Ante-proyecto para la construccion de un ferrocarril a vapor, de trocha de un metro, desde la Estacion de Puquios del Ferrocarril de Copiapó, hasta la Frontera de la República Arjentina

POR

CÁRLOS LANAS C.,
Injeniero Civil.

Antecedentes

La construccion de un ferrocarril trasandino por Copiapó es un problema que ocupa la atencion pública desde hace muchos años.

Los primeros reconocimientos datan de la época en que se iniciaba la construccion del Ferrocarril de Caldera a Copiapó que, como se sabe, fué el primero que se construyó en Sud-América.

Cuando los ferrocarriles arjentinos no habian estendido sus líneas a las provincias de La Rioja, Catamarca i Jujui, el comercio de importacion de estas provincias se hacia en gran parte transportando las mercaderias a lomo de mula por la ruta que hoi se proyecta para este ferrocarril.

En 1864 el injeniero constructor del Ferrocarril de Caldera a Copiapó, don Guillermo Weelwright, comisionó al injeniero don Nicolas Naranjo para que hiciera un reconocimiento por el paso de San Francisco, que se consideraba como el ménos espuesto a ser obstruido por las nieves; en vista de los resultados favorables de este reconocimiento en 1868, el mismo señor Wheelwright organizó una nueva comision de estudio que puso bajo la direccion de los señores Flindt i Rolph, para reconocer la misma vía i esta comision confirmó la practicabilidad de la obra.

En 1872 la empresa del Ferrocarril de Copiapó comisionó al injeniero don Francisco Sayago para que estudiase nuevamente esta misma ruta; el señor Sayago presentó un luminoso informe con la ruta siguiente: Puquios (1 238 m. n/m.) siguiendo el valle de San Andres para cruzar la cuesta de Codocedo (4 534 m. n/m.) baja a la meseta de Maricunga (3 940 m. n/m.) remonta el cordon de Tres Cruces (4 728 m. n/m.)

baja a la Laguna Verde para subir a la altiplanicie de San Francisco, ganando el Portezuelo del mismo nombre a 4 534 metros sobre el nivel del mar, con una lonjitud de 205 kilómetros desde el punto de partida.

En vista de este informe, la Compañia del Ferrocarril de Copiapó solicitó i obtuvo por lei de 13 de Noviembre de 1874, la autorizacion necesaria para construir i esplotar una vía férrea, de un metro de trocha, que partiendo de Puquios siguiera por San Andres, a travez de la Cordillera de los Andes, hasta empalmar con el Ferrocarril Central Arjentino. El gobierno garantizaba a la Compañía el interés del 7% anual sobre un capital fijo de $ 3 000 000, por el término de 20 años, contados desde el dia en que la línea quedara entregada al tráfico en toda su estension, con sus estaciones i equipo correspondiente. Esta lei caducó por falta de cumplimiento de la Compañía.

Tomando en consideracion el tipo del cambio en oro de la moneda nacional en la fecha en que se dictó la lei citada i el que rije en la actualidad, se ve que la suma que garantizaba no dista mucho del valor del presupuesto que fija este ante-proyecto como costo aproximado de la obra.

Posteriormente don Federico Varela encomendó al distinguido injeniero don Benjamin Vivanco la ejecucion de nuevos estudios, los que hizo obteniendo los siguientes resultados: abandonar la ruta de Pulido que pasa por el Portezuelo de Come Caballos, por tener que colocar el trazado en un valle mui estrecho i tortuoso, donde las nieves serían un gran obstáculo para esa vía; en cambio la ruta de San Francisco, que justifica plenamente en su informe, la estudia detalladamente, pasando por Codocedo. El presupuesto de su estudio arroja un total de £ 1 190 000.

En 1907 los injenieros señores Abelardo Pizarro, José Luis Coo i Francisco J. Prado presentaron una solicitud al Gobierno para construir un ferrocarril trasandino que pasaría por Puquios, San Andres i Maricunga. Solicitaban una subvencion a fondo perdido de £ 175 000 i una prima de £ 1,500 por cada kilómetro de vía sobre un largo calculado de 250 kilómetros, o sean $ 431 725 oro de 18 d, mas o ménos el 37% del costo que ellos calcularon, i en cambio daban al Gobierno £ 250 000 en acciones de una Sociedad que se formaría con un capital de £ 1 500 000 para la construccion i esplotacion del ferrocarril.

Esta solicitud fué estudiada por el señor Luis Schmidt, actual sub-secretario de la Seccion de Ferrocarriles del Ministerio de Industria i Obras Públicas, i en un estenso i concienzudo informes llega a conclusiones contrarias a lo pedido por los solicitantes, por considerar inconveniente para el Estado el sistema de subvenciones para este jénero de empresas.

Posteriormente el Gobierno arjentino ha hecho practicar estudios definitivos para la construccion de un ferrocarril que, partiendo de Tinogasta, Estacion del Ferrocarril en Esplotacion Central Norte, de propiedad fiscal, llegue hasta el límite andino; i el año próximo pasado el Congreso Arjentino votó la suma de $ 8 000 000 oro de 48 d. para la construccion de la Seccion Arjentina.

Correspondiendo a estas medidas, el señor Ministro de Industria i Obras Públicas, don Javier Gandarillas Matta, ordenó la ejecucion de los estudios de la Seccion Chilena i solicitó de su colega el señor Ministro de Relaciones Esteriores que estudiara las bases de una convencion que llevarian a cabo los dos Gobiernos, ántes de iniciar los trabajos de construccion.

Estas bases no son difíciles de estudiar i acordar, puesto que el ferrocarril proyectado va a unir dos redes de ferrocarriles de propiedad fiscal, Central Norte Arjentina i Caldera a Puquios, i por consiguiente no puede temerse que primen intereses particulares para el desarrollo de su esplotacion.

Contratados los estudios para un ante-proyecto con el infrascrito, se dió comienzo a ellos haciendo un reconocimiento preliminar de otras rutas que no habian sido indicadas, como la Quebrada de Paipote i particularmente de una que reconoció, por el paso denominado Valle Ancho, el injeniero don Víctor Caro Tagle, cuando era miembro de la Comision de Límites.

Ruta seguida por el trazado

Antes de iniciar el estudio en detalle comenzamos por efectuar una serie de esploraciones i reconocimientos preliminares que nos permitieron fijar los puntos obligados del trazado; estos reconocimientos los dividiremos en dos secciones, a saber: Primera: *Puquios a Maricunga* i Segunda: *Maricunga al límite andino.*

Puquios a Maricunga.—Por el aspecto jeneral de la Cordillera i por los diferentes planos de la zona qne habíamos consultado, sólo se presentaban dos soluciones por estudiar i eran las correspondientes a las rutas de San Andres i Paipote.

La primera, ya mui reconocida por los injenieros señores Sayago, Vivanco i otros, fue solucionada con tres trozos de cremallera, mui distantes uno de otro, el primero a 25 kilómetros de Puquios, con 6,5 kilómetros de largo i pendiente de 8,66%; el segundo a 35 kilómetros del primero con pendiente de 6,66% i el tercero a 65 kilómetros del segundo con 6,50% de pendiente. Habia ademas proyectado un túnel de 6 300 metros de lonjitud.

Con estos antecedentes, recorrimos con sumo cuidado las dos rutas i el problema se simplificó notablemente.

Teníamos que salvar la Cordillera de los Andes que se presenta con dos cordones paralelos, separados por la hoya de Maricunga; el primero formado por el Cordon de los Chilenos cuyas cumbres principales son: Cerro del Azufre, Cerro del Toro, Doña Ines, etc.; presenta *dos portezuelos* accesibles a una línea férrea i que corresponden a las *quebradas de San Andres i Paipote* i que tienen, mas ó ménos, la misma altura. El de San Andres, que es el de mas al Norte, está ubicado en la parte mas ancha del cordon, lo que indujo al injeniero señor Vivanco a proyectar un túnel de 6 300 metros de largo i está mui al Norte de la ruta jeneral del trazado, teniendo que atravesar la hoya del Maricunga por el lado Norte, para volver al Sur en una lonjitud como

de 20 kilómetros. Ademas, la quebrada de San Andres, obligada para este portezuelo, presenta condiciones tales que no permiten suprimir la cremallera; a 25 kilómetros de Puquios existe un salto de 450 metros de altura i de un largo de 5 a 6 kilómetros, con faldeos de piedra suelta i rodados, sin quebradas laterales por donde poder desarrollar un trazado de menor pendiente; para salvar estas dificultades no se divisa otra solucion que la de apelar a la cremallera con una pendiente de 8,66%. Por esta razon desechamos esta ruta.

En el reconocimiento de la quebrada de Paipote se comprobó que podia salvarse el portezuelo de la Cuesta de los Chilenos con un túnel de menor lonjitud *(que resultó de 1,420 mts.)* i que los desarrollos en adherencia eran posibles en toda su estension; los faldeos son mas suaves; hai varias quebradas laterales que desembocan en la principal, por las cuales es posible tomar el desarrollo que se quiera.

Como en la Quebrada de San Andres, en la de Paipote, a los 25 kilómetros de la Estacion de Puquios, encontramos el Salto de La Puerta, de menor altura i con faldeos rocosos; un estudio minucioso nos dió una solucion sin cremallera, mui costosa; pero absolutamante segura para el tráfico.

Este reconocimiento, hecho con buenos aneroides, telémetros i eclímetros, nos dió el convencimiento de que entre Puquios i Maricunga la ruta que deberia seguirse es la de la quebrada de Paipote.

Maricunga al límite andino: Desde la boca del túnel del Portezuelo de los Chilenos hácia la hoya de Maricunga no hai dificultad para bajar; esta hoya es una gran planicie que termina en los contrafuertes que forman el acceso a la meseta de Tres Cruces; los reconocimientos se hicieron para remontar a esta meseta por varias partes, encontrando que la única ruta justificada era seguir por la hoya del rio Lamas hasta Tres Cruces i Peñas Blancas, teniendo desde allí que seguir por la hoya de Laguna Verde, para subir hasta el Portezuelo de San Francisco; la única dificultad en este trayecto se encuentra en la hoya del Rio Lamas que es necesario forzar con un largo desarrollo, para no sobrepasar el límite de 3% de la línea de adherencia; esto obliga, ademas, a hacer un gran movimiento de tierras i a tener curvas de mui corto radio.

Para la facilidad del estudio de esta ruta dividimos el trabajo en dos secciones: la primera de Maricunga a Tres Cruces i la segunda de Tres Cruces a San Francisco.

Terminados estos reconocimientos recibimos órden del señor Ministro de Industria i Obras Públicas, de reconocer la ruta de Maricunga a Valle Ancho. Esta ruta no presenta dificultades; es un valle contínuo con una pendiente inferior a 3% i el acceso al Portezuelo de la Cumbre, 91 metros mas bajo que el de San Francisco, es mui fácil i 57 kilómetros mas corto que el trazado Maricunga a San Francisco.

El mas lijero estudio indica la conveniencia de adoptar esta ruta.

Ruta del Ante-Proyecto

I i II Seccion.—Puquios a Maricunga

Terminado el reconocimiento que queda descrito, se inició el estudio taquimétrico por el estremo oriente de la Estacion de Puquios, situada a 142 kilómetros de Caldera i a una altura de 1,238 metros sobre el nivel del mar.

Se trazó una poligonal desde la Estacion nombrada hasta el lugar denominado la Encrucijada (Km. 18.100) que es donde empalma la quebrada de San Andres; la pendiente media es inferior a 2% i el trazado se hizo con rectas largas i curvas de gran radio. Aquí se proyectó un paradero para recibir la carga de minerales, leñas, etc., que pueda venir por la quebrada de San Andres.

Desde la Encrucijada se tomó el faldeo Sur de la Quebrada de Paipote, subiendo con 3% contínuo en una lonjitud de 10 kilómetros para salvar el salto de la Puerta que termina en el Escorial (Km. 28). Estos 10 kilómetros son los mas difíciles del proyecto porque estan ubicados en una quebrada angosta, con muchas vueltas, con faldeos mui inclinados, en parte casi verticales. Para salvar el Salto i poder desarrollar una línea con pendiente inferior a 3%, se ha proyectado grandes cortes en roca dura, dos túneles cortos, puentes de 10 metros de luz i un viaducto de 110 metros de largo. Frente a las casas del fundo La Puerta el trazado pasa a 15 metros sobre el fondo de la quebrada. La solucion es cara; pero absolutamente segura para el tráfico; no se habria justificado la construccion de un trozo aislado de cremallera para salvar esta altura, porque habria ocasionado una esplotacion defectuosa.

Terminado este trozo de fuerte pendiente se consulta un paradero en el kilómetro 30.250, para aguada i con el objeto de recibir la carga local i la que vendrá de la quebrada del Dadinal.

La Quebrada de Paipote, desde el Dadinal hácia arriba presenta un perfil accidentado con pendientes a veces superiores a 3%. Para salvar este inconveniente se ubicó la línea desarrollándola en los trozos de fuerte pendiente i tomando altura en los faldeos para llegar a ellos sin sobrepasar el límite de 3%. En estas condiciones sigue el trazado hasta llegar al paradero El Sombrerito, situado en el kilómetro 51.400 de Puquios.

Aquí suspendimos el estudio taquimétrico; no seguimos ascendiendo porque consideramos que tendríamos una solucion mas racional para estudiar bajando desde la Cumbre hácia Puquios, hasta empalmar con el estudio terminado en El Sombrerito.

El Portezuelo de Los Chilenos situado a 4 132 metros de altura i que sirve de paso a un camino carretero, es el punto donde nace la quebrada de Paipote, que baja hasta Puquios. Estudiando los faldeos que forman este paso llegamos a la conclusion de ubicar un túnel de 1 420 metros de lonjitud i cuya boca de entrada está

180 metros mas baja que el nivel de la cumbre. Para su ubicacion se aprovecharon quebradas a uno i otro lado. Este túnel podria suprimirse desarrollando la línea de 15 a 18 kilómetros; pero esta solucion no es económica, ni de construccion ni de esplotacion.

La salida del túnel por la quebrada de Paipote queda en mui buenas condiciones. Desde este punto baja el trazado hácia Puquios con una gradiente máxima de 3%; como la Quebrada de Paipote tiene en esta parte una pendiente de 15 a 20%, el trazado se desarrolla por su faldeo, aprovechando la quebrada denominada Ojo de Maricunga, que nace un poco mas al Norte para caer en la de Paipote; se aprovechó el cordon que las divide i algunas planicies que hai en sus faldeos para desarrollarse en buenas condiciones. En la confluencia de estas quebradas el trazado cae al fondo, circunstancia que se ha aprovechado para proyectar una estacion para la provision de agua.

Desde este punto se presentan dos soluciones para un trazado de adherencia, tomando uno u otro lado de los faldeos de la quebrada. Como habria sido imposible decidirse por simples reconocimientos, se hicieron dos estudios que empalman poco ántes de llegar a Puerta de Pirca; se aprovecharon para los desarrollos las quebradas laterales de Viscachas, Chinches, Hornos, etc.; se proyectaron varios túneles i una lazada completa. Los dos trazados están marcados en los planos con colores distintos.

Desde el empalme de estas dos soluciones hácia abajo, no hai mas dificultad que la pasada por Puerta de Pirca; en este punto la quebrada se estrecha i tiene una fuerte gradiente; para ganar desarrollo hubo necesidad de pasar de un lado al otro con viaductos i grandes terraplenes.

El trozo restante hasta empalmar en el Paradero El Sombrerito, con el trazado estudiado desde Puquios, se presenta en mui buenas condiciones.

En esta forma quedó resuelto el problema de bajar con adherencia con dos soluciones perfectamente justificadas desde el Portezuelo de Los Chilenos hasta Puquios; como los planos son mui detallados, no es necesario estenderse mas sobre este asunto.

Variante en cremallera.—La solucion que queda indicada para bajar de la Cumbre de Los Chilenos por hoyas cuyas pendientes alcanzan a 15 i 20%, es mui forzada; tiene una planta mui revuelta que obliga a hacer un trazado mui costoso i con curvas cuyo desarrollo llega a mas de 180°.

En consecuencia se justifica plenamente un estudio con cremallera, el mismo que ejecutamos iniciándolo a 3 600 metros de la boca del túnel, dejando un nivel para desvios. Se atravesó el cordon que separa las quebradas de Paipote i Ojo de Maricunga, descendiendo con una inclinacion de 6% máxima; atravesamos la de Ojo de Maricunga, siguiendo por su faldeo Norte hasta cruzar el cordon que separa a ésta de la de los Hornos, que corre mas al Norte, para continuar en el mismo sentido aprovechando el estremo del cordon para volver a la de Ojo de Maricunga, bajando hasta el fondo contra la pendiente; dando una vuelta en el fondo de la quebrada continuamos, siguiendo el curso natural de la quebrada, hasta empalmar con el trazado de adherencia estudiado desde Puquios hácia arriba.

Este trazado con cremallera no presenta dificultades; la pendiente de la quebrada varía de 3 a 5%; no tiene movimiento de tierras; las obras de arte son de escasa importancia; su lonjitud es de 20 kilómetros, con lo que acorta el trazado por adherencia en 18 kilómetros, suprimiendo todas las curvas recias.

Su gran diferencia de costo i la circunstancia de tener un trazado casi recto, aconsejan la adopcion de esta solucion. En el estudio sobre esplotacion volveremos a tratar sobre este punto.

III i IV Seccion.—Maricunga a San Francisco

III Seccion.—Túnel de Maricunga a Tres Cruces.—Como pudimos observarlo en los reconocimientos, desde Maricunga a San Francisco tenemos varios puntos obligados que son: Rio Lámas, Tres Cruces i Peñas Blancas.

Desde el túnel a que se ha hecho referencia (cota 3 952), se desciende hasta la hoya de Maricunga (cota 3 765), con una pendiente máxima de 2%, que fácilmente podria disminuirse hasta 1% con solo aumentar el desarrollo de la línea; como la pendiente está concentrada, es fácil organizar un remolque desde Maricunga hasta la boca del túnel, donde se proyecta una estacion para la formacion de los trenes de bajada que no tienen contra-pendiente hasta Caldera.

Pasada la laguna de Maricunga, en una parte mui estrecha, que puede salvarse con un simple terraplen, se encuentra una pampa abierta que atravesamos con una recta de 15 kilómetros, con pendientes de a 1 a 3% hasta llegar a Rio Lámas.

El Rio Lámas tiene una pendiente variable entre 15 i 20%; se tomó altura desde mui abajo, para subir por su hoya a la segunda meseta o Portezuelo de Tres Cruces, salvando una altura de 600 metros verticales. Para efectuar este desarrollo ha debido consultarse un gran movimiento de tierras, curvas mui cerradas i pendientes hasta de 3%. Los estudios hechos anteriormente consultaban cremallera para salvar este trozo.

IV Seccion.—Tres Cruces a San Francisco.—Desde el Portezuelo de Tres Cruces a San Francisco existe un valle trasversal o ensenada, con la Laguna Verde de por medio, hasta Peñas Blancas; hasta este último punto se sube sin dificultad; la pampa es abierta i relativamente suave.

Desde Peñas Blancas hasta San Francisco se presentan varias soluciones; la hoyada de Laguna Verde no tiene salida; siguiendo de Peñas Blancas hai que bajar 180 metros para llegar al fondo de la laguna i despues subir 400 metros hasta llegar a San Francisco.

Esta contra-gradiente puede evitarse trazando una línea sin contra-pendiente por uno u otro faldeo de la hoyada; pero el trazado resultaría mui largo i costoso.

Despues de un estudio detenido se adoptó una solucion intermedia que redujo la

contra-pendiente a 64 metros; no obstante, debe hacerse presente, que, para adoptar una solucion definitiva habria que hacer un estudio de cada una de las soluciones i compararlas para escojer la mas conveniente, trabajo que no nos creimos autorizados para ejecutar.

La cuestion provision de agua podria influir en una solucion definitiva; ésta se encuentra en el fondo de la hoya i para un trazado que pase por altura seria menester instalar bombas i cañerias para trasportarla a la línea, salvo que por medio de sondajes se encontrara en alguna de las quebradas laterales.

Llegando al Portezuelo de San Francisco se empalmó con el estudio arjentino, kilómetro 260 de Tinogasta i a una altura de 4 749 metros i 40 centímetros sobre el nivel del mar.

Variante de valle ancho

El estudio de esta variante fué indicado por el señor Ministro de Industria i Obras Públicas, Injeniero don Javier Gandarillas M. que habia recojido diversas informaciones de personas conocedoras de la rejion i se habia impuesto de los trabajos que ejecutó en esa zona don Victor Caro Tagle, como miembro de la Comision de Límites, que aconsejan este paso para una via férrea a la Arjentina.

El reconocimiento de esta ruta no presentó dificultad alguna; se ubicó el trazado en la hoya del rio de la Ciénaga Redonda, que nace en el mismo Portezuelo de Valle Ancho. Este Portezuelo está ubicado mucho mas al Sur que el de San Francisco; está situado a una altura de 4 658 metros sobre el nivel del mar o sea 91 metros mas bajo que éste.

El trazado no tiene contra-pendiente; sigue el curso natural de la quebrada, el movimiento de tierras es casi nulo, se desprende de la *parte Oriente de la Laguna de Maricunga i es 57,1/2 kilómetros mas corto que el de San Francisco.* Ademas este trazado no tiene inconveniente alguno por el agua. El Presupuesto de construccion es menor en cerca de cuatro millones de pesos moneda corriente i su esplotacion es un 70% mas económica por esta via que por la otra, debido a que no tiene contra-pendientes.

Por datos recojidos en el terreno el empalme de este trazado con la Seccion Arjentina se haria entre Cazadero i Chachuil no ofreciendo dificultades; por el contrario, acortará el trazado en la Seccion Arjentina en mas de 30 kilómetros; por consiguiente la adopcion de la ruta Puquios-Valle Ancho-Tinogasta, producirá un acercamiento de mas de cien kilómetros, comparándola con la otra de Puquios-San Francisco-Tinogasta.

En vista de estas consideraciones hemos hecho por esta ruta el estudio de la esplotacion.

Normas para el estudio

Las normas fijadas por el artículo 2.° del Contrato fueron las correspondientes a una línea de primer órden i ademas las especiales siguientes:

a)	Gradiente máxima en adherencia..... ...	3 %
b)	» » » cremallera.....	6 »
c)	Radio mínimo de las curvas.....	100 metros
d)	Distancia mínima entre curvas	60 »

salvo justificacion especialmente autorizada.

En el estudio se han seguido minuciosamente las normas jenerales i prestado particular atencion a las especiales, como podrá juzgarse estudiando la planificacion del proyecto que se acompaña.

Zona de atraccion

Para el estudio de la zona de atraccion de este ferrocarril es preciso considerar como factor primordial el movimiento de carga i pasajeros con la República Arjentina, ya que el tráfico local no justificaria su construccion hasta la cumbre de la Cordillera; en efecto el trazado atraviesa cerranias i pampas en su mayor parte estériles bajo el punto de vista agrícola aun que de gran riqueza minera; pero que todavia no se esplota.

Siguiendo el órden fijado en el contrato de estudio para la zona de atraccion, haremos separadamente el exámen de cada uno de los puntos que en él se indican.

a) NOMBRES I PRODUCCION DE LOS FUNDOS I DE SUS PROPIETARIOS, FÁBRICAS I ESTABLECIMIENTOS METALÚRJICOS

Desde la estacion de Puquios hasta el límite andino todo el trazado se ha ubicado dentro de la estancia de Paipote de propiedad de don Alberto Cousiño; el predio agrícola mas importante es el denominado La Puerta, que tiene varias pequeñas dependencias que se cultivan en condiciones mui reducidas por la falta de agua. Si llega a realizarse el proyecto de regadio de los llanos de Paipote, del cual se acompañan algunos antecedentes a la presente memoria, seguramente el movimiento agrícola aumentará mucho, ya que será posible poner bajo riego algunos miles de hectáreas de ricos terrenos.

Existen en el trayecto numerosas minas de oro, plata, cobre i otras sustancias que no se trabajan por las dificultades de trasporte i en la hoya de Maricunga se encuentra una gran riqueza mineralójica que por si sóla, justificaria la construccion de un ferrocarril para su esplotacion.

La hoya de Maricunga, situada a 110 kilómetros de la Estacion de Puquios, abarca una estencion aproximada de 125 kilómetros cuadrados; allí existen enormes depósitos de boratos de cal, cloruro de sodio, sulfato de aluminio, nitrato de soda, sales potásicas, azufre i otras sustancias minerales.

El distinguido injeniero do Abelardo Pizarro practicó, hace algunos años, una

cubicacion aproximada de la existencia de varias de las sustancias minerales que se encuentran en la hoya de Maricunga, obteniendo las siguientes cifras:

Borato de cal	96 000 000	de Toneladas
Cloruro de Sodio	53 750 000	» »
Azufre	43 562	» »
Sulfato de Aluminio	3 375	» »

Un poco al Norte de Maricunga se encuentra el cerro del Toro, donde existen yacimientos de sulfatos de cal (yeso) en estado purísimo i al Sur está el cerro del Asufre que contiene varios millones de toneladas de azufre de subida lei i de fácil estraccion i esplotacion. Estas azufreras podrian esplotarse trasportando sus productos hasta la línea del ferrocarril por un andarivel de pocos kilómetros i podrian abastecer gran parte del consumo de la República Arjentina que, segun la estadística importa de Italia i otros paises mas de 4 000 toneladas anuales. El azufre tiene tambien un buen mercado en nuestro pais, donde hai bastante consumo; como podria venderse; puesto a bordo en Caldera, a un precio inferior al de otras procedencias, con seguridad podrá predecirse que la esplotacion de estas azufreras, pudiendo utilizar el ferrocarril, constituirá la base de una industria mui remunerativa.

En las vencidades de la hoya de Maricunga se han encontrado importantes yacimientos de nitrato de soda (salitre) de lei subida, que, mas tarde, talvez podrá ser objeto de esplotacion provechosa.

La estraccion i elaboracion del borato de cal es sumamente sencilla i no demanda inversion de grandes capitales para su esplotacion i beneficio; asi se esplica que, en la actualidad, haya interesados en esplotar los yacimientos de Maricunga teniendo que trasportar los productos en carretas o a lomo de mulas de carga, por caminos bastante malos. Como la línea proyectada pasará por la misma hoya de Maricunga, se comprende cuánto podrá contribuir a facilitar la esplotacion i aprovechamiento de esta inmensa riqueza que permanece improductiva i estéril.

Tomando en consideracion los factores que quedan señalados, puede calcularse, prudentemente, que el tráfico local tendrá un movimiento mínimo de veinte mil toneladas anuales, de las cuales cinco mil serian de subida i quince mil de carga de bajada.

b) CARGA QUE MOVERÁ EL FERROCARRIL

Antes de enumerar las ventajas máteriales inmediatas que se producirán con la construccion de un ferrocarril de Puquios a Tinogasta, conviene dejar constancia de las de órden que para las relaciones internacionales se producirán con el acercamiento comercial chileno-arjentino de una rica i dilatada rejion agrícola i minera; en efecto, el ferrocarril proyectado dará salida económica a muchos productos de las provincias arjentinas de San Juan, La Rioja, Catamarca, Tucuman, Salta i Jujui, que abarcan una superficie de 472.499 kilómetros cuadrados, con una poblacion, segun el último censo, de 770 824 habitantes.

La distancia de Tinogasta a Caldera se calcula en 542 kilómetos, tomando en consideracion el recorrido de los actuales ferrocariles en esplotacion que sirven las provincias nombradas, las distancias que las separan de Buenos Aires, Rosario i Caldera con el ferrocarril en proyecto son:

Ciudades	Buenos Aires	Rosario	Caldera
Jujui.....	1.511 Kls.	1.208 Kls.	1.599 Kls.
Salta.....	1.492 »	1.189 »	1.573 »
Tucuman.....	1.156 »	853 »	1.244 »
San Juan.....	1.204 »	901 »	1.390 »
Catamarca.....	1.340 »	1.037 »	864 »
La Rioja.....	1.187 »	884 »	793 »
Tinogasta.....	1,233 »	930 »	542 »

El Gobierno Arjentino tiene el propósito de prolongar las lineas del Ferrocarril Arjentino del Norte, que le pertenecen, en los siguientes trayectos: de San Juan a Tinogasta; de Tinogasta a Salta; de San Juan a Jachal i de Andalgalá a Tucuman; con estas prolongaciones las ciudades cabeceras de las provincias nombradas quedarán de Buenos Aires i Caldera a las siguientes distancias:

Ciudades	Buenos Aires	Caldera	Dif. favor Caldera
Jujui.....	1.511 Kls.	1.317 Kls.	194 Kls.
Salta.....	1.492 »	1.219 »	194 »
Tucuman.....	1.156 »	962 »	194 »
San Juan.....	1.204 »	942 »	262 »
Catamarca.....	1.340 »	864 »	476 »
La Rioja.....	1.187 »	793 »	394 »
Tinogasta.....	1.233 »	542 »	691 »

Ademas con el ferrocarril proyectado de Tinogasta a Salta que formará parte de la red del Ferrocarril Central Norte de propiedad del Gobierno Arjentino, las distancias de Tinogasta a Tucuman, Salta i Jujui, disminuirá en mas de 140 kilómetros; por consiguiente la menor distancia entre las provincias nombradas i Caldera, con esta nueva via, en relacion a la que las separa de Buenos Aires alcanzará a 334 kilómetros.

La produccion de estas provincias abarca un dilatado número de efectos naturales tales como azúcares, harinas, algodon, arroz, pasto aprensado, ganados, etc,, etc. que tendrian mercado para una buena parte en nuestro estenso litoral del Norte i muchas facilidades para su esportacion a otros paises, por las ventajas que proporciona un puerto abrigado i tranquilo como el de Caldera, que dispone de todos los elementos para hacer el movimiento marítimo en condiciones de gran economia i rapidez.

Estas mismas facilidádes podrian aprovecharse para la provision de parte de las mercaderias, maderas, etc. que hubieren de necesitar las mismas provincias i que podrian recibir en condiciones mas económicas que por las vias Buenos Aires o Rosario. Las mercaderias estranjeras podrian pasar en tránsito por Caldera, bastando que el Gobierno Arjentino estableciera una Aduana en la Cordillera, semejante a la de Uspallata, para la percepcion de los derechos e impuestos.

Toda la estensa rejion del Norte de la República Arjentina tendria la posibilidad de proveerse por la via de Caldera, ya que por la misma daria salida a una gran parte de sus producciones .

Estudiando los consumos, con relacion a las poblaciones i sus necesidades, puede estimarse que el movimiento de carga de subida alcanzará a la cifra de 80 000 toneladas anuales, cuyo detalle i especificacion podria ser mas o ménos el siguiente:

Maquinaria agrícola, minera, ferretería, etc.....	3 000	toneladas
Maderas nacionales i estranjeras.....	15 000	»
Marcaderías surtidas en tránsito	30 000	»
Combustibles, carbon, antracita, petroleo, etc.....	12 000	»
Mercaderias nacionales, frutas, licores, etc.....	16 000	»
Azufre, ácidos sulfúricos i productos similares	2 000	»
Salitre, fosfatos i otros abonos.....	2 000	»
	80 000	toneladas

El comercio de Buenos Aires i Rosario que tiene sus vinculaciones en las provincias del Norte, podría continuar su negocio con sus mercados como al presente, con solo establecer ajencias i sucursales en Caldera o Copiapó, con lo que ademas darían mayor vuelo a sus operaciones; por consiguiente no debe esperarse oposicion a la construccion de este ferrocarril por parte del alto comercio mayorista arjentino que sin gran esfuerzo, puede seguir ejerciendo su control sobre los intereses del Norte, en condiciones mas favorables (1).

Con lo que respecta a la carga de bajada de procedencia arjentina, por el estudio de las estadísticas consultadas i por informaciones propias, se puede afirmar que facilmente alcanzará un movimiento superior a 120 000 toneladas anuales. Sobre el particular espondremos los fundamentos de esta afirmacion; para ello estudiaremos las principales producciones de la zona Norte Arjentina, su posible consumo en nuestro pais i su esportacion al estranjero.

(1) Segun las estadísticas arjentinas, se remiten anualmente 100 000 toneladas de mercaderías surtidas a las provincias del Norte.

En cuanto a los abonos, el cultivo del azúcar, algodon, forrajes, etc., no es exajerado suponer que solo de salitre consumiría de 20 000 toneladas arriba, pues, por este ferrocarril lo obtendrian con 4 o 5 chelines ménos que por la vía marítima, que es por donde se obtienen en la actualidad.

El Ferrocarril Lonjitudidal ayudaria poderosamente a estos trasportes.

Azúcares: Los terrenos plantados de caña de azúcar en las provincias de Tucuman, Salta i Jujui, alcanzaban en 1908 a mas o ménos 70 000 hectáreas, cada hectárea produce un rendimiento de 30 000 kilógramos de caña dulce, de la que se estrae al rededor de 2 300 kilógramos de azucar; por consiguiente el rendimiento total era aproximadamente de 160 000 toneladas anuales.

En nuestro pais el consumo de azucar alcanza a 75 000 toneladas anuales próximamente, cuyas nueve décimas partes se importan del Perú; con la facilidad del ferrocarril trasandino i contando con un nuevo consumidor, seguramente los cultivos serían aumentados para proveer la nueva demanda i como podria competir en precio con otras procedencias, por la economia de fletes, trasbordos, etc., no sería aventurado suponer que el azúcar arjentina podría abastecer siquiera una tercera parte del consumo de Chile, lo que significaría para el ferrocarril un movimiento de 25 000 toneladas anuales, por solo este concepto (1).

Ganadería: El censo ganadero de 1908 anota en las provincias arjentinas del Norte las siguientes existencias de ganado:

Salta	559 000
Jujui	113 000
Tucuman	403 000
La Rioja	417 000
Catamarca	268 000
TOTAL	1 760 000

Debemos suponer que estas cifras han aumentado desde la fecha en que se levantó el censo.

En toda la costa litoral de Chile se consume ganado arjentino que se lleva en su mayor parte de Valparaiso; importándolo por el trasandino de Puquios-Tinogasta, seguramente podrá obtenerse en condiciones mas económicas i por consiguiente bien puede asignarse a éste ramo industrial de 15 000 toneladas anuales (2).

Está cifra equivale a unas 30 000 cabezas de ganado, i es la que se internaba ántes del impuesto por los boquetes de las provincias de Coquimbo i Atacama para abastecer los consumos locales, siendo la esportacion a la zona salitrera una pequeña fraccion de este total.

---

(1) Como lo hemos dicho en el número anterior, el salitre solucionaria este problema, pues, la Arjentina tiene un consumo de 200 000 toneladas anuales, i con las 100 000 hectáreas en que se proyecta aumentar la zona regada en esa rejion, habría para abastecer ámbos mercados; sin embargo, sólo hemos propuestado 25 000 toneladas para nuestro pais.

(2) El consumo actual en nuestras provincias del norte alcanza a 110 000 cabezas de ganado al año. El paso por este ferrocarril seguirá aumentando cada dia, si tomamos en cuenta el mercado de Estados Unidos, que por el canal de Panamá llevará este artículo para abastecer ese mercado en algunos miles de cabezas, pues se nota un déficit en su produccion. No es exajerada la cifra de 20 000 que hemos puesto i que podrá aumentar (aun mas con la industria de las carnes conjeladas) de 15 000 toneladas a 30 o 40 000 toneladas.

Minería: En la Rioja existen los minerales de plomo i plata de Guandacol, Jague i Valle Hermoso; el de Jague, donde se encuentran minerales de nickel; el de Maracunga con metales de oro, plata i cobre; el de Humarejo con metales de cobre, plata, selenio, mercurio, etc., i varios otros Tambien se encuentra en esta provincia el antiguo i afamado mineral de Famatina, que tantos millones ha producido hasta hoi, pues hacen muchos años que ha sido i es objeto actualmente de una esplotacion constante; este mineral abarca una estension de cerca de 300 kilómetros cuadrados, pudiendo dividirse en cuatro grandes zonas o distritos que llevan el nombre de la mina jefe de cada uno de ellos i son: «La Mejicana», «El Tigre», «La Caldera» i «Cerro Negro»; allí existen minerales de plata, cobre, oro, mercurio, grandes yacimientos de alabastros blancos i rosados, tierras de colores para pinturas i varios otros productos pétreos, que no han podido esplotarse hasta hoi por lo costoso de los fletes para trasportarlos a los centros de consumo.

En las provincias de San Juan i Catamarca tambien existen diversos minerales que tropiezan con el mismo inconveniente de las grandes distancias para la salida de sus productos.

Las estadísticas sobre produccion minera arjentina contienen pocos datos numéricos sobre esplotacion de minerales; pero por noticias fidedignas adquiridas sabemos que en las provincias nombradas existen muchas riquezas mineralójicas que podrian ser objeto de aprovechamiento industrial si pudieran contar con facilidades de trasporte.

En la rejion comprendida entre la Cordillera i Tinogasta, que puede considerarse vírjen, hai nnmerosos minerales, estaño inclusive, que serán objeto de esplotacion el dia que un ferrocarril cruce aquellas cerranías.

Por las estadísticas i datos adquiridos, puede estimarse que el movimiento de minerales por el ferrocarril proyectado no bajará de 45 000 toneladas anuales.

Forrajes.—En las provincias que servirá este ferrocarril se produce alfalfa de mui buena calidad, en grandes cantidades, cebada, avena i maíz; teniendo un mercado seguro para la venta en los puertos del Norte de Chile, es posible que este ramo daria al ferrocarril un movimiento de 5 000 toneladas anuales. (1)

Otros productos.—Las provincias arjentinas del Norte producen tambien cantidades considerables de algodon, maní, tabacos, maderas finas, polvos de quebracho para la estraccion del tanino, frutos tropicales, etc., varios de cuyos artículos serian objeto de esportacion a los mercados estranjeros. Por su situacion jeográfica las provincias que servirá este ferrocarril producen todos los frutos de las zonas frias, templada i tropical. (2)

(1) El pasto aprensado en la zona norte arjentina no es una industria floreciente, por la falta de mercado actual. En las provincias del Norte de Chile hai un gran consumo que apénas lo abastece el mercado chileno; la mayor parte del año adquiere un precio exajerado, 3 i 4 veces el que tiene en el Sur de Chile. Este ferrocarril nivelaria estos precios i facilitará el desarrollo de la industria salitrera que aumenta un 10 % anual.

(2) Como tenemos en Salta i Jujui épocas de cultivo opuestas a las nuestras, las frutas i legumbres de esa zona tendrian un gran consumo en invierno, cuando en Chile no se producen, de tal manera que no vendria a afectar nuestro mercado.

El algodon principalmente está llamado a ocupar un puesto culminante entre las producciones, porque la clase que se cultiva es inmejorable i se vende con premio en los mercados consumidores. El gasto para trasportarlo a la costa actualmente fluctúa en 60 i 90 pesos moneda nacional arjentina por tonelada de flete; por la via de Caldera este gasto disminuirá considerablemente. A este respecto debemos consignar una opinion interesante, obtenida en la estadística de 1904: en los distritos algodoneros de Estados Unidos de Norte América, o sea solo en Jeorjia i Alhabama, se invirtieron nueve millones de dóllars en fertilizantes, de los cuales, el principal, es el salitre, que para el cultivo de algodon no tiene rival; pudiéndose importar este abono por la via de Caldera, en condiciones económicas convenientes, la produccion de algodon puede aumentarse mucho.

Un ferrocarril que facilite la salida de estos productos a la costa, estimulará, segurameute, el espíritu de trabajo i, con la espectativa cierta de tener buenos mercados de consumos, capitales sobrarán para las empresas agrícolas de aquella rejion.

Por este motivo creemos razonable asignar una cuota de (30 000) treinta mil toneladas anuales como carga probable del ferrocarril por el concepto de «otros productos» no comprendido en las clasificaciones hechas anteriormente.

En consecuencia el ferrocarril trasandino de Tinogasta a Caldera llegará a movilizar 120 000 toneladas como carga de bajada, por los siguientes capítulos:

Azúcares	25 000	toneladas
Ganadería	15 000	»
Minería	45 000	»
Forrajes	5 000	»
Otros productos	30 000	»
	120 000	toneladas

Esta carga podrá ser movilizada despues del primer año de esplotacion del ferrocarril, calculando el tiempo que habrá de necesitarse para la preparacion i desarrollo de los negocios.

c) HABITANTES I NÚMERO PROBABLE DE VIAJES

El número de habitantes que vive en la seccion chilena que servirá este ferrocarril, es actualmente mui reducido; pero, una vez que se establezcan los trabajos agrícolas i mineros, que hemos indicado anteriormente, la poblacion crecerá mucho i como la mayor parte será de jente de trabajo, que necesitará movilizarse con frecuencia, puede calcularse un movimiento mínimo de dos mil pasajeros anuales, solo en la parte local.

En el valle de Copiapó i sus alrededores, comprendidas las poblaciones de Caldera, Tierra Amarilla, Puquios, etc., se calcula una poblacion de mas de cuarenta mil

habitantes que, por sus relaciones comerciales u otras, tendrán frecuentes comunicaciones con los moradores del interior; a esta poblacion le asignaremos un coeficiente de dos por ciento anual que habrá de ocupar el ferrocarril i tendremos que, por este concepto, habrá un movimiento de (800) ochocientos pasajeros al año.

La poblacion de las provincias arjentinas que podrá ser servida por este ferrocarril, es la siguiente:

San Juan	58 321	habitantes
La Rioja	89 264	»
Tucuman	303 148	»
Salta	147 361	»
Jujui	62 413	»
Catamarca	110 317	»
	770 824	habitantes

Queremos suponer que solo un cinco por mil de esta poblacion utilice el ferrocarril i tendremos un movimiento anual de (3 854) tres mil ochocientos cincuenta i cuatro pasajeros.

Reasumiendo, tendríamos el siguiente movimiento de pasajeros:

Por tráfico local	2 000	pasajeros
Por tráfico del valle	800	»
Por tráfico internacional	3 854	»
O sea un total de	6 654	pasajeros

Como habria trenes mistos diarios para carga i pasajeros, suponiendo que éstos corran solo 300 dias en el año, corresponde a cada viaje un movimiento de 22 pasajeros.

d) Observaciones sobre el movimiento probable e importancia futura del ferrocarril

El ferrocarril proyectado, siendo construido por cuenta fiscal, es decir por los Gobiernos de Chile i Arjentina, en sus respectivos territorios, tendria una ventaja mui digna de tomarse en consideracion: que los puntos que uniria, Puquios-Tinogasta, están servidos por ferrocarriles de los paises respectivos i, por consiguiente, la administracion i esplotacion podrá hacerse en condiciones mui económicas i convenientes, sin tener que ser tributarios de otras empresas ferroviarias.

El puerto de Caldera, donde existe un magnífico muelle de propiedad fiscal, proporciona todas las facilidades i ventajas que puedan exijirse a un puerto por su abrigo i la tranquilidad de sus aguas; la movilizacion marítima de las cargas en este puerto, es decir, los gastos de embarques o desembarques, puede estimarse que no tendrá un gasto mayor de tres pesos moneda corriente por tonelada; en otros puertos este gasto sube a 6, 8, 10 i mas pesos por la misma unidad.

Un factor importante para el porvenir de este ferrocarril es la próxima apertura del canal de Panamá que permitirá acortar las distancias, en varios miles de millas, entre Europa, Estados Unidos i costa occidental de América del Sur. Los productos de esportacion de las provincias arjentinas del Norte tendrán necesariamente que adoptar esta nueva via una vez que el ferrocarril trasandino comience a prestar sus ssrvicios.

En el capítulo de la carga que movilizará este ferrocarril hemos demostrado la importancia presente i futura de esta nueva via; por consiguiente cremos que la construccion de este ferrocarril se justifica plenamente.

Esplotacion

ESTUDIO DE LOS TIPOS, CANTIDAD DE LOCOMOTORAS, EQUIPO PARA LA ESPLOTACION I NÚMERO DE TRENES PARA INICIAR EL SERVICIO, CAPACIDAD DE ELLOS, CONSUMO DE TRACCION I OTROS GASTOS DE ESPLOTACION (SERVICIOS DE ESTACIONES, CAMINEROS, ETC.)

Este estudio lo haremos para la ruta de Puquios-Valle Ancho, con dos soluciones, que son: Primera: *Simple adherencia* i Seguda *Adherencia i cremallera.*

PRIMERA SOLUCION.—Tomaremos una seccion desde Puquios hasta el arranque de la variante Valle Ancho. La variante de Valle Ancho da una menor solucion por su mejor lonjitud (57 kilómetros) i la menor altura por vencer (91 metros) con una sola contra-pendiente que es contínua de 16.390 metros de largo i con un máximo de 2%.

El cálculo de la locomotora se ha hecho para esta solucion, tomando el viaje en sentido de Puquios a Valle Ancho, que es el caso mas desfavorable. Para calcular el esfuerzo por vencer con el tren en marcha, podemos considerarlo con una pendiente media de subida; en cuanto a la locomotora se calculará para el esfuerzo máximo, traduciéndose en las pendientes inferiores, para un mismo gasto, en un aumento de velocidad.

El problema consiste en lo siguiente: dada una lonjitud determinada con su pendiente, calcular que fuerza se necesita para subir una carga fija.

COMPOSICION DEL TREN.—En el estudio de la zona de atraccion hemos visto que la carga útil de subida, en la seccion chilena, será de 80 000 toneladas; supondremos 300 dias hábiles o sean 266 toneladas por dia.

La via se ha proyectado en condiciones de soportar un tráfico pesado; no se justificaria un tráfico intensivo. Con dos trenes diarios podríamos movilizar 133 toneladas de peso útil en cada uno.

Tomaremos carros a dos boggies, con peso muerto de 8 600 a 9 000 kilógramos, para los cuales la carga admisible es de 25 toneladas; debemos considerar que la carga por trasportarse, mercadería en su mayor parte voluminosa i por consguiente no podrá colocarse mas de 18 toneladas por carro, tendremos para cada tren 8 carros.

Agreguemos un wagon de primera clase, con peso de 14 toneladas; uno de tercera clase con 16 toneladas, un furgon de equipajes i correo de 10 toneladadas i calculemos el peso de los pasajeros i equipaje suelto de los mismos en 3 toneladas, por carro o sea 6 toneladas en los dos.

Tendríamos entónces un tren formado como sigue:

133	Toneladas de mercaderías
72	» peso muerto de los carros
14	» » » del wagon de primera clase
16	» » » » » » tercera »
10	» » » » furgon de equipaje i correo
6	» » » pasajeros i equipaje suelto
251	Toneladas, peso total de arrastre.

Supondremos la carga uniformemente repartida sobre los carros i tomando la carga máxima de 25 toneladas, tendríamos para cada rueda 4,25 toneladas, quedaríamos dentro del límite admisible que, segun Hütte, para vias de un metro, sin limite de circulacion de wagones, es de 6 toneladas por rueda; para el cáso, contrario, que es el nuestro, es de 5 toneladas.

Un tren, segun la revista alemana «B. O» para una velocidad de 30 kilómetros por hora, que es la que puede admitirse para las normas adoptadas, debe tener de 110 a 120 ejes como máximo, lo que representa de 27 a 30 carros, quedando siempre, dentro del límite admisible.

Locomotora.—Con los datos anotados, estudiaremos *las resistencias* por vencer para dar una velocidad de treinta kilómetros por hora i determinaremos la locomotora que ha de necesitarse; estas resistencias son: *resistencia al rodado, resbalamiento, frotacion de los muñones, resistencia a la gradiente, resistencia debida a las curvas i resistencia por el viento.*

I) Resistencia rodado.—Admitiendo que no sobrepasemos el límite de elasticidad, consideraremos el empuje sobre la rueda para cada punto de la faceta de contacto, repartido a derecha e izquierda del plano vertical que pasa por el eje; estando la rueda en reposo, hai equilibrio i el esfuerzo pasa por el eje; en movimiento hai un pequeño exceso de reaccion hácia la direccion del avance de la rueda.

La resistencia R es un esfuerzo normal a la faceta de contacto i la direccion es hácia adelante del centro de la rueda; la resistencia medida en la llanta tiene que hacer equilibrio a la fuerza total que llamaremos X, tendremos la relacion

$$X=\frac{2\,R\,d}{D}$$

Las teorías antiguas consideraban el producto R d como exactamente proporcional a la carga P; Coulomb decia que la resistencia de la rodadura sin deslisamiento es proporcional al peso P i la conclusion de sus esperiencias es

$$X=f'\frac{P}{D}$$

i es ésta la fórmula la que consideraremos.

Relativamente el coeficiente f' tiene varios valores que provienen de las velocidades i de los materiales empleados; en este caso no tendremos posibilidad de deducirla por la escasa velocidad; pero mas adelante tomaremos en cuenta esa resistencia.

II) Resbalamiento.—1) La llanta de las ruedas tiene forma cónica i como no todos los puntos de la faceta de contacto entre el riel i la llanta se encuentran a la misma distancia D del eje de rotacion, teniendo la misma velocidad angular de la rueda, resulta que no hai en este caso rodadura sin deslisamiento.

Si D es el diámetro del círculo de rodadura, dicho diámetro, situado a una distancia x, tendria como valor

$$D+\frac{2\,x}{n} \text{ i } D-\frac{2\,x}{n}$$

($\frac{1}{n}$ es la inclinacion de la llanta); en consecuencia este punto resbalará sea hácia adelante o bien hácia atras una cantidad

$$\frac{2\,\pi\,x}{n}$$

Buscaremos ahora el trabajo de rosamiento que se produce en la faceta entera. Si admitimos que la carga P se reparte sobre la faceta de contacto, de modo que la carga por unidad de superficie decrece desde el centro hasta el estremo de la distancia a, en este caso la carga del punto X será igual a

$$P\,\frac{(a-x)}{2\,a}\,d\,x$$

i el rosamiento de esta carga será

$$f\,P\,\frac{(a-x)}{2\,a^{2}}\,d\,x$$

Ya hemos visto que el desplazamiento es $\frac{2\pi x}{n}$ i aplicando al teorema del trabajo tendremos en kilógramos por cada revolucion de la rueda

$$f\,P\,\frac{(a-x)}{2\,a^2}\,d\,x\,\frac{2\,\pi\,x}{n} = \frac{\pi\,f\,P}{a^2\,n}\,(ax-x^2)\,d\,x$$

siendo V la velocidad en kilómetros por hora, en segundos seria $\frac{V}{3{,}6}$ la rueda avanzará por egundo $\frac{V}{3{,}6\,\pi\,d}$ veces, por consiguiente el trabajo será igual

$$2\int_0^s \frac{V\,f\,P\,(ax-x^2)}{3{,}6\,D\,a^2\,n}\,d\,x = \frac{2\,V\,f\,P}{3{,}6\,D\,a^2\,n}\int_0^a (ax-x^2)\,d\,x$$

dejando los límites tendremos

$$\int_0^a (ax-x^2)\,d\,x = \int ax\,d\,x - \int x^2\,d\,x = \frac{a\,x^2}{2} + c - \frac{x^3}{3} + c' = \frac{ax^2}{2} - \frac{x^3}{3} + K$$

para el límite K = O tendremos

$$\left(\frac{ax^2}{2} - \frac{x^2}{3}\right)^a - \left(\frac{ax^2}{2} - \frac{x^3}{3}\right)^o$$

El primero da $\frac{a^3}{6}$ el segundo o i el trabajo llega a ser

$$\frac{2\,V\,f\,P}{3{,}6\,D\,a^2\,n} \times \frac{a^3}{6} = \frac{V\,f\,P\,a}{3 \times 3{,}6\,D\,n} = \frac{V}{3{,}6} \times \frac{f\,P\,a}{3\,D\,n}$$

i para tener la resistencia orijinada por este deslisamiento bastará dividir $\frac{V}{3{,}6}$ teniendo $x, = \frac{f\,P\,a}{3\,n\,D}$ lo que nos da por una tonelada:

$$x, = \frac{0{,}142 \times 1000 \times 0{,}015}{3 \times 20 \times 686} = 0{,}0318 \text{ kilógramos.}$$

Relativamente el coeficiente f es diferente en casi todos los paises; segun Flamache i Huberti es igual a 1/6; este coeficiente es máximo cuando el riel está seco; el trasandino por el Juncal tomó f = 1/10; el admitido en Chile es f = 1/7 i es mui conveniente para la rejíon del Norte por su condicion climatolójica. En consecuencia adoptaremos para nuestros cálculos este valor.

2) Consideremos que el deslizamiento producido por la rueda en movimiento

que proviene del movimiento de lacet o huascamiento; las ruedas marchan sobre diámetro distinto i el trayecto descrito por ellas no es una línea paralela al riel sino una análoga a la curva

$$y = \text{sen } x$$

Si b es el desplazamiento lateral medio del par de ruedas en relacion al eje de la via, los diámetros de rodadura serán respectivamente iguales a

$$D + \frac{2b}{n}, \text{i } D - \frac{2b}{n}$$

por cada vuelta de la rueda tendremos un deslisamiento de $\frac{4 \pi b}{n}$ i, evidentemente, el deslizamiento por segundo será

$$\frac{4 \pi b}{n} \times \frac{V}{3{,}6 \pi D} = \frac{4b}{n D} = \frac{V}{3{,}6}$$

para tener el trabajo nos bastará multiplicar $\frac{4b}{n D} \times \frac{V}{3{,}6}$ por P f lo que da $\frac{4 P f b V}{n D 3{,}6}$ i dividiéndose por $\frac{V}{3{,}6}$ tendremos el esfuerzo de deslizamiento que habrá de vencerse i que es igual a $\frac{4 \times 0{,}142 \times 1000 \times 0{,}025}{20 \times 0{,}686}$ igual a 1 034 kilógramos por ton.

III) Frotamiento de los muñones.—El frotamiento de los muñones se reduce mucho tomando la precaucion de un buen engrasamiento i construyéndolos de bronce duro o metal blando.

Segun las esperiencias hechas por Hirn (Boletin de la Sociedad Industrial de Mulhouse), Petroff, Thurston i G. Lantza, el frotamiento desciende a $\frac{1}{1000}$ de la carga.

Sea D el diámetro de la rueda, d el del muñon i φ el coeficiente de frotamiento, tendremos para la resistencia de la llanta

$$X_2 = \frac{P \varphi d}{D}$$

si nos ponemos en condiciones medias tomaremos $\varphi = 0{,}01$ la resistencia por toneladas será

$$X_2 = \frac{1000 \times 0{,}01 \times 0{,}102}{0{,}686} = 1\,486 \text{ kilógramos por ton.}$$

IV) Resistencia a la rampa.—Cuando el tren sube por una pendiente con una inclinacion α podemos descomponer la fuerza P en dos fuerzas perpendiculares entre

sí: una es P cos α que es la proyeccion de P sobre una perpendicular a la via i la otra P sen α paralela a la via; como las pendientes de ferrocarriles en adherencia no son mui subidas, su coseno no difiere de la unidad $\frac{1}{1\,000}$ lo que nos autoriza para sustituirla con un error igual a $\frac{1}{1\,000}$; por consiguiente haremos el cálculo con P sen α. Si i es la pendiente en milímetros por metro sen $\alpha = \frac{h}{e} = \frac{i}{1000}$ i si P es espresado en toneladas la fuerza P sen α en kilógramos será:

$$1000\ P \text{ sen } \alpha = \frac{i\ P}{1000} \times 1000$$

i para P igual una tonelada la fuerza Psen α = i, es decir la proyeccion P sobre una paralela a la via es igual a la pendiente espresada en kilógramos.

La pendiente media entre Puquios i Portezuelo de Valle Ancho es de 18,749%, lo que nos da para la pendiente 18 749 kilógramos por tonelada.

V) Resistencia debida a las curvas.—La aplicacion de esta resistencia ofrece jeneralmente muchas dificultades porque la via es una sucesion de rectas i curvas (tendremos en este caso en curvas casi un tercio del total).

Haremos el cálculo hasta donde lo permitan las condiciones impuestas.

1) Si admitimos que los ejes se mantengan normales a la curva que recorran, siendo cónicas las llantas i admitiendo que tengan el mismo diámetro de rodadura, las velocidades por un segundo, sobre la línea del riel esterior i la del interior, seria igual

$$\frac{2\ R + e}{2\ R} \times \frac{V}{3{,}6},\ i \frac{2\ R - e}{2\ R} \times \frac{V}{3{,}6}$$

i la diferencia de esta velocidad por un segundo será:

$$\frac{V}{3{,}6}\left(\frac{2\ R + e}{2\ R} - \frac{2\ R - e}{2\ R}\right) = \frac{V}{3{,}6} \times \frac{2\ e}{2\ R} = \frac{V}{3{,}6}\ \frac{e}{R}$$

i este valor seria el camino descrito en deslizamiento, no en rodadura; supongamos que el peso sea uniformemente repartido sobre las ruedas; este peso se dividirá en dos partes iguales i cada parte en un segundo de tiempo deslizará con un rozamiento igual a $\frac{P\ f}{2}$ Para tener el trabajo resultante multiplicaremos este rozamiento por el desplazamiento, lo que da $\frac{P\ f}{2} \times \frac{e}{R} \times \frac{V}{3{,}6}$ i el esfuerzo mismo será igual a

$$\frac{P\ f}{2}\ \frac{e}{R} = \frac{P\ f\ e}{2\ R}\ (1)$$

vemos que este esfuerzo es inversamente proporcional al radio de la curva.

2) En el segundo caso nos da mayor esfuerzo i es el en que los ejes no conservan su paralelismo, pues al recorrer una curva no son normales a ella i producen un deslizamiento que tiene un gran valor.

Hemos visto que las ruedas no pueden moverse sin resbalar i supongamos que la curva es un círculo completo (tenemos en nuestro caso curvas con desarrollo de 3/4 de círculo) el vehículo fuera del trayecto hecho en rodadura habria dado una vuelta completa sobre sí mismo al resbalar.

El trabajo resistente seria el esfuerzo de rozamiento P f por el camino descrito por cada rueda al resbalar i será igual $P\ f\ \pi\ \sqrt{l^2 + e^2}$ i el trabajo por el trayecto de un segundo será $\sqrt{l^2 + e^2}\ \frac{V}{3{,}6\ (2\ \pi\ R)} = \frac{P\ f\ V\ \sqrt{l^2 + e^2}}{3{,}6 + 2\ R}$ dividiendo este trabajo por $\frac{V}{3{,}6}$ tendremos el esfuerzo que buscamos i que será igual

$$(2)\ \frac{P\ f}{2\ R}\sqrt{l^2 + e^2}$$

la suma de (1) i (2) será igual

$$\frac{P\ f}{2\ R}\left(e + \sqrt{l^2 + e^2}\right)$$

Haciendo los cálculos por toneladas tendremos

$$\begin{cases} P = 1\,000 \\ f = 0\,142 \\ e = 1 \text{ met.} \\ l = 6 \text{ met.} \\ R = 300 \end{cases} \qquad \frac{P\ f}{2\ R}\left(e + \sqrt{l^2 + e^2}\right) = 1\,675 \text{ kg. por ton.}$$

Si suponemos que toda la línea fuera en curva continua de 300 metros de radio, tendríamos ese esfuerzo; pero como no tenemos mas de un tercio en curva, tomaremos, sin error apreciable, 0,600 kg. (hemos tomado 300 metros como radio medio) es decir:

$$\frac{P\ f}{2\ R}\left(e + \sqrt{l^2 + e^2}\right) = 0{,}600 \text{ kgs. por ton.}$$

Basándonos sobre estos cálculos determinaremos la lonjitud virtual de la línea, lo que espondremos mas adelante.

VI) Resistencia al viento.—Las opiniones sobre esta resistencia son mui discutidas; en este caso la tomaremos en cuenta por tratarse de un ferrocarril que atraviesa los Andes por pampas abiertas.

Sólo la esperiencia directa puede determinar datos precisos; no obstante, aplicaremos las esperiencias francesas i belgas que dan la fórmula siguiente en relacion de la velocidad:

$$V = 0{,}08 \frac{0{,}004 \times 5\ V}{P}$$

en nuestro caso, tomando S = 8 m² para la seccion mas grande, P = 251 toneladas, la fórmula da entre tres i cuatro kilógramos. En Norte América se toma $v = 3 + \frac{V}{6}$ Espresando v en kilógramos por tonelada i V en kilómetros por hora, tendremos:

$v = 3 + \frac{V}{6} = 1.49 \times 0.52 \times 30 = 3.05$ ks.; tomaremos 4 kilógramos.

Resumiendo, tendremos:

Resistencia a la rodadura	Kgs.	0,032
Resbalamiento	»	1,034
Frotacion de los muñones	»	1,486
Resistencia a la gradiente	»	18,794
Resistencia debida a las curvas	»	0,600
Resistencia por el viento	»	4,000
Total	Kgs.	25,946

por tonelada i la que opone el tren entero será:

$$25{,}946 \times 251 = 6\ 512 \text{ kilógramos.}$$

Para ponernos en la condicion mas desfavorable i tomando en cuenta la resistencia por las irregularidades que presentará la via, tomaremos 6 600 kilógramos para el tren entero.

Conociendo estas resistencias que opone el tren deduciremos qué locomotora necesitamos para vencer este esfuerzo. El peso adherente de la locomotora tiene que ser tal que multiplicado por el coeficiente de adherencia 0,142, sea igual a la suma de los esfuerzos en la barra de traccion, mas la fuerza necesaria para mover la locomotora misma.

Sea R el esfuerzo que habrá de necesitarse, tendremos:

$$R = P\ (4 \sqrt{n} + i)$$

X es el número de ejes acoplados, *i* es la pendiente máxima por vencer; X = 3, i = 30‰ tendremos R = P 37, i en toneladas será:

$$P \times 0{,}142 = 6\ 600 \times 0\ 037\ P$$
$$P\ (0{,}142 - 0\ 0037) = 6\ 600$$
$$P\ (0{,}105) = 6\ 600$$

$$P = \frac{6\,600}{0{,}105} = 63 \text{ toneladas.}$$

o sea una locomotora de 63 toneladas de peso.

Para tener la potencia de esta locomotora en kilográmetros, multiplicaremos la fuerza de traccion, que es 6,60, por $\frac{30}{3{,}6}$, lo que nos dará

$$55 \text{ kilográmetros} = \frac{55}{75} = 0{,}733 \text{ H. P.}$$

nos resulta que la locomotora debe tener una potencia de 733 H. P.

Velocidades entre estaciones

Para determinar estas velocidades supongamos que la locomotora trabaje durante la marcha con su fuerza constante; la velocidad resultará así una funcion solamente de la pendiente; ésta la tomaremos la media máxima entre las estaciones.

Puquios—Encrucijadas.—La rampa media es 19,5‰ i la máxima es 23,13‰. El esfuerzo en la barra de traccion por tonelada será: 7,152 + 23,13 = 30,282 kg. ton., i para el tren será 30,282×251 = 7 600,782 = 7,60 toneladas, i por consiguiente $\frac{7{,}60 \times V}{75 \times 3{,}6} = 0{,}733$; despejando a V en esta ecuacion se obtiene:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3{,}6}{7{,}60} = \frac{197.91}{7.60} = 26 \text{ kilómetros por hora}$$

esta es la velocidad máxima por desarrollar con el peso máximo entre Puquios i Encrucijada.

Para las otras estaciones seguiremos la misma marcha en los cálculos

Encrucijada a Vega Redonda:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

Vega Redonda al Bolo:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{8.60} = 23.01 \text{ kilómetros por hora.}$$

Bolo a Sombrerito:

$$V = \frac{0{,}733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

Sombrerito a Estacion de Agua: (k. 41.200 II Seccion).

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

Estacion de Agua a Los Hornos:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

Los Hornos a Estacion de Agua: (k. 17.100 II Seccion).

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

Estacion de Agua a La Cumbre: (k. 17.100 II Seccion).

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

La Cumbre a Maricunga:

Tenemos en esta seccion contra-pendiente i nos fijaremos un máximum de velocidad de 30 kilómetros para la seguridad del tráfico; el esfuerzo en la barra de traccion en este caso disminuye i es:

$$X = \frac{7.151 \times 251 \times 30.000}{75 \times 3600} - 29.614 = 169.819 \text{ H. P.}$$ (Véase estudio de la bajada de la Cumbre a Maricunga).

V = 30 kilómetros por hora.

Maricunga a Barros Negros:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{4.56} = 43.40 \text{ kilómetros por hora.}$$

La reduciremos a V = 40, para seguridad del equipo.

Barros Negros a k. 37.900:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{4.56} = 43.40 \text{ kilómetros por hora.}$$

K. 37.900 a Valle Ancho:

$$V = \frac{0.733 \times 75 \times 3.6}{9.325} = 21.21 \text{ kilómetros por hora.}$$

CUMBRE A MARICUNGA (III Seccion)

Esfuerzo para los trenes de subida, en la bajada, desde la cuesta de Los Chilenos (salida del túnel) hasta la laguna de Maricunga.

Hemos visto que la resistencia debida a la pendiente que opone el tren se espresa: $P\,sen\,\alpha = i$ en kgs. por tonelada, es decir que para vencer $P\,sen\,\alpha$ es necesario aplicar una fuerza de sentido contrario igual a i en kilógramos.

Supongamos que en vez de aplicar esta fuerza al centro de gravedad, la suprimimos i en su lugar demos un empuje en la direccion $P\,sen\,\alpha = i$; entónces la masa principiará a descender con una fuerza $P\,sen\,\alpha$, ménos los esfuerzos de frotamiento; espresada en caballos de vapor será:

$$\frac{\text{i — esfuerzos de frotamiento (que aumenta con la velocidad)}}{75}$$

El caso que tenemos que tratar es el siguiente: la pendiente de bajada principia en el kilómetro 2 360, hasta 18 750, o sea en una lonjitud de 16 390 metros i las pendientes varian de 20 a 16 i 10.55 por mil. Como la peniente de 20 es de una estension corta, tomaremos como término medio maximo 16 %o.

Despues de lo que hemos dicho, el tren desarrollará un esfuerzo de 16 kilógramos por tonelada, ménos los esfuerzos de frotamiento, que son las resistencias que hemos estudiado anteriormente i que equivalen a 7.151 kilógramos por tonelada; tenemos, para este caso: 16—7,151 = 8,849 kgs. por tonelada, i en caballos de vapor: $\frac{8.849}{75}$; i para el tren descendiendo nos da:

$$\frac{8.849}{75} \times 251 = 29{,}614 \text{ H. P.}$$

(La fuerza 29,614 HP aumenta con la velocidad i en realidad, el tren en marcha con V=30 k, su valor como fuerza viva seria mucho mayor; pero como no queremos más que determinar HP para fijar el consumo de agua i de carbon, tendremos el máximum de consumo suponiendo que el tren no desarrolla mas de 29,614).

En este caso la máquina no desarrollará el máximum de fuerza por que tendríamos velocidades mayores de 100 kilómetros por hora, lo que no es aceptable, ya que el máximo de velocidad que puede fijarse para esta seccion es de 30 kilómetros por hora para la seguridad del tráfico.

Determinaremos cuantos HP desarrollaremos para mantener la velocidad de 30 kilómetros por hora; hemos visto que la resistencia que opone el tren para su movimiento en la horizontal, con curvas, es de 7,151 kgs. por tonelada. Deduciremos la relacion siguiente, llamando X a los HP:

$$X = \frac{7.151 \times 251 \times 30000}{75 \times 3600} = 199{,}433 \text{ HP.}$$

Designaremos por + las fuerzas desarrolladas por la máquina i por — las debidas a la pendiente. Esta nos dará una fuerza en HP por tonelada:

$$P\,sen\,\alpha = \frac{16 - 7.151}{75}$$

y que ya hemos calculado para el tren entero igual a 29,614 HP. i por consiguiente tendremos:

$$X = \frac{7.151 \times 251 \times 30\,000}{75 \times 3600} + (-29{,}614)$$

haciendo los cálculos, X = 199,433 — 29,614 = 169,819 HP.

Conociendo la relacion entre HP por hora i la velocidad, aplicaremos ésta mas adelante para calcular el consumo de carbon i agua entre estas dos estaciones.

Consumo de agua i carbon

Ruedas motrices i cilindros.—Para tener el consumo de agua i de carbon de la manera mas conveniente, buscaremos el volúmen del cilindro i en seguida la relacion entre la velocidad i el consumo de agua i carbon.

Para velocidades comprendidas entre 36 i 72 kilómetros por hora, se aplica la regla de Chatelier que fija los límites de la velocidad angular de las ruedas motrices, que son entre 2.5 i 3 vueltas por segundo; con estos límites la velocidad de traslacion está comprendida entre 2.5 $(2\pi R)$ i 3 $(2\pi R)$ metros; en kilómetros hora será:

$$v = 28.25\ D \qquad v = 33.9\ D$$

nos dará:

$$D_1 = \frac{V}{28{,}25} \qquad D_2 = \frac{V}{33{,}9}$$

$$D_1 = 0{,}0355\ V \qquad D_2 = 0{,}0295\ V$$

Flamache i Huberti dan como valor para las ruedas motrices

$$D = 1 + 0.011\ V$$

que no fija *a priori* el número de las vueltas de las ruedas motrices, lo que es mucho mas lógico, puesto que su aumento por segundo depende únicamente de la velocidad. Sin embargo aceptaremos la relacion de Chatelier por convenir mas al caso nuestro, porque nuestro estudio se concreta sobre una locomotora tender de carga, a la cual no podremos aumentar considerablemente el diámetro de las ruedas.

Hemos visto que la velocidad de este tren es mui variable; tenemos máximas de 21,21 k. en las pendientes máximas i máximas de 43,40 k. en las pendientes mínimas.

Calcularemos con 40, por estimar este máximum como el mas conveniente para la seguridad del equipo, modificando fuertemente el resultado.

para V = 30..... $\left\{ \begin{array}{l} D_1 = 1{,}065\ (\alpha) \\ D_2 = 0{,}885\ (\beta) \end{array} \right.$

$$\frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{1{,}925}{2} = 962{,}5 \text{ m/m}$$

tomaremos: $D = 1$ metro.

El valor π D es de 3,1416 i el número de vueltas por segundo para V = 40 es

$$\frac{400\,000\,000}{31\,416 \times 3\,600} = \frac{400\,000}{113\,112} = 3{,}53 \text{ por segundo}$$

Cálculos de los cilindros.—Si igualamos el trabajo de las resistencias en la llanta al que da el vapor en los 4 cilindros para una vuelta de la rueda tendremos:

$$T\ D = \alpha\ p d^2\ l \quad (\gamma)$$

α está comprendido entre 0,75 i 0,50
p = presion en la caldera
l = carrera del piston

Para no desarrollar mucho los cálculos, pues tenemos necesidad solamente de una determinacion rápida de los volúmenes de los cilindros para fijar el consumo de vapor por segundo, llegaremos a mui buenos resultados tomando:

$$\frac{l}{D} = \frac{40}{V + 60};\ l = \frac{40 \times D}{V + 60} = \frac{40}{100} = 0{,}40 \text{ cm.}$$

i la velocidad por segundo del piston será:

$$2\,l\,n = 2 \times 0.40 \times 3.53 = 2.824$$

Conociendo el valor *l* resolveremos la ecuacion (γ) para obtener:

$$d^2 = \frac{T\ D}{\alpha\ p\ l};$$

como la velocidad del piston no es grande, tomaremos α=0,75. Si admitimos p=12 atmósferas tendremos una presion de 12,37 kgs. por centímetro cuadrado i:

$$d^2 = \frac{T\ D}{\alpha\ P\ l} = \frac{T\ D}{0{,}75 \times 12{,}37 \times 0{,}40}$$

Igualando el esfuerzo de traccion T al peso de adherencia, se obtiene:

$$T = \frac{63\,000}{7} = 9{,}000 \text{ klgs.};\quad d^2 = \frac{9000}{0{,}75 \times 12{,}37 \times 0{,}40} = \frac{9000}{3{,}711} = 2425;$$

$$d = 49.25 \text{ cm.}$$

Teniendo la carrera del piston i el diámetro del cilindro, deduciremos la relacion entre la velocidad i el consumo de agua i carbon; el volúmen de vapor gastado en una carrera del piston será

$$S\ l\ (\varepsilon + \varepsilon_1) = (l_1 + l_2)\ S$$

S = superficie del piston = 1904,59 cm.^{2}
l = carrera del piston = 0,40
l_1 = largo del trayecto miéntras la admision queda abierta
l_2 = largo correspondiente al espacio perjudicial, i que es = 0,05 l
ε = raport de admision, que no es menor de 0,25 a 0,30 en las locomotoras mas usuales i para la admision máxima no sube mas de 0,80 a 0,85.
ε_1 = 0,05.

Para una vuelta de la rueda o 4 carreras del piston, tendremos un volúmen 4 veces mas grande o sea

$$4\ S\ l\ (\varepsilon + \varepsilon_1)$$

El vapor suponemos que ha sido admitido a alta presion; el peso del metro cúbico lo tomaremos $\frac{p}{20000}$; el peso del vapor gastado por una vuelta de la rueda o sean 4 carreras del piston será en kilógramos:

0,0002 p S l ($\varepsilon + \varepsilon_1$), i por segundo que hará n vueltas, el peso seria:

$$(\triangle).....0{,}0002\ p\ S\ l\ n\ (\varepsilon + \varepsilon_1)$$

Como la velocidad por segundo es $\frac{V}{3{,}6}$ metros i ese valor tiene que ser igual a n vueltas de la rueda motriz o sea: $n\ \pi\ D = \frac{V}{3{,}6}$; $n = \frac{V}{11{,}3\ D} = 0{,}0885\frac{V}{D}$, i sustituyendo este valor en ($\triangle$) tendremos:

$$0{,}000018\ p\ S\ l\ \frac{V}{D}\ (\varepsilon + \varepsilon_1),$$ i para una hora en kilógramos será:

$$Q = 0{,}065\ p\ S\ \frac{l\ V}{D}\ (\varepsilon + \varepsilon_1)$$

i tomando $(\varepsilon + \varepsilon_1) = 0{,}35$, tenemos

$$Q = 0{,}065\ p\ S \frac{l\ V}{D}\ 0{,}35,$$

que es el valor del vapor gastado en un hora.

Consumo de carbon.—Admitiremos que con un kilógramo de carbon se producen de 7 a 8 kilógramos de vapor i para ponernos en condiciones aceptables tomaremos la produccion solamente de 6,5 kgs.; resulta que el peso del carbon gastado por hora es en kilógramos:

$$C = \frac{p\ S\ l\ V\ 0{,}35}{100\ D}$$

i de esta manera tendremos la cantidad de agua i de carbon que consume la máquina, en las distintas velocidades.

Puquios—Valle ancho

$$Q = 0{,}065 > 12{,}37 \times 1904{,}59 \frac{l\ V}{D}\ 0.35$$

$$Q = 535{,}985\ \frac{l\ V}{D}$$

V	= 40	Q	= 8575,760	kilógramos
V	= 30	Q	= 6431,820	»
V	= 26	Q	= 5574,244	»
V	= 23,01	Q	= 4933,206	»
V	= 21,21	Q	= 4547,297	»

Para el carbon tendremos lo siguiente, calculado en la misma forma:

$$C = p\ S \times 0{,}35\ \frac{l\ V}{100\ D} = 3298{,}37\ \frac{l\ V}{100\ D}$$

V	= 40	C	= 527,739	kilógramos
V	= 30	C	= 395,804	»
V	= 26	C	= 343,031	»
V	= 23,01	C	= 303,450	»
V	= 21,21	C	= 280,362	»

Habiendo determinado las velocidades i el tiempo empleado en recorrer de una estacion a otra, tendremos la cantidad de agua i carbon consumido. El cuadro que sigue, con un coeficiente de 30% de aumento, determina los consumos para las diferentes velocidades, desarrollando una fuerza constante en el sentido Puquios-Valle Ancho.

CUADRO QUE DEMUESTRA LOS CONSUMOS DE AGUA ENTRE ESTACIONES: SENTIDO PUQUIOS—VALLE ANCHO

ESTACIONES	Distancia parcial kilómetros	Velocidad máx. entre estaciones	Gradiente tér. medio por mil	Tiempo necesario	Consumo agua litros	Consumo carbon kilos
De Puquios a Encrucijada.....	18 200	26.00	23.13	42′	5 072 562	240 415
De Encrucijada a V. Redonda.	12 200	21.21	30.00	34′30″	3 399 107	161 208
De V. Redonda a Bolo...	7 550	23.01	27.00	19′41″	2 103 875	99 548
De Bolo a Sombrerito.....	13 706	21.21	30.00	38′46″	3 819 476	181 145
De Sombrerito a Est. Agua....	11 020	21.21	30.00	31′10″	3 070 688	145 632
De Est. Agua a Los Hornos..	13 700	21.21	30.00	38′46″	3 819 476	181 145
De Los Hornos a K 17 100....	10 400	21.21	30.00	29′25″	2 898 270	137 455
De K 17 100 a La Cumbre.....	19 050	21.21	30.00	53′53″	5 308 842	251 780
De La Cumbre a Maricunga...	16 600	30.00	16.00	33′12″	1 034 660	192 000
De Maricunga a B. Negros.....	32 545	40.00	11.00	48′48″	9 070 533	429 374
De B. Negros a K 37 900.....	6 650	40.00	11.00	9′59″	1 854 984	87 809
Ke K 37 900 a Valle Ancho...	20 212	21.21	30.00	57′10″	5 632 322	267 122

Largo virtual

Estos cálculos los haremos en cuanto a la traccion:

En pendiente.—Basándonos en los estudios anteriores, si r es la resistencia en kilógramos a nivel, el trabajo por efectuarse para la traccion será igual $l\,r$ (l largo por recorrer); sobre la pendiente, el mismo trabajo será evidentemente $l_o\,(r+i)$; i = inclinacion en m/m por metro; tendremos: (ε) $lr = l_o\,(r+i)$; si l_v es el largo virtual, $l_v = \frac{l}{l_o}$; tendremos sustituyendo

$$\frac{l\,r}{l} = \frac{l_o}{l}\,(r+i);\quad \frac{l}{l\,r} = \frac{l}{l_o\,(r+i)}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{l_v}{r+i};\quad l_v = \frac{r+i}{r} = 1 + \frac{i}{r}$$

Tomaremos como término medio:

r=3.33 kilógrámos por tonelada; $\frac{1}{r} = 0.3$

$$l_v = 1 + 0.3\ i$$

En curvas.—Tomaremos la suma de las dos resistencias que hemos considerado en las curvas:

$$\frac{P\ f}{2\ R}(e + \sqrt{l^2 + e^2})$$

Para $\begin{cases} P = 1\,000 & l = 6.00 \\ f = 0{,}142 & R = \text{Radio} \\ e = 1 \end{cases}$

tenemos: $\frac{P\ f}{2\ R}(e + \sqrt{l^2 + e^2}) = \frac{1\,000 \times 0\,142}{2\ R}(1 + 6.08) = \frac{1005{,}36}{2\ R} = \frac{502{,}68}{R}$

tomaremos: $\frac{500}{R}$

i admitiremos que la resistencia total del tren, locomotora i carros en curva, valdrá $\frac{500}{R}$

Supongamos que un trozo recto de via de lonjitud l sea equivalente como trabajo por desarrollar a una curva de largo l_o; igualando las dos fuerzas:

(a) $$l\,r = l_o\,(r + \frac{500}{R})$$

si $l\ v_1$, es el largo virtual en curva, tendremos:

$$l\ v_1 = \frac{l}{l_o} = 1 + \frac{500}{R\,r}$$

sustituyendo r = 3,33 kilómetros por tonelada:

(b) $$l\ v_1 = 1 + \frac{150}{R}$$

estas dos fórmulas (a) i (b) nos darán el largo virtual de la línea: (a) en recta i (b) en curva.

Tomando en conjunto el caso de rampas i pendientes tendremos:

$$L = L_o + 150\ \Sigma\ h$$

siendo $h = h_1 + h_2 + h_3 + \text{etc.}$, suma de rampas i pendientes espresadas en metros.

En resúmen, calcularemos con las siguientes fórmulas:

$$L = L_o + 150\ \Sigma\ h$$

$$l\ v_1 = 1 + \frac{150}{R}$$

Segunda solucion

Cremallera

Locomotora.—Los cálculos de dimensiones de locomotoras para cremallera no presentan dificultad cuando conocemos el esfuerzo de traccion que debe ejercer. Basta entónces dividir este esfuerzo con relacion a los diámetros de la rueda dentada i del piñon motor, para tener el esfuerzo tanjencial en el círculo primitivo de la rueda.

Igualando el trabajo de esta fuerza para una vuelta de la rueda con el vapor útil de los cuatro cilindros, tendremos las dimensiones de éstos. Para no estendernos demasiado sobre estos cálculos, tomaremos sólo los mas indispensables.

Las esperiencias sobre las máquinas suizas nos demuestran que se puede estimar aproximadamente el peso de estas máquinas tomando 90 kilógramos por caballo de vapor. Si P′ es el peso de la locomotora en toneladas, 1 000 P′ seria en kilógramos; basándonos en esa esperiencia tendremos: (α) $1\,000\ P' = 90\frac{R\ v}{75 \times 3{,}6} = 90\frac{R\ v}{270} = \frac{R\ v}{3}$.

El esfuerzo de traccion R no es otra cosa que la suma de todas las resistencias en kilógramos que opone el tren entero; la manera de obtener esos esfuerzos la hemos estudiado en el capítulo anterior i se puede espresar de una manera jeneral como sigue:

$$(\beta)\quad R = (P + P')(r + i)$$

Las locomotoras corrientes son con cuatro ejes acoplados i un eje portador; la carga máxima que puede subir una máquina de estas condiciones es de 150 toneladas, a razon de 12 kilómetros por hora, sobre una pendiente de 6%; si tomáramos en término medio P = 120 toneladas, e *i* máximo 60 m/m por metro, estimando que la resistencia del tren sobre nivel seria de 10 kgs. por tonelada, tendremos:

$$r = 10 \text{ kilógramos}$$

i la ecuacion (β) nos daria: $R = (120 + P')(10 + 60)$

$$R = 8\,400 + 70\ P'$$

de la ecuacion (α) tendremos, para v = 12 kilómetros por hora:

$$1\,000\ P' = \frac{R\ 12}{3} = 4\ R, \text{ i de aquí: } R = \frac{1\,000\ P'}{4} = 250\ P'\ (\gamma)$$

i sustituyendo este valor de R en el deducido de (β) tendremos:

$$8\,400 + 70\ P' = 250\ P', \text{ de donde: } P' = 46{,}66 \text{ toneladas}$$

o sea una locomotora de peso de 47 toneladas.

El esfuerzo de traccion en kilógramos lo tendremos segun (γ)

$$R = 250\,P'$$

$$R = 250 \times 47 = 11\,750 \text{ kilógramos}$$

i en caballos de vapor:

$$\frac{11\,750 \times 12}{75 \times 3.6} = \frac{14\,100}{27} = 522 \text{ H. P.}$$

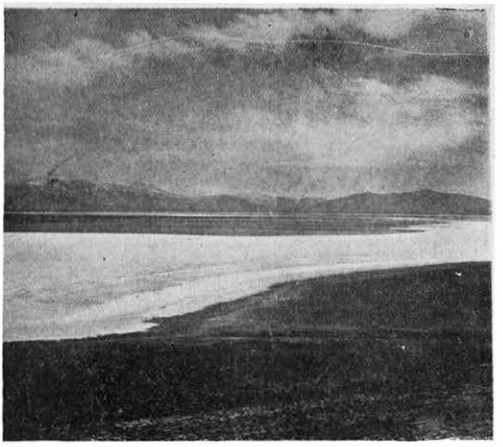
que es un tipo corriente de locomotora de cremallera.

Largo virtual.—El largo virtual de la cremallera se calculará de la misma manera que lo hemos hecho para la adherencia, solamente haremos en las ecuaciones i fórmulas r = 10 en lugar de r = 3.33 i tenemos en caso de línea recta:

$$l_v = 1 + \frac{i}{r} = 1 + 0{:}1\,i; \qquad \text{i en las curvas: } l\,v_1 = 1 + \frac{500}{R\,r} = 1 + \frac{50}{R}$$

(*Concluirá*).

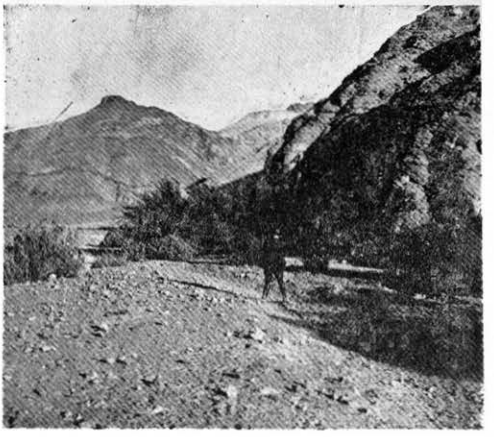




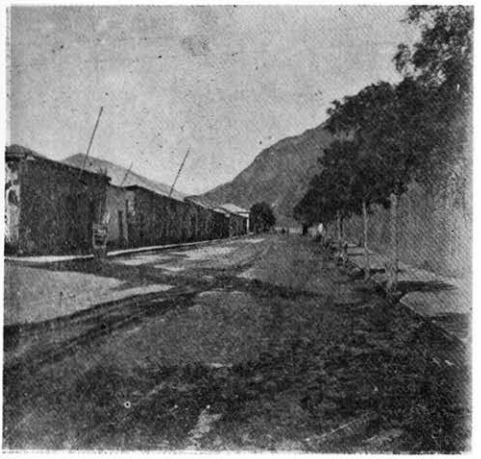
BORATERAS DE MARICUNGA

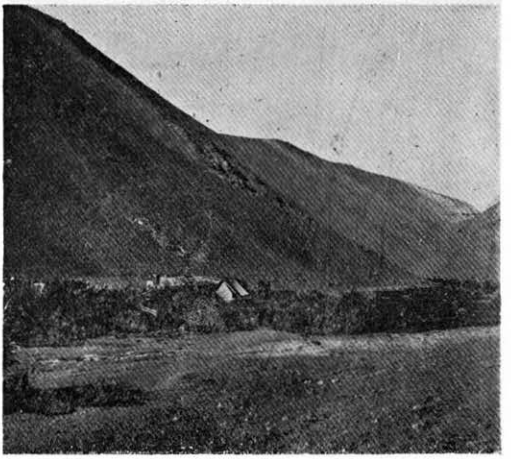


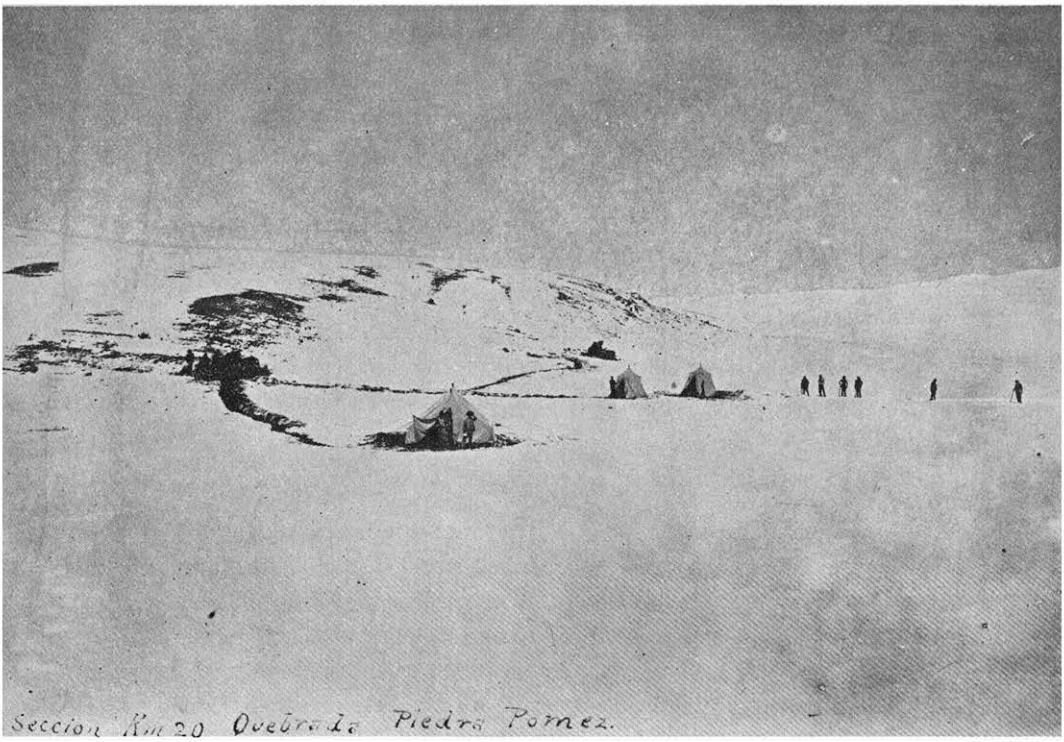
Quebrada Sta. Rosa - Nevados Tres Cruces



Quebrada de Paipote - Encrucijada







IV Seccion Km 20 -- QUEBRADA PIEDRA PÓMEZ

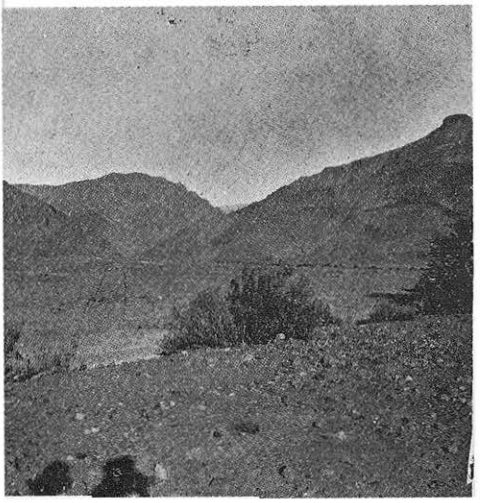




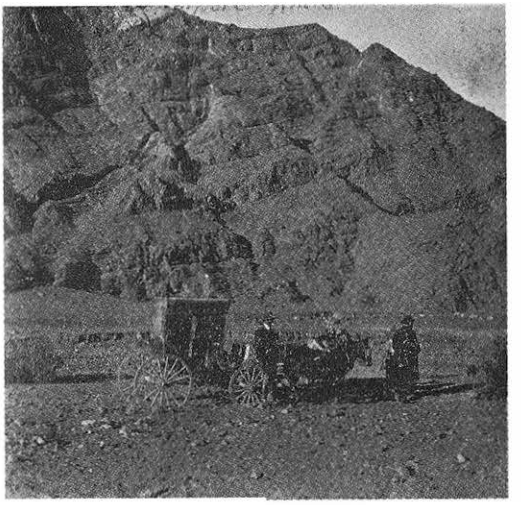
QUEBRADA PIEDRA PÓMEZ



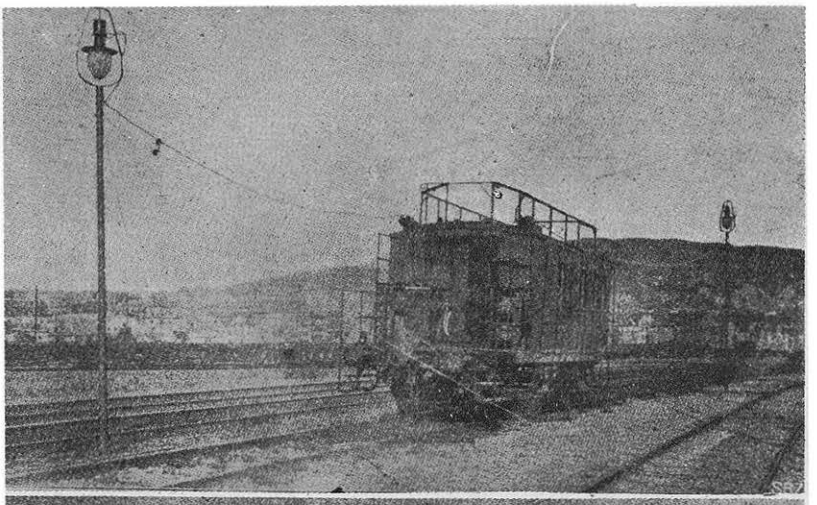
QUEBRADA PAIPOTE

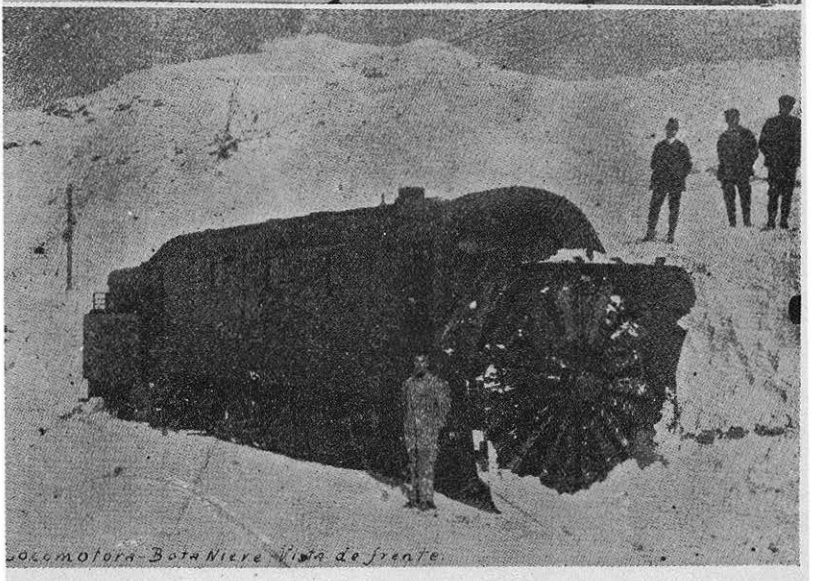


QUEBRADA PAIPOTE - K. 8



CARRO AUTO-MOTOR, EN ESTACION





LOCOMOTORA BOTA NIEVE