
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

LOS FERROCARRILES DE CREMALLERA ABT

SU IMPORTANCIA PARA EL PAÍS

I.

Reconocidos hoy universalmente los inmensos beneficios que aporta al hombre la industria de los ferrocarriles, se ha presentado la conveniencia y necesidad que hay de establecerlos en aquellos lugares en que florezca una industria ó prospere una población.

Dificultades de todo género se oponen á la realización de esta idea, nacidas unas de las condiciones de la industria misma, nacidas otras de las que soportan las industrias que producen los elementos que ella necesita.

La historia del presente siglo describe la lucha sostenida por la inteligencia humana para hacer desaparecer ó subsanar los obstáculos que han impedido el libre desarrollo de los ferrocarriles.

Descubierta la fuerza de expansión del vapor de agua tuvo una de sus primeras aplicaciones en la tracción de vehículos.

Aplicada en una época en que la mecánica práctica estaba aún en pañales, debió soportar las consecuencias naturales que la colocaron en condiciones de inestabilidad, de descontento, y por último, de desprestigio que habrían concluído con ella si circunstancias especiales no hubiesen venido á obrar en su favor.

Es por esto que al principio de este siglo se vió usar sucesivamente ferrocarriles de simple adherencia, de cremallera, y funiculares, sustituirlos unos por otros, y por último abandonarlos.

La experiencia y los conocimientos con ella adquiridos, ha venido, con el transcurso del tiempo, á esclarecer los hechos concretos que han producido estos entorpecimientos en la implantación y desarrollo de los ferrocarriles, á dar á conocer leyes que eran desconocidas, á demostrar la falsedad de otras y á colocar, en fin, á tanta altura esta industria.

Entre las leyes deducidas ninguna ha influido en el estado actual de las cosas como la ley de la adherencia.

Desconocida en un tiempo, obligó á pensar en mecanismos especiales para la tracción en pendientes, aun las suaves; conocida más tarde, produjo el desarrollo que tomaron los ferrocarriles entre los años 1830 y 1860; exagerada después, obligo de nuevo á pensar en los mecanismos especiales, dando origen á la creación de sistemas que han sido perfeccionados y establecidos con éxito.

En la primera época aparecieron los rieles con engranaje por un costado y rueda dentada en la máquina, los ferrocarriles funiculares de simple tracción y aún se llegó á idear mecanismos, más originales que útiles, como el denominado «Piernas de caballo», en que la fuerza obraba sobre articulaciones que concluían en dos tablas ó zapatones que descansaban en el suelo y que obraban como las piernas de un caballo.

En el último tiempo se han implantado: los de tracción con cable enrollado en tambor, sistema Agudio; los de riel central de adherencia con ruedas horizontales comprimidas por resortes, sistema Fell; los de cremallera-escala, sistema Riggerbach; y los de cremallera, sistema Abt.

Todos han tenido su aplicación, dando resultados más ó menos buenos.

Para poder formarse un juicio sobre la causa que han producido estos sistemas y las ventajas que presentan es conveniente fijar las condiciones que requiere un ferrocarril.

Ligero, seguro y económico, ha dicho un tratadista, *debe ser un ferrocarril* y á colocarlo en estas condiciones debe propender todo sistema.

En un caso dado el establecimiento de la obra ofrece, bajo estos tres puntos de vista, problemas de trascendencia y de vital interés.

No siempre es posible llenar las tres.

La línea recta, y en gradiente suave, permite llenar las dos primeras condiciones, pero generalmente representa fuertes gastos; las líneas curvas y en gradientes fuertes son económicas pero no son seguras.

Á más, la economía puede ser efectiva en la construcción y recargar considerablemente la explotación y vice-versa.

Encerrado el ingeniero entre estas soluciones y diferencias debe buscar el término medio equitativo que en suma total se traduzca en la construcción de una línea cuya explotación sea un mínimo que no represente un excesivo desembolso de instalación.

La determinación precisa de estas entidades es difícil sino imposible; ella es dada por la práctica, conocimientos é inclinaciones naturales de la persona llamada á fijarlas.



Donde hay que vencer grandes alturas es donde se complica y se hace más difícil la solución del problema de un ferrocarril.

Descartando el caso de los que á más de esto deben recorrer una gran distancia, lo que permite obtener gradientes suaves y donde debe imperar el sistema de adherencia simple en los demás casos, ¿es más conveniente usar este sistema expedito desarrollando la línea ó adoptar otro sistema?

Planteada así la cuestión su solución está relacionada con las circunstancias especiales de los casos que se presentan.

Un estudio general de los sistemas hasta hoy ideados puede resolver en general el problema.

Destinados los ferrocarriles á salvar las distancias deben clasificarse en dos grupos: los que están destinados á salvar las distancias en las que predomina la horizontal, en cuyo caso el tipo más perfecto es el de adherencia simple; y los que están destinados á salvar la altura, á la que corresponde el funicular.

En pocas palabras: los de locomoras y los de motores fijos.

Estos últimos presentan, bajo el punto de vista de la economía y de la seguridad, ventajas evidentes. Generalmente son servidos por motores hidráulicos, lo que representa una gran economía en la explotación, pueden admitir fuertes gradientes, lo que reduce la longitud de la línea, y de este modo los gastos de construcción, y por las condiciones de sus mecanismos pueden proveerse de aparatos de seguridad que llenan su objeto.

Sin embargo, para un tráfico de consideración y en las líneas largas presenta inconvenientes serios.

El gran peso que debe tener el cable obliga á dividir en secciones el servicio de tracción, lo que aumenta los gastos de explotación y el tiempo empleado en recorrer la línea, á lo que, unida la poca velocidad que admite este sistema, hace que sea inadmisibile é inaceptable para un servicio de consideración.

Creo que hasta en longitudes de 2 kilómetros es conveniente.

Los ferrocarriles de locomotoras pueden dividirse en dos categorías: de gran tráfico y económicos.

Destinados los primeros á servir localidades de importancia y con un fuerte movimiento de mercaderías y pasajeros, tienen entre sus primeras entidades la velocidad.

Mientras más viajes se efectúen en un tiempo dado, mayores serán los beneficios que reporta y como no faltan los elementos

transportables, natural es que se piense en dar al ferrocarril la mayor velocidad posible.

Esto significa gradientes suaves, lo que indirectamente implica rechazo en cuanto sea posible de contra-gradientes, grandes radios, trocha ancha y riel y material pesado, túneles y obras de arte de consideración, todo lo que esté comprendido en una *construcción costosa*.

Estas condiciones naturales de un ferrocarril de importancia van disminuyendo gradualmente á medida que aquella disminuye.

Se reducen los radios, se desarrolla la línea con el objeto de disminuir las proporciones de los túneles y obras de arte; se aumenta la gradiente para no dar mucha longitud á estos desarrollos, se angosta la trocha y se minora el peso del riel y material rodante.

Entran ya en las condiciones de un ferrocarril económico ó de menor tráfico, en los que se reduce el costo de instalación, aunque aumente el de explotación.

Cuando ya las condiciones van siendo muy restringidas es necesario adoptar fuertes gradientes las que inutilizando la adherencia de las ruedas obligá á pensar en mecanismos especiales que den puntos de apoyo á la fuerza desarrollada en la máquina que le permitan transformarse en movimiento y tracción.

Por último cuando las condiciones locales y de tráfico obligan á exagerar las del ferrocarril debe entonces establecerse el sistema funicular.

Es inútil entrar á hacer un estudio á priori de las circunstancias que se requiere para adoptar tal ó cual sistema: dentro de condiciones extremas ó muy especiales puede decirse lo que se necesita, pero cuando ya las diferencias de implantación y explotación de uno ú otro sistema van haciéndose más insignificantes el problema se complica, siendo necesario hacer entonces un estudio detallado y concienzudo de las circunstancias locales y de las condiciones científicas de los sistemas parangonados.

En resumen: en el estado actual de la mecánica del ramo está demás entrar en la comparación de los sistemas ideados hasta hoy; la experiencia y la opinión de los hombres de ciencia apoyan únicamente estos tres sistemas: el funicular, el de cremallera Abt y el de adherencia simple que llenan las necesidades medias y extremas.

Adecuado cada cual á circunstancias especiales, tiene cada uno su importancia que no se debe desconocer.



Hasta el año 1881 el sistema de cremallera había tenido un uso muy restringido, debido á los defectos de los mecanismos adoptados que hacían sumamente costosa su explotación.

La necesidad de un servicio fácil y expedito representa en un ferrocarril, de mediana importancia que sea, una condición sin la cual no puede existir.

El ferrocarril de adherencia simple permite su explotación con una sola vía, pudiendo recorrer la línea numerosos convoyes que se cruzan en cambios: el ferrocarril del Righi, la concepción más completa en la materia hasta el año 1881, es de una sola línea y para poder efectuar los cambios en las estaciones hubo necesidad de hacerlo sobre puentes giratorios de 15 metros de longitud en los que entra la máquina y un carro.

El sistema Abt es completo en este sentido, pudiendo decirse que queda *«idénticamente en las condiciones de los ferrocarriles de adherencia»*.

Una sola línea basta para el servicio de los trenes, los que cruzan en desvíos que contienen cambios, que sin dificultad alguna permiten el tráfico sin el abandono de la cremallera.

A más, por mecanismos, que describiré al tratar de los detalles de este ferrocarril, una misma máquina hace el servicio en la línea de adherencia y en la de cremallera, pudiendo pasar de una línea á otra sin detener el convoy.

Bajo el punto de vista administrativo queda pues este sistema en las mismas condiciones del ferrocarril de adherencia.

Para formarse un criterio completo sobre la relación económica que liga á estos sistemas, será necesario estudiarlos bajo estos tres puntos de vista: construcción, sostenimiento y tracción.

Para poder hacerlo será menester conocer detalladamente el sistema Abt, por lo que dejaré este tema para más tarde.

Sin embargo, bajo el punto de vista de la construcción, un ferrocarril que admite 8% de gradiente, presenta las siguientes ventajas:

1.º Reduce á menos de la mitad la longitud del desarrollo.

2.º Permite acercarse al talweg de las quebradas ó cajones que debe subir, reduciendo de este modo el movimiento de tierras y las dimensiones de las obras de arte.

3.º Admite una ejecución más rápida.

Y 4.º Tiende á disminuir los gastos de conservación.

Estas evidentes ventajas de los ferrocarriles de cremallera predisponen el ánimo á considerarlos adaptables á las condiciones prácticas que generalmente se presentan cuando se quiere salvar una altura de consideración y donde el cálculo del tráfico probable no da una remuneración conveniente á los capitales que deberían invertirse para construir una línea de adherencia simple.

Agregado á esto las ventajas que presenta bajo el punto de vista de la tracción, las que formará parte de un párrafo posterior como anteriormente lo hemos dicho, hacen muy justificable y natural la aceptación que ha tenido y muy fundados los elogios y premios discernidos al inventor del sistema.

La prensa científica de todas las naciones se ha ocupado de él y la «Unión de los ferrocarriles alemanes» le ha dado un premio de 7,500 marcos como la *Invencción y perfeccionamiento concerniente á la construcción y material de ferrocarriles* más

completo en el período de 1884 á 1887. Los demás premios que se repartieron por otros motivos durante este mismo período fueron dos de 1,500 cada uno.

El estado á que se ha llegado en esta materia es hijo del estudio y la observación; antes de llegar á él ha debido pasar por numerosas transformaciones originadas por los tropiezos que han aparecido á medida que su uso iba aumentando.

El desarrollo histórico de estas transformaciones es interesante: á más de darnos á conocer las causas que lo han producido nos diseña con claridad los puntos importantes sobre los que se debe llamar la atención y que representan para este sistema sus ventajas y su importancia.

II

El origen de los ferrocarriles de cremallera se remonta al de los ferrocarriles mismos.

Descubierta la fuerza de expansión del vapor de agua se pensó en aplicarla á la tracción. Experimentos efectuados por Cuyot en París en 1770, por Evans en Pensylvania en 1800 y por Trevithick y Vivian en 1801 en Cornouailles sobre coches movidos á vapor, produjeron malos resultados.

Provistos de aparatos más ó menos ingeniosos y de mecanismos nuevos ofrecían dificultades bajo el punto de vista de la tracción. Una máquina liviana no podía arrastrar mucho peso y una pesada perdía gran parte de su fuerza en el excesivo frotamiento del suelo; para el éxito de la tracción á vapor era necesario arbitrar algún sistema que salvara estos inconvenientes.

Trevithick y Vivian, que habían efectuado fuertes desembolsos para realizar sus experimentos, no abandonaron su proyecto sin hacer una nueva tentativa y al efecto modificaron su coche movido á vapor para aplicarlo á los ferrocarriles que entonces existían en Inglaterra para el transporte de la hulla por medio de la tracción de sangre.

Ya en aquella época representaban los ferrocarriles adelantos notables que, sin embargo, no había producido la revolución industrial que estaban llamados á producir.

Ideados los madero-carriles á fines del siglo XVII y aplicados en gran escala en New-Castle, fueron sustituidos en 1768 por los rieles de fundición, ideados por William Reynolds, que disminuyendo el desgaste y el frotamiento mismo, ofrecían la ventaja de una mayor duración con la consiguiente economía de gastos de explotación que significaba el continuo cambio de rieles.

Lo quebrebradizo de la fundición y el progreso efectuado en la metalurgia del fierro, produjeron á fines del siglo el cambio de este material por aquel, debiéndose la iniciativa de este adelanto en el arte de los ferrocarriles á George Stephenson, que debía ocupar más tarde un alto renombre en el perfeccionamiento y desarrollo de esta industria.

Trevithick y Vivian buscaron estos ferrocarriles para salvar los inconvenientes que encontraban en los caminos ordinarios para el éxito del coche que habían ideado.

En efecto, el uso de los rieles obedecía á la necesidad de destruir el rozamiento del suelo para que un sistema de tracción que se apoyaba en el mismo suelo encontrara la menor resistencia y de este modo diera un mayor rendimiento útil á las fuerzas empleadas.

Estas ideas dominaban y los inventores y mecánicos ingleses fueron á buscarlos para sus ensayos sin fe en el resultado y sin confianza en el éxito; cuando más creían que su coche podría moverse, pero servir para la tracción de otros vehículos creo que ni se lo soñaron.

En efecto, un coche cuyas ruedas tenían llantas lisas moviéndose sobre un plano liso, movido él mismo desde su interior por este ó aquel mecanismo, ¿podía arrastrar otro vehículo ó materia alguna?

Dados los conocimientos é ideas de la época era materialmente imposible y tan era así que á Trevithick y Vivian no se les ocurrió hacer un ensayo y que por el contrario recomendaron á los industriales que quisieran hacer uso de su nuevo invento que trabajaran las llantas con granuras que permitieran de este modo la adherencia y como tal la tracción.

Errores de esta naturaleza son muy naturales y quién sabe en cuantos nós encontramos hoy día, que mañana serán considerados como éste que tanto dió que hacer á Trevithick y Vivian.

Me inclino á creer que el sistema de llantas granuradas tuvo su aplicación y la observación que nace naturalmente es el pensar en qué aflicciones y apuros se verían los propietarios de ferrocarriles con coches movidos á vapor cuando veían que con el trascurso del tiempo y el uso desaparecerían las granuras de las llantas y con ello la virtud de sus ferrocarriles.

La lucha de esos primeros años por la existencia de esta industria debe haber preocupado muchos hombres, que ya por amor á la ciencia, ya por el arte mismo, ya por defender sacrificios gastados en su implantación y que los veían improductivos, debieron defenderla con toda la fuerza de su inteligencia y de su voluntad.

Esta lucha ha sido efectiva y fruto de ella ha sido el primer ferrocarril de cremallera.

En 1811, Blenkinsop, director del ferrocarril de las hulleras de Middleton, en Inglaterra, ideó el uso de una cremallera formada el costado de uno de los rieles y sobre la que obraba un piñón movido en la máquina por los émbolos del cilindro y por medio de ruedas de engranaje.

Las ruedas en que descansaba la máquina sobre los rieles no estaban destinadas más que para este objeto.

Este sistema que alcanzó á durar doce años en uso debía abandonarse por los entorpecimientos que producía la constante

ruptura de los dientes y por los nuevos descubrimientos que vinieron á efectuarse.

En efecto, Trevithick y Vivian en una memoria sentaban la siguiente conclusión: «Entre dos superficies planas la adherencia es muy débil; los coches están expuestos á resbalar y la fuerza de impulsión se pierde.» «Felizmente, dice un autor, del que tomo estos detalles, se decidió á concluir por donde se debía comenzar.»

Un ingeniero inglés, Mr. Blacket se dedicó en 1813 á determinar experimentalmente el grado de adherencia de las ruedas y las llantas y pudo constatar, ayudado por circunstancias felices, que la adherencia es suficiente para mover la máquina y arrastrar aún convoyes pesados.

Por fin, en 1814 construían Jorge y Roberto Stephenson la primera locomotora que funcionara con éxito en los ferrocarriles y que se ha denominado de Cadena sin fin, por la que unía las ruedas de todos los ejes para aumentar el poder de tracción.

Estos resultados alejaron las preocupaciones de los ingenieros de la idea de buscar algún sistema de tracción que no fuera el de adherencia, por lo que abandonaron el sistema de cremallera.

El famoso concurso de Rainhill que tuvo lugar en 1829 vino por fin á producir el completo abandono de la cremallera.

Organizado por el directorio del ferrocarril de Liverpool á Manchester con el objeto de pedir á la iniciativa privada la construcción de una locomotora que llenara las condiciones necesarias para matar la competencia de los canales pertenecientes al duque de Bridgewater,—cuyas exigencias y fuerte precio de transporte obligaron la construcción de este ferrocarril,—produjo los resultados más extraordinarios superando en mucho las esperanzas del directorio y afianzando para siempre el prestigio y ventajas de esta industria.

Jorge y Roberto Stephenson, con su máquina el Cohete, fueron los genios que produjeron este resultado.

No sólo dieron muestras de la velocidad y fuerza de tracción de que es capaz una locomotora sino que, con admiración de cuantos presenciaron las pruebas, pudieron hacerlas subir en pendiente lo que no esperaban los directores.

Estos felices resultados se debieron, entre otras circunstancias, á la adopción de las calderas tubulares y al chorro de vapor arrojado á la chimenea de tiraje que habían ideado ya ingenieros franceses.

La revolución producida por el concurso de Rainhill fué de tal naturaleza que en el trascurso de treinta años, es decir, entre 1830 y 1860, se habían construído ferrocarriles en todo el mundo, mejorando notablemente sus condiciones y beneficios.

En estos treinta años no se pensó más en Europa en la cremallera como sistema de tracción.

En Estados Unidos no se abandonó esta idea. Parece que la oficina de patentes de Washington contiene algunas presentaciones de privilegio que tenían por objeto habilitar este sistema de tracción.

En 1848 se adoptaba en el ferrocarril de Madison á Indianópolis, en Estados Unidos, el mismo sistema de Blenkinsop para salvar una gradiente de 6%, sobre un kilómetro de línea que hay de Madison á la ribera norte del Ohío.

La cremallera estaba colocada entre los dos rieles y en la máquina se adoptó un piñón cuyo eje podía levantarse por medio de manivelas que gobernaba el maquinista.

Este sistema ha funcionado satisfactoriamente durante años y creo que si ha tenido inconveniente ha sido debido al uso de la fundición para la construcción de la cremallera. Fué ideado por M. Carthcart y ha sido explotado hasta 1868.

En este mismo año se entregó al tráfico la línea de Mount-Warhm y Ton, construída por M. Silvestre Marsh, cuya explotación llevada á cabo con éxito es la que ha llamado la atención de la Europa sobre este sistema de tracción: hijos de éste son los

implantados por Riggenschach en el Righi, por Abt en el ferrocarril del Hartz, montañas situadas en el reino de Hannover, en el ducado de Brunswick y en el reino de Prusia, y por en el ferrocarril del Monte Pilatos en

Los sistemas de Marsh y Riggenschach, que denominaremos *cremallera-escala*, están basados en la adopción, entre los rieles, de una escala acostada formada por dos fierros en *V* unidos por barrotes circulares ó trapezoidales, que forman la cremallera y en la colocación en la máquina de un piñón que engrana en estos escalones y que unidos al mecanismo general de la locomotora transmiten la fuerza desarrollada en el cilindro á la acción del diente del piñón sobre los barrotes de la *escala*, produciendo de este modo un mayor aprovechamiento de aquella fuerza.

El sistema Abt, basado en los mismos mecanismos, cambia la cremallera-escala por una verdadera cremallera vertical y el sistema del monte Pilatos tiene como base el de riel central con ruedas horizontales comprimidas á éste, adoptado para la pasada del Monte Cenís, propuesto por M. J. B. Bell, cambiando el sistema de *adherencia comprimida* por la cremallera y el piñón.

Para terminar esta reseña histórica debo sentar una observación.

El uso de la cremallera está hoy acreditado con 170 kilómetro de línea en explotación de los diversos sistemas ideados; para llegar á este resultado ha debido pasar por situaciones extremas. El desconocimiento de la ley de adherencia produjo su primer ejemplar, y su descubrimiento trajo el que la relegaran al olvido. La exageración del poder de la adherencia volvió á llamar la atención sobre él; es Suiza la que ha venido á probar sus ventajas y son sus hijos los que han ideado los mejores sistemas.

Es curioso aun que dos grandes concursos hayan sido la causa de su desprestigio y de su alza: el de Rainhill probó que bastaba la simple adherencia, áun para salvar las gradientes; el

habido para resolver el problema de las fuertes gradientes del Sommering y otros ferrocarriles austriacos, llamó la atención sobre la cremallera como sistema de tracción.

III.

La descripción completa del sistema Abt la encontrarán los que quieran conocerlo mejor en una memoria publicada por el ingeniero francés M. Alain Abadie, bajo los auspicios del «Génie Civil.»

M. Abadie ha podido profundizar las ventajas é inconvenientes de este sistema, ha podido compararlo con el sistema Riggenbach y probar su superioridad.

No entraré á seguirlo en sus apreciaciones, ellas son convincentes y no dejan lugar á duda.

M. Riggenbach ha, sin embargo, mejorado su sistema, introduciendo las innovaciones ideadas por M. Abt y llegado hasta conseguir que á despecho de las evidentes ventajas de este sistema se construyan ferrocarriles con cremallera-escala, como últimamente los construídos en Sumatra, de que trata la «Revue Générale des chemins de fer» en sus últimas entregas.

La perfección de la cremallera Abt ha llegado á colocar este sistema bajo el punto de vista de la explotación en las mismas condiciones del ferrocarril de adherencia simple, á lo que unido su simplicidad y facilidad para adoptarse económicamente á las condiciones de tracción, ó sea á las diversas gradientes, sin necesidad de modificar las secciones trasversales de la cremallera, lo colocan en condiciones de completa seguridad, economía y ligereza.

La memoria de M. Abadie presenta el cuadro descriptivo más completo y es de ella de donde sacaré la exposición del sistema.

La importancia de esta memoria queda demostrada con la pu-

blicación ya completa, ya extractada en el «Genie Civil» y en casi todas las revistas científicas del mundo.

Debo terminar esta introducción dejando anotado que M. Abt, ha llegado á estos felices resultados después de doce años de práctica y observación en la construcción y explotación de ferrocarriles funiculares con cremallera de seguridad y en los de cremallera Riggerbach.

EL RIEL CENTRAL

El riel central está compuesto de una ó varias láminas de acero dulce colocadas paralelamente, dentadas con perfil de desarrollo de círculo; de paso, número y espesor variable con la velocidad y la tracción que se desea obtener: estas láminas están sostenidas invariablemente por medio de coginete que las fijan unas á otras y el conjunto al durmiente que puede ser de fierro ó de madera.

El coginete va sobre todos los durmiente, está unido á éstos por pernos cuando son de fierro ó acero y por tornillos cuando son de madera.

Con el objeto de suavizar la marcha del convoy é impedir las fuertes trepidaciones del sistema Riggerbach, que tiene un paso de 0.^m10, se colocan las barras de manera á obtener que el eje de los dientes de cada una de ellas se aleje de los similares en las otras barras de la mitad del paso cuando son dos las barras, del tercio cuando sean tres y así si se quiere colocar mayor números de barras.

Para una velocidad de 10^k80 por hora habría una conmosión cada $\frac{1}{60}$ de segundo, si el paso fuera de 0.10, se reduciría á $\frac{1}{120}$ si fuera de 0.^m05, y á $\frac{1}{180}$ si fuera de 0.^m033, de este modo la menor dimensión del paso aumenta el número de conmosiones por segundo produciendo asi mayor regularidad.

Habría, sin duda, conveniencia en reducir el paso del diente y aumentar su número para llegar al mismo resultado, pero la

resistencia obliga á agrandar la sección de unión del diente á la barra.

La longitud de las barras está relacionada con la distancia de los durmientes y se colocan de modo que en los coginetes-eclisas en que se unen, caiga solamente la unión de un solo sistema de barras y así se establece la continuidad de la línea repartiéndose en mayor número de durmientes el esfuerzo de resbalamiento de la vía.

Los coginetes para cremallera de tres barras están compuestos de dos piezas gemelas como lo indica la figura núm. 1, toman entre las dos la barra central y por un costado cada una otra de las barras quedando todo sólidamente unido por medio de dos pernos.

Cuando el riel se compone de dos barras el coginete es de una sola pieza, figura 2, y en lo demás es lo mismo que el anterior.

Para el paso á nivel de los caminos se cambia el sistema de cremallera por una placa de acero con caladuras prismáticas, como lo indican las figuras 3 y 4, levantadas del durmiente y sostenidas á él por fierros en U como lo indican las figuras.

La caladura doble de la figura 3 se adopta para trenes de fuerte tracción y la de la figura 4 para de menores esfuerzos.

Los dientes de las barras se trabajan sobre caliente, por percusiones, siendo cepillados en seguida, para lo que se juntan hasta cincuenta barras unas al lado de otras obrando un cepillo transversal que da definitivamente al diente su forma y su pulimento.

El perfeccionamiento más importante de la cremallera Abt, es sin duda la pieza de entrada figuras 7, 8 y 9, ideada por su autor en su primitiva forma en 1876.

Se concibe que si no mediara un mecanismo especial para que el piñón engranara en la cremallera sería difícil que esto sucediera. En la mayoría de los casos no caería el diente en el hueco respectivo y sería imposible que esto sucediera después por

cuanto el paso del piñón y de la cremallera son idénticamente iguales.

El modelo primitivo, que obedecía á la necesidad de engranar un piñón que obraba juntamente con las ruedas de la máquina, adoptaba el siguiente mecanismo: una pieza de tres metros de largo sujeta á la cremallera por una chamela horizontal y sostenida sobre los durmientes con interposición de resortes en espiral, llevaba las mismas barras de la cremallera pero disminuído el paso de los dientes en tres milímetros y disminuída la altura de éstos progresivamente de un extremo á otro.

El piñón de la máquina llevaba el juego que le permitiera salvar los inconvenientes de esta diferencia de paso y que más tarde daré á conocer.

En estas condiciones suponiendo el caso más desfavorable, en el que un diente del piñón cayera sobre el primero de la cremallera de entrada, resultaría que la pieza de entrada giraría sobre la chamela sufriendo una depresión en la otra extremidad y el piñón continuaría girando sin engranar hasta que la diferencia del paso llevaría un diente del piñón á caer sobre un hueco de la cremallera obrando entonces el resorte para colocar la pieza de entrada en su posición de equilibrio. El mecanismo especial del piñón permite continuar el engranaje.

Modificaciones introducidas más tarde, por M. Abt, en la máquina han permitido dejar iguales el paso del diente en la cremallera y en la pieza de entrada.

En la plana N.º . . . pueden verse detalles de los tipos proyectados para el F. C. Trasandino Clark.

Es de presumir, á primera vista, que cualquier ingeniero á quien se le encomienda la ubicación y construcción de un ferrocarril no ha de construir desvíos ni arrancar ramales de una sección de cremallera ó á lo menos evitará en lo posible el hacerlo porque el problema es difícil y odioso.

Es de suponer que en los casos que se le presente esta nece-

sidad colocará la línea en sección horizontal ó poco inclinada para poder suprimir la cremallera y adoptar el cambio común.

Sin embargo presenta esto un inconveniente. Las piezas de entrada por motivo de los resortes y de los demás órganos que debe llevar son caras y en el caso de un ramal, por ejemplo, habría que emplear tres, dos en la línea principal y otra en éste, aumentando de este modo notablemente el precio del arran que por lo que M. Abt, ha ideado un cambio que permite pasar por el desvío en uno y otro sentido sin el abandono de la cremallera.

Para una estación lo creo innecesario. Estas por lo común tienen, á lo menos, 200 m. de longitud y un desvío, quedan generalmente en inclinación en que basta la adherencia simple, y en estas condiciones hay economía en suprimir la cremallera sobre la adopción de piezas de entradas antes y después de la estación.

La figura . . . da una idea completa del mecanismo y demuestra como el manubrio que mueve la aguja mueve simultaneamente la cremallera.

Basta á la vista que la estabilidad de la contrucción queda debilitada por lo que es necesario convenir que la colocación de los cambios debe efectuarse sobre gradientes moderadas, salvo que se aumente el espesor de las barras que solas forman la cremallera, y que son las laterales, en esta porción de la vía, como lo indico en una parte de la figura.

Las locomotoras del sistema Abt son del tipo denominado mixtas, es decir, que trabajan igualmente en la simple adherencia como en la cremallera.

Las primitivas máquinas usadas en el sistema Riggenbach presentaban el inconveniente de ser uno mismo el mecanismo de los piñones y de las ruedas de apoyo de la máquina. Ruedas de engranaje comunicaban á aquellas la fuerza desarrollada en el cilindro, y sus diámetros estaban calculados para producir el mismo camino recorrido en unas y otras.

Sin embargo, cualquier desgaste en las ruedas de adherencia producía entorpecimiento, destruyendo la igualdad de carrera calculada, lo que se traduce en frotamientos que mientras más pesada es la máquina, más gasto de tracción distraen.

La constante rotación de las ruedas de engranaje obligaba también á disminuir el paso de los dientes de la pieza de entrada.

M. Abt para subsanar estos y otros inconvenientes introdujo en la locomotora notables modificaciones.

En primer lugar con el objeto de aprovechar la adherencia de las ruedas actuadas por el cilindro, que por el hecho de servir su locomotora para la tracción en gradientes apropiadas á esa circunstancias están adheridas al riel por presión no despreciable, dividió los dos mecanismos y adoptó el sistema de locomotora ténder que aumenta esa presión.

Los dos mecanismos no tienen de común más que estas condiciones: una sola caldera administra el vapor y una misma llave sierra simultáneamente su corriente.

Lo demás es distinto y separado.

Para hacer funcionar el piñón tiene el maquinista una llave especial.

Hemo visto, el tratar de la pieza de entrada, que M. Abt no disminuyó el paso de su engranaje y la razón que ha tenido es que siendo distinta la acción de las ruedas motrices y del piñón, puede este engranar fácilmente al llegar á la pieza de entrada por la resistencia del rozamiento de los dientes y presión del resorte de la cremallera que abrazarán y producirán necesariamente el engranaje.

Indudablemente que al endentarse estas piezas debe producirse un choque que llamará la atención del maquinista, siendo este momento el preciso en que debe dejar expedita la comunicación de la caldera y de los cilindros motores del piñón para que obre la tracción del sistema de cremallera.

No entraré á describir la situación de los diferentes organis-

mos de la máquina Abt, ellos están distribuidos ingeniosamente y tienden á dejar el espacio necesario para el trabajo del maquinista y del fogonero.

Está también dotada de los frenos automáticos y de tornillos necesarios para producir casi intantáneamente la detención del convoy.



El órgano interesante de la máquina y uno de los perfeccionamientos más notables introducidos por M. Abt, es sin duda el piñón.

Por muy perfecta que sea la cremallera está sujeta á alteraciones producidas por el uso y los cambios atmosféricos dando lugar á su desperfeccionamiento.

Con el objeto de salvar estos inconveniente ha dejado M. Abt, un juego en los dientes del piñón. Para esto ha formado su engranaje en anillos circulares de acero en número igual al de las barras que forman la cremallera, los que tienen interiormente las muescas que indica la figura. . . .

El eje del piñón lleva al centro un ensanche cuyo perfil es circular y de un diámetro igual al del círculo interior del anillo de los dientes. Esta parte del eje lleva muescas en número iguales á las del anterior y en la forma que indica la figura. . . .

Las planchas anulares calzan en el ensanche del eje y tienen sus muescas de manera á permitir la introducción del resorte de acero que indica la figura 13 y en la forma que demuestra el corte al centro del piñón, figura 12.

Dos planchas anulares sólidamente comprimidas al eje por medio de ocho pernos y colocadas una de cada lado de los anillos dentados impide que estos se aparten del lugar que deben ocupar.

El espesor de las planchas que han servido para formar estos

anillos es mayor que el de las planchas de la cremallera con el objeto de evitar que se pierda el engranaje por el movimiento de lacet, ó transversal, de la locomotora.

El resorte, en número de ocho en cada anillo, permite un movimiento de dos milímetros en un sentido dado, produciendo de este modo el juego necesario en el piñón en los siguientes casos:

- 1.º En la repetición de la fuerza de tracción en los dientes de las diferentes cremalleras;
- 2.º En la dulzura para engranar en la pieza de entrada;
- 3.º En las variaciones de paso que produce el uso y la dilatación en la unión de las barras; y
- 4.º En las diferencias de colocación relativa de las diferentes barras de la cremallera.

A cada anillo corresponden sus resortes especiales y estos están angostados en sus eytremidades para impedir que pequeños movimientos trasversales puedan influir en que los de un anillo obren en otro.

De este modo el piñón lleva un engranaje independiente para cada cremallera, su acción sobre esta es suave, evita las trepidaciones fuertes que producen las cristalizaciones del metal y de este modo su ruptura y hace más continuo el movimiento del convoy.

Generalmente cada máquina lleva dos piñones con el objeto de repartir los efectos del desarrollo de la fuerza de tracción.

*
* *

Resumiendo, la forma de la cremallera, la pieza de entrada, los cambios con engranaje, la división é independencia de los mecanismos motores de las ruedas adherentes y de la cremallera, el aprovechamiento de la fuerza de adherencia en toda circunstancia y el piñón, con su pequeño juego de dos milímetros, son las grandes innovaciones introducidas por M. Abt en el

sistema de cremallera. Estas modificaciones son las que han hecho la gloria del inventor y el éxito del sistema.

Gracias á estos perfeccionamientos se ha podido dar al convoy una velocidad hasta de 25 kilómetros y al ferrocarril mismo una capacidad industrial tan poderosa como el de adherencia simple.

Los capítulos anteriores están destinados á estudiar científicamente el sistema y á dar á conocer los resultados obtenidos en los numerosos ejemplares entregados á la práctica y experiencia.

En el año 88 llegaba ya el número de kilómetros en circulación á la respetable suma de cincuenta, contribuyendo Sud-América en este número con los que ha construído Venezuela en la unión férrea de Puerto Cabello con Valencia.

En Chile se ha proyectado para solucionar el paso de los grandes macizos de la cordillera de los Andes, en el ferrocarril trasandino Clark.

El acceso del gran túnel, en el macizo central, era un problema de importante trascendencia para el porvenir y planteamiento del ferrocarril, y es necesario baustizar de idea feliz la que promovió la adopción del ferrocarril Abt para ese objeto.

Puedo asegurar, como testigo presencial, de la lucha habida para resolver este problema, que cuando recorría el camino de Río Blanco al Juncal, al servicio de la Empresa Clark, siéndome enteramente desconocido los perfeccionamientos introducidos en el ferrocarril de cremallera, y me imponía de las dificultades que presentaba la naturaleza para el desarrollo de una línea de adherencia simple, no podía menos que meditar y considerar cuán superior era la realización de esa gran obra.

Altísimos farellones, señales visibles de formidables, avalanchas, rodados interminables en un equilibrio casi inestable debía atravesar la línea destinada á unir dos pueblos de poca población y de menor industria.

El procedimiento por desarrollo, puedo decirlo, me espantó; y antes que contribuir á ejecutar esa obra que—según expresión de M. Abadie—puede colocarse entre las que son testigos «más que del genio de los ingenieros de la estupidez de los pueblos»—consideré prudente retirarme.

El señor Alfredo Schatzmann, promotor de esa vía, vino á ubicar la línea en el talweg de la quebrada del río Juncal, salvando las rápidas de Guardia Vieja á Río Blanco y de Juncal al Peñón con la adopción de la cremallera Abt.

Sin embargo, de que esta feliz medida no ha salvado aún las dificultades que se presentan para llevarla á término, ha venido, sin embargo, á minorar los inconvenientes.

Es á la amabilidad del mismo señor Schatzmann á quien debo la mayor parte de los datos que me han servido para este estudio; y es la necesidad de estudiar para presentar un informe sobre el ferrocarril trasandino Clark—Sección 2.^a—lo que me ha hecho conocer este sistema.

El presente artículo es el fruto de una preocupación y un trabajo ya largo, que he continuado, porque considero que para nuestro país puede ser de provechoso uso su implantación.

IV.

En la primera parte de este artículo hemos dicho que «ligero económico y seguro» debe ser todo ferrocarril y que á llenar estas condiciones debe propender todo sistema.

Estudiaremos el ferrocarril de cremallera Abt bajo estos tres puntos de vista.

Antes de abordar de lleno la cuestión, creo necesario, sin embargo, dejar establecidas ciertas observaciones indispensables para el buen acierto del desarrollo de este tema.

Es un hecho reconocido y una verdad comprobada, que la oportunidad es la primera base para producir el éxito—es la reina del mundo—como se ha dicho.

Es pues necesario reconocer que no siempre es conveniente la adopción de este sistema de ferrocarriles para resolver los problemas que se presentan.

Llamados á salvar las distancias, sean éstas verticales, sean éstas horizontales, hemos visto en la introducción, pueden clasificarse los ferrocarriles en tres grupos: 1.º los que deban recorrer localidades en que dominan las primeras, en cuyo caso, hasta límites de 2 kilómetros es conveniente adoptar el sistema funicular; 2.º los que están destinados á recorrer las distancias horizontales, sin que influyan notablemente en ellas las alturas, para lo que se impone el sistema de adherencia simple; y 3.º los que están destinados á salvar grandes alturas separadas por distancias relativamente pequeñas y en cuyo caso el tipo adoptable es el de cremallera.

Es pues necesario, para comprender la importancia de este sistema, buscar estas condiciones locales.

Supongamos, por ejemplo, un ferrocarril que debiendo partir de un punto A deba llegar á una planicie B y cuyo límite próximo á A diste de él 6 kilómetros y que la diferencia de altura de la planicie y del punto A sea 400 metros y estudiemos cuál es el sistema más apropiado.

Separémos el ferrocarril funicular porque por su capacidad, velocidad, etc. . . . no puede llenar las exigencias de una fuerte explotación.

El ferrocarril de simple adherencia admite 2% de gradiente y necesita para llegar á la planicie un desarrollo de 20 kilómetros; el de cremallera admite hasta 8% en iguales condiciones de explotación que el de 2% de adherencia, más ó menos, es decir, que para subir los 400 metros necesita un desarrollo de 5 kilómetros, distancia inferior á la que separa los dos puntos; de manera que aceptando el 8% necesitaríamos dar á 1 kilómetro de esa completa horizontalidad.

Siendo excesiva esta gradiente para las necesidades, tendría-

mos que adoptar una gradiente media de $6\frac{3}{8}\%$, lo que mejora la solución del problema y suprime la horizontal.

Si en estas condiciones pudiera igualarse la velocidad total, la capacidad y el gasto de explotación, habría evidentes ventajas en adoptar el sistema de cremallera. Generalmente el sistema de desarrollo para salvar una altura representa fuertes curvas-obras de arte de consideración y un extraordinario movimiento de tierra, que se traducen en un excesivo gasto: el ferrocarril de cremallera, por el hecho de adoptar fuertes gradientes puede seguir ventajosamente el sentido de las quebradas que generalmente no llegan al 8% de declive.

La cremallera, por sus condiciones mecánicas, acepta hasta 25 kilómetros por hora de velocidad.

Suponiendo que pueda llegar á 15 en la gradiente de $6\frac{3}{4}\%$ emplearía 25 minutos para llegar á la planicie, y el de adherencia, para recorrer los 20 kilómetros en el mismo tiempo, necesitaría dar una velocidad de 48 kilómetros por hora.

Estas relaciones no dejan de ser efectivas y ellas señalan las condiciones locales que son necesarias para adoptar la cremallera.

*
* *

Para llegar á determinar las condiciones de ligereza y economía del ferrocarril Abt es necesario estudiar la tracción de que es capaz.

M. Abt, como hemos visto, ha adoptado en su locomotora mecanismos que le permiten el aprovechamiento de la adherencia de la cremallera para este objeto,

El tipo modelo es una locomotora de tres ejes acoplados con un peso en servicio, de 56 *T.*, y con 42 *T.* de presión sobre las ruedas motrices.

Adoptando que la adherencia sea de $\frac{1}{4}$ de esta presión, tendremos que la fuerza de tracción por adherencia es de 6 *T.*

El mecanismo de la cremallera y del piñón está calculado para desarrollar un esfuerzo de tracción de 6 *T.* efectivas.

De este modo, cuando la máquina trabaja por simple adherencia y cremallera produce un efecto de tracción de 12 *T.*

En estas condiciones vamos á estudiar la capacidad del ferrocarril.

Aceptemos para la cremallera una velocidad industrial de 15 kilómetros por hora y para compararlo bajo este punto de vista al de adherencia supongamos una línea recta.

El poder de tracción de una locomotora está dado por la fórmula:

$$T = \frac{P}{W} \dots (1)$$

en que *T* = toneladas capaz de arrastrar.

P ⇒ Adherencia = $\frac{1}{4}$, peso que carga en las ruedas motrices.

W ⇒ Resistencia opuesta por la inercia, la velocidad y la gradiente.

El valor de *W* es dado en este caso por la fórmula:

$$W = 1.50 + 0.001 V^2 + 1000 \text{ sen } \alpha (2)$$

siendo α el ángulo de inclinación de la recta y *V* la velocidad del tren.

Admitamos para una línea de gran capacidad la gradiente de 2% para simple adherencia y de 6% para la mista.

En estos casos tendremos para 1000 α los valores 20 y 60 próximamente, y para que bajo el punto de vista de la velocidad total desarrollada sean iguales, demos al tren de adherencia una velocidad triple del de cremallera ó sea 45 kilómetros y de este modo ambos trenes subirán una altura dada en un mismo tiempo.

Para el primero tendremos:

$$T = \frac{6000}{1.50 + 0.001 \times 45^2 + 20} = 525;$$

i para el segundo

$$T = \frac{12000}{1.50 + 0.001 \times 15^2 + 60} = 195$$

Descontando las 55 T que tiene de peso la locomotora tendríamos que el tren de adherencia arrastra 200 toneladas y el de cremallera 140, es decir, que éste tiene una capacidad igual á 0.7 de la de aquel.

Debemos hacer notar en esta situación que el poder del ferrocarril de cremallera no varía sensiblemente para sus velocidades admisibles, es decir, entre 8 y 25 kilómetros; de manera que si adoptáramos ya 20 kilómetros por hora tendríamos entonces que la tracción del ferrocarril de adherencia se reducía á 235.

Habría que hacer aquí otras observaciones que las dejaremos para la parte industrial de nuestro artículo.

Sin embargo, conviene dejar establecido que la velocidad de 45 kilómetros por hora supuesta para el ferrocarril de adherencia está muy lejos de ser la velocidad industrial ó la que se adopta en gradientes de 2%, para el movimiento de la carga sobre todo.

En las condiciones ordiuaras de las resistencias que opone al movimiento una línea de esta naturaleza se adopta generalmente una velocidad de 25 kilómetros para los trenes de carga y 35 para los de pasajeros, en término medio 30 kilómetros.

Si suponemos trenes continuos de subida y de bajada en una sección de 20 kilómetros, por ejemplo, con intervalos de 5 minutos entre llegada y salida de cada uno, tendremos al día un movimiento de

$\frac{24}{\frac{20}{30} \times \frac{1}{12}}$ trenes, o sea 36 aproximativamente.

Con una velocidad de 30 kilómetros, y tomando en cuenta la resistencia de curvas de 300 metros de radio, se tiene una tracción de 227 toneladas totales y de 172 descontando la máquina y el tender, ó sea en 36 viajes 6192 toneladas.

El ferrocarril de cremallera para salvar los $6\frac{2}{3}$ kms. que necesita para subir los 400 metros con una gradiente de 6%, con 15 kms. de velocidad, emplea 27 minutos en recorrer la distancia y contando los cinco minutos de ecuación de tiempo para la salida, tendremos que se puede hacer un viaje cada 32 minutos, lo que permite hacer 45 en 24 horas.

Salvando las mismas curvas que en la línea de adherencia supuesta, la de cremallera arrastra en estas condiciones 120 toneladas por viaje y en el día 5,400.

Bajo estas condiciones la capacidad de uno y otro está en relación á los números 54 y 62, es decir, que el de cremallera puede servir un tráfico igual á 0.89 del de adherencia.



Como hemos dicho anteriormente, M. Abt ha dado á su máquina un poder de tracción en la cremallera de 6 toneladas. Este valor es siempre constante y no influyen en él las variaciones del tiempo y las otras causas que á veces reducen á la mitad el poder de la adherencia de las ruedas.

Estas mismas influyen también en la máquina de cremallera y adherencia pero ya su acción es únicamente sobre esta última, por lo que, cuando más, puede reducirse á los $\frac{3}{4}$: por esta razón durante el invierno es este ferrocarril de una capacidad superior al de adherencia simple.

Estas seis toneladas de tracción por cremallera son útiles enteramente porque no obra en su contra el rozamiento del engranaje, que debe ser vencido únicamente por la potencia del cilindro para lo que está calculado.

M. Abt ha adoptado para el diente de su cremallera el perfil por desarrollo de círculo y el más perfecto que se conoce.

Este sistema de dientes tiene la ventaja de que la presión es perpendicular al plano tanjente de contacto y que esta presión es constante en toda situación relativa de los dientes. Esta condición del perfil del engranaje produce un desgaste igual en todo el diente, de modo que no pierde su forma y conserva constantemente y por mucho tiempo sus condiciones geométricas y mecánicas.



El espesor y número de las barras de la cremallera dependen de la potencia de tracción de la locomotora.

Llamados á servir de punto de apoyo para el desarrollo de la fuerza que comunica al mecanismo general el sistema de émbolos especiales para la cremallera, deben tener una sección capaz de resistir ese esfuerzo.

El paso es generalmente de 120 milímetros, teniendo el diente un ancho de 56 milímetros en la línea de contacto de la recta eje longitudinal de la cremallera y de la circunferencia que ha servido de base para formar por su desarrollo el perfil del diente.

Aunque el ancho de 56 milímetros debía servir para calcular el espesor de la plancha en que se va á formar la cremallera, se reduce, sin embargo, á 40 milímetros para dar lugar á un desgaste de 16 milímetros sin que pierda ésta su resistencia,

El material de que se fabrica la cremallera es de acero de primera calidad cuya resistencia es de 72 kilogramos por milímetro cuadrado á lo menos.

El uso de dos piñones en una locomotora y la adopción de tres barras en la cremallera y tres anillos en cada piñón reparten en 6 dientes la tensión producida por la resistencia del tren

y aunque esta se reparte también en la adherencia, es necesario para el cálculo de estabilidad de la cremallera suponerla obrando toda ella en los dientes de ésta.

Pero lo que influye notablemente en el espesor es la necesidad de detener el convoy en cierta distancia, y en bajada, por cualquier motivo que sea.

Dado el caso de que esto sucediera es conveniente suponer que es únicamente la cremallera la llamada á detenerlo; bien puede suceder que los rieles estén húmedos, con escarcha ó con nieve en la parte en que deba efectuarse la operación y quede entonces destruída la resistencia al frotamiento de la llanta y el riel, siendo entonces casi nula la acción de los frenos sobre las ruedas de adherencia.

En estas condiciones debe pues calcularse el espesor de la plancha de la cremallera, de modo á resistir los choques que puede producir un rápido detenimiento del convoy.

Aceptemos un tren de 180 toneladas que baya con una velocidad de 15 kilómetros por hora y que al producirse la acción de los frenos sobre la cremallera destruya en un momento dado $\frac{1}{5}$ del valor de la fuerza viva desarrollada por el tren: esto es muy posible y muy común con maquinistas cuyas manos no son suaves para el manejo del aire comprimido y de los frenos en general.

La fuerza viva desarrollada por el tren, es

$$F = \frac{180000}{20} \times \left(\frac{15000}{3600}\right)^2 = 156240,$$

$$\text{y } \frac{1}{5} F = 31248.$$

Esta fuerza debe ser contrarrestada por 6 dientes de acero que trabajan á 10 klgs. por 1 m/m², de 40 m/m de ancho y con un espesor h que vamos á determinar. La resistencia total desarrollada por la cremallera es pues de

$$6 \times 40 \times 10 \times h = 2400 h.$$

Igualando los esfuerzos solicitantes y resistentes se tiene:

$$2400 h = 31248,$$

de donde $h = 13$ m/m.

En la práctica se adopta para valor de h , 15 m/m. mejorando las condiciones de resistencia del diente.

*
* *

Debemos hacer notar también en este lugar que la longitud de las barras que forman el riel central está limitada por la dilatación producida por los cambios atmosféricos.

Anteriormente hemos visto que M. Abt ha ideado la colocación de un resorte de unión de los anillos dentados al eje portador del piñón y que permite un juego relativo de 2 milímetros, entre otros fines, para no producir perturbaciones en el engranaje de los dientes del piñón en los huecos formados por la unión de dos barras, que varían con los cambios atmosféricos.

Como este juego es de 4 milímetros, debe pues aceptar como longitud máxima de las barras la que en 40° de diferencia de calor produzca cuando más esa dilatación.

* Esa longitud máxima L es dada por la fórmula:

$$L = \frac{0.002 \times}{40 \times \text{coef. de dilat. del acero}} = \frac{0.002}{0.0000116 \times 40} = 4^{\text{m.}}.50$$

En la práctica se reduce á 2^{m.}64 el largo de estas barras para colocar en cada una de ellas un número dado de dientes—, 22,— y obtener una dilatación que no se aproxime mucho al límite de 4 m/m. que es el máximo aceptable, y pueda dejar lugar á diferencias producidas por la construcción ó uso de los engranajes ó las curvas.

*
* *

Por último, y para concluir esta parte que podemos llamar técnica, debemos buscar la curva límite que acepta este sistema de ferrocarriles y que depende de si el riel central lleva dos ó tres barras.

En general sentaremos el problema.

Dos curvas concéntricas A y B separadas por una distancia d equidistan de una curva media concéntrica.

Sobre la curva central se ha tomado un desarrollo $DC = m$ y se quiere saber: 1.º qué diferencia de desarrollo existe entre los trozos ab y cd de las curvas exteriores encerradas por los radios trazados por D y C; y 2.º cuál debe ser el radio de la curva media para que este valor sea una cantidad dada ϕ .

Sea r este radio, y los de las curvas exteriores serán $r + \frac{1}{2}d$ y $r - \frac{1}{2}d$.

El desarrollo DC es igual á $\frac{2\pi r}{360} \times a$ y el de dc á

$$\frac{2\pi (r - \frac{1}{2}d)}{360} \times a \text{ y el de } ab \text{ á } \frac{2\pi (r + \frac{1}{2}d)}{360} \times a$$

La diferencia de estos dos últimos debe ser igual á ϕ , luego.

$$\phi = \frac{2\pi (r + \frac{1}{2}d)}{360} \times a - \frac{2\pi (r - \frac{1}{2}d)}{360} \times a = \frac{2\pi a}{360} d;$$

del valor $m = \frac{2\pi r a}{360}$ sacamos $a = \frac{360 m}{2\pi r}$ y poniendo este

valor de a en la ecuación anterior se tiene:

$$\phi = \frac{d m}{r} \text{ de donde } r = \frac{d m}{\phi} (a)$$

Queda pues r en función de datos que nos son conocidos, apliquémoslos á cada uno de los casos.

RIEL CENTRAL CON TRES BARRAS

Valor de m .—En realidad para una temperatura media de 10° sobre cero el valor de m' es justamente 2.640.

Valor de ϕ .—Para buscarlo pongámonos en la siguiente situación: supongamos que las tres barras en un coginete dado se junten en sus tercios exactos, es decir, que quedan estos en un mismo radio; por la diferencia de éstos en las tres curvas no calzarán ya más los otros tercios en un mismo radio y se habrán corrido unos $\frac{1}{3}\phi$ y otro $\frac{2}{3}\phi$ y los siguientes en $\frac{2}{3}\phi$ y $\frac{3}{3}\phi$. Debiendo pues necesariamente volver á juntarse en un mismo radio los tercios de las otras tres barras que continúan para que no desaparezca la continuidad de la cremallera, debemos aceptar para ϕ el valor del juego que nos queda de los 4 milímetros que podemos dejar entre dos barras.

La dilatación de la barra de 2.640 en 40° es

$$D=2.641 \times 40 \times 0.0000116=1.122^m,$$

quedando entonces $\phi = 2.78$, ó más bien, 2.78^m para dejar 0.78 á otras causas.

Valor de d —Para el sistema de tres barras.

$$d=0.120 \text{ (Ferrocarril trasandino de Clark).}$$

Si ponemos estos diferentes valores en la fórmula (a) tendremos:

$$r\text{—mínimum} = 158.46.$$

RIEL CENTRAL CON DOS BARRAS

Lo mismo que en el anterior queda $m = 2.640'$ $\phi = 0.0002$ y para d se adopta un valor $d = 0.050$ (Ferrocarril de Bolan.—Paz).

Poniendo estos valores en (a) se tiene:

$$r - \text{mínimum} = 66. \text{m}$$

Como se ve, el sistema de dos barras se presta mucho mejor que el de tres para las líneas secundarias y económicas, por cuyo motivo M. Abt ha aumentado últimamente el espesor de las barras de la cremallera para no llegar á verse en la precisión de poner tres barras en líneas que necesitan un radio menor de 150 metros.

*
* *

La seguridad de la línea queda evidenciada con los cálculos de espesor de las barras y si se agrega á esto la enumeración de los frenos que obran en un momento dado, se tendrá una idea cabal de las inmejorables condiciones en que á este respecto se coloca el ferrocarril de cremallera Abt.

En primer lugar adherencia y cremallera llevan frenos de tornillos á mano.

En segundo lugar llevan ambos frenos de aire: el que obra en el piñón es quizás lo más eficaz que se conoce.

Los anillos dentados del piñón van, como dijimos anteriormente, sostenidos lateralmente por dos discos anulares, que por medio de un tornillo, y creo más, se comprimen uno á otro produciendo una adhesión más y más fuerte en los anillos dentados hasta imposibilitar su rotación, lo que produce la detención casi instantánea del convoy.—La figura N muestra estos anillos, torneados en tornillo, sección rectangular, que está destinado á este objeto.

Como se ve, bajo el punto de vista de la capacidad y de la seguridad, nada deja que desear este sistema: á dar á conocer sus condiciones económicas é industriales está destinado el artículo siguiente.

V.

INDUSTRIA.

Industrialmente estudiado un ferrocarril debe probar sus ventajas económicas en su construcción, en su explotación y en el rendimiento útil.

Bajo estos tres puntos de vista debemos estudiar el sistema Abt.

*
* *

Las condiciones en que lo coloca el estudio técnico que acabamos de efectuar y en los casos de la oportunidad de su adopción, que no hay que perder de vista, presenta, sin duda, economías de consideración en la construcción.

Su determinación es, sin duda, arbitraria y sujeta á las condiciones locales de cada uno de los casos en que puede adoptarse por lo que es difícil, y quizás imposible, fijarla á *priori*.

Es conveniente, sin embargo, establecer las consecuencias naturales que se deducen de la ubicación posible de las líneas de adherencia y cremallera para poder formarse una idea general de los términos que pueden entrar en contra ó favor de su adopción, por lo que procederemos á enumerarlos y estudiarlos separadamente.

a) Movimiento de tierras.

Reducida la longitud de la línea á $\frac{1}{3}$ ó $\frac{2}{3}$ necesariamente disminuye en esta proporción el cubo de cortes y terraplén: recorriendo el fondo de los talweg y adoptándose con mayor amplitud á aprovechar las circunstancias locales que disminuyen las secciones trasversales del corte ó del terraplén es admisible suponer que se reduce á la mitad el movimiento quilométrico.

Bajo estas bases la economía en el movimiento de tierra está comprendido entre $\frac{5}{8}$ y $\frac{4}{5}$ del que produce la línea de adherencia.

b) Muros de sostenimiento.

Por la segunda de las consideraciones anteriores, hay una tendencia marcada á suprimir ó disminuir notablemente el cubo de estas obras.

c) Obras de arte.—Puentes y túneles.

La misma consideración permite creer que las proporciones disminuirán y que si en los primeros el claro no se puede disminuir en muchos casos en cambio son más bajos los pilares y estribos lo que á más de traer esta economía produce una economía en la viga que puede dividirse en trozos más pequeños mientras menos costosas sean las fundaciones y los pies derechos.

d) Colocación de la vía.

No está quizás muy lejos de la verdad suponer que cueste tanto colocar un kilómetro de línea de adherencia simple que $\frac{1}{3}$ de kilómetro de cremallera quedando entonces uno y otro sistemas en las mismas condiciones; pero si aun costara el doble no sería un gasto muy excesivo, porque la colocación de una vía de 1.68 puede estimarse en \$ 300 por kilómetro y la de 1.^m en \$ 160; que para los casos ordinarios que admiten comparación ambos sistemas no puede ser superior á 50 kilómetros la línea de adherencia lo que significaría \$ 15,000 de mayor desembolso para la cremallera en un caso, y \$ 8,000 en otro, fuera de que ésta es naturalmente más recta que aquella.

e) Vía.

Reducida su longitud al tercio debemos descontar $\frac{2}{3}$ del valor de aquella, puesto que uno y otro riel están destinados á soportar el mismo peso, por lo que es natural considrearles idénticos.

El aumento de la cremallera depende de las condiciones mismas.

Por ejemplo, la cremallera del F. C. Trasandino tiene barras

que pesan 13 kilogramos por metro corrido, más ó menos lo que da 39 kilogramos por metro de vía.

Cada coginete pesa, más ó menos, 9 kilogramos lo que da para cada metro corrido 10 kilogramos aproximadamente.

Bajo estas bases hagamos una comparación de 20 kilómetros de adherencia con $6\frac{2}{3}$ de cremallera al cambio de 24 d.

Costo de ferretería para 20 kilómetros de adherencia.

20,000 × 2 × 30 kilogramos riel á cent. 8.5	\$ 102,000
80,000 kilogramos varios á cent. 10.....	8,000
	<hr/>
Precio de ferretería para 20 kilogramos	\$ 110,000

Costo de ferretería para 6,666 m. cremallera.

6,666 $\frac{2}{3}$ × 2 × 40 kilogramos riel á cent. 8.5	\$ 34,000
26,666 $\frac{2}{3}$ kilogramos varios á cent. 10..	2,666.66
6,666 $\frac{2}{3}$ × 13 kilogramos cremallera á cent.	
15.....	39,000
6666 $\frac{2}{3}$ × 10 kilómetros coginete á cent.	
40.....	26,666.66
2 piezas de entrada.....	500
	<hr/>
Precio ferretería para 6 $\frac{2}{3}$ kilogramos.	\$ 102,833.32

Como se vé no hay mayor gasto en la cremallera y por el contrario podemos igualarlos dejando los \$ 7,166.68 para imprevistos y desconocidos.

d) Material rodante.

En esta partida si que tenemos una diferencia en contra. Las máquinas deben llevar un mecanismo especial, que no es muy costoso sin embargo, y algunos de los carros un piñón de seguridad, ya movido por palancas y tornillos, ya automáticamente.

No tengo datos precisos, pero creo no ser muy exagerado al fijar este valor un 25% de aumento para las máquinas y un 10% para los carros.

*
* *

Como se ve el aumento de costo que hay en la postura de la vía y en el material rodante no es de tanta consideración, en cambio hay una enorme economía en el movimiento de tierras, en las obras de arte y en los muros de retención y una no despreciable en el material de ferretería: no he tomado en cuenta la que se produce en la lastradura en los durmientes y en las espropiaciones por la menor longitud y por el menor ancho necesario para la línea de espropiaciones que también deben ser valorizadas.

Debe aun agregarse á su favor el menor tiempo que pide su ejecución lo que se traduce en economía de interés.

*
* *

Bajo el punto de vista de la explotación hay también ventajas evidentes que las estudiaremos separadamente para cada ramo que obra en los resultados.

a) Conservación de la vía.

Es natural suponer que siendo un tercio la distancia por conservar se reduzca también á un tercio lo que se gasta en aquellos servicios que no se relacionan con la cremallera. La horizontalidad, la remoción del lastre, la limpiadura del pasto y las malezas, la estradición de la nieve, la revisión de la vía, etc., están en esta situación.

Vendría á disminuir esta economía la revisión de la cremallera y su engrasaje.

En cuanto al riel es lógico suponer que su desgaste sea el mismo, puesto que es el mismo tráfico el que va á sufrir habien-

do á favor de su conservación la menor velocidad que no fatiga tanto el riel exterior de las curvas.

La cremallera está probada ya en el Ferrocarril del Harz y se calcula su duración en 157 años.

Lo que vendría á aumentar aparentemente los gastos de conservación de la vía sería el cambio de los durmientes, que bien puede suceder no sea así porque es muy posible que el cambio de uno de los de la línea de cremallera costara tanto como el de tres de la de adherencia quedando de este modo el costo de los 20 kilómetros de ésta igualada á los $6\frac{2}{3}$ de los de aquella.

b) Accidentes.

En esta materia no hay punto de comparación; la menor velocidad y la gran cantidad de frenos permiten parar en menos tiempo y distancia evitando de este modo los accidentes.

Era de creer que los intencionales que suceden por el hecho de colocar piedras en el riel ó en la cremallera pudieran influir notablemente en este sistema, pero es necesario tener presente para no darles más importancia que la que merecen, que el maquinista puede detener el convoy en 20 m. y menos que en caso de que una piedra alcanzara á influir en el engranaje del primer piñón con la cremallera, quedaría el segundo piñón de la máquina y los que llevarán los carros, que podrían, con uno solo, detener el convoy.

c) Conservación del material rodante.

Influye notablemente en su conservación la velocidad, que, en las condiciones aceptadas para el F. C. Abt, no puede compararse el sistema de adherencia.

El piñón de la máquina en buen servicio, cuyos anillos dentados pueden mudarse fácilmente, dura con un tráfico anual igual al de una locomotora de adherencia, 16 años.

En el ferrocarril del Harz se ha podido comprobar un desgaste por año de 0.^m001 en cada diente y como éstos están calculado para sufrir uno de 0.^m016 sin perder sus condiciones de

resistencia se tiene que el piñón ó sea cada anillo dentado dura 16 años.

d) Combustible.

Para subir una tonelada á una altura dada debe consumirse el siguiente combustible:

1.º El que teóricamente por su trabajo desarrollado subiera la tonelada en un tiempo dado.

2.º El que debe gastarse para recorrer la distancia horizontal que separa los puntos que fijan la diferencia de altura.

3.º El necesario para vencer las resistencias opuestas por el mecanismo que sirve para efectuar la operación.

Comparemos ambos sistemas bajo estos mismos puntos de vista.

El gasto de combustible proveniente del primer sumando es común á ambos.

El que corresponde al segundo está para uno y otro en relación á las distancias recorridas, siendo una $6\frac{2}{3}$ y la otra 20 kilómetros, quiere decir que el sistema de adherencia consume tres veces más carbón que el de cremallera para salvar la distancia horizontal.

Por fin, el carbón consumido para vencer las resistencias es quizás mayor en la adherencia que en la cremallera: para llegar á esta convicción obran:

1.º La velocidad, que se traduce en una resistencia por sí misma y en un gran desarrollo de fuerza centrífuga que obra sobre el riel exterior, cantidades mucho mayores en el de adherencia que en el de cremallera;

2.º La forma del diente que está calculada para reducir los rozamientos.

Entraría á probar técnicamente la verdad de estas observaciones, pero lo considero inútil porque la práctica lo ha venido á comprobar.

No hay duda, el barómetro de una locomotora es el fogonero

y sobre todo el viejo fogonero. Con la costumbre de cargar su fogón aprende á juzgar de dos cosas: de la calidad de los carbones y de la bondad de la máquina.

En los ferrocarriles de cremallera en Europa se ha podido comprobar el menor gasto de vapor en las secciones de este sistema por la opinión de los fogoneros, quienes tienen la convicción de que echan menos carbón en estas porciones de la línea que en la de fuertes gradientes de adherencia.

*
* *

Antes de concluir la parte industrial de mi artículo, voy á dar algunos datos sobre importantes ferrocarriles construídos.

FERROCARRIL DEL HARTZ Á BRUNSWICK.

Es sin duda el que ha venido á comprobar prácticamente la bondad del sistema Abt.

Tiene 7,800 metros de cremallera en trozos que varían entre 250 á 1,550 con gradiente de 45 á 60 milímetros, con radio mínimo en la cremallera de 250 metros.

La carga bruta de los trenes es de 120 toneladas llegando á veces á 138.

Para comprobar que el piñón obra sobre las tres cremalleras se han hecho esperimentos que lo han comprobado.

En 1887 han producido 94,800 trenes kilométricos.

Han transportado 53,500 pasajeros.

Han transportado 120,000 toneladas.

La longitud total de la línea es 30½ kilómetros y de trocha normal.

Ferrocarril de Bolan-Pass.—Estado inglés:

Es de trocha de 1.676. Usa la máquina Abt de 54 toneladas con 6 de tracción para la cremallera y máquinas Clarette de 74 toneladas en servicio para la adherencia simple.

Se han efectuado experiencias comparativas en gradientes de 4%, demostrando las grandes ventajas del sistema de cremallera.

A dos máquinas y con velocidades de 10.55 (adherencia) y 9.65 (cremallera) han arrastrado respectivamente $259\frac{1}{4}$ y 304 toneladas.

Un tren de $259\frac{1}{4}$ toneladas fué arrastrado por una máquina Abt con 6.45 kilómetros de velocidad y la adherencia con 10.55 volviendo á advertir que aquella pesa 54 toneladas y esta otra 74.

Ferrocarril de Eetelsbruch, vía estrecha:

Una máquina de 5,500 peso bruto y arrastra en rampas de 137 milímetros un carro con 3,500 kilogramos de carga.

Ferrocarril de Eeltelsbruch, vía normal:

La máquina en servicio pesa 23 toneladas y arrastra 50 toneladas en gradientes de 8%.

Ferrocarril de Viége á Zermatt (Valais):

Se ha estudiado para unir estos dos puntos un ferrocarril de adherencia primero, y más tarde uno mixto de cremallera y adherencia. La diferencia de altura entre estos dos puntos es de 955 metros.

Para el primero se adoptó gradiente máxima de $4\frac{1}{2}\%$, que se proyectó en 16 kilómetros y radio mínimo de 60 metros.

Es de advertir que el talweg de unión de estos lugares ofrece pocas vueltas y revueltas que permiten un desarrollo económico.

La longitud de la línea era de 36 kilómetros, siendo un 35% en curvas.

El costo de la obra estaba calculado en 5.850,000 francos.

En 1888 se pensó en adoptar la cremallera y el proyeceo último estudiado producía una economía de 500,000 francos, admitiendo una pendiente de 120 milímetros.

La línea se acortó en 500 metros.

Los túneles se redujeron de 1,027 metros á 240.

La economía sobre la infraestructura se avaluó en 540,000 francos.

La cremallera ha sido proyectada en 7 kilómetros, habiendo un trozo de 2,327 milímetros y está compuesto de dos láminas de 25 metros para rampas superiores á 10%, de 20 metros para las menores.

La longitud de las curvas es de 15,400 metros o sea el 43%, cantidad mayor que en el proyecto de adherencia simple, pero los radios de ésta son muy superiores á los de aquella.

VI.

Se recordará que en 1875 en la Exposición Internacional se ubicó un ferrocarril de cremallera al costado poniente del galpón de las máquinas que corría paralelamente á este galpón pasando por un puente de tres metros de altura más ó menos.

La longitud total no sería mayor que 100 metros y en esta distancia tenía lugar para establecer los cambios y para trepar la altura de tres metros.

Recuerdo hoy que con gusto iba los domingos á contribuir con mi óbolo á su sostenimiento con tal de pasar en ferrocarril por sobre el puente que permitía el acceso á la puerta lateral del galpón de máquinas.

Inconscientemente admiraba aquel juguete y quizá lo estudié sin que se me pasara por la imaginación que diez y siete años más tarde debía propagar sus ventajas; si en aquella época estudiando el álgebra científica, había fijado la ecuación de la carrera de mi vida, que por cierto es de primer grado, no sabía aún que bajo las apariencias de un juguete de tonelada y media se escondía una inteligencia práctica que venía á mostrarnos un detalle de la industria, madre de las industrias.

*
* *

Los ferrocarriles de cremallera han sido creados donde su necesidad se imponía.

Suiza es la cuna, y Riggenbach y Abt son los verdaderos progenitores.

Chile, digámoslo con cierto orgullo, es una Suiza en perspectiva.

Lo montañoso de su suelo, las fuertes gradientes y las enormes caídas de agua son detalles comunes á ambos.

Esas mismas montañas inaccesibles, que en uno y otro país existen y la convicción que hay en sus hijos del poder del destino han sido las fuerzas que han formado la independencia de su suelo.

Estas conexiones de carácter local y su pequeña población nos animan á creer que las soluciones que á sus problemas da la Suiza con acierto puedan ser las mismas que á Chile convengan.

Entre ellas es sin duda la adopción de la cremallera para salvar las fuertes gradientes que forman la Cordillera de la Costa y la de los Andes, la que hoy pondremos á la orden del día.



Si recorremos el país de norte á sur veremos muchos ferrocarriles, ya en explotación, ya en estudios, que sienten el peso de la explotación en fuertes gradientes y de grandes desembolsos.

En primer término encontramos el de Pisagua, más acá el de Tongoy y el de Coquimbo que con sus subidas á Tamaya y á la cuesta de las Cardas tiene dificultades constantes. Hoy nos asusta llegar á Ovalle con un ferrocarril porque tenemos que recorrer transversalmente cinco cajones separados por formidables masas de cerros, cuyas alturas mínimas suben de 1,000 metros.

La minería, más al sur, tiene inmensos beneficios que recojer á 1,500 metros sobre el nivel del mar y no puede mejorar las condiciones de producción porque el flete hasta esa altura es costosísimo si es de sangre.

Siguiendo al sur tenemos que de Cauquenes á Parral se impone un ferrocarril á Tomé pero la bajada á este puerto es difícilísima y como tal imposibilita la construcción.

De Talca mismo á Constitución quizá habría habido economía en buscar la antiplanicie que forma la ladera norte de la quebrada del Maule y haber bajado á buscar el puente sobre este río próximo al mar, con una gradiente de 6%.

Mañana se querrá quizá llegar á los baños de Chillán con un ferrocarril, próximamente á ellos el llano de Chillán toma inclinaciones que pedirán á gritos, como se dice, la adopción de la cremallera.

Nos queda por fin que llamar la atención sobre los ferrocarriles trasandinos que han proyectado fuertes gradientes para su uso.

En el ferrocarril Clark existen ya ejecutados los desmontes y terraplenes desde Río Blanco hasta Guardia Vieja y son ellos, aun como se encuentran testigos fieles de las ventajas económicas del sistema de cremallera.



Dejo para el último una sencilla y elegante oportunidad para la adopción de la cremallera.

En los años de 1882 y 1883 una de nuestras notabilidades en la profesión, perdida desgraciadamente ya há tiempo, don V. Aurelio Lastarria, llevaba á cabo, por encargo del señor don Guillermo Browne los estudios y formación de planos y presupuestos para el Ferrocarril de Santiago á Valparaíso, de que era concesionario.

Aquellos planos existen en la Dirección de Obras públicas y á su formación contribuí como dibujante.

Bajo el punto de vista de la explotación ofrecen evidentes ventajas.

Por ejemplo, la altura máxima á que se llega es 385 metros sobre el nivel del mar, 430 metros más bajo que el Tabón y 230 aproximativamente, que el túnel proyectado en Marga-Marga para el ferrocarril de Casablanca á Quilpué.

Esta altura se encuentra próxima á Placilla.

Estos resultados se obtienen gracias á túneles que no pasan de 750 metros uno, y 650 otro y de 400 tres ó cuatro más.

Es necesario advertir que el túnel de Marga-Marga crece alcanza á 4 kilómetros.

Pues bien, esos planos, hablando ligeramente tienen un lunar: la entrada á Valparaíso.

Digo hablando ligeramente porque bien pensado no tenía el señor Lastarria otra solución posible. Destinado el ferrocarril á servir una industria libre necesitaba tener en aquel puerto una estación, estratégica si se quiere, próxima á los almacenes fiscales y al muelle. Para ello se eligió una ensenada un poco al oriente del muelle fiscal.

Propuesto para el Gobierno el mismo ferrocarril ubicado por el señor Lastarria, habría variados detalles de la Estación, pero su salida hasta Placilla era inmodificable.

El estero de este nombre lo atravesaba en el kilómetro 18 á 340 metros sobre el nivel del mar y hasta la estación de Valparaíso bajaba con 2%, para lo que tenía que desarrollar la línea buscando hacia la Quebrada Verde para volver en seguida por Playa Ancha á la estación.

Según mis recuerdos, la línea ubicada en Valparaíso y frente á él, es decir, 13 kilómetros, cuestan 3.000,000 de pesos ó sea 230,000 pesos el kilómetro.

Este resultado parece que ha alejado las preocupaciones de esta solución y ha fijado á Quilpué como punto de arranque del ferrocarril de Valparaíso, Quilpué, Casablanca, Melipilla y Santiago.

Si nos fijamos un poco en el mapa de Valparaíso podemos

ver que una altura de 250 metros á que se llega en el kilómetro 13 del señor Lastarria no debe distar mucho de la Estación del Barón y en efecto tomado en los planos dichos, hay escasamente 4 kilómetros.

De este modo con una línea de cremallera de 6% estaríamos en el mismo punto partiendo del Barón, y podíamos continuar el trazado del señor Lastarria.

La economía de esta modificación la estimo á priori de este modo: suponiendo que cueste tanto uno como otro kilómetro de vía, tendremos que los 4 ó $4\frac{1}{2}$ costarían 1.000,000 de pesos más ó menos habiendo pues una economía de 2.000,000 de pesos.

No cargo la cremallera en este presupuesto porque queda pagada con el precio que en los 230,000 entran los túneles y viaductos del trazado de 2%.

Hasta el kilómetro 13 suman éstos 1,845 los primeros y 900 los segundos, con un precio de 1.500,000 ó sea más de 100,000 pesos por kilómetro, obras de arte que no tendríamos en el trazado de cremallera.

Es de advertir á más que por datos que tengo tomados de memorias sobre el sistema Abt, se hacen estimaciones para las cremalleras y máquinas etc., de 30,000 fr. por kilómetro que no hacen ni 20,000 pesos de nuestra depreciada moneda.

La cremallera vendría pues en este caso á producir una economía de consideración y más que eso á hacer bueno un trazado que hoy no llena las exigencias.

De este modo saliendo de la Estación del Barón paralelamente á la Avenida de las Delicias á 100 metros de distancia más ó menos y tomando los faldeos de la línea de la Estación se ubicaría el ferrocarril en un terreno barato y en un kilómetro recorrido y á 60 metros de altura se estaría fuera del radio poblado de Valparaíso.

Quedaría entonces en Placilla una estación de cambios de

máquina y de depósito de carros cargados y una explotación especial de los veinte kilómetros comprendidos entre el Barón y aquel pueblo, con máquinas Abt, permitiría quizá ponerse entre Santiago y Valparaíso en $3\frac{1}{2}$ horas.

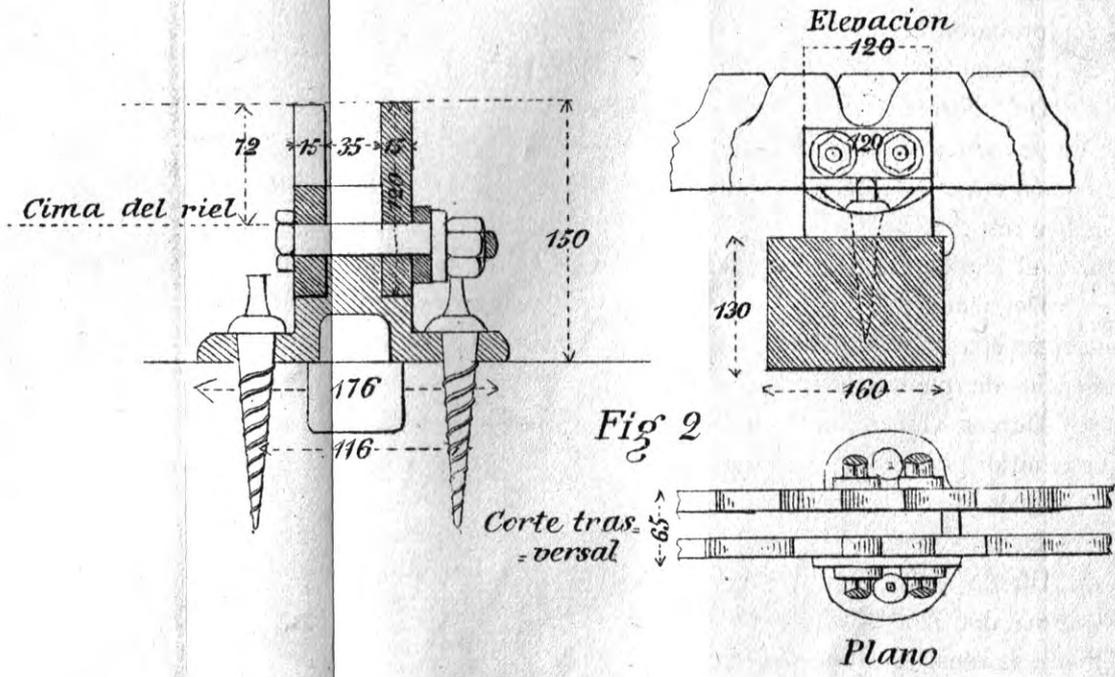
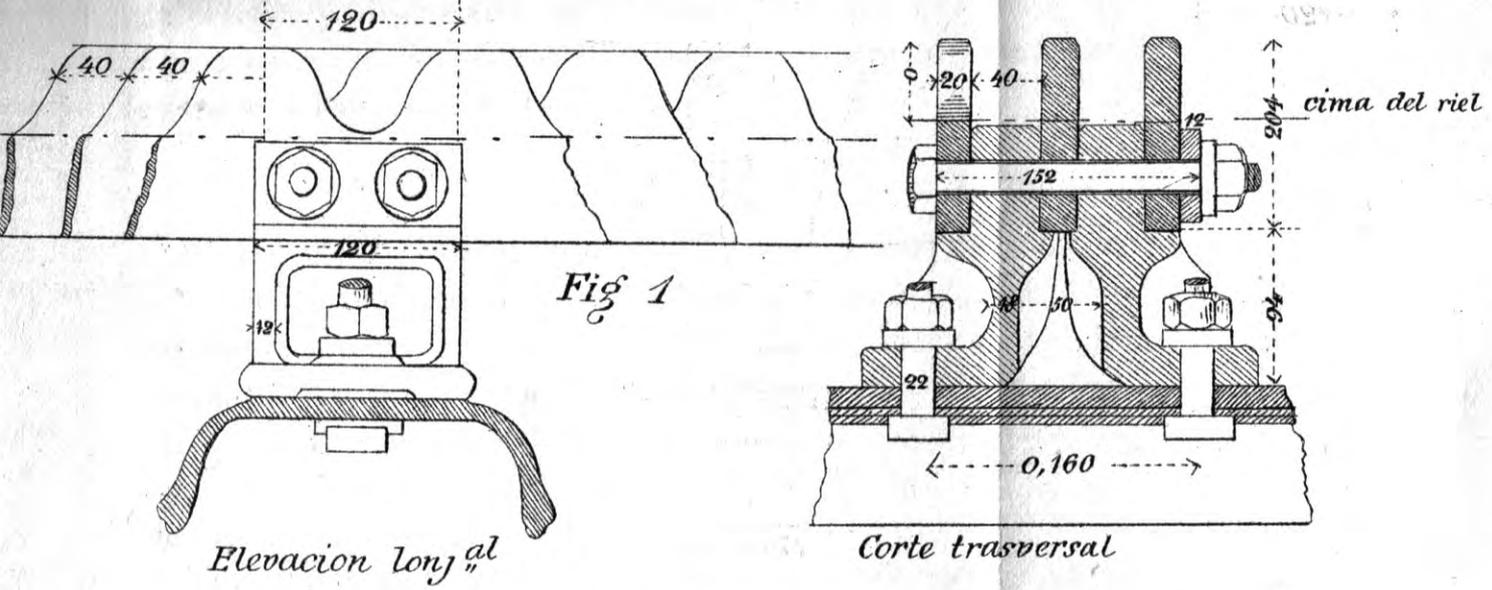
No es de extrañarse que declare que esta salida de Valparaíso es una salida estratégica como no lo son la de Viña del Mar y la proyectada por el señor Lastarria por Playa Ancha.

E. VERGARA MONTT.

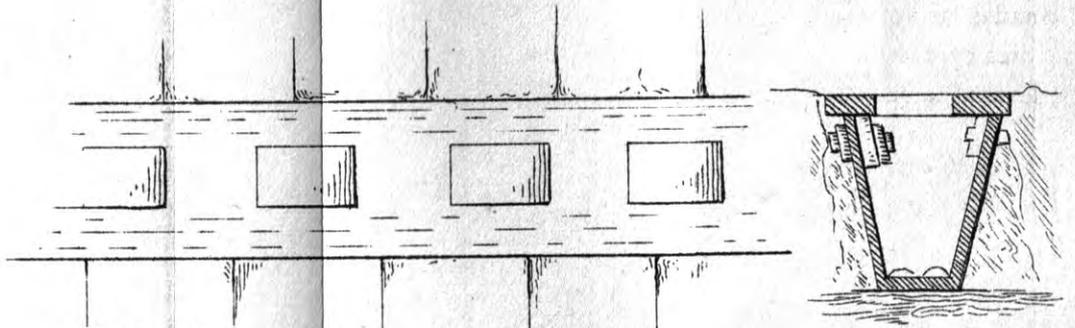
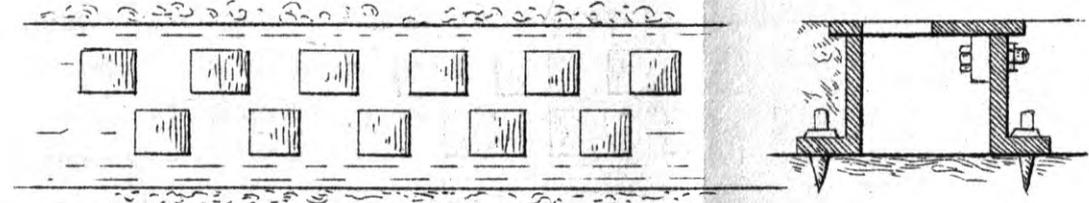


*Cremallera del F.C. de Bolan-Pass
Trocha 1^m 676*

*Cremallera del F.C. de Oertelsbruck
Via angosta*



Datos - Dist. entre los cojineles 0,880
Longitud de las barras 2,640



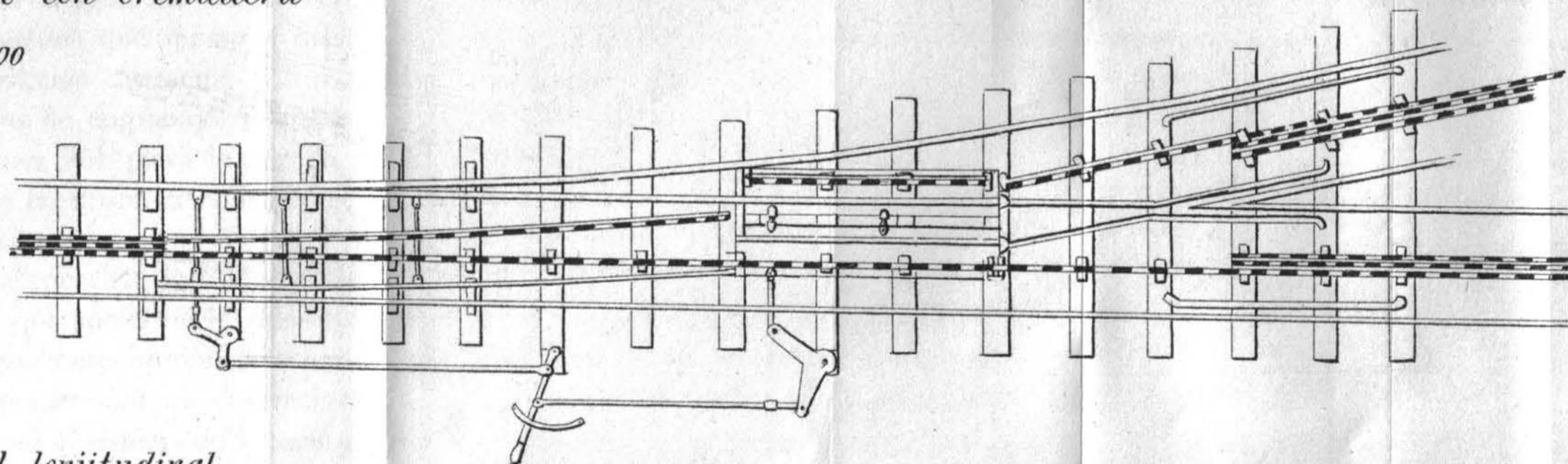
Cremallera Abt para caminos

Fig. 3

Fig. 4 Cremallera Abt para caminos

Plano de un cambio con cremallera

Escala 1/4/1000



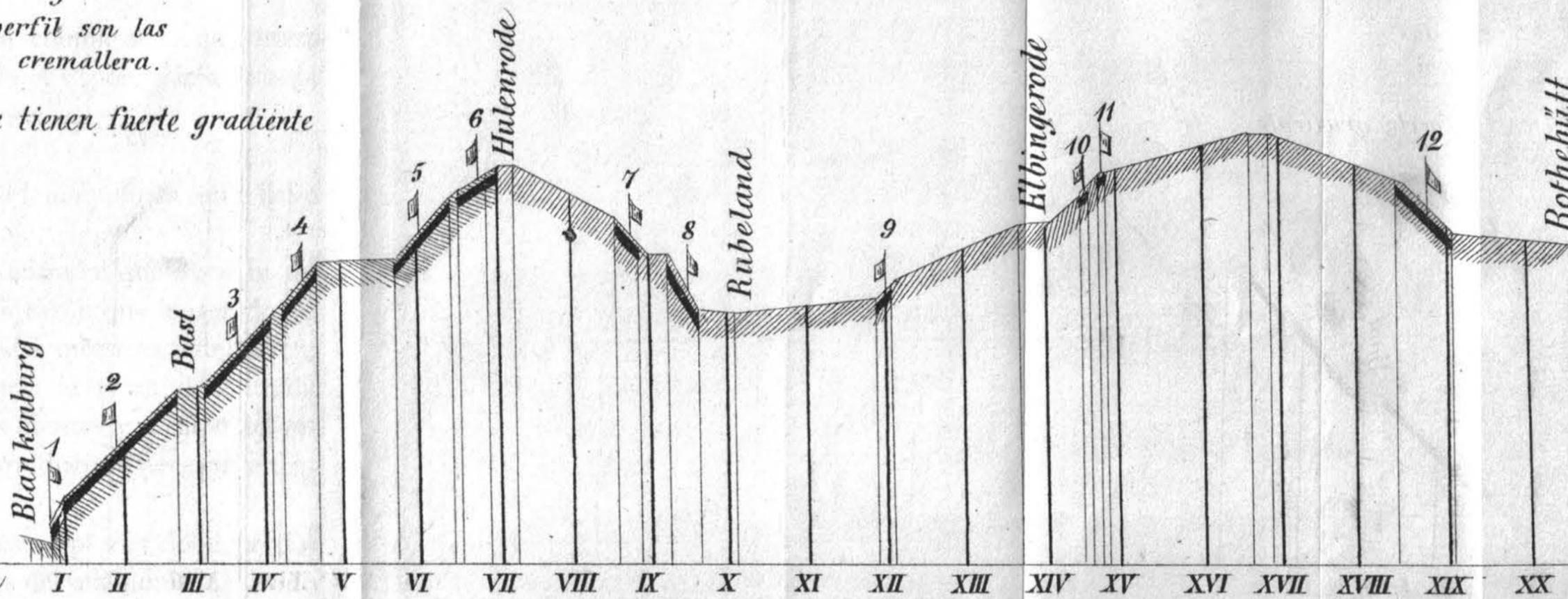
F. C. del Harz. Perfil longitudinal.

Los trazos negros en el perfil son las partes en que va cremallera.

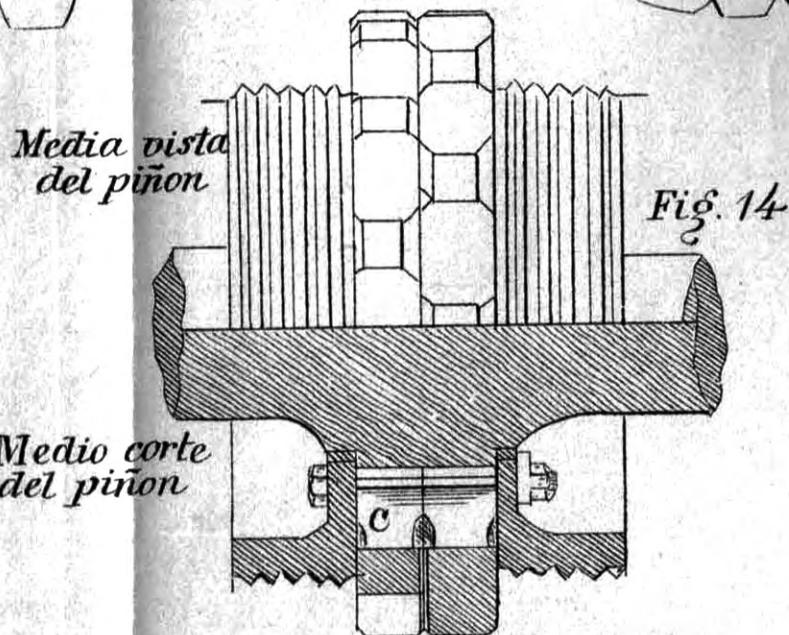
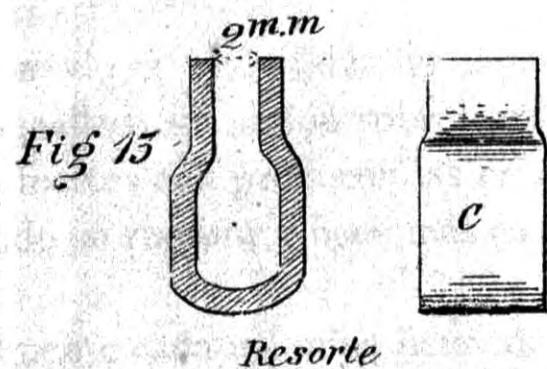
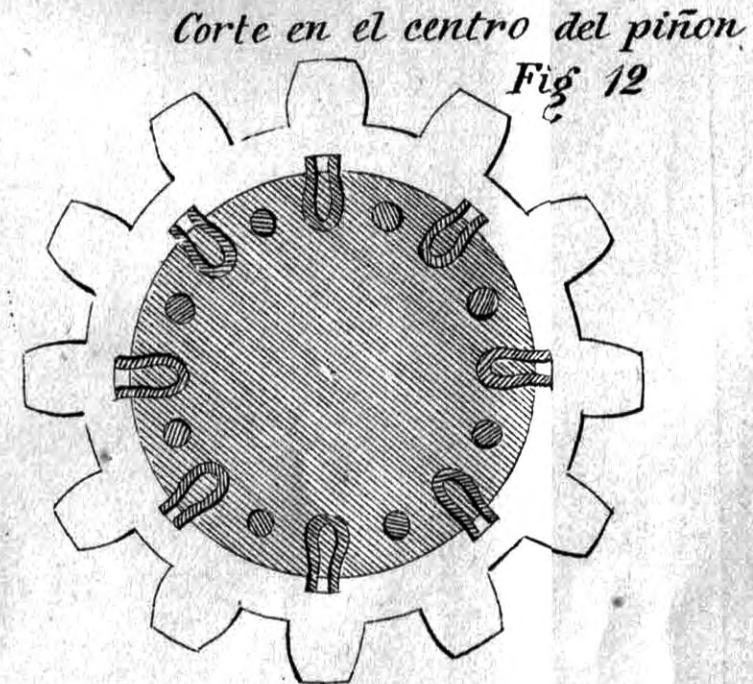
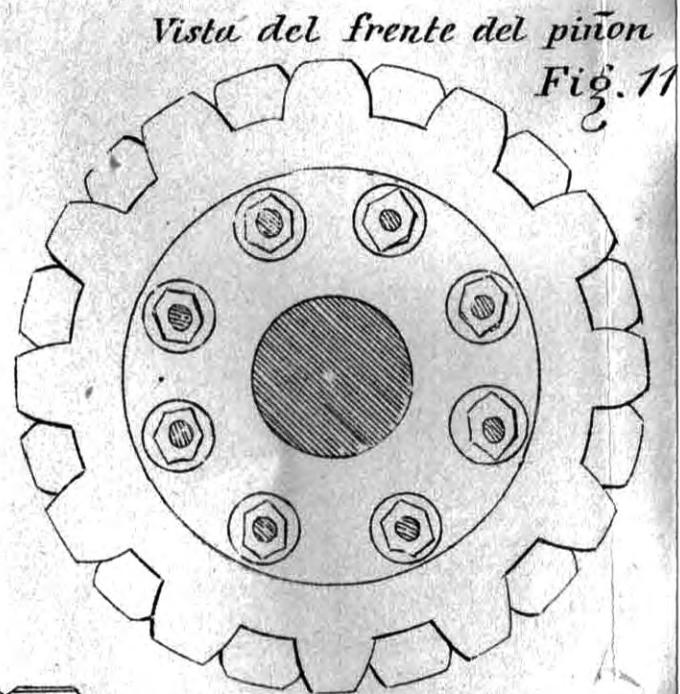
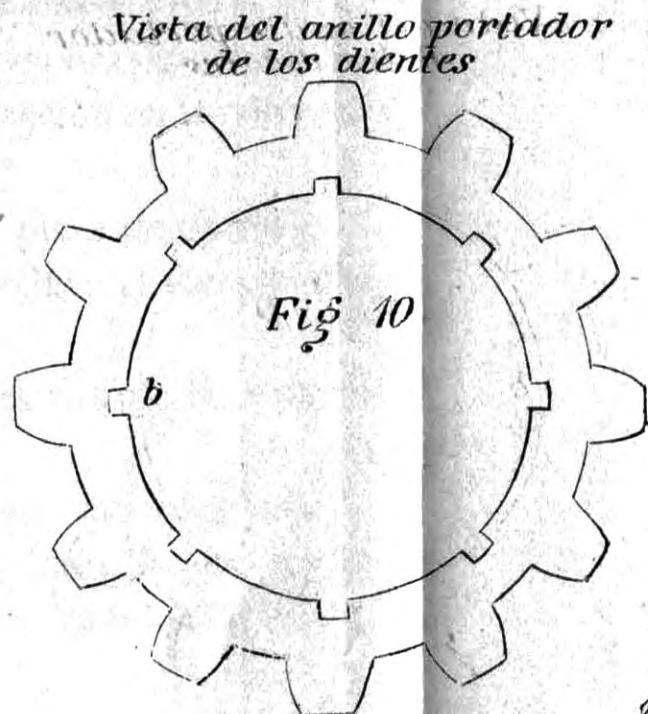
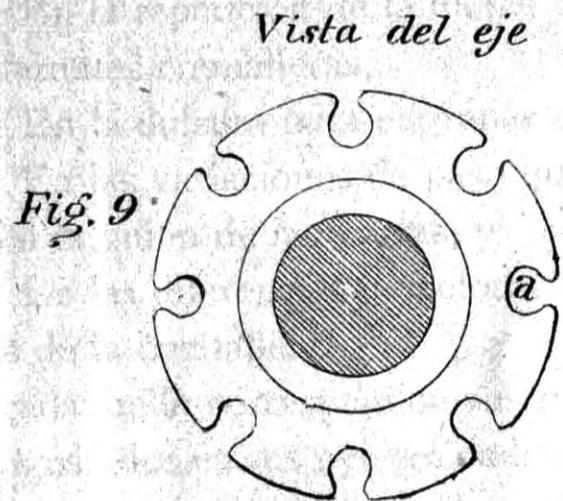
Longitud de los trozos que tienen fuerte gradiente

1	235.00
2	1449.84
3	986.67
4	729.83
5	736.00
6	309.50
7	371.00
8	589.47
9	207.00
10	150.00
11	152.00
12	563.00
Total	6168.31

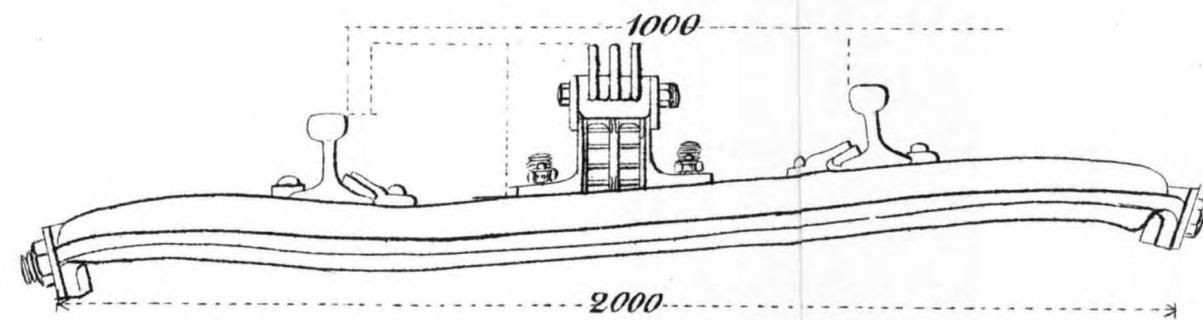
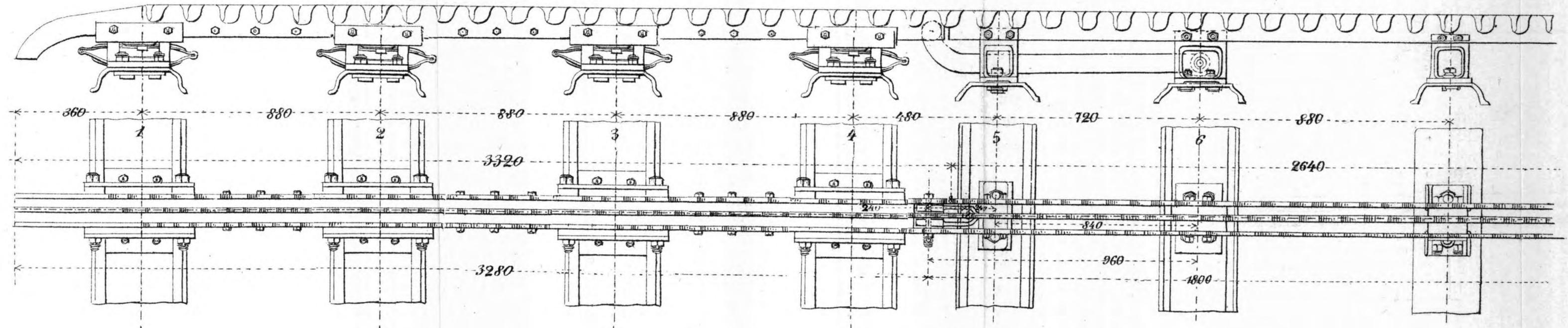
Kilometraje



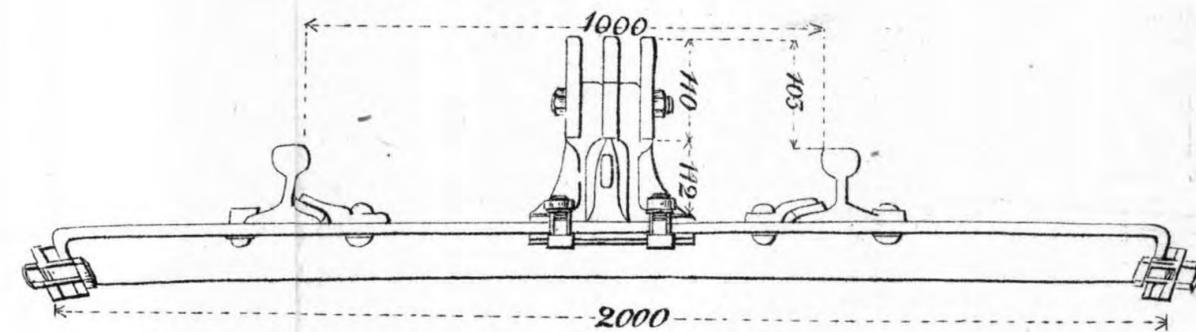
Piñon para via de dos barras



*Pieza de entrada de la Cremallera
Sistema Abt*



Sección del durmiante N.º 5



Sección entre los durmientes N.ºs 2 y 3.