

69
— 4 —
CHILE Y LA REPÚBLICA ARGENTINA

Comunicación presentada al Instituto de Ingenieros

SOBRE

EL FERROCARRIL TRASANDINO CLARK

POR

ENRIQUE LABATUT

Ingeniero Civil y Mecánico



SANTIAGO DE CHILE
IMPRESA GUTENBERG

38—ESTADO—38

—
1894

4-

COMUNICACIÓN

Presentada al Instituto de Ingenieros

SOBRE

EL FERROCARRIL TRASANDINO CLARK

POR

ENRIQUE LABATUT B.

Ingeniero Civil y Mecánico



DIVISIÓN DEL ESTUDIO

INTRODUCCIÓN

- I.—Descripción general del Ferrocarril Trasandino.
- II.—Instalaciones de las máquinas perforadoras.
- III.—Los ferrocarriles de Cremallera.



SANTIAGO DE CHILE
IMPRESA GUTENBERG

38—ESTADO—38

—
1894



EL FERROCARRIL TRASANDINO CLARK

Introducción

Habiendo solicitado la Junta Directiva del Instituto de Ingenieros, por medio de circulares, á los socios de esta corporación, que se sirviesen enviarle algunos trabajos científicos sea para insertarlos en los ANALES ó para dar conferencias, yo prometí colaborar en cuanto me fuera posible, para poder ayudar á los directores que dirigieron esas circulares, y les anuncié un trabajo sobre el «Ferrocarril Trasandino Clark.»

Ahora, en fin, cumplo con mi promesa, esperando encontrar de parte del Instituto la misma benevolencia con que ha recibido mis trabajos anteriores.

He escogido como tema «El Ferrocarril Trasandino,» porque lo considero de gran interés para el país, como todo el mundo lo sabe; un viaje que tuve ocasión de hacer á las cordilleras para visitar los trabajos ya realizados y los que están por hacerse, como así mismo la lectura de varias revistas y publicaciones extranjeras y también las numerosas informaciones que debo á la amabilidad de don Mateo Clark, hizo, que tuviese la idea de recapitular todos los principales datos que conocía, y escribir estas cuantas páginas.

Pienso pues, que este sujeto interesará á mis distinguidos colegas del Instituto de Ingenieros, porque les dará ideas de la importancia de esa obra, verdaderamente colosal.

Los trabajos están, por ahora, paralizados por las razones de todos conocidas. No han encontrado los empresarios acogida favorable en el seno de nuestro Congreso Nacional, ó por lo menos, se ha entorpecido el despacho de ese negocio.

Los empresarios no piden al fin y al cabo, gran cosa, y negarles los subsidios cuando está hecha la mayor parte de la obra es un acto de inexcusable tacañería.

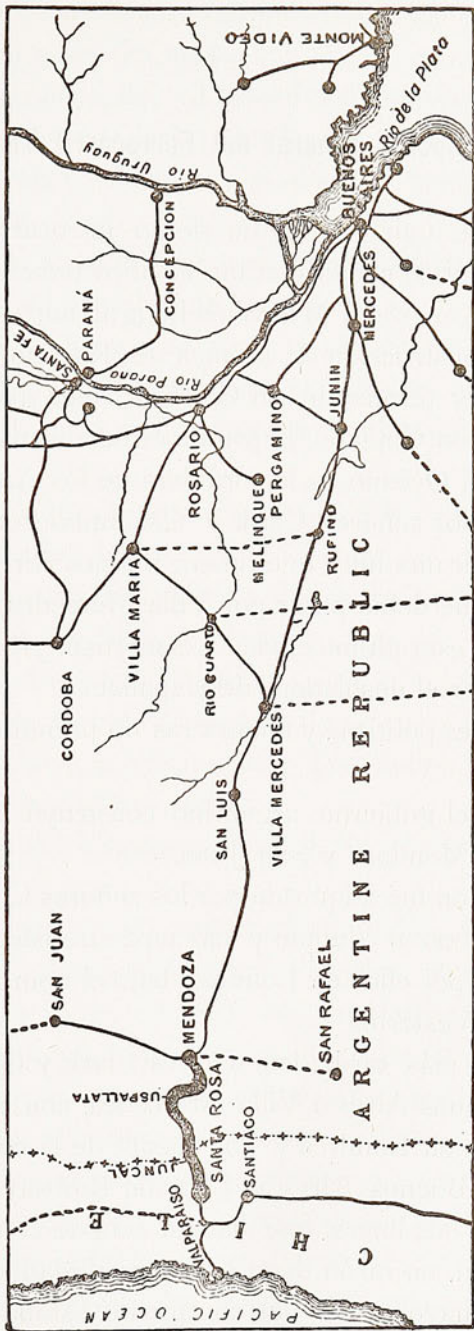
Los empresarios piden la garantía de 1% más, sobre lo que se ha acordado anteriormente: hoy tienen el 4% y necesitan el 5%.

No necesito entrar en detalles menudos para demostrar la gran conveniencia que tiene para el país la terminación de ese ferrocarril. Esta se impone por razón de su propia evidencia. La prensa se ha ocupado de la materia con atención en diversas ocasiones y con unánime aprobación.

En efecto, quién puede poner en duda los benéficos resultados que procura la condensación de las distancias, lo cual da mayor facilidad para entretener alianzas comerciales entre los pueblos, conocerse mejor los hombres entre ellos y poderse procurar todas las materias primas que les son indispensables y necesarias para el desarrollo siempre creciente de sus industrias y transformarlas para satisfacer las necesidades más diversas de la sociedad.

Sin las facilidades de los medios de transporte que actualmente disponemos nunca se hubiera llegado al estado de prosperidad actual.

Y nótese que á pesar del enorme desarrollo de los ferrocarriles, los caminos carreteros no dejan por eso de subsistir, y por el contrario siempre se sigue mejorándolos y construyendo nuevos, visto que jamás se llegará á construir todos los ferrocarriles necesarios para que pasen por todas partes.



I

Descripción general del Ferrocarril Trasandino

La idea de unir por medio de un ferrocarril las costas del Océano Atlántico con el Océano Pacífico tiene ya algunos años.

En efecto, en 1863, Mr. Wheelwright, norte-americano, emprendió la construcción de la línea de Rosario á Córdoba, después de haber terminado, en Chile, la línea que une el puerto de Caldera con Copiapó, la primera que disminuyó la distancia que separa el Océano de la cordillera de los Andes.

En 1873, los señores Clark y C.^a obtuvieron una concesión para construir una línea que uniera Buenos Aires con el Océano Pacífico, y que debía pasar por Villa Mercedes y Mendoza con un ramal de esta última ciudad á San Juan, y llegar á la frontera chilena por el desfiladero de Uspallata.

Dificultades políticas y financieras no permitieron realizar este proyecto.

En 1880, el gobierno argentino construyó la línea de Villa Mercedes á Mendoza y San Juan.

Esta sección fué adquirida por los señores Clark por la Suma de £ 2.870,000 al contado y más tarde transferida á la compañía formada por ellos en Londres, bajo el nombre «The Argentine Great Western.»

Tres años más tarde, los señores Clark y C.^a terminaron la línea de Buenos Aires á Villa Mercedes, con capitales levantados por ellos en Londres y por cuenta de la compañía denominada, «The Buenos Aires and Pacific Railway C.^a»

Con estas dos líneas, que habían sido de construcción relativamente fácil, en razón de la horizontabilidad casi completa del terreno, la mayor parte del continente estaba atravesado por líneas férreas. Sólo quedaba por escalar la cordillera de los An-

des, la cadena de montañas más grande del mundo y una de las más altas sobre el nivel del mar.

Los trabajos actuales del «Trasandino» fueron principiados en 1887 por los señores Clark, para la sociedad «The Buenos Aires and Valparaíso Trasandine Railway C.^a» organizada por ellos en Londres.

Esto es para la sección argentina comprendida entre la ciudad de Mendoza y la cumbre de los Andes.

En el territorio chileno, es decir desde Santa Rosa de los Andes á la cumbre de la Cordillera, la línea se construye por la Sociedad Clark, á la cual pertenece igualmente la concesión de explotación.

Esta sección fué igualmente transferida á la compañía «Clark Trasandine Railway.»

El ferrocarril de Buenos Aires á Valparaíso pertenecerá pues á cinco compañías distintas, á saber:

«The Buenos Aires and Pacific.»

«The Argentine Great Western.»

«The Buenos Aires and Valparaíso Trasandine.»

The Clark's Trasandine», en fin

«El ferrocarril del Estado de Chile», de los Andes á Valparaíso.

Los primeros estudios del ferrocarril trasandino fueron hechos en 1873; pero los planos definitivos no fueron terminados, más que en 1887. Este largo intervalo fué motivado por los numerosos estudios que han sido hechos y por las dificultades que ha sido necesario vencer para ejecutar un trazado al traves de regiones que no tenían ningún camino verdadero y casi desconocidos desde el punto de vista geográfico y geológico.

La región por donde la línea atraviesa la cordillera está situada entre el pico del Tupungato al sur y el de la Aconcagua al norte; estos gigantes de los Andes chilenos que alcanzan á 7,000 metros de altura aproximadamente.

En el territorio chileno, la vía recorre las montañas del valle del Aconcagua; en el territorio argentino, sigue los valles formados por los ríos Mendoza y de las Cuevas, trayectos sembrados de obstáculos considerables, debidos á las numerosas sinuosidades de estos dos ríos, á las barreras creadas por masas cónicas de cascajo acarreadas por los torrentes laterales, y sobre todo á las barrancas, bancos verticales de cascajo depositados antes por las aguas. Varias de estas barrancas tienen hasta 70 metros de altura.

El ferrocarril trasandino, propiamente dicho, se divide pues en dos secciones: la Argentina, con una extensión de 175 kilómetros, y la Chilena con una extensión de 65 kilómetros.

Los extremos de la línea, que son: Mendoza y Santa Rosa de los Andes, se encuentran el primero á una elevación de 2,376 pies sobre el nivel del mar y distante 1,040 kilómetros de Buenos Aires, y el segundo á una elevación de 2,739 pies y distante 133 kilómetros de Valparaíso.

En Santa Rosa la línea está unida con una corta línea de 400 metros con los Ferrocarriles del Estado que llegan á Santiago y Valparaíso.

La trocha del Ferrocarril del Estado es de cinco pies seis pulgadas, pero para el ferrocarril trasandino, cuyo trayecto recorre ó atraviesa casi toda su extensión una región montañosa, se ha adoptado la trocha de un metro ($3'33\frac{3}{8}''$).

Los trabajos se iniciaron en Mendoza en Enero de 1887 y en Septiembre de 1890 la línea se encontraba lista para el tráfico hasta el kilómetro 74, cerca de Uspallata; y á pesar de la crisis financiera que tan seriamente ha afectado toda empresa argentina, la construcción siguió adelante hasta Punta de las Vacas, que dista 140 kilómetros 800 metros de Mendoza, y sólo 32 de la línea fronteriza de Chile. Esta distancia se puede salvar fácilmente en carruajes, en cuatro horas, una vez que se

mejore el camino carretero que fué construído para el transporte de la maquinaria para los túneles.

En el curso del año venidero la locomotora llegará probablemente á Puente del Inca, es decir, á 17 kilómetros 600 metros más adelante, quedando entonces por construir sólo 14 kilómetros 400 metros de la sección argentina.

Por el lado chileno los trabajos fueron iniciados el 5 de Abril de 1887, por los señores Clark y C.^a, por su propia cuenta.

Estos caballeros tuvieron la intención de emitir bonos por el costo, una vez que llegara la línea al Juncal, que dista 51 kilómetros 200 metros de Santa Rosa, al pie del paso; pero hubo que suspender los trabajos en Diciembre de 1890, debido á la crisis financiera y á los disturbios políticos que envolvieron á Chile.

Actualmente los rieles están tendidos hasta el «Salto del Soldado», en una extensión de 28 kilómetros; pero hay mucho trabajo hecho más allá de ese punto; encontrándose sobre el terreno los materiales para toda la línea y habiéndose construído instalaciones mecánicas muy completas para la perforación de los túneles de la cumbre.

Se ha efectuado la perforación de 3,000 metros de túneles por obra de mano, y aún quedan por perforar 12,000 metros más ó menos, lo que, con el material colosal de perforación de que se dispone actualmente, podría efectuarse en menos de tres años trabajando en más de 47 labores distintas á la vez.

El gran desarrollo que se ha dado á los túneles tiene por objeto el proteger de una manera eficaz la línea contra los temporales de nieve, y se ha dado la preferencia á la construcción de túneles en vez de los galpones de madera que se adoptaron en el ferrocarril de California.

Se cree fundadamente que llegando los rieles al pie del paso, por ambos lados, se establecerá un gran acarreo de pasajeros, carga y animales, el que tomará proporciones considerables una

vez que esté terminada la línea, pues, las provincias andinas de la República Argentina podrán efectuar su comercio de exportación é importación con un costo muy reducido por esta vía.

El viaje de Buenos Aires á Valparaíso por mar necesita más ó ménos doce días y cuesta £ 35 (habiendo sido reducido de £ 40 recientemente), mientras que por el ferrocarril sólo demorará 40 horas, con un gasto de menos de £ 10, siendo la distancia total de 1,408 kilómetros.

El punto más alto de la línea es de 10,800 pies en la línea fronteriza que pasa por el túnel de La Cumbre, siendo como de 4,000 pies menos que en el ferrocarril de la Oroya en el Perú, y 2,000 menos que en el de Antofagasta en Bolivia.

Habiéndose tropezado con la imposibilidad, sin incurrir en gastos muy subidos, de desarrollar la línea en una corta distancia á ambos lados de la frontera, lo suficiente para obtener gradientes que permitiesen una explotación económica por adherencia, se resolvió adoptar el sistema Abt de cremallera combinada con adherencia que lleva en el centro de la vía tres rieles dentados, los cuales corresponden á las ruedas de engranaje de la locomotora.

Este sistema sólo se empleará en la sección montañosa, es decir, en la parte más elevada. Las locomotoras han sido construídas de tal manera que podrán trabajar ó funcionar por adherencia en las gradientes suaves y con los rieles dentados en las fuertes.

Son, en una palabra, locomotora mixtas.

La gradiente más violenta en toda la línea es de 8%.

Saliendo de Santa Rosa la línea sigue, como hemos dicho, el río Aconcagua, atravesando una hermosa comarca y prados cultivados, lo más bello de la naturaleza se desarrolla en esta parte á la vista del viajero; y luego, después de atravesar grandes cortes tallados en piedra muy dura y algunos pequeños

puentes, de construcción elegante y sólidos, penetra al resguardo del río Colorado, situado cerca del kilómetro 20.

Hasta este punto las gradientes son suaves, habiéndole usado la máxima de $2\frac{1}{2}\%$ en una distancia relativamente corta. La línea pasa en seguida por dos socavones, uno de 55 y el otro de 14 metros. Más allá, en el kilómetro 24, los trabajos han sido excepcionalmente pesados y difíciles, habiendo sido necesario emplear largas murallas de retención y construir dos túneles de 47 y 70 metros de largo respectivamente, en sitios donde la barrera de rocas era demasiado vertical para practicar cortes.

Cerca del kilómetro 26 la línea llega á la angostura del Salto del Soldado, donde los rieles se encuentran á una altura de 40 metros sobre el río, que corre entre murallas perpendiculares de rocas de más de 60 metros de altura. Las dificultades del terreno han sido salvadas con la construcción de cuatro túneles. El primero con 242 metros de largo, está tan curvado que al salir, la línea es llevada sobre el río Aconcagua por un puente con un arco de 20 metros, y atravesando este puente entra inmediatamente al segundo túnel de 60 metros de largo, con una curva á la inversa; después de recorrer cien metros de un alto terraplén, la línea entra en el tercer túnel, que tiene una longitud de 42 metros; y poco más allá se encuentra el cuarto túnel con una longitud de 67 metros. Todos estos túneles han sido trabajados en la roca dura y no necesitan revestidura.

Tenemos, pues, en esta primera sección ocho túneles con un largo total de 597 metros.

Pasados éstos y pasada también el declive de la montaña por un corte y terraplenes construídos con murallas de retención, la línea atraviesa otra vez el río, pasando á la ribera izquierda por un puente de 40 metros, compuesto de dos arcos; después de pasar por una larga gradiente de $2\frac{1}{2}\%$ sobre terraplenes y cortes suaves, comparados con los de otras partes de la línea, llega ésta á la estación de Río Blanco, situada en el kilómetro

33, á una altura de 1,420 metros, ó sea 600 metros más que la de Santa Rosa de los Andes.

Hasta este punto, aunque el trabajo ha sido muy pesado en ciertas partes, no ha sido necesario emplear una gradiente mayor de $2\frac{1}{2}\%$; pero después de salir de la estación de Río Blanco, situado medio kilómetro más abajo de la confluencia del río de este nombre con el Aconcagua, la pendiente del valle es mucho más pronunciada y se hace necesario adoptar una gradiente de 8% para poder mantener la línea sobre la superficie, ahorrando así altos terraplenes y grandes cortes.

El trayecto desde Santa Rosa hasta el Salto del Soldado, kilómetro 28, se encuentra concluído, y en poco tiempo y con un gasto relativamente insignificante, podría terminarse hasta Río Blanco, kilómetro 33.

Como la pendiente máxima no pasa de $2\frac{1}{2}\%$, esta sección podría explotarse con locomotoras ordinarias, pero desde el kilómetro 35, en donde principian las gradientes más fuertes, se hace indispensable usar las locomotoras de cremallera, que funcionan por medio de ruedas de engranajes sobre rieles dentados colocados en el centro de la vía, como lo hemos dicho más arriba.

Desde el kilómetro 35 hasta la cumbre, kilómetro 65, se empleará casi totalmente el sistema de cremallera, con pequeños trayectos horizontales, en los cuales se colocarán desvíos para facilitar la pasada de los trenes; [habrán, sin embargo, dos trayectos, cada uno de un kilómetro, en los cuales la pendiente no excederá de un $2\frac{1}{2}\%$.

Entre Río Blanco, kilómetro 33 y el Juncal, kilómetro 51, habrá una estación en Guardia Vieja, kilómetro 38. En este trayecto se atraviesa el río tres veces para conseguir la mejor ubicación de la línea, y con gradientes de 8% no será muy trabajosa la explotación, aunque hay partes, como por ejemplo, en los puntos en que se atraviesa el río, en los cuales los terraplenes por su altura han dado mucho que hacer.

Encontrándose los cortes en roca dura, una vez terminados se encontrarán libres de derrumbes y otros accidentes de esta naturaleza, debidos á las intemperies del tiempo.

El Juncal, kilómetro 51, está situado en el extremo del valle de Aconcagua, y al pie de la cresta que divide á Chile de la República Argentina; tiene una altura de 2,250 metros sobre el nivel del mar, y 1,030 metros más abajo del punto culminante del ferrocarril, el cual está situado en el túnel de la cumbre, cerca de la frontera, á una altura de 3,280 metros y de 2,500 metros de largo.

Este túnel de la cumbre sale á terreno argentino en el valle de Las Cuevas, á la misma altura de 3,280 metros sobre el nivel del mar. Entre este punto y el Juncal, los túneles se siguen casi sin interrupción, estando separados unos de otros por un corto trayecto descubierto.

Dos de estos túneles son construídos en forma helicoidal.

Esta sucesión de túneles, ofrecerá dificultades de construcción que la hará una de las obras de arte, las más atrevidas que se hayan todavía ejecutado en una vía férrea.

El primer túnel principia en el kilómetro 54, distante 3 kilómetros de la estación del Juncal, y las dimensiones de los túneles son como sigue:

Túnel del Juncal.....	1,104	metros
» » Juncalillo.....	1,275	»
Túnel helicoidal, Portillo.....	1,855	»
Segundo helicoidal.....	1,260	»
Túnel N.º 5.....	115	»
» » 6.....	105	»
» » 7.....	165	»
» » 8.....	355	»
» » 9.....	55	»
» » 10.....	50	»

Túnel N.º 11.....	1,820	»
» » 12.....	190	»
» » 13.....	315	»
» » 14.....	70	»
» » 15.....	245	»
» » 16.....	260	»
» » 17.....	120	»
» » 18.....	385	»
» » 19.....	630	»
» » 20.....	520	»
» » 21.....	200	»
» » 22.....	180	»
» » 23.....	230	»
Túnel de la cumbre, N.º 24.....	2,500	»

Lo que da un total de 14,004 metros, siendo de observar que en el túnel de la cumbre, 900 metros solamente pertenecen á la sección chilena.

De estos 24 túneles, que se siguen de una manera casi continua, pueden ser atacados por 47 puntos distintos, lo que abreviará inmensamente el tiempo para su ejecución.

Como el Ferrocarril Trasandino Clark, llegará, como lo hemos dicho, sólo hasta la línea fronteriza, donde se encontrará con la perteneciente á la compañía trasandina argentina, entonces 1,600^m del túnel de la cumbre. pertenecerán á esta compañía.

Con escepción del último túnel nombrado que pasará por debajo de la línea divisoria de las aguas, todos los túneles siguen la dirección del antiguo camino por el valle más alto ó superior; y por consiguiente, ha sido posible construir ventanas ó pasajes laterales, lo que facilitará mucho la construcción.

La línea se puede dividir en tres secciones, la primera de Santa Rosa hasta Río Blanco, con una longitud de 33 kilóme-

tros, casi concluída, con gradiente de $2\frac{1}{2}\%$ que será explotada por el sistema de adherencia; la segunda de Río Blanco á Juncal, con una longitud de 18 kilómetros, sin túneles, con gradientes de 8% , en la cual se empleará el sistema de adherencia combinado con el de cremallera; y la tercera sección, desde el Juncal hasta la frontera, con una longitud de 14 kilómetros, con túneles casi continuos y gradientes fuertes, en la que se empleará también el sistema de cremallera. La primera sección ha sido dotada de rieles con pie plano, pesando 50 libras por yarda; las curvas menores tienen un radio de 100 metros afuera de los túneles. Para la segunda y tercera sección se han adoptado rieles de peso de 55 libras por yarda, para soportar las locomotoras más pesadas. Los rieles en la parte con cremallera, descansarán sobre durmientes de acero, los que llevarán un cojinete para recibir los acientos de los rieles de engranaje; la curva mínima ha sido fijada con radio de 200 metros, y la gradiente más fuerte es de 8% ó sea 1 en $12\frac{1}{2}$.

Las locomotoras que han sido construídas para funcionar en las secciones que serán explotadas por el sistema de engranaje, podrán funcionar por adherencia usando un par de cilindros, y por adherencia y engranaje usando dos pares. La vía de engranaje se compone de tres barras de acero colocadas paralelamente.

Cada locomotora podrá arrastrar un tren con peso de 70 toneladas en las gradientes más fuertes.

El equipo rodante ha sido dotado con frenos Heberlein.

La obra más importante por ejecutar, es la perforación del túnel de la cumbre.

Para completar esta descripción general, daremos una ligera reseña del estado de la línea en la sección argentina, del ferrocarril trasandino, es decir, desde Mendoza hasta la cumbre, notando particularmente los puntos principales.

La línea al salir de Mendoza, corre del sur-oeste al sur durante los 12 primeros kilómetros, atraviesa tierras fértiles muy bien

cultivadas, pasa por la vecindad de las viñas del Trapiche y entra luego en una región estéril donde no existe más que yerbas y otras plantas de ningún valor.

La primera estación que se encuentra, se llama «La Compuerta», situada en el kilómetro 21.

En el kilómetro 24, se encuentra el Río Mendoza, que se atraviesa por un puente de 129 metros de largo, formado por seis tramos.

La línea da vuelta más al este, sigue la orilla derecha del río y llega en el kilómetro 23, á «Boca de Río», pequeña localidad donde se terminó la colocación de los rieles á principios del año 1890.

A partir de este punto, la línea corre rigurosamente al pie de las montañas y llega al fértil valle que llaman «Los Potreros de San Ignacio»; cruzando el río varias veces por grandes puentes de 45 y 50 metros de largo, y luego después se dirige hacia el sur y atraviesa el río por un puente de 75 metros de largo (1).

En el kilómetro 52 se encuentra el túnel, de «Los Potrerillos», cuya longitud es solamente de 40 metros.

A partir del kilómetro 54.400, la línea vuelve á tomar la dirección del norte, atraviesa de nuevo el Mendoza por un puente de 75 metros, pasa bajo dos túneles bastante cortos, vuelve al norte y pasa el río por un puente de 75 metros, el cuarto de estas dimensiones.

En el kilómetro 68 ha sido necesario hacer un largo corte al través de un cerro de cascajo. Entre los kilómetros 69 y 72, la línea descansa sobre la roca; pasa por dos túneles, á la salida de los cuales se encuentra el río Mendoza, sobre el cual se ha tirado un puente de 60 metros de largo, el último de los puentes importantes de este río.

(1) Es de advertir que todos los puentes de 60 y 75 metros son de un solo tramo.

Después de haber costeado el Cerro Negro, la línea alcanza la Pampa del Alumbre en el kilómetro 61 y la sigue durante 20 kilómetros, sin más particularidad que la subida y la bajada muy rápida de un ancho cono de cascajo desparramado al medio de la pampa por un río intermitente.

Del kilómetro 81 al kilómetro 89, la vía corre una falda de granito colorado, suspendida al costado de las montañas y encuentra la estación de Uspallata en el kilómetro 91. De este punto sigue un terreno plano y desolado, encerrado entre el río y las montañas, y se apoya estrechamente en estas últimas, en el kilómetro 105, para evitar una barranca de 70 metros de altura.

A partir del kilómetro 106, la línea deja atrás la pampa de Uspallata y penetra en un alto valle comprendido entre los Paramillos, cadenas de montañas paralelas á los Andes, de las cuales forman de cierto modo la vanguardia, y que se elevan á alturas que varían entre 2 y 3 mil metros.

Del kilómetro 114 al kilómetro 121, donde se encuentra las aguas tumultuosas del río Blanco, la ejecución de la línea no ha ofrecido grandes dificultades.

A partir del kilómetro 121, se puede decir que han comenzado verdaderamente las dificultades técnicas, en cuanto ha sido necesario atacar la naturaleza en sus más poderosos elementos.

La única solución que ofrecía el problema de trepar los Andes, era el empleo del ferrocarril de cremallera, solución acordada y adoptada exclusivamente por la propia iniciativa de los señores Clark.

En efecto se puede recordar que en el año 1875, cuando tuvo lugar la Exposición en Santiago, los señores Clark, que ya pensaban en la ejecución del ferrocarril trasandino, expusieron en dicha Exposición un sistema de ferrocarril de cremallera con su locomotora y algunos carros, ajecutados naturalmente en escala reducida y únicamente para ser expuestas, por ser entonces una gran novedad para nosotros.

Se debe, pues, únicamente á los señores Clarck la idea de implantar la cremallera Abt en el Trasandino.

Viene en apoyo de nuestra aserción la conferencia celebrada en Nueva York en la sociedad de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos, en Marzo de 1886, por el ingeniero Mr. Evans, que estuvo también al servicio del Gobierno de Chile, debido á las ideas expuestas por tan notable ingeniero fué que los señores Clark acordaron la adopción de este sistema, solicitando al efecto la aprobación de los gobiernos de Chile y argentino.

En el kilómetro 136 se ha puesto la primera sección de la vía de cremallera, para abordar la dificultad que presenta el terreno por el gran desnivel que allí existe.

Entre el kilómetro 120 y 136 á la altura del Paramillo de las Vacas, la vía está puesta sobre un terraplén de rocas botado en el lecho mismo del río Mendoza.

En Punta de Vacas, donde llega actualmente la línea, se establecerá una estación.

Un poco más arriba de este punto, la línea se dirigirá hacia el Oeste, para entrar en el valle de las Cuevas, que tiene por ambos lados algunas avalanchas que se evitarán atravesando el río varias veces.

De Punta de Vacas al Paramillo de las Cuevas el valle es más ó menos ancho y plano, pero con algunos accidentes que harían difícil la construcción de la línea por simple adherencia, y éstas se han salvado con la aplicación de pequeños trozos de cremallera, llegando así hasta el túnel de la cumbre, ó sea la línea divisoria.

Antes de llegar al túnel del maciso central se encuentra el túnel de Navarro, de una longitud de 1,755 metros, pero dividido en dos secciones, y el de la Quebrada Blanca, de 900 metros de largo.

El trabajo de estos túneles se encuentran bastante adelantados.

Creo conveniente explicar que estos dos túneles, aunque se llaman de la cumbre, son propiamente de acceso; y también advertiremos que estos túneles han sido construídos únicamente para proteger la línea contra las avalanchas de nieve, y son paralelos al valle mismo de las Cuevas.

Saliendo de éstos, la línea recorre unos 4 kilómetros más ó menos á cielo abierto y penetra en el verdadero túnel de la cumbre, cuya longitud, según los últimos estudios, tendrá sólo 2,500 metros y á nivel.

Sobre el territorio chileno, los Andes presentan una pendiente mucho más rápida.

Así en el Juncal, localidad que á vista de pájaro, está solamente á 10 kilómetros de la cumbre, se está al mismo nivel, en relación al del mar, que en el punto que se encuentra á 48 kilómetros de la cumbre en territorio argentino.

Esta bajada de la cumbre al Juncal, consiste en una serie de escalones gigantescos que deben su formación á movimientos del terreno en tiempos lejanos; desprendiéndose de los costados de las montañas enormes trozos que han detenido los ríos en su curso, y lo que ha dado origen á la formación de numerosos lagos que ya no existen, excepto el del Inca.

La construcción de una vía férrea sobre una tal pendiente, constituye seguramente uno de los problemas más difíciles que se hayan presentado á la ciencia de los ingenieros en estos últimos tiempos, y es debido al empleo de la cremallera que se ha podido dar una solución satisfactoria.

En fin, llegamos al túnel de la cumbre, en el cual á los 1,600 metros se encuentra la línea divisoria de las dos Repúblicas.

De una manera general, tenemos que en esta línea la pendiente máxima es de 2.5%, excepto para la parte de la línea

donde se empleará la vía de cremallera, en este último caso, hemos visto que la pendiente más grande es de 8%.

La trocha de la vía es de 1 metro.

Las curvas mínimas tienen 200 metros de radio para la cremallera, bien que el acto de la concesión admite curvas de 80 metros.

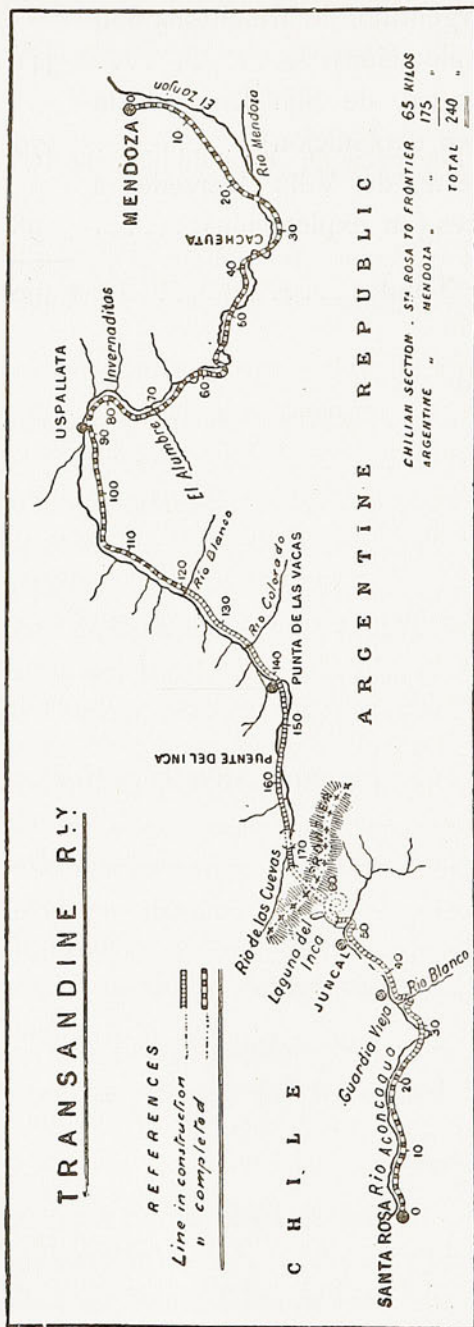
Podemos resumir de la manera siguiente las distancias y las principales alturas del Ferrocarril Trasandino.

		Distancias en kilómetros	Altitudes
Territorio argentino	{ Mendoza, punto de partida.....	0	719
	{ La Compuerta.....	20	1,020
	{ La Invernada.....	63	1,400
	{ Uspallata.....	90	1,700
	{ La Jaula.....	123	2,050
	{ Punta de las Vacas.....	163	2,300
	{ Puente del Inca.....	163	2,640
	{ Las Cuevas.....	175	3,100
Territorio chileno	{ Pasaje de la cumbre, frontera.....	177	3,300
	{ Calavera.....	182	3,040
	{ Portillo.....	186	2,740
	{ Juncal.....	189	2,250
	{ Río Blanco.....	216	1,500
	{ Santa Rosa de los Andes, término.	240	820

Terminaremos este primer capítulo con unos datos concernientes á las distancias y costos del ferrocarril de Valparaíso á Buenos Aires:

	Longitud en kilómetros	Precios en pesos de 48 peniques
Línea de Valparaíso á Santa Rosa de los Andes (en explotación).....	232	11.340.000
Línea Trasandina de Santa Rosa de los Andes á Mendoza (en construcción)...	240	12.000.000

Gran Oeste argentino, de Mendoza á San Luis (en explotación).....	341	11.286.000
Línea del Pacífico, de San Luis á Villa Mercedes (en explotación).....	579	24.864.000
Línea del Oeste, de Villa Mercedes á Buenos Aires (en explotación).....	98	2.529.000
	<hr/>	<hr/>
Total.....	1,490	62.019.000



II

Instalaciones de las máquinas perforadoras

A fin de ejecutar los socavones lo más pronto posible, se acordó en 1889 hacer la perforación de los túneles más largos con maquinaria.

Se estimó que el trabajo costaría más, pero en cambio la ganancia en tiempo compensaría el mayor gasto. El material fué adquirido y remitido y se estaba instalando cuando estalló la revolución á fines de 1890, lo que paralizó los trabajos.

Aquí debe mencionarse que los túneles son para una línea de simple vía, siendo el área de 18.51 metros cuadrados (199, 244 pies cuadrados); la altura de 5.30 metros (11,15 pies), y el radio del área de 2 metros (6,56 pies).

En la perforación de estos túneles, ó mejor dicho, en el modo de hacer la perforación, los señores Clark y Ca. han tenido que vencer dificultades extraordinarias, y una descripción detallada de la maquinaria será de interés.

Se puede decir que la instalación es única en su género, pues es primera vez que la fuerza motriz para hacer funcionar las perforadoras haya sido adoptada para ser transmitida á tan larga distancia por medio de cables eléctricos.

Se tomaron en consideración los distintos modos de obtener la fuerza motriz.

En primer lugar, la gran escasez de combustible, y el enorme costo que habría acarreado su provisión, hizo exclusión de toda fuerza que no fuese la natural para la impulsión de los compresores. En segundo lugar, como no se podía obtener la fuerza del agua en los mismos labores de los túneles, hubo que colocar las turbinas en los puntos en que se podía obtener la fuerza y transmitirla á los compresores.

La fuerza del agua sería pues convertida en electricidad, y transmitida á los túneles por medio de gruesos cables de cobre aislados; ahí los dinamos secundarios impulsarían á los compresores de aire, y la fuerza convertida de este modo en aire comprimido, sería á su turno transmitida á las labores donde haría funcionar las perforadoras y serviría á la vez para dar ventilación.

Siendo el túnel de la cumbre el más largo, la perforación mecánica se efectuará por los dos extremos á la vez, mientras que en los túneles del Portillo y de Calaveras la perforación se efectuará sólo por el extremo poniente ó inferior.

Por consiguiente la disposición de los varios departamentos de los trabajos es muy interesante y antes de entrar en una descripción de la maquinaria, nos referimos particularmente á su disposición y rendimiento general.

Hay tres instalaciones: una por el lado argentino de los Andes y dos por el lado chileno, siendo éstas distintas una de otra, exceptuando que las estaciones primarias por el lado chileno están situadas en el Juncal. Cada instalación tiene una estación primaria ó de arranque, en cuyos puntos se encuentran las turbinas y dinamos, y también una estación secundaria conteniendo los motores eléctricos y compresores de aire.

La instalación chilena se compone de dos estaciones primarias bajo un solo techo en el Juncal, con una estación secundaria en el Juncalillo y Calavera respectivamente. La fuerza motriz se transmite por distintos cables desde el Juncal á Juncalillo y á Calavera.

La fuerza que sirve para impulsar las turbinas se obtiene de la quebrada Juncalillo y la conducción del agua de los estanques á las turbinas se efectúa por una línea doble de cañería de acero de 20 pulgadas de diámetro.

La distancia de la fuente situada en la Quebrada al Juncal es de unos 1,500 metros; consiste en una depresión en el terreno

protegida por una muralla de rocas; el agua tiene salida por una galería practicada en la muralla, la que conduce á un acueducto de albañilería de 200 metros de largo, y éste conduce el agua á un depósito consistiendo de dos estanques, los que sirven para almacenar y filtrar el agua.

Como hemos dicho, este depósito está unido con la instalación en el Juncal por medio de tubos de acero con pestañas de fierro batido; las juntas son de anillos de madera comprimidos con pernos y tuercas.

La estación primaria en el Juncal consiste en seis turbinas Girard, dando cada una, una fuerza efectiva de 80 caballos con 700 revoluciones por minuto, y recibe cada una 50 litros por segundo, bajo una presión de agua de 170 metros.

La fuerza total emitida por las turbinas es, por consiguiente, de 480 caballos efectivos.

Cada turbina de 80 caballos está unida directamente con el eje de un dinamo de misma fuerza, por consiguiente, se evitará toda pérdida en la transmisión de la fuerza de las turbinas á los dinamos. Estos, que desarrollan una fuerza de 80 caballos cada uno con 700 revoluciones por minuto tienen una eficacia de 90% y una generación eléctrica de 400 volts i 135 ampères. Están colocados en grupos de tres dinamos, teniendo cada grupo un cable de transmisión y de retorno.

Hay gran ventaja en tener dos grupos, pues, si sucediese que se descompusiese uno, no hay necesidad de paralizar la perforación. Los cables han sido calculados para 400 por 3, igual á 1,200 volts, con una sección de cobre de 0.233 pulgadas y con una fuerza conductora de 98% de cobre puro, siendo la pérdida en los cables de transmisión y de retorno un 8%.

La estación secundaria en Juncalillo dista 3,000 metros del Juncal, la fuerza obtenida siendo de $2 \times 3 \times 80 \times 0,91 \times 0,92 = 401.8$ caballos de fuerza.

En Juncalillo los cables están unidos á seis motores eléctricos

iguales á los dinamos de 80 caballos que se encuentran en las estaciones primarias; pero debido á pérdidas en la línea sólo efectuarán 600 revoluciones por minuto.

Los motores poseen una eficacia comercial de 90%, y los seis darán una fuerza igual de $401.8 \times 0,90 = 361.67$ caballos.

Los motores con 600 revoluciones por minuto, impulsan seis compresores de aire con una velocidad de 180 revoluciones por medio de un eje que hace 300 revoluciones por minuto. Suponiendo que la pérdida de fuerza en la transmisión es de 5%, la fuerza eficaz para impulsar los compresores es de $361.67 \times 0,95 = 343,58$ caballos de fuerza. Los seis compresores absorben cada uno 9 metros cúbicos de aire por minuto, con una velocidad de 180 revoluciones por minuto, y lo comprimen á 6 atmósferas absolutas, siendo el total de 54 metros cúbicos.

Suponiendo que cada metro cúbico de aire absorbido y comprimido á seis atmósferas necesita una fuerza de 6.15 caballos, entonces la fuerza absolvida por los compresores será de $54 \times 6.15 = 332.10$ caballos, cuya cantidad deducida de la fuerza efectiva, es decir, 343.586 caballos, deja una fuerza efectiva de 11.486 caballos para el funcionamiento de las maestranzas y luz eléctrica.

La instalación en Juncal-Calavera es muy parecida á la de Juncal-Juncalillo que acabamos de describir, pero con sólo cuatro motores y cuatro compresores.

Las turbinas están colocadas en la misma casa y se surten con agua de la misma fuente. Estas y los dinamos son también del mismo tamaño y fuerza, pero como la distancia en Juncal-Calavera es de 7,000 metros i la de Juncal-Juncalillo sólo de 3,000 metros la fuerza efectiva para el funcionamiento de los compresores es relativamente menos. Los cables, uno de transmisión y el otro de retorno, tienen una sección de cobre de 0.271 pulgadas y llevan 1,600 volts (producto de 4 dinamos de 400 volts cada uno), con una pérdida de 12% en los dos cables.

Por consiguiente, la fuerza efectiva para hacer funcionar los cuatro compresores en Calavera (que son del mismo porte que las de Juncalillo), es de $4 \times 80 \times 0,91 \times 0,88 \times 0,90 \times 0,95 = 219,10$ caballos, necesitando los compresores $6,15 \times 36 = 221,4$ caballos de fuerza.

El aire comprimido, al salir de los compresores, es almacenado en estanques de fierro, de los cuales se surten las cañerías que conducen á los túneles. Los tubos tienen un diámetro de 0,1 metro y son unidos á golpe de martillos sin juntas; tienen pestañas ó cuellos de fierro batidos hechas en forma semi-circular para facilitar el transporte; las juntas son hechas de anillos de goma con pernos y tuercas.

Refiriéndonos ahora á la instalación del lado argentino, podemos decir que la fuerza del agua es tomada de la Quebrada Navarro, y el agua es conducida desde los estanques á las turbinas distantes de 350 metros por una sola línea de cañería de acceso, de 12 pulgadas de diámetro.

Debido á las dificultades que ofrecía el transporte en la región argentina, se encontró que los dinamos de 80 caballos eran demasiado pesados y para su transporte se adoptaron máquinas de la mitad de la fuerza; pero en doble número. En la estación primaria, en Navarro, se emplean cuatro turbinas Girard parecidas á las del Juncal, pero que trabajan con una presión de 115 metros de caída (377.3 pies) con 75 litros (16.5 galones) de agua por segundo. Estas turbinas dan una fuerza efectiva de 80 caballos con 700 revoluciones por minuto.

Cada turbina impulsa dos dinamos de 40 caballos cada uno, que están unidos directamente con los ejes horizontales, uno á cada lado. Las máquinas están colocadas en dos grupos, consistiendo cada uno de dos turbinas de 80 caballos cada uno y cuatro dinamos de 40 caballos cada uno. Las turbinas se surten de agua por una sola cañería. Los dos grupos funcionan con entera independencia uno de otro, siempre que no suceda algún

accidente ó entorpecimiento en la transmisión del agua. Los dinamos primarios, que absorben 40 caballos de fuerza, tienen una eficacia de 90%, con un producto eléctrico de 250 volts y 107 ampères, con una velocidad de 700 revoluciones por minuto.

Los cables que transmiten la fuerza tienen una sección de 0,221 pulgadas y el desperdicio, entre Navarro y Las Cuevas, una distancia de 3,000 metros, es de 8%. Los motores de 40 caballos en Las Cuevas son iguales á los dinamos en Navarro, y tienen una eficacia de 89% con una velocidad de 603 revoluciones. Por consiguiente, la fuerza efectiva que hace funcionar los compresores es de $2 \times 4 \times 40 \text{ caballos} \times 0,90 \times 0,92 \times 0,80 \times 0,95 = 224,74$ caballos (deduciendo 5% de desperdicio por la fricción de ejes y correas).

Los cuatro compresores son iguales á los de las instalaciones chilenas, y haciendo los cálculos sobre la misma base, es decir, de 6.15 de caballos para comprimir un metro cúbico de aire á seis atmósferas, resulta que la fuerza necesaria es de $36 \times 6.15 = 221.4$ caballos.

En estas tres instalaciones el aire es conducido, como lo hemos dicho, desde los compresores á grandes estanques de acceso y de éstos á los labores.

Las perforadoras son del tipo Ferroux, están colocadas en carros en grupo de á seis, corriendo los carros por rieles. Como la mayor parte del túnel tiene una gradiente de 8%, fué necesario hacer arreglos especiales para la extracción de las piedras. Para esto se usan cigüeñas en los puntos en que hay que botarlas al aire libre; y en los puntos en que puede ser acarreada por un declive, los carros que bajan suben á los vacíos.

Los movimientos están controlados ó gobernados por frenos tambores especiales, hechos por los señores Bradley y Craven.

Las distintas estaciones están comunicadas por teléfono, y la misma comunicación existe entre los estanques y las casas para turbinas, y de este modo la misma fuerza inicial, que por varios

procedimientos es convertida en fuerza activa en los túneles, sirve para comunicar rápida y fácilmente todos los distintos puntos de los trabajos, de modo que todo se encuentra bajo la vigilancia de los ingenieros.

Las maestranzas, que de paso sea dicho, son construídas de piedra canteada, que se encuentra en el mismo local, y provistas con techos de fierro y madera, están dotadas de alumbrado eléctrico producido por un dinamo independiente de fuerza de 10 caballos.

Las turbinas Girard fueron construídas por los señores Escher Wyss y C.^a, de Zurich, los dinamos y motores eléctricos por la compañía Oerlikon, también de Zurich, y los compresores de aire por los señores Burckhardt y C.^a, de Basilea; estando todas estas cosas relacionadas con los trabajos de igual naturaleza que se habían ya efectuado en los túneles de la Suiza. Las perforadoras Ferroux fueron construídas por los señores Demange y Satre, de Liona, bajo la inspección del inventor. Los cables han sido construídos por los señores Siemens de Londres.

Todas estas instalaciones han sido muy costosas, debido á la falta de caminos carreteros y la distancia á que hay que acarrear todos los materiales.

Desde los Andes hubo que conducir á lomo de mula todos los materiales de construcción menos la piedra; pero la empresa ha construído un camino carretero hasta Calaveras á su propio costo, para el transporte de las piezas pesadas de maquinaria.

Los numerosos edificios destinados á los trabajadores, á almacenes y oficinas, á maestranzas y caballerizas, han sido construídos de una manera sólida y han resultado adecuados para evitar toda paralización en la perforación de los túneles, efectuada á mano durante el invierno de 1890.

Los edificios destinados á la instalación de las labores de perforación mecánica estaban casi concluídos cuando estalló la revolución; desde entonces nada se ha adelantado. Los de Jun-

cal y Juncalillo están listos para recibir la maquinaria. El agua está lista y la cañería tendida. En Calavera no ha sido aún colocado el techo. Los tubos para el aire comprimido están todos en el terreno, pero algunos no están aún unidos. Toda la maquinaria de que se ha hecho mención está al pie de la obra ó en los depósitos de Juncal y Juncalillo. Los pesados cables eléctricos han sido colocados y la línea telefónica funciona desde el Juncal hasta el campamento en el Portillo.

El estado actual de la perforación se verá en la siguiente tabla:

Cumbre....	537	metros	lineales	de	perforación.
Calavera....	214	»	»	»	»
Portillo.....	198	»	»	»	»
Juncalillo...	217	»	»	»	»
Juncal.....	242	»	»	»	»

Además de esto hay 291 metros lineales de socavones horizontales de acceso y galerías iguales á los túneles. La perforación en los túneles del lado argentino, pertenecientes al ferrocarril trasandino argentino, alcanza 1,500 metros, lo que hace un total de cerca de 3,000 metros lineales de perforación ejecutada en menos de 8 meses, y la mayor parte en invierno.

Desde la paralización de los trabajos por causa de la crisis en Diciembre de 1890, se ha adelantado bastante, á pesar de todas las dificultades, llegando los rieles en el año por el lado argentino hasta Punta de Vacas, kilómetro 142 de Mendoza.

Esto facilitará mucho la conducción de materiales, pudiendo por consiguiente efectuarse los trabajos con mayor celeridad.

Entre el Salto del Soldado y el Juncal, en Chile, la parte que no contiene túneles se podría terminar en menos de un año, y ya que todo el trabajo preliminar está hecho y los materiales se encuentran sobre el terreno, la sección de la cumbre podría terminarse en menos de tres años.

La Maestranza en los Andes está construída y dotada de toda la maquinaria necesaria para efectuar las composturas del material y para la construcción de obras de importancia.

III

Los ferrocarriles de Cremallera

CONSIDERACIONES GENERALES Y VENTAJAS DE LOS FERROCARRILES DE CREMALLERA

La construcción de ferrocarriles en los países montañosos presenta, por lo general, grandes dificultades técnicas y puede conducir á gastos enormes de primer establecimiento que no estén en relación con la importancia que el ferrocarril proyectado puede procurar á las localidades que sirva.

Entonces se impone un estudio concienzudo del sistema más ventajoso de ferrocarril que se deberá adoptar para las exigencias del caso, de manera que los gastos de su construcción y explotación sean ventajosamente compensados.

No sólo en el caso de que el trazado de un ferrocarril por adherencia sea imposible entre dos puntos dados, deba intervenir la cremallera; en efecto puede haber casos que entre dos trazados admisibles, el trazado de cremallera tendrá que preferirse: Por la reducción de la longitud de la línea, por la menor importancia de los desmontes y terraplenes y demás obras de arte, los ferrocarriles de cremallera hacen que los gastos de primer establecimiento sean inferiores á los de ferrocarriles por simple adherencia.

Si existe casos en los cuales el empleo de una vía de cremallera se impone por sí misma, hay muchos donde habrá lugar de comparar esta solución con la de una vía ordinaria.

Así, apoyándonos con ejemplos, se comprueba que en ciertos ferrocarriles suizos, como en el de *Viège Zermatt*, destinado á

los turistas, después de haber comparado los dos sistemas, la adaptación de la cremallera permitió realizar una disminución de longitud de 500 metros y una disminución de gastos de 500 mil francos.

Para el ferrocarril de *Hællenthal*, un anteproyecto de ferrocarril ordinario conducía á un gasto de 45 millones de francos; el ferrocarril de cremallera no ha costado sino 8 millones.

A pesar del precio subido de la cremallera se puede llegar á un costo aceptable por kilómetro, y si se piensa en las disminuciones de longitud obtenidas, cuando las dos soluciones son posibles, se convence de la importancia de las comparaciones.

Los gastos de explotación son más elevados por kilómetro para los ferrocarriles de cremallera, pero esto no prueba *a priori* que bajo el punto mismo de la explotación, el ferrocarril mixto de cremallera y adherencia no sea preferible en un caso dado al ferrocarril ordinario.

Por regla general se admite la gradiente de 25 milímetros por metro como un máximo que no es preciso sobrepasar, si se quiere obtener una explotación satisfactoria que pueda, por consiguiente, reembolsar los gastos; resulta, pues, que para un trayecto de un kilómetro la vía no puede elevarse sino á una altura de 25 metros. Si se tiene, por lo tanto, dos localidades que unir por medio de un ferrocarril, la diferencia de niveles siendo entre estos dos puntos de 250 metros por ejemplo, es preciso tener por lo menos un trayecto de 10 kilómetros.

En un país montañoso un trayecto de esta longitud no puede realizarse sin tener que construir obras de arte bastante costosas como túneles, cortes en piedra dura, muros de sostenimiento, etc.

En los ferrocarriles de cremallera la fuerza de tracción se produce no por la adherencia de las ruedas motrices de la locomotora, sino por la presión efectuada por el diente de una rueda dentada en contacto con la cremallera, y resulta por lo mismo una potencia mucho más considerable, que puede ser utilizada para

salvar gradientes más pronunciadas. La experiencia adquirida en la explotación de líneas por cremallera, construídas en distintos países, ha demostrado que se podía llegar y aún sobrepasar gradientes de 300 milímetros por metro.

Con una línea de cremallera que una dos localidades presentando una diferencia de nivel de 250 metros, un kilómetro de vía con gradiente de 250 milímetros podrá ser suficiente para unir las, en lugar de 10 kilómetros.

Esto muestra claramente la ventaja que se tiene en adoptar la vía de cremallera sobre las líneas de simple adherencia como economía de construcción.

La primera idea de emplear las locomotoras de cremallera fué realizada en 1811 por Blenkinsop, pero no tardó en ser abandonada después de las experiencias efectuadas por Stephenson sobre la adherencia; y ha sido necesario de un trascurso de más de 50 años para volver á tomar en consideración un principio del cual se podía obtener grandes ventajas.

Estas ventajas pueden resumirse de la manera siguiente, como las indican M. M. Vigreux y Loppé, en la revista técnica de la Exposición de 1889:

«1.º Economía y gran rapidez de construcción. En efecto, la vía pudiendo más fácilmente seguir las denivelaciones del terreno, se evita así la construcción de numerosas obras de arte. Por otra parte, si la superestructura cuesta un poco más caro por kilómetro, la reducción del trayecto hace que, para el conjunto de la línea, se tenga todavía una grande economía.

«2.º Más grande capacidad de transporte. En efecto, aunque la velocidad sea inferior, el trayecto se reduce en grandes proporciones, y además la pequeña velocidad permite hacer que se sigan los trenes á intervalos más cortos, es decir, aumentar el número.

«3.º Disminución de los gastos de tracción y de entretenimiento comparativamente á los que exigiría una vía de adherencia

llenando el mismo objeto. Es evidente que los gastos de tracción son más elevados para un kilómetro de vía de cremallera que para un kilómetro de vía de adherencia, pero el trayecto sobre una línea de cremallera se reduce en proporciones considerables. Lo mismo sucede para el entretenimiento de la vía donde la disminución del número y de la importancia de las obras de arte concurre todavía á la disminución de los gastos.

«4.º Grande seguridad. En efecto, con la cremallera, el maquinista, en las gradientes, es absolutamente dueño de su tren.»

Existen varios sistemas de ferrocarriles de cremallera, pero hasta ahora el sistema imaginado por el ingeniero suizo, M. Román Abt, es el que ha dado los mejores resultados.

Establecido el principio del ferrocarril de cremallera, M. Abt se dedicó á estudios concienzudos sobre el caso, y sus trabajos no tardaron en ser coronados por el éxito, bastándonos citar el ferrocarril del Righi, que obtuvo en 1888 el gran premio de la Unión de los Ferrocarriles Alemanes de 7,500 marcos, por su sistema de ferrocarril de cremallera y de locomotoras de ruedas dentadas.

Podemos recordar todavía sumariamente el principio:

La vía, debiendo ser de rieles ordinarios por simple adherencia, tendrá en su eje una cremallera constituída por varias hojas dentadas de acero dulce laminado, dispuestas verticalmente al lado las unas de las otras de manera que los dientes engranen, —siendo el número y espesor de las hojas variables según el perfil de la línea.—La locomotora llevará dos mecanismos motores independientes, de los cuales el mecanismo de adherencia funciona de una manera continua, y el otro no opera más que en el trayecto de cremallera y simultáneamente con el primero. Las ruedas dentadas están formadas de tantos círculos dentados como hojas hay en la vía y conducidas por ejes espaciados de tal manera que los ataques sean sucesivos.

Si hay dos ejes el espacio será, por lo tanto, igual á $n + \frac{1}{2}$ lar-

go del paso, será de $n + \frac{1}{3}$ para 3 ejes. Como por otra parte los dientes engranan, se producirá ya 4 ataques por paso para 2 hojas y 2 ejes, de lo cual resulta una suavidad muy grande de marcha.

Se ha podido, de este modo, adoptar un paso de 12 centímetros, lo cual es sorprendente á primera vista. Una pieza de entrada especial permite al tren pasar insensiblemente de una parte de adherencia á una parte de cremallera.

En fin, un freno de aire comprimido muy poderoso opera á voluntad sobre el sistema y consiste en un cambio de la marcha después de haber sustituido á la entrada de vapor una toma de aire exterior que se enfriará durante la compresión por medio de una inyección de agua.

Vamos ahora á resumir las principales aplicaciones que se han hecho del ferrocarril de cremallera del sistema Abt.

Ferrocarril de cremallera de Aix-Les-Bains al Revard

Es una línea de interés local, en el departamento de la Saboya (Francia).

El tiempo que debe durar la concesión de esta línea es de 99 años, principiando á contar desde el 25 de Junio de 1891, fecha en que la ley autorizó los trabajos y los declaró de utilidad pública.

La línea comienza en la estación termal de Aix-Les-Bains y llega hasta la cumbre del monte Revard, que domina á 1,284 metros la ciudad de partida; esta línea ha sido, pues, construída con el objeto de procurar una estación de lo más salubre para los enfermos y un punto de paseo de lo más agradable para los turistas.

La línea tiene una extensión total de 9,350^m90, medidos según la pendiente y es enteramente de cremallera, y va siguiendo la falda de los cerros.

La diferencia de altitud entre las estaciones de partida y la de llegada es de 1,226 metros.

El ancho de la vía entre los lados interiores de los rieles es de un metro.

La vía establecida es simple, pero los concesionarios deberán establecerla doble, cuando la entrada kilométrica bruta sea de 35,000 francos por año.

Sin embargo, cuando el Estado ó el Departamento lo requiera, los concesionarios, aunque la entrada sea inferior á lo señalado, deberán construir una segunda vía, en parte ó en todo el trayecto, desembolsándoseles el valor de los gastos de establecimiento de esta vía. En las estaciones y en los paraderos donde se encuentra una vía de cruzamiento para los trenes de subida y de bajada, el ancho de la entre-vía es de 2^m20, medido entre los bordes exteriores de los rieles.

El radio mínimo de las curvas es de 75 metros.

El máximo de las gradientes ha sido fijado en 250 milímetros; pero nunca se llegó á esta cifra.

Una de las particularidades de las líneas de cremallera, que conviene indicar, es que el piso de las estaciones, en perfil de longitud, puede presentar gradientes bastante pronunciadas, lo que no se observa en el otro sistema de vía.

Es incontestable, sin embargo, que tales gradientes no pudieran ser admitidas para estaciones en las cuales se debiera establecer vías donde permanecerían carros para ser cargados ó descargados.

La gradiente media de la línea es, en el caso que nos ocupa, de 140 milímetros por metro, suponiendo una gradiente uniforme y continua desde el punto de partida al punto de llegada.

Las obras de albañilería son numerosas, pero son principalmente muros de sostenimiento

Los rieles son de acero y del tipo Vignole, de 9 metros de largo y con peso de 20 kilogramos por metro.

Se ha empleado durmientes metálicos de 20 centímetros de

ancho y de 1^m8 de largo, y están sólidamente colocados en el lastre, y el peso es de 25 kilogramos.

Según un artículo de las estipulaciones, se permitía á los concesionarios suprimir el lastre en las partes en desmontes y en la roca compacta; pero entonces los durmientes deberían estar fijados en la roca por medio de grandes clavos de fierro. El ingeniero de los trabajos no quiso usar de esta facultad, pensando con razón que una línea así establecida provocaría sacudimientos y, que lejos de suprimir el lastre en la parte rocallosa, se debía más bien aumentar el espesor.

La cremallera se compone de una hoja de acero dulce, de 25 milímetros de espesor, 110 milímetros de altura, y de peso de 17 kilogramos por metro corriente; los dientes tienen 50 milímetros de alto. El acero empleado presenta las cualidades siguientes: una resistencia de más ó menos 50 kilogramos por milímetro cuadrado y puede estirarse en 20%.

En las gradientes inferiores ó iguales á 0^m050 por metro, la cremallera se compone de una sola hoja, pero en las pendientes superiores comprende dos. Las dos hojas son mantenidas paralelas por medio de apoyos que las fijan y las entrecruzan por medio de pernos; estos apoyos descansan sobre los durmientes metálicos de la vía, y en las cuales están sostenidos por pernos.

Los dientes de las hojas están colocados de tal manera que un diente corresponda á un hueco de la otra, sea á $\frac{1}{2}$ paso. Si la inclinación de las gradientes hubiese sido más considerable ó si las cargas por remolcar tuviesen que ser más grandes, hubiese sido necesario aplicar una tercera hoja á la cremallera, pero entonces los cruzamientos de los dientes serían de $\frac{1}{3}$ de paso.

El paso adoptado es de 120 milímetros.

La cremallera Abt presenta serias ventajas prácticas: sigue fácilmente las hojas de pequeño radio, y como todas sus hojas son parecidas, su reemplazamiento es fácil y puede operarse en tiempo bastante corto.

Las agujas para cambio de vía, han presentado, como se comprenderá, un problema harto difícil de resolver.

La explicación de esta cuestión nos obligaría á entrar en consideraciones largas y difíciles que nos alejaría del cuadro que nos hemos trazado en este trabajo, y por lo tanto, la dejamos para otra oportunidad.

En lo que precede se ha hablado particularmente del material fijo de la vía, ahora agregaremos unas cuantas palabras relativas á la explotación de la línea, dejando para más adelante ciertas consideraciones que expondremos sobre el material rodante y principalmente respecto de las locomotoras que se usan en estas líneas.

Como hemos dicho, la línea que nos ocupa ha sido construída con el objeto de servir una estación climatérica y procurar un paseo agradable á los turistas, y por consiguiente, no había que preveer transporte importante de mercaderías.

La velocidad máxima de los trenes ha sido fijada en 10 kilómetros por hora. Para la bajada la velocidad es uniforme de 10 kilómetros; pero para la subida la velocidad media es de 9 kilómetros; baja á 7 kilómetros en gradiente de 21 milímetros y puede elevarse á 12 kilómetros en gradiente de 100 milímetros.

En este ferrocarril se ha tomado la feliz precaución que, cuando la velocidad alcance á 13 kilómetros, el freno automático funcionaría solo.

En las estipulaciones se ha decidido que en los trenes la locomotora tendrá siempre que colocarse del lado del valle, atrás del tren para la subida, es decir, empujándolo, y á la cabeza para la bajada.

Esta disposición es una consecuencia del perfil de la línea: se admite que las locomotoras deben hacer la tracción de los trenes hasta la pendiente de 120 milímetros por metro; pero que deben empujarlos para las gradientes superiores.

Estas disposiciones no se tomaran en cuenta en el Ferrocarril

Trasandino de los Andes á Mendoza, donde, como hemos visto, no habrá como gradiente máxima sino 80 milímetros por metro.

2.º En Zuiza tenemos el ferrocarril de cremallera de *Brienz al Rothhorn*; esta es una de las estaciones más elevadas de Europa; se encuentra á 2,252 metros de altitud. Esta línea ha sido construída con los últimos perfeccionamientos que se han realizado en los ferrocarriles de cremallera del sistema Abt.

Ha sido entregada al público en el verano de 1892. Su extensión total es de 7,600 metros; la altura entre las dos estaciones extremas es de 1,682 metros. Las gradientes son casi uniformes variando de 20 á 25% y se reducen á 5% en las estaciones; las curvas mínimas tienen 60 metros. El pasaje de una gradiente á la siguiente se efectúa por medio de curvas verticales con radios que varían de 500 á 1,000 metros.

Casi el 41% de la longitud total de la línea es construída por medio de curvas.

Como obras de arte, en esta línea se cuentan 25 puentes de hierro de 20 á 120 metros de largo; y varios otros puentes pequeños de albañilería; atraviesa seis túneles, cuyo largo total es de 850 metros. Los túneles tienen un ancho de 2^m70 en la base y de 3 metros al nacimiento de la bóveda; este ancho se lleva á 3^m30 en las curvas de 60 metros de radio. La altura es de 4^m80.

La vía se compone de dos rieles lisos y de dos hojas de acero recortadas en cremallera y puestas sobre durmientes de acero colocados á 90 centímetros entre ejes y enterrados en el lastre. Las dos cremalleras son puestas por trozos de 1^m830 y están apernadas sobre cojinetes de forma de T.

La dentadura es semejante á la de todas las cremalleras Abt. La cúspide de la cremallera se encuentra al mismo nivel que el de los rieles, excepto en el cruzamiento de la vía, donde se encuentra un poco más alto en relación al nivel de los rieles.

En los cruzamientos adoptados para esta línea se introdujeron los últimos perfeccionamientos.

En los ferrocarriles más antiguos del sistema Abt, se empleaba tornamesas para hacer pasar los trenes de una vía á otra. En el lugar del cruzamiento se ha colocado dos trozos de cremallera móviles que constituyen lo que llaman la punta de corazón. Esta disposición ha permitido no cortar ningún riel liso. En la línea que nos ocupa existen 18 cruzamientos de esta clase.

Las locomotoras pesan 15 toneladas y llevan 0,7 de tonelada de carbón, 1,2 tonelada de agua en las cajas y 1,2 tonelada de agua en la caldera. Este peso total es sostenido por 3 pares de ruedas y la distancia entre los centros de las ruedas extremas es de 3 metros.

Cada máquina se encuentra provista de dos series de piñones que están calados directamente sobre los dos ejes de adelante, con el objeto de reducir tanto cuanto es posible el peso de la máquina. Las otras ruedas giran libremente. El movimiento se transmite á los piñones por intermedio de un balancín, lo que permite no solamente colocar los cilindros bastante atrás, sino hace también posible una carrera de émbolos algo considerable.

Los cilindros pueden servir al mismo tiempo de freno de aire.

3.º *Línea del Hars en Brunswick* (Alemania).—La vía es normal, de una extensión total de 30k.500, de los cuales existen 7 kilómetros de cremallera repartidos en 11 secciones variando de 250 á 1,550 metros; las gradientes son de 45 á 60 milímetros con curvas de 250 metros de radio máximo.

La cremallera se compone de 3 hojas de 20 milímetros de espesor, 110 de altura, distantes de 35 milímetros; la locomotora tiene 3 ejes motores.

El peso que remolca es de 120 á 135 toneladas, con la velocidad de 10 kilómetros por hora en gradientes de 60 milímetros. Esta línea funciona desde el año 1885.

4.º *Línea del Ferrocarril del Estado de Bosnia y Herzégovina*.—Extensión total de 68 kilómetros, de los cuales 19k.50 son de cremallera en seis secciones; pendientes de 30 á 60 milíme-

tros; la cremallera se compone de dos hojas; las locomotoras son de tres ejes.

Cada locomotora puede remolcar un tren de 70 toneladas en gradientes de 60 milímetros.

5.º *Central-Dominicano*, del Puerto Plata á Santo Domingo.—Gradientes de 90 milímetros con curvas de 100 metros de radio, vía de 76 centímetros.

El peso que se remolca es de 50 toneladas con velocidad de 15 kilómetros en gradiente de 40 milímetros y de 7 kilómetros en gradiente de 90 milímetros.

6.º *Ferrocarril de Puerto Cabello á Valencia* (Venezuela).—Vía de un metro, gradientes de 80 milímetros, radios de 115 metros. La cremallera se compone de 3 hojas de 22 milímetros de espesor; la locomotora es de dos ejes motores y remolca 60 toneladas en gradiente de 80 milímetros.

7.º *Ferrocarril de Maniton al Pikés Peak* (colorado, Estados Unidos).—Este ferrocarril está destinado á los turistas, es notable sobretodo por su situación.

La estación de partida se encuentra á 2,000 metros de altitud y su término á 4,320 metros, y á 720 metros más arriba que toda vejetación.

Es de cremallera en toda su extensión, es decir en 14 kilómetros 50, gradientes de 0 á 250 milímetros, radios de 112 metros; la cremallera es de 2 hojas de 20 á 32 milímetros de espesor; locomotoras de 3 ejes motores. Vía normal, velocidad media de 8 kilómetros, y 5 mínimo.

8.º *Explotación de las minas de hierro del Erzberg* (Austria).—La vía es normal. Extensión de 20 kilómetros de los cuales 14.5 de cremallera, gradientes de 71 milímetros en línea recta y de 65 milímetros en curvas de 180 metros de radio; cremallera compuesta de 2 hojas de acero; locomotoras de 3 ejes motores, remolcando 100 á 120 toneladas á lo menos.

9.º *Línea de Diacophto á Kalavryta* (Grecia).—La vía es de

75 centímetros, con gradientes de 145 milímetros y curvas de 80 metros de radio. La cremallera es de 2 hojas de 16 milímetros de espesor; locomotoras de 3 ejes motores, peso remolcado 15 toneladas con la velocidad de 15 kilómetros por hora en gradientes de adherencia de 35 milímetros y de 5 á 10 kilómetros por hora en gradientes de cremallera de 145 milímetros.

10. *Ferrocarril de Cremallera del Monte Generoso* (Suiza).—Este ferrocarril, que es igualmente del sistema Abt, ha sido construído especialmente para los turistas, tiene una extensión total de 9 kilómetros, la vía es de trocha de 80 centímetros.

Su punto de partida se encuentra en Capolago, lago de Lugano, está en la cota de 277 y su punto de llegada, estación del Veta, en la cota 1596, ó sea una diferencia de 1319 metros de nivel.

Gradientes de 0 á 226 milímetros; la gradiente media es de más o menos 150 milímetros por metro; curvas de 60 metros. Cremallera de 2 hojas, locomotoras de 2 ejes motores. Cada máquina remolca un coche con 56 pasajeros.

11. *Ferrocarril de Cremallera de Glion-Naye* (Suiza).—El punto de partida se encuentra en la estación de Glion á 692 metros de altitud, y la llegada en la estación de Naye á 1972 metros.

La distancia vertical que separa estas dos estaciones es de 1280 metros, y la vía tiene un trayecto de 7,700 metros, lo que dá una gradiente media de 160 milímetros por metro. Esta gradiente no es naturalmente uniforme, el mínimo es de 40 kilómetros, y el máximo, de 220 milímetros.

La vía y el material de tracción son del sistema Abt.

El ancho total de la plataforma, fuera de las estaciones, es de 4 metros, en terraplén como en desmante: el ancho del lastre en corona, 2^m80, la altura normal del lastre, 40 centímetros. Los chaflanes de los terraplenes presentan una inclinación de 3 de base por 2 de altura; los de los cortes, 5 de base por 4 de altura.

La vía se compone de dos rieles del tipo Vignole de acero de 100 milímetros de altura, distanciados de 80 centímetros, y de una cremallera, igualmente de acero, fijada en coginetes que ocupan el de la vía. Los coginetes de la vía y de la cremallera están dispuestos sobre durmientes metálicos separados de 90 centímetros.

Para impedir el desplazamiento longitudinal de la vía, un cierto número de estos durmientes se encuentran afianzados sea con un fuerte masizo prismático de concreto enterrado en el lastre y en el terreno adyacente, sea contra un paquete de rieles dispuestos verticalmente en las rocas.

La cremallera se compone de una hoja de acero alta de 100 milímetros, y de 20 de espesor; las dimensiones de los dientes son más ó menos de 50 milímetros en hueco y 50 milímetros en corona.

Se emplea la cremallera simple en las gradientes inferiores de 80 milímetros; más allá de esta cifra, la cremallera debe ser doble, y cuando se sobrepasa la gradiente de 160 milímetros, el espesor de la hoja se hace de 25 milímetros.

Las ruedas de engranaje colocadas en el eje de la locomotora y del carro, son cada una compuestas de dos ruedas unidas y cuyos dientes alternan. En las partes de cremallera simple, la una ó la otra de las ruedas se encuentra sola en juego con la cremallera, según que esta esté á la derecha ó á la izquierda de los cojinetes, de suerte que el desgaste se reparte igualmente sobre las dos ruedas; en las partes de cremallera doble, las dos ruedas se encuentran simultáneamente en juego.

12. *Línea de Viège á Zermatt*.—Destinada á los turistas. Sistema Abt. Vía de un metro.

La cremallera es de dos hojas de 20 á 25 milímetros de espesor según el perfil; locomotora de dos ejes motores, gradientes de 125 milímetros subidas por trenes de 45 toneladas.

Curvas de 60 metros de radio.

En fin, existen varias otras aplicaciones de ferrocarriles de cremallera del sistema Abt, de más ó menos importancia, tales como el ferrocarril eléctrico del *Monte-Salève*, la vía está construída como las anteriores, pero es la única donde la tracción se hace por la electricidad.

Podemos todavía citar como obras de la misma clase, los ferrocarriles de *Veyrier aux Pitons du Mont Salève*, en la zona neutra franco-suiza, y otro de *Matigny por Chamounix*.

En cuanto á la línea del ferrocarril Trasandino podemos decir que será donde la aplicación de la cremallera Abt se habrá efectuado hasta ahora en proporciones más importantes; la parte montañosa de la línea será de 104 kilómetros de los cuales 28 de cremallera; la vía será de 1 metro, los gradientes de 80 milímetros por metro y los radios mínimos de 200 metros.

Con esta simple exposición podemos darnos cuenta de la importancia que han adquirido los ferrocarriles de cremallera, del sistema Abt; hasta ahora se cuenta un desarrollo total de 400 kilómetros, de los cuales más de 200 de cremallera.

Locomotoras de ferrocarriles de Cremallera

Hasta aquí hemos hablado más particularmente del material fijo de los ferrocarriles de Cremallera, ahora diremos unas cuantas palabras sobre las locomotoras que se usan en estas líneas.

Sabemos que en los ferrocarriles de montañas, la locomotora debe desempeñar dos particularidades enteramente diferentes según que se trate de la subida ó de la bajada.

Cuando sube, impulsa los carros colocados adelante, y debe desplegar una fuerza considerable para vencer la pendiente y mantenerse ella misma; en la bajada, está impulsada por su propio peso y por el del carro que se apoya sobre ella y que debe retener enérgicamente.

En los dos casos, estará siempre colocada de modo que el carro esté más arriba que ella.

En relación de los marcos de la locomotora, la caldera sobre elevada en la parte de atrás é inclinada hacia adelante de modo que se encuentre horizontal en una gradiente de tanto por metro; se concibe según esto que la locomotora no puede bajar sino retrocediendo.

Las siguientes esenciales ventajas pueden citarse respecto de las locomotoras para ferrocarriles de cremallera:

1.^o Que la colocación del riel endentado no impide el tráfico de las demás locomotoras ordinarias;

2.^a Que la locomotora de este sistema sirve también para el tráfico de vías ordinarias;

3.^a Que la maquinaria del engranaje descansa sobre resortes permitiendo así que pueda correr á toda velocidad;

4.^a Que puede atravesar los cambios ordinarios, sin que la rueda de engranaje toque los rieles atravesados;

5.^a Que mientras corre la máquina sobre el riel central, los dientes de la rueda penetran á una distancia uniforme en los del riel;

6.^a Que la máquina correrá con la misma facilidad en las curvas como si no tuviera el riel de engranaje;

7.^a Que no habrá peligro alguno de desconectarse el engranaje mientras esté en trabajo.

Hablaremos de las locomotoras Abt, del sistema misto, que deben funcionar por simple adherencia y por cremallera, puesto que son las que más nos interesan en relación con nuestro estudio.

Estas locomotoras poseen dos mecanismo motores completamente independientes; el uno, el mecanismo de simple adherencia, se encontrará en movimiento durante todo el tiempo del trayecto; es accionado según el modo ordinario, los cilindros están colocados al exterior; el otro, el mecanismo de las ruedas

dentadas, no opera más que en el trayecto de cremallera y simultáneamente con el mecanismo de adherencia.

Se utiliza de este modo el peso sobre los ejes motores para aumentar el esfuerzo de tracción en las partes de cremallera.

El mecanismo de las ruedas dentadas se encuentra montado en un marco que descansa sobre los ejes de las ruedas que llevan la máquina; de este modo se asegura la invariabilidad de la altura de las ruedas dentadas en relación á la cremallera.

Las ruedas dentadas, para poder engranar con la cremallera, están forzosamente colocadas entre las ruedas conductoras; de donde resulta que el mecanismo que les dá el movimiento debe ser interior.

Es natural que para asegurar un buen funcionamiento durante la marcha, se necesita que la velocidad de las ruedas motrices de adherencia sea la misma que la de las ruedas dentadas, es decir que debemos tener la relación

$$\omega R = \omega' r'$$

siendo ω , la velocidad angular de las ruedas motrices de adherencia; ω' velocidad angular de las ruedas dentadas; R radio de las ruedas motrices de adherencia, r' radio de la circunferencia primitiva de las ruedas dentadas.

Es por esto que se ha notado que las yantas de las ruedas motrices de adherencia en las locomotoras mistas se gastaban más rápidamente, y se ha atribuído este desgaste á los resbalamientos que ellas soportan á causa de su diferencia de velocidad con la rueda dentada.

La independencia dada al sistema de ruedas motrices de adherencia y á las ruedas dentadas en la máquina Abt, hace que este desgaste no pueda tener ninguna especie de influencia en la marcha, puesto que los dos mecanismos están accionados separadamente.

Las ruedas motrices de adherencia están provistas de un fre-

no á mano manobrado por el mecánico, como en las locomotoras ordinarias, á más de los otros frenos que poseen.

El movimiento del émbolo se trasmite á los ejes, sobre los cuales se colocan las ruedas dentadas, por medio de bielas y por el intermedio de un balancín, dispuesto adelante del marco de la máquina. En ciertas locomotoras el eje de rotación de este balancin está colocado en un punto tal que la parte unida á la barra del émbolo por una biela, se encuentra en la relación de 1, 4 á 1 con la parte unida por una biela á la biela de acoplamiento de los ejes. Esta disposición tiene por objeto reducir el largo de las manivelas montadas sobre los ejes, lo que hace por ejemplo, que para una carrera de 550 milímetros, cada maneta describe un medio círculo cuyo diámetro será de 392 milímetros, y que la velocidad de las ruedas dentadas estará en la relación de 1 á 1, 4 con la del pistón del cilindro á vapor.

No se puede dar una velocidad muy grande á las ruedas dentadas sin provocar choques considerables; por otra parte se admite para las máquinas de adherencia, que el número de vueltas de una rueda acoplada no puede prácticamente sobrepasar 3 y medias vueltas por segundos, y si se admitiese que fuese lo mismo para las máquinas de ruedas dentadas, se puede afirmar que la velocidad máxima que pudiera alcanzar, la locomotora considerada, no sería superior á

$$3, 5 \times 3, 6 \times \pi \times D,$$

lo cual nos da en número redondo, 40 D.

Siendo D el diámetro de la rueda dentada de la locomotora; y si remplazamos D por su valor en una máquina conocida, por ejemplo en las del ferrocarril de Aixles-Bains al Revard que hemos estado considerando, y cuyo valor es $D = 573$ milímetros, encontramos $40D = 22$ kilómetros 920 metros por hora.

Pero en realidad la velocidad máxima admitida en servicios es solamente de 12 kilómetros por hora, lo que correspondería en nuestro caso apenas á $2\frac{1}{2}$ vueltas de ruedas por segundo.

Las ruedas dentadas se componen de tantos círculos dentados como hojas existen en la cremallera, y su dentadura es alternada para corresponder á la de las hojas. Si la cremallera de la vía se compone de dos hojas, y que la locomotora es de dos ejes llevando cada uno dos ruedas dentadas, habrá por paso cuatro ataques sucesivos. Estas ruedas dentadas están colocadas sobre sus ejes sin estar fijas de una manera rígida, y pueden, para remediar el desgaste, ó el defecto de establecimiento de la cremallera ó cualquiera otra causa, y también para suavisar el engranamiento, tomar un pequeño movimiento de rotación sobre el eje mismo. Con este objeto se colocan resortes de forma de herradura en huecos practicados en el eje, y las extremidades de estos resortes penetran en huecos correspondientes practicados en el centro de la rueda dentada, dejando un espacio de más ó menos 2 milímetros, que representa el juego que pueden tomar los círculos de la rueda en relación al eje. Esto permite el pasaje fácil en las agujas é igualar los esfuerzos sobre los dientes de la rueda, en el caso que las hojas de la cremallera presentasen un pequeño defecto de instalación.

Ahora hablaremos de la pieza especial de entrada de la cremallera. En efecto, para permitir al tren pasar de una parte de simple adherencia á una parte de cremallera, M. Abt á imaginado un aparato sencillo y muy ingenioso.

Este consiste en una cremallera móvil de arriba abajo, de 3 metros de largo, y sostenida por una serie de resortes de hojas; está ligada á la parte fija de la cremallera por una visagra horizontal que puede hacerla girar, y que permite también un desplazamiento vertical de la parte móvil. El paso de esta parte es, como para la parte fija, de 120 milímetros; basta disminuir la altura de los primeros dientes, que están cortados según una cierta inclinación.

El funcionamiento de esta pieza de entrada tiene lugar del modo siguiente: sabemos que en las máquinas Abt, los dos me-

canismos, el de adherencia y el de engranaje son completamente independientes; y en el instante en que la locomotora llega sobre la pieza de entrada, el mecanismo de adherencia sólo está en movimiento, la rueda dentada se encuentra inmóvil, sus dientes tocan el plano inclinado que termina la pieza de entrada, ésta se baja comprimiendo los resortes.

Se produce entonces dos casos: en el primero, la rueda resbala sin dar vuelta hasta el primer hueco que encuentra en la pieza de entrada, los resortes operan y el engranamiento se produce; en el segundo caso, la rueda dentada gira apoyándose sobre la extremidad de los dientes del plano inclinado de la pieza de entrada, el desarrollo de las extremidades de los dientes de la rueda dentada siendo más pequeño que el de los dientes de la pieza de entrada, llega luego un momento en el cual el diente de la rueda penetra en un vacío y el engranamiento se produce como anteriormente.

Con esto concluimos con lo referente á las locomotoras para ferrocarriles de cremallera; creemos que con lo dicho bastará para mostrar la importancia que ha adquirido en tan pocos años este sistema de ferrocarriles, y no necesitamos hacer más el elogio de la invención de M. Abt: se recomienda por si sola.

La terminación de las líneas principales de ferrocarriles, tendrá por consecuencia el de obligar á los ingenieros á ocuparse de las líneas secundarias, y sobre todo en los países montañosos como el nuestro, donde naturalmente la cremallera del sistema Abt encontrará importantes aplicaciones, tanto por la economía de construcción de la línea, y por la gran seguridad que procura.

Bajo este último punto de visto se recomienda muy especialmente el ferrocarril de cremallera del Trasandino.

En efecto, hemos visto anteriormente, por la exposición que se ha hecho de los ferrocarriles de cremallera existentes, que en la mayor parte de ellos la cremallera se componía, sea de una,

ó de dos hojas solamente, mientras tanto que la del Trasandino se compone de tres, lo que no es ni necesario.

La seguridad es, pues, mucho más grande, y, cuando se piensa, que las mayores gradientes que existirán en este ferrocarril son apenas de 8 por ciento, creo que esto bastaría para asegurar á los más temerosos.

Recordemos, sin embargo, que existen ferrocarriles de cremallera en los cuales ésta tiene dos hojas y con gradientes, no de 8, sino hasta de 16, 20 y 25 por ciento, y más también, y entre tanto, no tenemos conocimiento, ni por las revistas científicas, ni por los diarios, que se mencione que haya tenido lugar un sólo accidente en los ferrocarriles de cremallera, que ésta se hubiera fracturado debido á la presión que la locomotora ejerce sobre los dientes, y nada por el estilo.

La cremallera Abt es muy segura, y la del Trasandino Clark lo es más aún, por las razones expuestas más arriba.

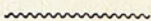
Un accidente que sobreviniese en la cremallera, lo que es muy dudoso, se repararía inmediatamente y no daría lugar á consecuencias de ningún género; y además, como ya lo hemos dicho, las locomotoras se encuentran provistas de 4 frenos.

No nos queda, pues, para terminar este trabajo, más que hacer votos para que los representantes de la nación, en nombre del porvenir de Chile, y por el honor que le cabrá entre las naciones, de que se haya efectuado en su suelo una obra de tanta magnitud, una de las más atrevidas y más colosales del mundo, intervengan, tanto por el buen criterio y por el espíritu progresista que los domina, como á todos los chilenos, que se lleve á cabo esta magna empresa.

Será gloria y honor para Chile.

ENRIQUE LABATUT.

Santiago, Mayo de 1894.



SECCION DE LA CUMBRE

