

ESTUDIO SOBRE LA APLICACION

DE LA TRACCION ELÉCTRICA EN LA SEGUNDA SECCION

DE LOS FERROCARRILES DEL ESTADO

POR

HORACIO VALES O., RAUL CLARO SOLAR
FRANCISCO HUNEEUS G. I ALBERTO LIRA O.

(Continuacion) *Se pag 526*

CAPÍTULO III

JENERACION DE LA FUERZA MOTRIZ

1. Jeneralidades.—Entre las ventajas primordiales que ofrece la traccion eléctrica merece especial mencion la centralizacion de los jeneradores de enerjía en una sola estacion motriz, lo que asegura un mejor control de los consumos, un mas alto aprovechamiento de la fuerza jeneradora i una mayor secillez en los mecanismos del servicio de traccion. Estas ventajas, evidenciadas ya por los resultados prácticos obtenidos en muchas construcciones o trasformaciones de servicios de traccion eléctrica, realizadas mediante la aplicacion de grandes jeneradores centrales de vapor, son de mayor importancia en el caso que nos ocupa, ya que en él no se trata solo de alcanzar la ventaja de un mejor control i de un mas alto rendimiento de los motores, realizando la consiguiente disminucion en los gastos de combustible, sino de la supresion absoluta i definitiva de éste, sirviéndose de las poderosas fuentes hidráulicas que proporcionan algunos de los rios que atraviesa la línea férrea de Santiago a Talca.

Por lo demas, la adopcion de una sola estacion jeneratriz o de dos o mas de ellas es un problema especial en cada caso de la práctica i en cuya solucion intervienen factores diversos, como ser la estension i disposicion de la red por alimentar, el caudal i el desni-

vel de las corrientes que han de suministrar la energía hidráulica necesaria, la facilidad para instalar en buenas condiciones las obras de captación del agua i las líneas eléctrica, de trasmisión, etc. Puede decirse en efecto que solo un minucioso estudio comparativos entre las varias soluciones posibles en el caso que se considera, podrá guiar el criterio en la adopción acertada de una u otra de ellas.

Pero desde luego cabe observar que, siempre que no intervengan consideraciones que aconsejen renunciar al establecimiento de una sola estación principal, ella se recomienda por algunas ventajas de carácter jeneral que pueden resumirse así:

a).—Las construcciones hidráulicas son mas económicas ya que su costo no crece en proporcion a la capacidad de la captación; este punto es de una importancia capital si se tiene en cuenta que en el costo de transformación entra como factor de consideración el de las referidas instalaciones;

b).—La estación jeneratriz es calculada para el máximo de su régimen, lo que significa en este caso una considerable disminución en la potencia total jenerada, ya que en el caso de varias estaciones parciales cada una de ellas debería ser calculada para el máximo parcial de esa sección i la suma de los máximos de todas las secciones parciales resultaría considerablemente mayor que el máximo total jeneral para toda la línea, como se demuestra en el Capítulo IV;

c).—Hai conveniencia evidente en mantener en las máquinas jeneratrices una carga lo ménos variable posible para su mejor aprovechamiento i conservación, i esta carga será tanto mas variable cuanto menor sea la sección alimentada pues sucede a veces en pequeñas secciones que la carga baja o sube bruscamente lo que produce a la larga perturbaciones graves en las máquinas;

d).—Lo que hemos dicho con relacion al menor costo de las obras hidráulicas es tambien estensible a las instalaciones de maquinaria eléctrica como asimismo a las reservas tanto de éstas como de motores hidráulicos;

e).—Hai considerable economía en el personal de explotación.

Si se tiene ahora presente que la línea central de Santiago a Talca tiene aproximadamente una longitud de doscientos cincuenta kilómetros, i que en consecuencia, dentro de los límites ordinarios para la trasmisión de energía eléctrica a alta tensión, no habria inconveniente para servirla con una sola estación hidráulica que surtiría a la estación jeneratriz eléctrica principal, la que a su vez alimentaría a las sub-estaciones que el estudio correspondiente indicara, si se considera ademas que hai posibilidad de instalar esa estación única en muy buenas condiciones, es forzoso convenir en las grandes ventajas que proporcionará dicha solución.

2. Fuentes surtidoras.—Resuelta ya la adopción de una sola estación jeneratriz, nos corresponde estudiar cuáles son los rios que pueden proporcionarnos la fuerza necesaria a fin de elegir entre éstos los que, por la seguridad de su régimen, permanencia de su dotación de agua, por su ubicación, etc., nos ofrezcan mayores ventajas.

La fuerza que necesitamos jenerar es, como se verá mas adelante, de 10.000 H. P. teóricos. Los rios que podrian producir esta fuerza en la zona comprendida por la Segunda Sección de nuestros ferrocarriles son de norte a sur: el Maipo, el Cachapoal, el Tinguiririca, el Teno i el Lontué, próximo a Talca, y hácia el sur el Maule; no obstante,

a pesar de las buenas condiciones de caudal, régimen i pendiente de este último rio, prescindiremos de él pues no seria razonable escoger para la estacion jeneratriz una ubicacion fuera de la zona alimentada i a mas no seria económicamente realizable la alimentacion de la línea en tales condiciones pues la estacion jeneratriz quedaria a mas de doscientos cincuenta kilómetros del término de la red.

Por análogas razones i teniendo presente que el máximo de consumo se producirá en las proximidades de la estacion de Santiago, lo que aconseja inclinar hácia ella la ubicacion de la estacion jeneratriz, no nos hemos preocupado de hacer estudios detenidos de los rios Lontué i Teno, concretando la discusion para elegir la fuente surtidora al Tinguiririca, al Cachapoal i al Maipo.

Con respecto a este último podemos tambien eliminarlo desde luego por estar ubicado en las inmediaciones de un extremo de la red i quedar fuera de los límites económicamente aceptables con respecto al extremo opuesto; aun mas, debemos tomar en cuenta que para aprovechar este rio, que riega campos estensos i valiosísimos, seria meneste, respetar derechos importantes ya adquiridos de canales como los de Maipo, Espejo, etc. cuyas tomas se encuentran distantes de la línea del ferrocarril, lo que nos obligaria a hacer las obras de captacion, caida, etc. aguas arriba de aquellas tomas i por consiguiente a mas de treinta kilómetros de distancia de la línea alimentada; por fin, aparte de estas razones, que de por sí son ya bastantes, no está demas tener presente que el Maipo es uno de los rios de régimen mas variable. Segun esto, solo nos resta elegir entre el Tinguiririca i el Cachapoal.

El primero de estos rios se encuentra en el kilómetro 136 un poco al sur de la estacion de San Fernando i el segundo en el kilómetro 84 al sur de la estacion de Rancagua. El Tinguiririca nace en el macizo nevado Alto de los Mineros, al centro de los Andes, i recibe como afluentes al oriente de la línea férrea los riachuelos Yutos, Andarivel i Azufre; su pendiente, bastante fuerte en el orijen, es en el resto de su curso mui escasa; su cauce es ancho, su curso incierto, su régimen mui variable; es un rio surtido principalmente de nieves de temporada i espuesto a quedar en épocas de sequía con una dotacion de agua exígua, lo que sucede con mucha frecuencia. El Cachapoal, que tiene su orijen en las vertientes de los Andes denominadas Las Vegas, recibe como afluentes Las Cañas, El Cortador^e de la sierra del Alto de los Mineros, el «Colla» que nace en la Sierra Alta, i otros de menor importancia aguas abajo de los Baños de Cauquenes; su pendiente es fuerte, con un promedio de 0,003; su caudal mui considerable, i, apesar de que alimenta canales de regadío de mucha importancia, como los canales Nuevo, Lucano, Rafaelino, Compañiano, San Joaquin, Poblacion, San Pedro, Peterson, Requinoa, todos mui bien dotados aun en época de grandes sequías, sus tomas se encuentran a ménos de quince kilómetros de la línea férrea, salvo la del Canal Nuevo que está frente a los Baños de Cauquenes. Tiene el Cachapoal reservas de nieves eternas que le dan ventajas para nuestro caso inapreciables. La caja del rio, mui ancha en casi todo su trayecto, tiene, sin embargo, trechos especialmente adecuados para la captacion, como lo veremos mas adelante.

Hai, pues, conveniencia en aprovechar las ventajas realmente escepcionales del Cachapoal ya que su situacion es tambien mui favorable pues se encuentra a un tercio de

la distancia total a la estacion de término de Santiago, dentro de la seccion mas recargada, i a dos tercios de Talca donde el consumo es menor, quedando en una situacion ideal pues coincide con el centro de gravedad de las potencias consumidas en las diversas secciones de la estension de línea considerada. En tales condiciones creemos que el Cachapoal llena todas las exigencias i aun las conveniencias que puedan desearse para una instalacion de esta importancia, tanto por su ubicacion, como por su caudal mínimo de aguas que no podrá bajar nunca de treinta a cuarenta metros cúbicos, por su fuerte desnivel, por la conformacion de sus riberas en la parte en que deberá captarse el agua i, finalmente, por estar las tomas surtidoras de los canales de regadío relativamente próximas a la línea lo que permitirá estacionar los motores a ménos de quince kilómetros de ella. Damos, pues, por resuelto este punto, concretando nuestros estudios al Cachapoal.

3. *Ubicacion de las obras de captacion del agua.*— Los factores que, para la eleccion de la zona en que deben ir ubicadas las obras de captacion i la central hidro-eléctrica, debemos mas especialmente tomar en cuenta son:

a) La mayor dotacion del caudal de aguas, lo que nos lleva hácia arriba del orijen de los principales canales de regadío;

b) La menor distancia a la red alimentada; esto pone un límite al factor anterior, límite por el cual no podremos establecer las obras de que se trata sino aguas arriba de los grandes canales cuyas boca-tomas se encuentran a una distancia aceptable;

c) Las condiciones topográficas locales, segun las cuales pueden ser las obras de captacion mas o ménos económicas, de mayor o menor importancia.

Es menester, pues, en primer término llevar estas obras a una distancia tal que los desagües sirvan para alimentar los principales canales que en la actualidad derivan sus aguas del rio Cachapoal. No obstante, encontrándose la toma del Canal Nuevo a considerable distancia de la red por alimentar, hemos dejado dicha toma aguas arriba de las obras de captacion en estudio; naturalmente, la dotacion de este canal no ha sido considerada en los aforos del caudal disponible.

En seguida, atendiendo a la gran economía que se obtendria al colocar el tranque entre dos cerros naturales de constitucion resistente a la accion de las aguas i aprovechando esta circunstancia que se presenta unos dos kilómetros aguas abajo de los baños de Cauquén, en donde el cauce del rio se estrecha considerablemente, hemos creido inmejorable la ubicacion que se indica en el plano que se acompaña. El tranque queda, en efecto, entre dos cerros rocosos que dan al rio una caja de doscientos metros de ancho; ademas existe allí a quince metros de la ribera norte un gran peñazco o trozo de cerro firme que serviria de arranque a la bóveda del tranque por un lado i por el otro se adaptaria para colocar las compuertas de descarga; un poco hácia aguas arriba tendríamos el canal de conduccion que saldría siempre a falda de cerro en la ribera norte, aprovechando el Canal Nuevo que va en estas faldas i cuyo lecho coincide en este punto con el del proyecto, quedando a una altura conveniente con respecto al nivel del agua en el tranque; a continuacion de los costados, a cincuenta metros, colocaríamos el estanque de decantacion de donde saldría ya el canal de conduccion a alimentar las turbinas.

Por los aforos verificados personalmente en la época de mayor sequía en los distintos canales alimentados por el Cachapoal i cuyas tomas quedan aguas abajo de la estacion

motriz i dor las numerosas noticias recojidas entre los vecinos, hemos deducido que, aun en los casos mas desfavorables, se podrá siempre contar con una dotacion mínima de 30m³. La fuerza teórica que necesitamos jenerar es de 10.000 H. P., de suerte que debemos producir una caída de altura igual a

$$\frac{10.000 \times 75}{30.000} = 25 \text{ m.}$$

En la zona en que hemos ubicado el tranque i demas obras de captacion, tiene el rio, segun el resultado de nuestras nivelaciones, una pendiente media de 0.01; siendo necesaria una altura de caída de 25 m. i peraltando el tranque el nivel del agua en 5 m. próximamente, habrá que dar al canal alimentador de las turbinas un desarrollo total igual a poco mas de 2 km.

En las condiciones apuntadas, la obra no puede ser, a nuestro juicio, mas económica ni la ubicacion adoptada mas ventajosa. La estacion hidro-eléctrica queda á solo a unos doce kilómetros de la estacion de Rancagua, en línea recta atravesando los campos.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LA TRACCION ELÉCTRICA

1. *Carácter jeneral del servicio.* —En atencion a lo espuesto en capítulos anteriores, respecto de la necesidad de aplicar al nuevo sistema de traccion las bases del servicio actual existente, las características del problema deben ser deducidas directamente de dichas bases.

Estas bases i los resultados a que hemos llegado hasta ahora i que tienen especial importancia en el estudio de la traccion eléctrica, aparecen resumidos a continuacion, versando especialmente tal conjunto de antecedentes sobre las condiciones de la via i sobre la calidad i frecuencia de los servicios.

Con relacion a la vía, tenemos:

longitud de la seccion, 250 km.

trocha, 1,68 m.

rieles de acero de 9,144 m. de longitud i 38,5 k/m¹

durmientes de 2,75 × 0,25 × 0,15 m.

pendiente máxima de 0,0162 en 1750 m.

curvas de radio mínimo igual a 300 m.

número de estaciones, 33, espaciadas como mínimo de 2 km. i como máximo de 19 km.

En cuanto a la calidad de los servicios, podemos distinguir:

trenes de carga, con velocidad media de 20 km. por hora i máxima normal de 40 km. por hora; peso máximo normal de tren arrastrado, 200 tons;

trenes mistos, con velocidad media de 30 km. por hora i máxima normal de 50 km. por hora; peso máximo normal de tren arrastrado, 200 tons;

trenes de pasajeros ordinarios, con velocidad media de 40 km. por hora i máxima normal de 80 km. por hora; peso máximo normal de tren arrastrado, 200 tons;

trenes espesos, con velocidad media de 65 km. por hora i máxima normal de 80 km. por hora; peso máximo normal de tren arrastrado, 200 tons.

En lo que se refiere a la frecuencia de los servicios:

número máximo de trenes simultáneos en la seccion, 23 trenes.

» medio » » » » » 15 »

» mínimo » » » » » 8 »

descomponiéndose el primer número como sigue:

trenes de carga 16 trenes

» mistos 3 »

» de pasajeros 3 »

» espesos 1 »

número máximo anual de trenes diarios, 50 trenes.

» mínimo » » » » 40 »

De esta enumeracion pueden deducirse las consideraciones que han de determinar el sistema i la forma de la trasformacion i el tipo de explotacion de la traccion eléctrica, i que pueden resumirse en las siguientes:

Via de perfil poco accidentado, susceptible de permitir velocidades sensiblemente constantes, i en jeneral elevadas;

Trayecto de estaciones poco frecuentes, favorable a la permanencia de la velocidad normal i de la potencia absorbida;

Servicio de trenes pesados a velocidades elevadas;

Tráfico repartido i de mediana intensidad, con gran preponderancia del servicio de carga;

Constancia relativamente grande del tráfico diario i del tráfico anual : factor de carga diario (1) 0,652; variacion máxima anual de totales diarios 1,25; factor de carga anual 0,59 aproximadamente.

Debemos advertir de paso que se han tomado en los factores de carga las relaciones del número de trenes i no de las potencias absorbidas, por cuanto aquellos se refieren ahora solo a la intensidad del tráfico, tomando el tren por unidad.

2. *Bases numéricas.*—Las bases necesarias para fijar las condiciones del régimen eléctrico son relativas a las potencias absorbidas en sus valores requeridos por las máquinas jeneratrices i las líneas de trasmision así como a la energía o trabajo totales consumidos en los espacios de tiempo considerados i por las unidades específicas de tren kilómetro o aun de tonelada kilométrica.

Del exámen de los gráficos contruidos al efecto se han deducido los valores siguientes:

(1) Relacion entre los números medios i máximos.

potencia normal máxima absorbida en las llantas de las ruedas.....	4.690 H. P.
» media diaria máxima » » » »	2.210 »
» » anual » » » »	1.770 »
número máximo diario de trenes-kilómetros.....	8.323 »

$$\text{energía media diaria por tren-kilómetro} \quad \frac{2.210 \times 24}{8.323} = 6,38 \text{ H. P. hora}$$

$$\text{energía media diaria por tonelada kilométrica} \quad \frac{6,38 \times 736}{200} = 23,40 \text{ watts. hora}$$

$$\text{potencia media cuadrada diaria máxima} \quad 2.280 \text{ H. P.}$$

Es de advertir que todos estos valores están calculados como aplicados en las llantas de las ruedas i, por tanto, que son independientes del rendimiento de las locomotoras.

Para el cálculo de la potencia media anual se ha supuesto que exista proporcionalidad entre las potencias máximas i medias i los números de trenes correspondientes e igualdad o equivalencia de los tiempos de aplicacion, durante el año, de los números máximo i mínimo de trenes diarios, lo que en realidad no es exacto, pero sin que influya apreciablemente dada la poca variacion de tráfico en el año i aun solo en los trenes de pasajeros.

La potencia media cuadrada, que es la raiz cuadrada del cuadrado medio de las potencias diarias cada media hora, es necesaria, como se verá mas adelante, para el cálculo de las líneas eléctricas.

Tenemos, por otra parte:

factor de carga diario; (potencia media	0,471
» » anual; (potencia máxima).....	0,378

De la observacion de las bases apuntadas se deduce que las condiciones del movimiento actual en cuanto a sus factores de carga i consumos específicos son favorables a la traccion eléctrica i que los valores máximos necesarios satisfacen las exigencias de una sola estacion jeneratriz hidro-eléctrica.

Sin embargo no son estos aun los valores que se han adoptado como límites ordinarios del servicio. En efecto, existe todavía en la seccion el servicio de locomotoras de maniobra en las estaciones, que pueden estimarse en número de 10 con potencia media de 30 H. P. cada una. Admitiendo que los dos tercios de este número funcionen en el momento de servicio máximo o medio, llegaríamos a la cifra de 200 H. P. de aumento para el máximo i para el medio.

Con el fin aun de dar mas elasticidad a las operaciones i ponernos a cubierto del aumento de tráfico en los años venideros, aun cuando ya este aumento está bastante consultado en la hipótesis de un servicio medio de trenes de 200 toneladas, i aun cuando con la traccion eléctrica se deberá realizar un aprovechamiento mui superior al que existe actualmente, hemos fijado los valores siguientes para el cálculo de la distribucion eléctrica:

potencia máxima en la llanta de las ruedas.....	5.000 H. P.
» media » » »	2.500 »
» media cuadrada » »	2.700 »

3. *Sistema de traccion adoptado; su justificacion.* — Los sistemas que se presentan hoy dia mas favorables para traccion eléctrica de ferrocarriles de tráfico medio i pesado, son tres, esencialmente distintos i que tienen ya aplicaciones prácticas en Italia, Francia, Suiza, Alemania, Suecia, Estados Unidos i algunos otros paises. Las características de estos sistemas en cuanto a alimentacion i distribucion son las siguientes:

- corriente continua a bajo voltaje, con toma de corriente aérea o por tercer riel;
- corrientes trifásicas a alto voltaje, con toma de corriente aérea;
- corriente alternativa monofásica a alto voltaje, con toma de corriente aérea.

Estos tres sistemas utilizan los rieles de la via como un conductor eléctrico.

Examinaremos brevemente los tres tipos i de aquí deduciremos la justificacion del sistema adoptado.

a). — *Sistema de corriente continua.* — Desde luego este sistema aplicado con un trolley aéreo, para un voltaje inferior a 1.500 volts, voltaje que no es posible elevar en el estado actual de la ciencia, i para potencias superiores a 100 kwts., es inadmisibile por la enorme seccion que debería tener el conductor.

El sistema del tercer riel, aplicado ya en muchos casos aun de tráfico pesado, exige por el contrario un estudio mas completo.

El riel de contacto, mantenido sobre aisladores a un costado de la via, es susceptible de conducir fuertes corrientes sin grave inconveniente, i las distancias entre los puntos de alimentacion solo varian en razon de la potencia exigida, a fin de no hacer subir la pérdida de voltaje en la seccion de un 0,10 del total, que actualmente es de 800 volts como máximo.

Por otra parte, con el objeto de reducir el costo de conductores de cobre alimentadores, hai necesidad de disminuir la longitud de la seccion alimentada por cada estacion, sea transformadora o jeneradora, hasta producir la compensacion con el costo de estas estaciones; bajo tales condiciones, la longitud usual para dichas secciones es en término medio de 10 a 15 kilómetros, fijándose 20 como máximo, i en jeneral tanto menor cuanto mas intenso es el tráfico.

En el caso presente, las circunstancias nos llevarian a un número de estaciones alimentadoras del tercer riel de 12 como mínimo i probablemente de 15 en 250 kms.

Ahora bien, como estas estaciones deben producir corriente continua al voltaje normal de servicio o ligeramente mayor, no se podría pensar en que cada una de ellas fuera una estacion jeneradora con energía hidráulica, dado su número i costo i sus condiciones hidráulicas, ademas de las otras razones que se han espuesto contra la multiplicidad de estaciones jeneratrices; por consiguiente ellas deben ser sub-estaciones de transformacion pues, tratándose de transmisiones a grandes distancias, se usaria el sistema que presenta mas ventajas o el único actualmente utilizado con gran preferencia cual es el de corrientes alternativas trifásicas de alto voltaje. Por tanto, la transformacion en las sub-estaciones debe ser de corrientes trifásicas de alto voltaje a continua de

bajo voltaje lo que se opera por medio de transformadores estáticos i conmutatrices rotatorias bien por los otros grupos de transformadores rotatorios, como el de motor sincrónico o asincrónico i dinamo, siendo este último el único que podría funcionar sin el auxilio de baterías reguladoras a causa de las variaciones bruscas i de gran intensidad de la carga.

Sin entrar en los detalles técnicos de las diferencias entre estos sistemas i de cuales convendrían al caso, bastará decir que los tres exigen máquinas rotatorias i por consiguiente atención i vigilancia continua i esmerada, i gastos de conservación i de lubricante, mucho mas aun si existen baterías de acumuladores.

Con todo, el sistema de corriente continua es muy usado en algunos ferrocarriles de Italia, Francia, Bélgica, Alemania, Austria, etc., i, con exclusion de los demas, en todos los metropolitanos eléctricos pues se presta muy bien para servicios rápidos i continuos pero de trenes livianos, de estaciones de parada frecuentes. La jeneralidad emplea como transformadores el grupo transformador estático i conmutatriz con batería reguladora.

b).— Sistema de corrientes trifásicas.— Este sistema consiste en alimentar los motores de induccion trifásicos llevados por las locomotoras o automotores, por medio de dos trolleys aéreos, siendo el tercer conductor los rieles de la via. Los conductores aéreos pueden estar a tensiones muy elevadas, siendo las actualmente usadas de 3,000 volts entre ellos i entre uno de ellos i la via, pudiéndose elevar aun con facilidad esa tension a 10,000 volts, lo que se ha experimentado con buen resultado.

Los dos conductores de servicio i la via son alimentados por un cierto número de sub-estaciones compuestas únicamente de transformadores estáticos, ya que la union de estas sub-estaciones con las plantas jeneratrices se efectúa con corrientes trifásicas i tambien de mayor voltaje. Aun, en ciertos casos, las jeneratrices producen la misma tension de servicio, i entonces no existen sub-estaciones, por ejemplo, si la mayor distancia de alimentacion no pasa de 30 o 40 km., segun las potencias.

Las principales ventajas del sistema en cuanto a la distribucion son: el aumento considerable que pueden tener las secciones servidas por cada sub-estacion, dado el voltaje elevado de servicio, para una pérdida igual o menor de voltaje; la ninguna atención que exigen las sub-estaciones por no existir en ellas órganos rotatorios ni reostatos de manobra, i el relativo pequeño costo de las líneas alimentadoras debido a las pequeñas corrientes que en ellas circulan, aun para grandes potencias. Por otra parte, la toma de corriente es mas eficaz i fácil por trolley aéreo de seccion reducida i que exige solo una pequeña superficie de contacto entre el conductor i el toma-corriente.

En fin, la alimentacion de los motores de los automotores, hecha al voltaje de servicio o a un voltaje reducido por transformadores estáticos llevados por el mismo automotor, se realiza de un modo mucho mas cómodo i seguro que en los motores de corriente continua, i así ellos no exigen casi en absoluto atención por cuanto no existe el colector que es una de las partes delicadas de estos últimos.

Pero, por el contrario, el sistema presenta graves inconvenientes, a saber: la complicacion de los dos conductores de trolley que llega a ser muy grande en los cambios i cruzamientos i en especial para velocidades elevadas; la invariabilidad de velocidad.

En realidad, estos motores no tienen sino una sola velocidad de marcha i todo lo

que se obtenga fuera de ella es a costa de pérdida de energía inadmisibles para un tiempo mas o ménos largo.

Existe, sin embargo, una solución teórica para el caso de varios motores, que consiste en acoplar los motores eléctricamente en tándem; sin embargo, esta solución obliga a emplear motores con alimentación a muy bajo voltaje o a al empleo de motores especiales para el caso de una marcha reducida i que no funcionan en marcha normal, solución defectuosa, sin duda, aunque está en uso práctico en la línea de la Valtelina en Italia. No entraremos al detalle técnico de estas soluciones por no presentar interés especial.

Por otra parte, la invariabilidad de velocidad produce potencias excesivas de consumo en las rampas i curvas fuertes pues, para sostener esa velocidad, las corrientes absorbidas son enormes, a fin de desarrollar siempre el esfuerzo de tracción necesario, siendo la potencia el producto de la velocidad por este esfuerzo. De modo que las fluctuaciones de la carga son mayores que en cualquiera otro sistema.

Por fin, existen aun dos inconvenientes mas de orden técnico, uno relativo a la caída del voltaje i otro al factor de potencia, en cuyo detalle no entraremos en esta descripción. Baste decir que el primero tiene por consecuencia reducir bastante la distancia entre las sub-estaciones alimentadoras, i que el segundo obliga a un mayor costo de cobre para una corriente dada, que si ese factor fuera la unidad, como debiera serlo, lo que es absolutamente imposible en esos motores sin colector.

En cuanto a rendimiento total para trayectos largos de pocas paradas i perfil suave, este sistema es superior al anterior; pero, fuera de tales condiciones, el de corriente continua lo supera con exceso.

c) *Sistema de corriente alternativa monofásica.*—Este sistema, que participa, en cuanto a la distribución, de todas las ventajas de los dos antes estudiados, ha sido mirado por los electricistas como el desiderátum por realizar para la tracción eléctrica de los ferrocarriles. En efecto, siendo la corriente alternativa, simple, no exige semejanza de las continuas sino dos conductores para su distribución i, por otra parte, el voltaje de servicio puede ser tan elevado como en las trifásicas, gracias a la facilidad de su modificación por transformadores estáticos. Las sub-estaciones pueden estar por este motivo muy espaciadas i solo constan de transformadores estáticos, aun cuando la transmisión se haga por trifásicas; por lo tanto, no exigen gastos, atención ni vigilancia sino reducidísimas i solo para atender a las protecciones de seguridad, i en costo son muy inferiores a los convertidores rotativos que las corrientes continuas exigen.

Sin embargo, lo que ha impedido la adopción de este sistema han sido las dificultades que presentaban los motores de corriente monofásica, dificultades que se han podido subsanar solo a costa de largos experimentos i estudios de parte de los electricistas i constructores.

Aparte de las condiciones de la distribución, las que no admiten comparación con las de los otros dos sistemas, el de corriente alternativa monofásica realiza también las ventajas que presenta el de corriente continua en lo que se refiere a la variación de velocidad i por lo tanto a la auto-regulación de la potencia absorbida, a la rapidez de los arranques, a la poca complicación en los reostatos de maniobra i a la escasa atención que

exijen los motores; tiene ademas sobre éste la superioridad de una menor o ninguna pérdida de energía en las velocidades intermedias de cero al máximo.

Recordando, pues, las condiciones de tráfico, forma i perfil de la via i las consideraciones de ellas deducidas, se ve, sin necesidad de cálculos exactos, que este último sistema presenta las ventajas siguientes:

Gran economía de instalacion sobre el primer sistema, debida a las sub-estaciones i a la red secundaria de conductores;

Economía de instalacion tambien sobre el segundo sistema, debida a la existencia de un solo conductor aéreo, a la supresion de complicaciones por este motivo i ademas a la reduccion del número de sub-estaciones;

Economía de explotacion sobre el primer sistema, por la supresion de la vijilancia continua i delicada de las máquinas rotatorias de las sub-estaciones, así como de los gastos de reparaciones, lubricantes, etc., e igualdad o superioridad de las condiciones técnicas del servicio;

Economía de explotacion sobre el segundo sistema, a causa del mejor servicio de velocidad de las locomotoras de régimen monofásico i del mejor trabajo de las máquinas generadoras.

La única superioridad del segundo sistema sobre el tercero reside en una economía de cobre de 0,25 en la red secundaria para una misma potencia, por usarse en esta red, en el segundo corrientes trifásicas i en el tercero monofásicas, ventaja que se encuentra de hecho compensada por el trolley simple.

Queda pues justificada la adopción del sistema de distribucion por corrientes alternativas monofásicas.

4. *Material rodante. Tipos de locomotoras empleadas.*—De acuerdo con las condiciones de la transformacion, el equipo de arrastre debe continuar en servicio, lo que no ofrece dificultad, salvo en los trenes de carga, en los cuales es necesario consultar disposiciones de proteccion contra los accidentes debidos a contactos de las personas del servicio o de materiales con el conductor aéreo.

En los trenes de pasajeros existen a la fecha dos soluciones en cuanto al equipo: o bien se hace el servicio con locomotoras eléctricas independientes del resto del tren, o bien cada tren es formado de un cierto número de coches automotores que remolcan otros del tipo corriente, lo que constituye el sistema de unidades múltiples.

Este último posee ventajas considerables relativas a la rapidez del arranque, mejor aprovechamiento del peso, menor costo i mejor rendimiento medio; pero en cambio cuando los trenes llegan a pesar mas de ciento cincuenta toneladas i el servicio no es mui frecuente i las partidas no mui rápidas, las ventajas están por las locomotoras independientes.

En el caso actual, de servicio no frecuente i pesado, hemos estimado mas conveniente el empleo de locomotoras poderosas, lo que reduce por otra parte los gastos de explotacion sobre el sistema de automotrices, a causa del menor número de motores i de su mejor aprovechamiento en servicios de composicion variable.

Entre los diversos sistemas que utilizan una corriente alternativa monofásica de

alta tension, hai dos que poseen mayores ventajas i son los llamados el Ward-Leonard i el Lamme-Westinghouse o Finzi.

En el primer sistema, el automotor recibe la corriente monofásica i dentro de él la transforma en continua, siendo ésta la que alimenta los motores de los ejes que funcionan, entónces como en el sistema de corriente continua aunque con mas perfeccion, por la mejor regulacion del voltaje para velocidades variables. Se presenta en cambio el inconveniente de que la locomotora es en realidad una sub-estacion con transformadores estáticos i rotatorios, existiendo por tanto una cierta complicacion; mas desventajoso todavía es el gran peso de dichos aparatos lo que hace subir el peso de la locomotora a cerca de cien toneladas para potencias de 1.000 H. P. Por lo demas, el sistema es bastante perfecto i a la fecha la Compañía Oerlikon de Zurich construye locomotoras de este tipo i con ellas se proyecta la transformacion de la red suiza.

El segundo sistema, Lamme-Westinghouse, resuelve mas directamente la cuestion, empleando motores monofásicos asincrónicos sistema serie, que funcionan sobre un voltaje máximo de 220 volts; pero, por la disposicion de connexion continua de dos motores en serie, el voltaje es reducido de la alta tension a 440 volts como máximo, pudiendo variar gracias a un regulador de induccion desde 200 hasta 440, lo que permite obtener una perfecta regularizacion de las velocidades intermedias sin pérdida de energía.

Los inconvenientes de estos motores residian en la existencia de chispas en el colector, lo que los deterioraba rápidamente; pero Mr. Lamme ha llegado a subsanar este defecto con dispositivos especiales. Por fin, el inconveniente práctico es la baja frecuencia exigida i que para los tipos en uso es de $16\frac{2}{3}$ períodos por segundo; pero actualmente se estudia el medio de introducir la frecuencia normal de 25 períodos i será ella la adoptada.

Réstanos ahora fijar las condiciones de servicio de estas locomotoras para el caso en estudio.

Las características de funcionamiento de tales motores son las mismas de los motores serie de corriente continua, con un par motor de arranque mui enérgico que disminuye a medida del aumento de velocidad, con un rendimiento a plena carga de 0,88 a 0,90 i con un factor de potencia de 0,86 que aumenta a medida que disminuye la carga, siendo de 0,93 a media carga.

Para fijar el número i la potencia de los motores, tomaremos en cuenta los datos obtenidos acerca de la actual explotacion a vapor en la línea de Santiago a Talca.

De las observaciones apuntadas sobre el funcionamiento de los motores se deduce que pueden las locomotoras, para el servicio actual, reducirse a solo dos tipos, de carga i de pasajeros.

a). — *Locomotoras de carga.* — Los datos que las caracterizan son: la potencia máxima normal, el esfuerzo de traccion máximo, la velocidad máxima i, por otra parte, las condiciones de trabajo medio.

De los cálculos ya detallados se deducen las cifras siguientes:

potencia actual máxima.....	570 H. P.
esfuerzo de traccion máximo, deducido del peso adherente.....	5.490 k.

velocidad máxima normal.....	40 km/h.
potencia media desarrollada.....	200 H. P.
velocidad media.....	20 km/h.

Es verdad que en la práctica se sobrepasa a veces la potencia máxima de 570 H. P., pero tal exajeracion es injustificada.

Calculando, pues, sobre la base de los máximos, podemos equipar la locomotora eléctrica con 4 motores de 150 H. P. cada uno, capaces de desarrollar un esfuerzo de traccion máximo de 5.490 k. i una velocidad máxima de 40 km/h.; por consiguiente, como cada motor va actuando sobre un eje i como todos los ejes son motores, su peso adherente mínimo será de 38.425 k., i su peso total mínimo, de 40 toneladas en números redondos.

Hai que advertir que el esfuerzo de traccion máximo se ha calculado para la marcha en las condiciones mas desfavorables del trayecto i que el esfuerzo de traccion en los arranques, para trenes de carga en que el período de aceleracion excede de 60 segundos, es mui poco superior al normal en marcha; por otra parte, en caso de partida en la posicion mas desfavorable, ese período se aumenta aun mucho mas.

En efecto el esfuerzo de aceleracion F es espresado por

$$F=1.000 \frac{P+Q}{g} \gamma \text{ kg}$$

siendo P i Q los pesos respectivos del tren i la locomotora, en toneladas, v la velocidad i γ la aceleracion, en metros por segundo.

Si la velocidad final es de 40 km/h. i el período es de 60 segundos, supuesta la lei lineal, la aceleracion será de

$$\frac{40}{60} = 0,66 \text{ km./h./s.}$$

Si $P+Q$ es igual 270 t., como se ha visto, se obtiene

$$F=1.000 \cdot \frac{270}{9,8} \cdot \frac{0,66}{3,6} = 5.045 \text{ k.}$$

i el esfuerzo necesario para vencer la rampa máxima es de

$$270 \times 1.000 \times 0,0162 = 4.375 \text{ k.}$$

Se ve, pues, que la diferencia es pequeña i aun desaparece, si se considera que en este último cálculo no se ha tomado en cuenta el viento, que a 40 km/h. influye mucho, i que se ha contado con una aceleracion bastante fuerte i con la velocidad máxima.

Naturalmente en estos cálculos se suponen las resistencias de rodadura iguales en ámbos casos, aun cuando se ha visto que ellas aumentan con la velocidad.

La potencia consumida en la partida resulta menor que la gastada en marcha en

estas condiciones, pues en el primer caso la potencia requerida por la aceleración es en término medio de

$$5.045 \cdot \frac{40}{2 \times 3,6} = \frac{100.900}{3,6} = 32.100 \text{ kgm./s.}$$

$28030 \cdot 375 \text{ H.P.}$

i en el segundo caso de

$$4.375 \cdot \frac{40}{3,6} = \frac{175.000}{3,6} = 48.600 \text{ kgm./s.}$$

Por otra parte, las locomotoras eléctricas tienen un peso adherente muy superior debido a que aprovechan para la adherencia la totalidad de su peso que varía entre 50 i 70 toneladas en el caso que consideramos.

b). — *Locomotoras de pasajeros.* — Los datos que las caracterizan son:

potencia máxima normal.....	650 H. P.
esfuerzo de tracción máximo.....	4.500 k.
potencia media desarrollada.....	400 H. P.
velocidad media de los trenes ordinarios.....	40 km./h.
» » » » espresos.....	65 km./h.
» máxima.....	80 km./h.

Vista la posibilidad de trabajar con estas locomotoras a cualquier velocidad sin disminución apreciable de rendimiento, podemos adoptar un tipo común para los trenes ordinarios i espresos; cada locomotora será equipada con cuatro motores de 200 H. P. cada uno, capaces de desarrollar un esfuerzo máximo de 4.500 k. i una velocidad máxima de 80 k./h. Su peso adherente mínimo será de 31.500 k. i por tanto su peso total mínimo de 32 toneladas en números redondos.

La aceleración que pueden producir estas locomotoras bajo la base supuesta de que el esfuerzo máximo de tracción se produzca en la rampa de 0,0162, siendo iguales los demás esfuerzos en ambos casos, será de

$$\gamma = \frac{F \times g}{1.000(P + Q)} = \frac{4.375 \times 9,8 \times 3,6}{1.000 \times 270} = 0,57 \text{ km./h./s.}$$

Esto corresponde a un periodo de tiempo de

$$\frac{80}{0,57} = 140 \text{ segundos}$$

lo que es mas que suficiente para trenes pesados.

En realidad, este tiempo será reducido debido al mayor peso adherente de las locomotoras.

El peso efectivo de las locomotoras eléctricas variará entre 60 i 70 toneladas, según los datos obtenidos.

Por lo demas, estas locomotoras podrán desarrollar con facilidad 1.000 H. P. durante cierto tiempo i aun en buenas condiciones.

Los trenes mistos podrán usar uno u otro tipo de locomotoras, segun su carga i su itinerario.

5. *Adaptacion de la via a la traccion eléctrica.*—Las condiciones mecánicas de la explotacion eléctrica serán iguales a las de la actual explotacion a vapor i, por consiguiente, vista la constitucion robusta de la vía, el nuevo sistema no exigirá en ella modificacion mecánica alguna; la adaptacion de la via se reducirá, pues, a asegurar su buena conductibilidad eléctrica, ya que ella servirá como conductor de corriente.

Dicha conductibilidad se realiza mediante conexiones entre las juntas de los rieles, que consisten en un conductor de cobre de 0,006 m. de diámetro unido al alma por medio de tarugos especiales, como en el tipo Chicago que será el adaptado. Ademas, la union eléctrica de las dos filas de rieles se efectuará por conductores del mismo tipo, colocados cada 100 m.

La resistencia eléctrica de la via, constituida por rieles de acero de 38,5 k./m¹. i de 9,144 m. de longitud, puede estimarse como sigue:

resistencia kilométrica del riel simple.....	0,037	ohms
» de 109 juntas por kilómetro, siendo la resistencia de cada una de 0,00005 ohms.....	0,0054	»
resistencia total.....	0,0424	ohms
resistencia kilométrica de la via.....	0,0212	»

6. *Distribucion de la potencia. Línea eléctrica de servicio.*—Las características de una distribucion monofásica son dos, la frecuencia i el voltaje; pasaremos a determinarlas en vista de las condiciones del problema en estudio.

La frecuencia depende de los motores de las locomotoras, que hemos visto exigen solo una frecuencia de $16\frac{2}{3}$ periodos por segundo; sin embargo, por ser ésta impropia para el alumbrado i en vista de los perfeccionamientos que se estudian para estos motores a fin de que puedan trabajar correctamente a la frecuencia 25, que ya es aceptable para el alumbrado de incandescencia, adoptaremos este último valor.

Tal aumento de frecuencia trae consigo tambien una economía nada despreciable de peso i de costo de los transformadores, tanto de la locomotora como de las sub-estaciones i de la estacion central.

El valor del voltaje es fijo por una parte por las condiciones de aislamiento i por otra por las condiciones comparadas de la potencia consumida, de la distancia de las sub-estaciones i de las secciones del conductor aéreo i de los alimentadores. Con todo, hai ventaja en elevar el voltaje en lo posible para grandes distancias i potencias, i precisa-

mente para estos casos se han hecho numerosos ensayos en condiciones de velocidad muy elevada y de grandes potencias.

El límite alcanzado con muy buen resultado para trolleys aéreos ha sido de 10.000 volts, con velocidades superiores a 100 k/h. y potencias hasta de 1.000 H. P. Se cree aun que no hay dificultad para sobrepasar ese límite, sobre todo si se desiste de aplicar directamente esta tensión a los motores, ya que en transmisiones se ha llegado a servicio corriente a 50.000 volts. Actualmente se proyectan transformaciones de ferrocarriles por este sistema a 7.500 volts y 10.000 volts, lo que nos ha inducido a emplear la primera de estas tensiones para el servicio en cuestión.

Queda, pues, fijada la tensión de servicio en 7.500 volts eficaces, lo que por otra parte nos conduce, como se verá, a una buena distribución de las sub-estaciones y a secciones corrientes de conductores.

El número y ubicación de las sub-estaciones que efectuarán la distribución en la línea de servicio, deberá fijarse tomando en cuenta la sección de vía que alimentará cada una de ellas y su distancia a la central generatriz. En efecto, el mínimo de costo para la transmisión de la potencia desde la central a las sub-estaciones, bajo una densidad de corriente constante, corresponde a una posición tal de estas últimas que la potencia media que ellas suministren esté en razón inversa de su distancia a aquella. Por otra parte, su número depende de la distancia máxima a que puede alimentarse la línea de servicio sin pasar de una pérdida racional en ella o en los alimentadores y sin un costo excesivo de estos últimos.

Como valores prácticos, la transmisión económica de potencias inferiores a 1.000 H. P. y para un voltaje de 7.500 volts, con pérdidas menores de 0,10, puede efectuarse hasta una distancia de 20 a 30 kilómetros. Por consiguiente, como hay conveniencia en reducir el número de sub-estaciones tanto por su costo elevado como para aumentar su factor de carga, podremos fijar teóricamente la extensión de línea alimentada por cada una en 50 kilómetros como término medio y como primera solución.

Además existe otra condición práctica relativa a la sección de vía férrea en estudio, cual es el que no todos los trenes recorren su longitud total. Esto obliga también a tomar en cuenta, para el seccionamiento de la vía, el que en lo posible los términos de secciones coincidan con las estaciones términos de trenes a fin de evitar el excesivo consumo en un extremo de una sección, lo que aumentaría inútilmente el costo de esos alimentadores.

Tratando de coordinar estas diversas condiciones, se ha llegado a un seccionamiento de la longitud total en 5 partes, teniendo presente: que la condición relativa a la economía de conductores de transmisión no continúa realizándose bajo un cierto límite de potencia, pues tales conductores no pueden bajar de ciertas dimensiones por condiciones mecánicas; y que en cada sección existirá siempre hacia los extremos una parte que será alimentada solo por la misma línea de servicio, la que tendrá una sección suficiente para conducir la corriente a uno o dos trenes, produciendo una pérdida ínfima, lo que permite forzar un poco la longitud de las secciones.

En vista de las consideraciones anteriores hemos llegado a fraccionar la línea de Santiago a Talca en las siguientes secciones:

de Santiago a Buin.....	32 kilómetros
de Buin a Rancagua.....	50 »
de Rancagua a San Fernando.....	52 »
de San Fernando a Curicó.....	51 »
de Curicó a Talca.....	65
total.....	250 kilómetros

La ubicacion de las sub-estaciones i sus distancias a la jeneratriz, situada a 12 km. de Rancagua, son:

San Bernardo, a.....	73 km.
Angostura, a.....	35 »
Rengo, a.....	30 »
Quinta, a.....	77 »
Camarico, a.....	137 »

La potencia máxima de cada sub-estacion depende del máximo que se produzca en la seccion respectiva, máximo que se ha deducido del gráfico del itinerario buscando el momento en que se encuentra en ella el mayor número de trenes con el máximo de potencia efectiva. Si adoptamos ademas un rendimiento medio de 0,80 en las locomotoras i de 0,94 en las líneas secundarias eléctricas, o sea de 0,75 en el total, se obtiene para las diversas secciones, en el orden indicado:

potencia máxima absorbida.....	1.100 H. P.
» » »	1.240 »
» » »	1.190 »
» » »	1.430 »
» » »	1.320 »

i para las diversas sub estaciones, siempre en el orden indicado:

potencia máxima eléctrica.....	1.468 H. P.
» » »	1.652 »
» » »	1.588 »
» » »	1.908 »
» » »	1.760 »

Es de notar que la suma de estos máximos da 6.280 H. P., mui superior al máximo total que es de 4.690 H. P. Esto pone de manifiesto la economía que se realizará al em-

plear una sola estacion jeneratriz hidráulica, i proviene simplemente de que tales máximos no son simultáneos.

Considerando, pues, el sistema de elasticidad del servicio que hemos supuesto i observando que el aumento de tráfico se verificará en mayor escala en las secciones próximas a Santiago, hemos fijado el valor uniforme de 2.000 H. P. para cada sub-estacion.

Pasemos ahora al cálculo de la red secundaria.

Las líneas eléctricas se calculan, cuando las corrientes que las recorren son variables, con la corriente media cuadrada, por las razones que mas adelante se indican. De mas está decir que, siendo en teoría constante el voltaje, las corrientes serán proporcionales a las potencias, salvo los casos en que el factor de potencia varie; aquí se supondrá ese factor constante, por lo pequeño de sus variaciones.

Debemos, pues, comenzar por determinar cuál será esa potencia media cuadrada, o bien simplemente la media, puesto que la anterior puede deducirse sin grave error de esta última.

Lógicamente debieran obtenerse tales valores para cada seccion así como se ha hecho para el total; pero, habiendo aceptado para los valores dichos, en el total, cifras mas elevadas que las deducidas de los gráficos i que no pueden en consecuencia revestir el carácter de exactitud matemática, no es lógico proceder aquí para el cálculo de la red sino con valores deducidos aproximadamente tomando en cuenta los aumentos efectuados.

Por lo demas, aunque no fuera éste el caso, debería procederse siempre suponiendo valores medios deducidos por comparacion, i solo vendria a efectuarse el cálculo exacto como comprobacion final.

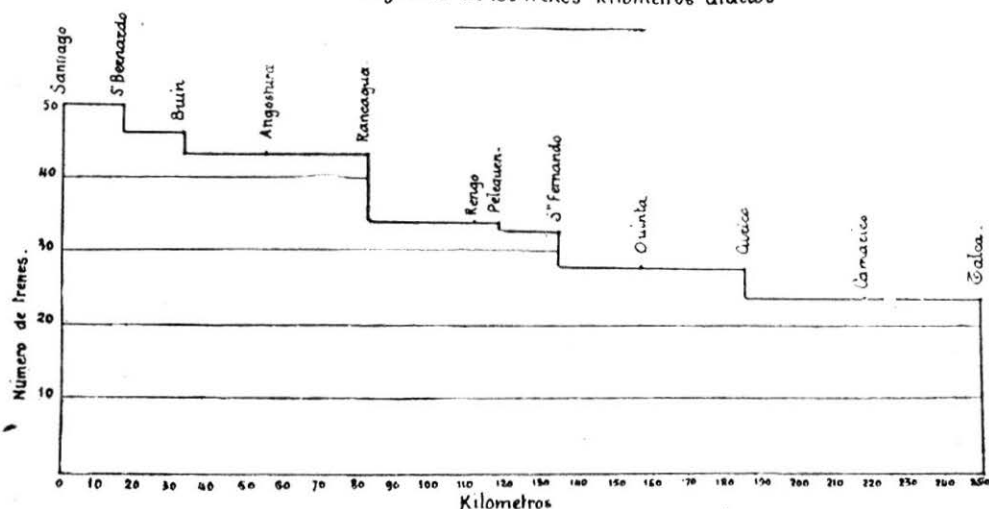
En nuestro estudio hemos raciocinado del modo siguiente: dado el perfil bastante uniforme de la via, la enerjía total diaria en cada seccion debe estar sensiblemente en razon directa con el número de trenes-kilómetros recorridos en ella; algo análogo podemos decir de la potencia media cuadrada, aunque la lei relativa es probablemente parabólica; pero, para la aproximacion de que se trata, aceptaremos la misma actuacion, teniendo en vista que la proporcionalidad seria exacta caso de que los trenes fueran todos de una misma potencia.

Luego, como la enerjía media diaria máxima se obtiene por el producto de la potencia media por 24 horas i como este tiempo será el mismo para todos los casos, bastará dividir esa potencia proporcionalmente al número máximo de trenes kilómetros de cada seccion.

En realidad, esto seria aun mas exacto tomando el número de trenes kilómetros medio anual, pero, con la solucion adoptada, no hacemos sino colocarnos en condiciones de tráfico un poco superiores.

Partiendo del diagrama de los números de trenes-kilómetros i efectuando la division de la potencia media cuadrada, supuesta de 2.700 H. P., en partes proporcionales a esos números, se obtiene:

Diagrama de los trenes kilometros diarios



Secciones	Núm. de trenes kilómetros	Potencia media cuadrada
1.	1.536	$\frac{2.700 \times 1.536}{8.323} = 498 \text{ H. P.}$
2.	2.150	$\frac{2.700 \times 2.150}{8.323} = 698 \text{ H. P.}$
3.	1.751	$\frac{2.700 \times 1.751}{8.323} = 568 \text{ H. P.}$
4.	1.326	$\frac{2.700 \times 1.326}{8.323} = 430 \text{ H. P.}$
5.	1.560	$\frac{2.700 \times 1.560}{8.323} = 506 \text{ H. P.}$
	8.323	2.700 H. P.

Por consiguiente, si adoptamos el rendimiento de 0,80 en los motores, la potencia absorbida por ellos debe ser en kilowatts, para las diversas secciones, segun su orden:

$$\frac{498 \times 0,736}{0,80} = 458 \text{ kws.}$$

$$\frac{698 \times 0,736}{0,80} = 645 \text{ kws.}$$

$$\frac{568 \times 0,736}{0,80} = 523 \text{ kws.}$$

$$\frac{430 \times 0,736}{0,80} = 396 \text{ kws.}$$

$$\frac{506 \times 0,736}{0,80} = 465 \text{ kws.}$$

Toca ahora estudiar la alimentacion de la línea aérea, por partes dentro de cada seccion, lo que tiene un doble objeto: en primer lugar, reducir las pérdidas de voltaje a un límite pequeño, i en segundo prever el caso de interrupcion de la alimentacion por algun punto a fin de poder siempre alimentar dicha seccion. Esto está en relacion inmediata con la seccion transversal de los conductores i con la potencia consumida en cada trozo, por lo que, a fin de permitir los tanteos para dichas longitudes, es preciso conocer la densidad de corriente que se debe adoptar para los conductores.

La densidad de corriente es fijada por las condiciones económicas del problema. En efecto, la suma del precio de la energía perdida por calor o efecto Joule en las líneas i del valor del interes i amortizacion del material de las mismas tiende hácia un mínimo, por cuanto, si se aumenta la seccion del conductor, menor será su resistencia i por lo tanto menor la pérdida *i²r* del efecto Joule, mientras que, por el contrario, crece el valor del interes i amortizacion de ese capital.

El problema se presenta técnicamente bajo dos formas: en una de ellas, la intensidad de corriente es independiente de la longitud de la canalizacion, i en la otra estas cantidades no son independientes entre sí. En el caso actual se trata de la segunda pues, siendo fijo el voltaje de las subestaciones i fija la potencia exigida por los receptores, es evidente que la corriente será tanto mayor cuanto mayor sea la pérdida de voltaje debido a la resistencia total de la línea. Este cálculo es bastante largo i complicado, i en jeneral no se efectúa sino como comprobacion en el estudio definitivo; por otra parte, en el caso que consideramos, las pérdidas admisibles son mui débiles i el cálculo se hace solo con el objeto de fijar las secciones como primera aproximacion, la que en realidad nunca difiere mucho de la verdad por cuanto una funcion en los alrededores del mínimo tiene poca variacion. En virtud de estas consideraciones i reservando siempre la idea de la comprobacion exacta, adoptaremos el primer caso, mas espedito, aceptando los valores corrientes.

El cálculo del problema, cuyo detalle no espondremos para abreviar, llega a la expresion final como valor de la densidad de corriente mas económica:

$$\delta = \sqrt{\frac{n a}{p \rho t}}$$

siendo

n = precio del cobre en pesós (proporcional a la seccion),

a = tasa de interes i amortizacion de las líneas,

p = precio del watt-hora suplementario consumido,

ρ = resistencia específica del cobre,

t = número de horas anual de servicio.

Los valores que se asignan a estas cantidades son los siguientes:

$n = 1,20 \times 0,001 \times 8,9 = 0,01068$, (siendo el precio del kilógramo de cobre electrolítico en Chile de \$ 1,20, siendo 8,9 su densidad i reduciendo el todo a gramos, como proporcional a la seccion),

$a = 0,10$ (siendo 7% de interes i 3% de amortizacion),

$p = 1,2 \times 10^{-5} = 0,000012$. (este valor, que no se puede deducir en Chile de la experiencia por no existir ésta en proporcion suficiente, ha sido fijado en vista de precios europeos reducidos al tipo de 18 peniques, para el caso de central hidráulica i sub estaciones de transformadores estáticos.)

$c = \frac{1}{60}$ por metro de longitud milímetro cuadrado de seccion,

$t = 24 \times 365 = 8.760$ horas.

Se obtiene así:

$$d = \sqrt{\frac{0,01068 \times 0,10 \times 60}{0,000012 \times 8.760}} = \sqrt{\frac{0,0696}{0,105}} = 0,81 \text{ ampère. por mm.}^2$$

Podemos, pues, adoptar la densidad de 0,8 ampères por m/m^2 sin inconveniente, observando que, por los demas, ella cumple con las condiciones de seguridad prescritas.

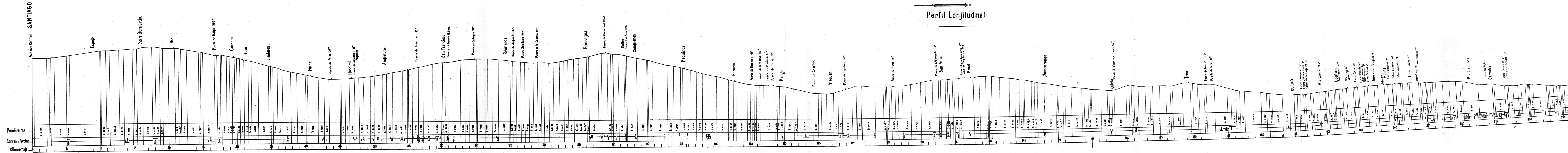
(Continuará).

Año 1905 - pag 23



Ferrocarriles del Estado.
Linea Central de Santiago à Talca

Perfil Longitudinal



Plano de la distribucion eléctrica.

Escala 1: 250.000.

