la estacion primaria i con el favorable factor de carga de 50% con respecto a la energía total útil productible, el costo de 1,2 centavo oro de 18 d. por unidad jenerada no podria impugnarse e i justicia por defecto, en las circunstancias ordinarias. Pero, tratándose de una instalacion en localidad tan alejada a los centros industriales, i con clase de compromiso tan serio como es el de un ferrocarril de carácter internacional, es mas prudente recargar los ítem «personal técnico» «depreciacion», etc. Por ejemplo, un 25% sobre el total de 1,2 centavos oro por unidad jenerada, eleva el costo a 1,5 centavos de la misma moneda.

Prosiguiendo en su cálculo, el Sindicato en el documento mencionado, pone como rendimiento efectivo de las trasmisiones i trasformaciones hasta la misma via, como igual a 80%; pero no está conforme con el 66% deducido mas arriba (diagrama, páj. ...), despues de atenta consideracion numérica de todas las pérdidas inevitables del sistema.

De acuerdo con este último valor del rendimiento final, resulta un costo, por kw.-hora aprovechado, de 2,25 centavos oro; esto es, 50% mas elevado que el que fija el Sindicato para llegar al gasto anual de \$ 64 039 por consumo de energía, con la explotacion eléctrica. Aumentando en consecuencia esta cantidad en el respectivo 50%, se llega, segun nuestro cálculo, a \$ 96 000. Nótese que la diferencia en esceso no representa siquiera £ 2 500, lo que bien poco afecta al monto de la economía anual de £ 60 000, correspondiente al último cómputo del señor Harding.

Conclusion es esta mui importante, pues ella prueba que aun exajerando hasta el doble el aumento prudencialmente introducido por el infrascrito, siempre quedaria en manifiesto que la explotacion hidro-eléctrica, como costo de energía, es mucho mas barata, segun va a verse, que la del mismo ferrocarril operado a vapor.

En la nota «Electrificacion», el punto de partida para llegar al ítem total correspondiente al importe del carbon consumido anualmente en caso de traccion a vapor es el siguiente:

0,544 kg. por T.-km.

I, como el tráfico diario, a igual de lo establecido para el caso eléctrico, subirá a 154 000 T.-km., luego en 300 días útiles, i a razon de 0,544 kg por unidad, el consumo anual de carbon alcanzará a 25 000 T. para los trenes de subida. Agregando a esto el pequeño gasto correspondiente a los trenes de bajada, llega el señor Harding al gran total de 25 950 T. Al precio de \$ 22,50 la T. puesta en las carboneras, en Arica, dicho consumo representa un valor de \$ 583 875 Fuera de esto, estimando el flete del carbon en \$ 0,10 por T. por km, resulta para un trayecto medio de 81 km. un nuevo ítem que agregar, montante a \$ 210 195. Sumando con el precedente llega finalmente el Sindicato a fijar en \$ 794 070 el gasto anual de la explotacion a vapor, por el solo ítem carbon.

Considero este resultado como algo excesivo, por la razon que paso a esponer.

El consumo efectivo (no calculado) de combustible en el trayecto del Tabon, entre Valparaiso i Santiago, sobre gradiente de $2\frac{1}{4}\%$ i con una velocidad media mui superior a la fijada para la línea Arica-Tacora, es aproximadamente el que sigue, por tren km:

Espresos	26 kgs.
Ordinarios	30 »
Carga.....	33 »

El peso de estos trenes varía de 250 a 300 T.

Poniéndonos en el caso mas desfavorable, es decir el de 33 kgs. para 250 T, el consumo medio de carbon, (principalmente de Australia, que será tambien el del ferrocarril a La Paz), resulta solamente de 0,132 kg por T.-km.

En vista de esto, ¿estaria justificado el cálculo de un consumo cuatro veces mayor a lo ménos (0,544 kg) para el otro ferrocarril, solo por tratarse de un trayecto con paradas en las estaciones, de una gradiente media doble mas fuerte, i de trocha angosta con cremallera?

Si esto se comprueba satisfactoriamente, tanto mejor para la electrificacion. Miéntras tanto, adoptemos como base de cómputo un gasto por T.-km. sólo tres veces, en vez de cuatro veces mayor que el del Tabon; esto es, de 0,396 kg en vez de 0,544 kg En tal caso, las 25 950 T. anuales se reducen apenas a 19 000; i el ítem final de \$ 794 070 a sólo \$ 578 000, o sea una diferencia *en ménos* de \$ 216 000. Como la diferencia *en mas*, estipulada mas arriba para el costo de la enerjía eléctrica fué de \$ 32 000, la suma de estas dos cantidades o, sea \$ 248 000 debe deducirse de los \$ 801 735 o sean las £ 60 000 deducidas a favor de la explotacion eléctrica en el mas reciente cómputo del señor Harding.

Hecha esta deducción, queda todavía como saldo a favor de la explotación eléctrica, la suma de \$ 553 700, o algo más de £ 40 000. Este valor asignado a la economía anual para el caso eléctrico, corresponde, como se ve, al primer cálculo, el de la propuesta del 2 de Enero del presente año.

El proponente advierte todavía, en el anexo de la presentación de 11 de Octubre, que no ha hecho valer para los resultados de la comparación las siguientes circunstancias:

1. Necesidad de dos fogoneros en las locomotoras de cremallera.
2. Lavado de calderas, extracción de cenizas, etc.
3. Ahorro de combustibles en las maestranzas.

A todo esto me permito agregar el menor gasto de conservación de la vía, que se deteriora mucho menos con las locomotoras eléctricas que con las de vapor.

A título de dato ilustrativo, he aquí una comparación respecto a costo por T-km. entre el calculado para el ferrocarril eléctrico en proyecto, i el efectivo en el ferrocarril eléctrico de Valtellina.

En el primer caso se trata de 30 000.000 de T-km. anuales, con un costo total de explotación eléctrica, que, por las razones aducidas, elevamos en este informe de \$ 178 000 a \$ 210 000: el resultado es \$ 0,7 de centavo oro chileno por T-km.

En el caso de Valtellina, los gastos de explotación hidro-eléctrica, después del primer año que la línea fué tomada por el estado italiano, fueron solamente de 0,017 d. o sea escasamente \$ 0,1 de centavo chileno por T-km.

(Datos leídos en la Asociación Británica para el progreso de la Ciencia, sección C, Agosto del presente año.)

Si bien la gradiente media en el trayecto Arica-Tacora es necesariamente varias veces mayor, de todas suertes el guarismo \$ 0,7 centavo oro es tan grande comparado con el resultante para la línea Valtellina, que ciertamente no puede impugnarse por defecto (1).

f) Ensanches ulteriores

Serán fáciles de realizar, sin interrupción del tráfico i menos costosos, por kw. útil que en la primera instalación.

En efecto, esta incluye la entera línea del *trolley*, con suspensión catenaria de acero, que supongo doble, conforme a la práctica más reciente. Como el conductor de cobre, por consideraciones de orden mecánico, tiene que ser de una sección mínima de 50 a 60 mm, queda luego suficiente margen para aumentar la densidad de corriente, i, por lo mismo la potencia, al doble si fuera necesario, en caso de ensanches ulteriores.

(1) Escrito lo anterior, encuentro una explicación en el hecho de haber tomado sólo el tráfico neto de subida. Como el proponente hace subir a dos veces otro tanto el de bajada. Las T-km. anuales en que deben repartirse los \$ 2100, serán 90 000.000. En este caso, el guarismo 0,7 queda reducido a 0,233, lo que es conciliable con el 0,1 de la línea Valtellina.

De lo cual se desprende que estos ensanches se limitarán a aumentar: 1.º) la planta, hidro-eléctrica, en unidades iguales a las primitivas, o aún mayores; 2.º) el número de *feeders* de alta tension i de las correspondientes sub estaciones de trasformadores estáticos.

La línea del *trolley* no habrá necesidad de cambiarla por esta causa.

El costo por kw de potencia útil, calculado ya mas arriba en 1 500 kw. es, como se vé por la diferencia de presupuestos de 2 de Enero, de poco mas de £ 100. Limitados los ensanches a las partes de la instalacion que quedan indicados, el costo por kw. útil que se agregue tendrá que ser mui inferior a esa suma.

En todo caso, para asegurar el máximo de economía por este lado, sin sacrificar la calidad del trabajo, se podría apelar a la licitacion pública, toda vez que no se trata de resolver un problema nuevo, sino de ensanches en materia conocida.

III. — RESÚMEN I CONCLUSIONES

El presente informe versa, primeramente, sobre la practicabilidad de la electrificación, desde el punto de vista electrotécnico, dando por comprobada la exactitud de los antecedentes que sirven de base al proyecto; en segundo lugar, sobre los resultados comparativos entre la traccion a vapor i la eléctrica, bajo los diversos aspectos a) a f), especificados por esa Direccion Jeneral.

De este doble estudio, consiguado en las páginas que preceden, fluyen las siguientes conclusiones, que pueden considerarse como suficientes para tomar una resolucion definitiva:

1.º La electrificación del ferrocarril de Arica al Alto de La Paz en la seccion de 162 kilómetros Arica-Tacora, es técnica i económicamente realizable, con el advenimiento comercial del sistema unifase, que es el propuesto por el Sindicato de Obras Públicas.

2.º La economía anual resultante de la electrificación, calculada en un principio en £ 40000, i últimamente en £ 60000 por el señor Harding, puede razonablemente establecerse en todo caso como no inferior a la primera de estas sumas;

3.º La realizacion de esta economía, la continuidad i permanencia del servicio de explotacion, así como la seguridad i puntualidad del tráfico, exigen el concurso de estas tres circunstancias: a) instalaciones completas i bien hechas; b), personal técnico suficiente i escogido; i, c), administracion vijilante i previsor.

4.º Sin el concurso permanente de estos tres elementos, la electrificación no seria recomendable: sin llegar a ser forzosamente un fracaso, tampoco corresponderia a las expectativas que justifican su adopcion.

Saluda atentamente al señor Director.

A. E. SALAZAR.

Santiago, 29 de Octubre de 1906.

APÉNDICE AL INFORME SOBRE LA ELECTRIFICACION PARCIAL DEL FERROCARRIL DE ARICA
AL ALTO DE LA PAZ

Señor Director.

En la conferencia que siguió a la entrega del informe que precede, tuvo Ud. a bien manifestar que el aspecto mas serio del asunto, en orden a adoptar una resolucion definitiva sobre la electrificacion propuesta, era el considerado bajo el encabezamiento: b) Continuidad i permanencia del servicio de explotacion.

Con el fin de hacer mas esplicita la afirmacion favorable que a tal respecto hago en mi informe, consigno en seguida algunos datos e indicaciones que conceptúo de verdadera importancia.

En primer lugar, con el propósito de evitar toda vaguedad e incertidumbre acerca del monto efectivo de la fuerza hidráulica, pedí al Sindicato una confirmacion especial del dato numérico que, sobre este punto, consigna en su presentacion de 11 de Octubre. Segun puede Ud. juzgar por la carta que en copia acompaño, esa potencia efectiva escede, en las circunstancias mas desfavorables, de 50 000 kilowatts hidráulicos.

Ahora, en cuanto a la instalacion misma, doi forma concreta a la idea que tuve el honor de insinuar a Ud. en dicha conferencia. Si se cree conveniente mas amplio márgen de seguridad que el que resulta, conforme a la propuesta orijinal, auméntese en una unidad de 750 kilowatts la estacion primaria, i en dos mas, por ejemplo, los puntos de alimentacion de la línea del trolley.

Equivaldria esto a anticipar un primer ensanche ulterior, con la mira inmediata de que tal aumento sirviera en el primer tiempo—el de consolidacion del servicio—como reserva, en esceso de la consultada como suficiente en circunstancias normales.

Aumentando a la vez el número de camineros electricistas, dotados de los elementos necesarios, cualquier entorpecimiento seria fácil i prontamente subsanado.

Un ensanche de esta naturaleza u otro equivalente, dejaria el 40% de la total instalacion en el carácter de reserva. Calculo que para ello bastaria elevar a unas £ 200000, el primitivo costo de £ 165000 de la propuesta de 2 de Enero. Cuando se piensa en que incuestionablemente la electrificacion significa una economía anual de a lo ménos £ 40000 a 50000, bien se puede adoptar la medida de seguridad que dejo indicada, sin menoscabo perceptible del resultado jeneral. Sobre todo, no sólo se trata del período limitado en que se haria la amortizacion total de la instalacion, sino de lo futuro, en que el ahorro anual pasaria a ser beneficio neto.

Debe tenerse en cuenta, ademas, que la economía o diferencia anual calculada en los gastos de explotacion tendrá que ir aumentando con el mayor valor del ítem carbon, a medida que se desarrolle el tráfico. Fuera de esto, el precio del carbon tiende incesantemente a subir, siendo mui poco probable que vuelva a sus antiguos precios. Mientras tanto, con la electrificacion se va a un gasto siempre fijo.

No terminaré este apéndice, sin confirmar del modo mas terminante las conclusiones estampadas en mi informe, en el sentido de que la electrificacion se impone, bajo

cualquier aspecto que se le considere. Lo único que faltaria hacer al Supremo Gobierno, seria fijar las condiciones especiales en que se haria la recepcion de la parte electrificada, en garantia de su cabal ejecucion i buen funcionamiento.

Saluda a Ud. mui atentamente.

A. E. SALAZAR.

Santiago, 3 de Noviembre de 1906.

(Copia)

SINDICATO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE

Santiago, 2 de Noviembre de 1906.

Señor don Arturo E. Salazar.—Presente.

Distinguido señor:

Completando las informaciones que hemos tenido el honor de someter a Ud. respecto a la electrificacion de las dos primeras secciones del ferrocarril de Arica a La Paz, podemos ahora reiterarle, con mayor acopio de informaciones, lo que ya habíamos asegurado a Ud. en orden a que la fuerza disponible en las circunstancias mas desfavorables en Lluta, es la que se puede obtener con 4000 litros de agua por segundo en una caída de 3000 metros, pudiendo escalonarse en la forma que se quiera.

De Ud. señor, mui atento i S. S.

(Firmado).—LUIS BARROS BORGÑO.

