

SUPERSTRUCTURA

DE LA VIA FÉRREA PARA TROCHA DE 1,68 M.

Por RAÚL CLARO SOLAR i RUPERTO ECHEVERRÍA S.

INTRODUCCION

La Direccion de Obras Públicas se preocupa en la actualidad de estudiar tipos jenerales para cada uno de los elementos de las obras que intervienen en la construccion de una línea férrea.

Naturalmente, ese estudio ha debido tener desde luego en vista los elementos de la superestructura, con relacion a los cuales se ha creido necesario analizar los tipos existentes para aceptarlos en definitiva o, en caso que se estimaren defectuosos, para proponer los nuevos tipos llamados a reemplazarlos.

El análisis de esta cuestion parece a primera vista mui complejo si se considera que la red de los Ferrocarriles del Estado de trocha ancha comprende diversas secciones de importancia variable i numerosos ramales secundarios.

Pero, al considerar una superestructura tipo, es lójico exigir de ella que pueda satisfacer a las necesidades del tráfico en las secciones de mayor circulacion, i, en consecuencia, el estudio de esa superestructura debe hacerse para las condiciones en que se encontrará colocada en dichas secciones.

Es éste el criterio que hemos aplicado en el curso del presente informe: la jeneralidad de las observaciones consignadas en él se referirá siempre a aquellas secciones de nuestra red central en que el tráfico es mas intenso i, cada vez que tengamos en vista vias de importancia secundaria, lo haremos constar espresamente para evitar erradas interpretaciones.

PRIMERA PARTE

Estudio jeneral

CAPÍTULO PRIMERO

CONSIDERACIONES PRELIMINARES

1. *Jeneralidades.*—El presente informe tiene por objeto el estudio de tipos jenerales de superestructura para el establecimiento de los ferrocarriles de trocha ancha.

La Sub-Sección de Ferrocarriles en Estudio, a la cual ese trabajo ha sido encomendado, ha creído conveniente esponer, ante todo, las razones que la han determinado a proponer el reemplazo del tipo de superestructura existente.

De aquí la necesidad de las consideraciones preliminares que se desarrollarán en los números que siguen.

2. *Tipo de superestructura en uso en los Ferrocarriles del Estado en Chile.*—La superestructura de los ferrocarriles chilenos de trocha ancha ha pasado por múltiples transformaciones, i puede decirse, aun hoy día, que no existen normas completamente definidas sobre el particular.

Del riel de 30 k/m¹, se ha pasado sucesivamente al de 38,5 k/m¹ i aun al de 44,5 k/m¹, empleado en trozos de escepcional fatiga como la cuesta del Tabon en el ferrocarril de Santiago a Valparaiso. Del mismo modo, las eclisas planas primitivas han cedido su lugar a las eclisas cantoneras; el número de durmientes por kilómetro ha sido aumentado, etc.

No obstante estas reformas, que revelan cierta tendencia mas o ménos definida a elevar la rijidez de la superestructura, es un hecho que el establecimiento de la via no ha sido nunca objeto de un cuidado especial. Los procedimientos rutinarios en uso para la enrielladura, i en especial para la enrielladura de las curvas, el empleo de la primera madera que se tiene a mano para la confeccion de los durmientes, la aceptacion de lastres de ínfima calidad, son antecedentes que hablan poco en favor de los servicios de establecimiento i de conservacion de la via.

Por las observaciones anteriores se ve que no es fácil definir la superestructura tipo empleada actualmente en los Ferrocarriles del Estado de Chile. Sin embargo, pueden precisarse algunos datos que permiten formarse de ella una idea aproximada; esos datos son los siguientes:

- peso del riel, 38,5 k/m¹. (1)
- largo normal del riel, 9,144 m.
- peso del par de eclisas, 13,685 k.
- largo de las eclisas, 0,445 m.
- número de pernos para eclisas, 4.
- fijacion de los rieles sobre el durmiente, 4 escarpías.
- dimensiones de los durmientes, 2,75m. × 0,25m. × 0,15m.
- número de durmientes por kilómetro, 1422.
- espesor total del lastre en el eje de la via, 0,50m.

Creemos inútil recordar que el único perfil de riel que se haya empleado en nuestros ferrocarriles es el tipo Vignole o de zapata; por otra parte, las eclisas tienen esclusivamente en la actualidad la seccion cantonera; los durmientes son escuadrados i reciben directamente los rieles sin interposicion de órgano intermediario alguno.

Para completar estas lijeras indicaciones sobre la superestructura en uso en nuestros ferrocarriles, observaremos que el metal empleado para los rieles, eclisas i pernos es el acero, prefiriéndose el fierro para las escarpías; los durmientes son o bien de cipres o bien mas jeneralmente de roble, empleándose ambas maderas casi sin escepcion en estado

(1) En realidad, el peso efectivo de este riel, con densidad de 7,8, es igual a 39, 7 k/m¹.

natural; por fin, el lastre es de calidad variable, dándose preferencia al lastre de pozo, tal como sale de la cantera.

3. *Tipos de superestructura adoptados por ferrocarriles extranjeros comparables con los ferrocarriles chilenos.*—En cuestiones tan complejas como el establecimiento de la superestructura de las vías férreas, tienen una importancia capital los resultados de la experiencia. Ahora bien, esos resultados tienen su expresión natural en los tipos de superestructura adoptados por las diversas Administraciones de Ferrocarriles, lo que aconseja tener a la vista los datos principales que con ellos se relacionan.

No es fácil, sin embargo, decidir en qué casos una línea férrea extranjera puede ser comparable con nuestros ferrocarriles, pues los términos de esta comparación son tan heterojéneos que es casi imposible tomarlos todos en cuenta.

Existen, no obstante, ciertos factores de importancia dominante que permiten apreciar de una manera aproximada los puntos de contacto que presentan dos vías férreas cualesquiera. Esos factores son: la trocha, las cargas máximas de rueda, la velocidad media máxima, la importancia del tráfico i los accidentes del trazado.

Bajo este múltiple punto de vista, la red central de los Ferrocarriles del Estado, en sus secciones más recargadas, puede considerarse como una línea de primera clase; todavía más, comparada con la gran mayoría de los ferrocarriles europeos de primer orden, los accidentes de su trazado la colocan en condiciones desfavorables en lo que se refiere a la conservación de la vía. No debe, pues, extrañar el que hayamos llegado a la conclusión de que esas secciones son comparables con los ferrocarriles extranjeros de primera importancia.

Debe, sin embargo, observarse que algunos de esos ferrocarriles, i especialmente los ingleses i americanos del norte, han llevado sus cargas de rueda i sus velocidades máximas a cifras verdaderamente exajeradas; son estas consideraciones i otras análogas las que deben guiar el criterio para entrar al detalle de la comparación que nos ocupa.

En el cuadro núm. 1 hemos reunido los datos característicos relativos a los ferrocarriles que, a nuestro juicio, se prestan mejor a esa comparación.

4. *Estado actual de la cuestión de superestructura.*—Los datos presentados anteriormente exigen una crítica razonada, para realizar la cual es indispensable indicar rápidamente los resultados a que la práctica ha conducido i que pueden considerarse como aceptados sin discusión.

Debe anotarse desde luego la tendencia actual a aumentar la velocidad de los trenes i la importancia de las cargas que circulan sobre la vía, tendencias, sobre todo esta última, que sin justificación suficiente han predominado en nuestros ferrocarriles. En todo caso ellas existen i es evidente que un estudio de la superestructura debe especialmente tomarlas en cuenta.

Resulta de aquí la necesidad de considerar el conjunto de la vía i del material rodante para proporcionar el establecimiento de aquélla a la naturaleza jeneral del tráfico, es decir, a las condiciones probables de la explotación futura.

Esta observación pone de manifiesto la necesidad de estudiar un tipo de vía que pueda hacer frente al desarrollo incesante del tráfico i que, en consecuencia, se acerque en lo posible a la capacidad máxima que se pueda obtener. Por este motivo creemos

necesario insistir sobre el conjunto mas completo de disposiciones adoptadas para aumentar la rijidez de la superestructura.

Esta rijidez debe obtenerse, no por el refuerzo aislado de uno o mas de sus elementos sino por el refuerzo simultáneo de todos ellos, pues solo así se conseguirá realizar el máximo de aprovechamiento de las mejoras introducidas. Partiendo de esta base, examinaremos sucesivamente los dispositivos que conviene adoptar para cada uno de ellos.

Observando que la calidad de la via es caracterizada por una conservacion fácil i poco costosa, se llega a concluir la necesidad de dar a ésta una gran rijidez, a fin de disminuir su hundimiento en el terreno al paso de cada vehículo; se concluye tambien que la via, bajo la accion supuesta constante de las cargas rodantes, debe sufrir en todos sus puntos un descenso uniforme, i que, cuando la magnitud de la carga varia, las variaciones de descenso de la via deben quedar comprendidas dentro de límites convenientes. Demas está decir que en ningun caso la fatiga de los diversos elementos debe ser superior al límite admisible (1).

Ahora bien, la rijidez de la via depende directamente de la rijidez del riel. De aquí que todo aumento del momento resistente i luego del peso de los rieles aumentará eficazmente la rijidez de la superestructura i disminuirá en consecuencia los gastos de conservacion; esta disminucion alcanza proporciones considerables, que han llegado a estimarse en un 50% al pasar del riel de 30 k/m.¹ al de 40 k/m.¹ (2).

Para que se comprenda esta influencia debe observarse que un riel demasiado débil sufre flexiones considerables al paso del material pesado animado de gran velocidad i que tenderá en consecuencia a relajar las amarras de los durmientes i a desatracar a éstos. Por el contrario, miéntras mayor sea el momento resistente del riel menores serán las flexiones que experimenta; ademas repartirá la carga que obra sobre él a plomo de un durmiente no solo a este durmiente sino a los vecinos, de donde se derivarán presiones menores sobre el lastre, hundimientos menores de los durmientes i mejor conservacion de su atraque así como de la elasticidad del lastre.

Debe reconocerse no obstante que la eficacia del aumento de la rijidez del riel no es indefinida, pues, aun teóricamente, llegará un momento en que un aumento de su momento resistente no tendrá para los tipos corrientes de rieles influencia apreciable en la reparticion de las cargas sobre los durmientes. Esta observacion pone un límite al aumento conveniente de peso de los rieles i tiene tanta mayor importancia cuanto mayor sea el precio de costo del riel comparado con el de los durmientes (3).

Es especialmente cuando los durmientes son baratos i los rieles caros, cuando se impone la conveniencia de no exajerar el peso del riel aumentando en cambio el número de durmientes por kilómetro. Esta solucion, que aumenta notablemente la rijidez del riel,

(1) Ast.—Relation entre la voie et le matériel roulant —*Bulletin de la Commission Internationale du Congrès des Chemins de Fer.* (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1892.

(2) Sandberg.—Avantages des rails lourds pour les lignes construites en rails à patin (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1899.

Wasiutynski.—Déformations momentanées de la voie (B. du C. des Ch. de F.) Noviembre, 1898.

(3) Ast.—Renforcement des voies en vue de l'augmentation de la vitesse des trains. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1895.

es, puede decirse, el mejor medio para repartir las cargas de rueda sobre un gran número de durmientes.

No es extraño, pues, que se recomiende especialmente dicho aumento i se justifican así las cifras verdaderamente enormes por kilómetro a que se ha llegado en algunos ferrocarriles i en especial en los ferrocarriles americanos del norte. En realidad, ese aumento no tiene otro límite que la necesidad de no dificultar el atraque i de no exajerar los gastos de primer establecimiento.

Hemos hecho notar ántes que el hundimiento de los durmientes en el lastre está en relacion directa con las cargas que éste recibe. Debemos ahora agregar que ese hundimiento será asimismo tanto menor cuanto mayor sea la superficie de asiento de los durmientes. Esta observacion viene todavia en apoyo de la conveniencia de aumentar el número de durmientes por kilómetro, por cuanto así se aumenta su superficie total de asiento.

Por otra parte, considerado el durmiente en sí mismo, es evidente que miéntras mayores sean su ancho i su lonjitud, mayor será su superficie de asiento i menor será, en consecuencia, la presion unitaria que trasmite al lastre. Parece deducirse de aquí que habria conveniencia en emplear durmientes muy largos i muy anchos; pero, teniendo presente que el trabajo de la materia del durmiente aumenta con su lonjitud i que en ningun caso su ancho puede ser tan grande que dificulte el atraque por debajo, se ve que no conviene exajerar aquellas dimensiones. La conclusion natural será que habrá ventaja en aumentar, sin exajeracion, el largo i el ancho de los durmientes.

Demas está decir que un durmiente alto presentará mayor resistencia a la flexion que otro durmiente mas bajo.

Si el hundimiento de la via al paso de las cargas rodantes depende de la presion transmitida al lastre, no es extraño que este elemento tenga una influencia preponderante sobre los gastos de conservacion. La calidad del lastre i su perfil deben, pues, ser materia de un estudio detenido, el cual deberá tener en cuenta las circunstancias locales i la naturaleza de la plataforma.

En este estudio habrá que considerar especialmente que el lastre es una fundacion elástica de la superestructura i que tanto los materiales que lo forman como las circunstancias en que se encuentre colocado deben ser de tal naturaleza que aquella elasticidad se mantenga en condiciones satisfactorias. Aunque parezca innecesario, debemos insistir sobre la necesidad de prestar a la conservacion del lastre el mismo cuidado que a la de los demas elementos de la superestructura.

Pero, aun admitiendo la existencia de un lastre de buena calidad i bien establecido, la superestructura no tardaria en desorganizarse si el terreno de fundacion, o sea la plataforma, se encontrara en condiciones defectuosas. Aunque lo que se refiere a este punto no queda comprendido en el presente estudio, creemos indispensable recordar que la plataforma de la via debe ser perfectamente estable i completamente saneada.

Hemos considerado hasta aquí los elementos que podríamos llamar fundamentales de la superestructura. Pero existen otros que, si bien se refieren a detalles de la misma no revisten por eso un carácter ménos esencial; nos referimos al ensamble lonjitudinal de los rieles i al descanso de éstos sobre los durmientes.

Los dos tipos de juntura que deben considerarse son la juntura apoyada i la juntura al aire, pudiendo la primera descansar sobre uno, dos o tres durmientes.

Preferida hasta hace unos treinta años la juntura apoyada, fué luego abandonada en la mayor parte de los ferrocarriles europeos, si bien se conservó en algunos de ellos i se ha conservado en muchas de las líneas férreas de los Estados Unidos de Norte-América. Las causas de la preferencia que se ha acordado desde entónces a la juntura al aire son mui complejas i han sido estudiadas detenidamente por M. Ast en un informe presentado sobre el particular al Congreso de Ferrocarriles de 1900 (1); la lectura de ese informe, en el cual se hace notar que la adopción de la juntura al aire coincidió con la sustitución del riel de fierro por el de acero, hace pensar si no se habrán atribuido a ese tipo de juntura parte de las ventajas que se debían al nuevo metal empleado.

Por otra parte, la observación de las vías que conservan todavía la juntura apoyada i los ensayos comparativos realizados especialmente por Ast, i de que da cuenta la memoria ya citada, han vuelto a abrir la discusión sobre la conveniencia de dar preferencia a uno u otro tipo. La cuestión está mui léjos de ser resuelta a favor de la juntura al aire, como se consideraba hace algunos años (2).

Tal es, además, la conclusión adoptada en 1900 por el Congreso de Ferrocarriles (3), que dice: «el Congreso cree útil que, continuando los estudios en vista de perfeccionar la » juntura al aire, las Administraciones de Ferrocarriles emprendan o prosigan ensayos con » cualquier otro sistema de juntura i especialmente con la juntura apoyada.» Por nuestra parte, creemos que, desde que la cuestión no ha sido aun resuelta, es prudente limitarse por ahora a seguir la norma adoptada por la gran mayoría de las Administraciones i considerar que en el estado actual de la cuestión debe preferirse la juntura al aire; aconsejamos, sin embargo, que se preste atención preferente a los nuevos resultados prácticos que se obtengan sobre el particular, para modificar esa disposición si se estimare conveniente (4).

En todo caso i cualquiera que sea el tipo de juntura adoptado, debe reconocerse que no se ha logrado en la práctica establecer una continuidad perfecta de los rieles; la juntura es siempre un punto débil de la superestructura, i hai interés en disminuir su número aumentando en lo posible la longitud de los rieles.

Por otra parte, con la juntura al aire i teniendo en cuenta su menor rigidez en comparación con la que presenta el cuerpo del riel, hai necesidad de acercar los durmientes de la juntura mas que los intermedios para asegurar una flexión uniforme de los rieles. Contribuirá a obtener este resultado el empleo de una juntura robusta i especialmente la adopción de largas eclisas que descansen sobre los durmientes de la juntura i que se unan al alma del riel por tantos pernos como sea posible emplear.

Debemos además recordar que de ordinario las eclisas se fijan sobre los durmientes de la juntura en forma tal que se opongan al movimiento de avance longitudinal que los

(1) AST.—*Joints des rails* (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

(2) PIÉRON.—*Eclissage* (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1889.

(3) *Joints des rails* (B. du C. des Ch. de F.) Mayo de 1901.

(4) SANDBERG.—*Joint appuyé ou joint en porte-à faux*. (B. du C. des C. de F.) Enero, 1898.

WASIUTYNSKI.—*Déformations momentanées de la voie*. (B. du C. des Ch. de F.) Noviembre, 1898.

rieles tienden a tomar en ciertos puntos bajo la acción del material rodante. Ahora bien, como lo observa Ast (1), toda junta está sometida a una fatiga considerable debida a las acciones horizontales i verticales desarrolladas por los vehículos al salvar la solución de continuidad; agregando a esta fatiga el efecto producido por las fuerzas que causan el avance de los rieles, se vé que la junta no puede resistir largo tiempo. Conviene, pues, independizar a las eclisas de los medios puestos en práctica para impedir el movimiento de los rieles a que se ha hecho referencia.

Resulta de aquí que, si este movimiento no es impedido por las eclisas, se producirá inevitablemente i traerá la consiguiente desorganización de la vía, a ménos que se arbitren medios especiales para contrarrestarlo. Ya algunas Compañías de Ferrocarriles han entrado en esta vía adoptando eclisas o sillas de detención colocadas sobre los durmientes intermedios i que se fijan por su ala horizontal al durmiente i por su ala vertical a los rieles.

Hemos dicho que otro de los puntos débiles de la superestructura del riel de zapata es el descanso del riel sobre los durmientes.

Es evidente que este descanso debe realizarse en condiciones que aseguren la estabilidad del riel i que mantengan la fatiga de la madera del durmiente en los límites admisibles. Bajo este punto de vista habrá conveniencia en ensanchar la superficie que trasmite las presiones al durmiente i en hacer solidarias las escarpas o tirafondos destinados a la fijación del riel: ambos resultados se consiguen con la adopción de una silla de asiento colocada entre el riel i el durmiente, cuyo empleo es práctica invariable en la mayor parte de los ferrocarriles europeos i en un gran número de los ferrocarriles americanos.

La adopción de la silla de asiento trae consigo el aumento del número de amarras del riel sobre los durmientes.

Sobre este particular cabe comparar la escarpia con el tirafondo, cuestión muy debatida i que ha sido resuelta por el mayor número de Administraciones en el sentido de emplear la escarpia siempre que presente suficiente adherencia con los durmientes (2).

Cuando se emplea la silla de asiento puede mirarse aun con ménos desconfianza el empleo de las escarpas por el hecho de que, aumentando su número i trabajando todas solidariamente, se aumentará también la resistencia que oponen al desplazamiento lateral del riel i se disminuirá el peligro de que la jiración de éste pueda producir el arranque de las escarpas.

Para completar esta rápida reseña sobre los principales perfeccionamientos generalmente aceptados en la práctica del establecimiento de la superestructura de las vías férreas, habría que entrar al estudio de las calidades de los materiales que forman cada uno de sus elementos. Pero esta materia exigiría algún desarrollo i, por lo demás, ha sido o será tratada en otros informes.

Conviene, sin embargo, formular aquí, acerca de los durmientes, una observación que se relaciona directamente con la adopción de la silla de asiento.

(1) AST.—*Joints des rails*. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

(2) HOHENEGGER, *Fixation des rails Vignoles aux traverses en bois*. (B. du C. des Ch. de F.) Junio 1889.

En efecto, el empleo jeneral de estas sillas disminuye en gran manera los efectos de destruccion mecánica de los durmientes; pero esta mejora seria incompleta i los durmientes perecerian rápidamente por putrefaccion, en especial cuando se emplean en ellos maderas blandas, si no se colocaran en la via convenientemente preparados.

Como lo observa Sandberg (1), el agotamiento probable de los bosques aumenta el interes de prolongar la duracion de los durmientes, resultado que solo se conseguiria si a la vez se mejoraran las amarras del riel sobre aquellos i si se les prepara en forma adecuada.

Puede decirse que hoi dia casi todas las Administraciones recurren a la preparacion antiséptica de los durmientes en la jeneralidad de los casos (2).

5. *Condiciones a que debe satisfacer una superestructura tipo.*—El estudio hecho anteriormente permite formular las condiciones a que se debe satisfacer en el establecimiento de la superestructura de una via férrea de gran circulacion.

Por lo demas, esas condiciones han sido fijadas ya en una forma mas o ménos precisa por los diversos Congresos de Ferrocarriles que sin interrupcion han venido ocupándose de esta cuestion desde 1887. En realidad, lo que sigue no es sino el resúmen de las conclusiones a que en ellos se ha arribado.

1.^a La lonjitud de los rieles debe ser la mayor posible, teniendo en vista el peso del riel por metro corrido i la facilidad de su manejo; el peso de los rieles debe ser suficiente para asegurar la rijidez de la via de acuerdo con el conjunto de la superestructura;

2.^a La aproximacion de los durmientes, i en especial de los durmientes de juntura, dentro de los límites compatibles con las necesidades de la conservacion, es uno de los medios mas eficaces para reforzar la via; los durmientes de madera deben tener a lo ménos 0,24 m. de ancho i su lonjitud debe ser la mayor posible en vista de la trocha i de la necesidad de asegurar la estabilidad elástica del durmiente;

3.^a Ademas, el perfil de los durmientes debe permitir la buena fijacion de los rieles; con los rieles de zapata debe recurrirse al empleo de sillas i al aumento del número de clavos o tirafondos a 3 o 4 por silla;

4.^a El lastre debe ser permeable i elástico i su espesor mínimo bajo el durmiente no debe bajar de 0,20 m.;

5.^a Deben emplearse fuertes eclisas cantoneras, de lonjitud considerable; hai conveniencia en que estas eclisas se apoyen sobre los durmientes de juntura;

6.^a Los pernos de eclisas deben estar provistos de dispositivos que impidan su desajustamiento por efecto de las vibraciones debidas al paso de las cargas rodantes; es recomendable elevar de 4 a 6 el número de esos pernos, i

7.^a Debe independizarse á las eclisas de los medios empleados para combatir el movimiento de avance de los rieles en el sentido lonjitudinal.

6. *Crítica de la superestructura adoptada por los Ferrocarriles del Estado en Chile.*—Las consideraciones espuestas anteriormente permiten comparar la superestructura

(1) SANDBERG, *Avantages des rails lourds pour les lignes construites en rails à patin.* (B. du C. des Ch. de F.) Marzo, 1899.

SANDBERG, *Prolongation de la vie des traverses en bois.* (B. du C. des Ch. de F.) Abril, 1903.

(2) HERZENSTEIN, *Conservation des bois.* (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1903.

de nuestro ferrocarriles con las de las vías férreas extranjeras a que se refieren los datos consignados en el cuadro núm. 1. Insistimos, de paso, acerca de que estas observaciones solo son aplicables en su totalidad a las secciones mas fatigadas de nuestra red central.

El cuadro a que nos referimos comprende dos secciones diversas, la primera relativa a las vías férreas que emplean riel de zapata i la segunda a aquellas que han dado preferencia al riel de cojinete; en uno i otro caso solo hemos tomado en cuenta las superestructuras con durmientes de madera.

Sin entrar en detalles, que tendrán cabida al estudiar cada uno de los elementos de la superestructura, el exámen de esos cuadros permite deducir desde luego ciertas conclusiones jenerales de la mayor importancia. Esas conclusiones se refieren a las críticas que pueden hacerse a la superestructura de los Ferrocarriles del Estado, teniendo a la vista las condiciones a que debe satisfacer una superestructura tipo i los datos que los cuadros consignan.

Anotamos, en primer lugar, que la lonjitud de 9,144 m., fijada para los rieles de nuestros ferrocarriles, no ha obedecido a otro criterio que a la imitacion de lo que se hace jeneralmente en los ferrocarriles ingleses i norteamericanos; esa lonjitud, que ninguna consideracion técnica aconseja conservar, debe ser aumentada a fin de obtener las ventajas que se derivan del empleo de rieles largos. Tan evidente es esto que en el mismo cuadro puede observarse que algunas de las Administraciones a que nos hemos referido tienden a abandonar aquella lonjitud, adoptando rieles cuyo largo llega hasta 18,288 m.

Del mismo modo, el empleo de eclisas cortas, esplicable en las vías de cojinete por la necesidad de que ellas queden comprendidas entre los cojinetes de juntura sin alejar demasiado éstos, no se esplica en una vía Vignole; ello equivale, en efecto, a renunciar a todas las ventajas que se obtienen con el empleo de largas eclisas que descancen sobre los durmientes de juntura.

Pero la observacion de mayor importancia que puede hacerse a la superestructura que estudiamos es la que se refiere al apoyo directo del riel sobre los durmientes. Hemos hecho presente ya la necesidad de colocar entre ambos elementos un órgano intermedio que trasmita en forma aceptable la presión a los durmientes i que haga solidarias entre sí las amarras que fijan los rieles a aquéllos: el exámen del cuadro no hace sino confirmar esa observacion con el hecho de que la jeneralidad de las Administraciones que emplean el riel de zapata han adoptado tambien el uso de la silla, órgano cuya importancia llega a su máximo en las vías de cojinete. Es verdad que en el cuadro aparecen algunas Administraciones norteamericanas como recurriendo al apoyo directo del riel sobre el durmiente; pero ello es debido, sin duda, a que los datos anotados no corresponden al tipo mas reforzado de superestructura adoptado por esas Administraciones, pues la placa de apoyo es reconocida hoi dia en los Estados Unidos de Norte América como un órgano indispensable en el establecimiento de las vías de gran circulacion (1).

De esta última observacion se desprende otra, relacionada con el perfil del riel actualmente en uso, el cual ha sido estudiado teniendo en cuenta su apoyo directo sobre el durmiente.

(1) TRATMAN.—*Note sur la superstructure des chemins de fer américains.*—(B. du C. des Ch. de F.) Diciembre, 1896.

Ahora bien, al recurrir al empleo de sillas puede reducirse el ancho de la zapata dentro de los límites compatibles con la estabilidad de rotación del riel i, en consecuencia, llegar a una distribución más racional de la materia bajo el punto de vista de su resistencia. Resulta de aquí la necesidad de reemplazar ese tipo por otro más en armonía con el nuevo dispositivo que se adopte para el descanso de los rieles.

Las observaciones anteriores ponen de manifiesto que la superestructura actual no cumple con las condiciones que se exigen hoy día a una vía de gran circulación i que hai necesidad de estudiar las mejoras que podrían introducirse en ella.

Naturalmente, al emprender este estudio deberemos tomar en cuenta todos los detalles a que aquí no hemos podido referirnos, como ser el aumento del número de pernos de eclisas, el aumento del número de escarpías por durmiente, una mejor distribución de los durmientes, una capa de lastre establecida en condiciones racionales en vista de la naturaleza de la plataforma, etc. Esos detalles i los que se refieren a las calidades de los materiales empleados i al establecimiento de la superestructura deben forzosamente entrar en el cuadro de nuestro estudio.

Ese estudio tendrá además, como complemento obligado, el cálculo de las fatigas que los diversos elementos de la superestructura han de experimentar bajo las acciones estáticas i dinámicas de las cargas rodantes i la apreciación de la rigidez de la vía que el conjunto de esos elementos determina.

CAPÍTULO II

CONDICIONES DE SOLICITACION DE LA SUPERSTRUCTURA

§ I.—*Características de la explotación de los Ferrocarriles del Estado*

1. *Jeneralidades.* En el capítulo anterior hemos fijado las condiciones a que debe satisfacer toda superestructura tipo; hemos espuesto sumariamente las normas generalmente adoptadas hoy día para realizar aquellas condiciones, i, por fin, estudiando con estos datos la superestructura de los ferrocarriles chilenos, hemos enumerado los principales defectos de que ella adolece.

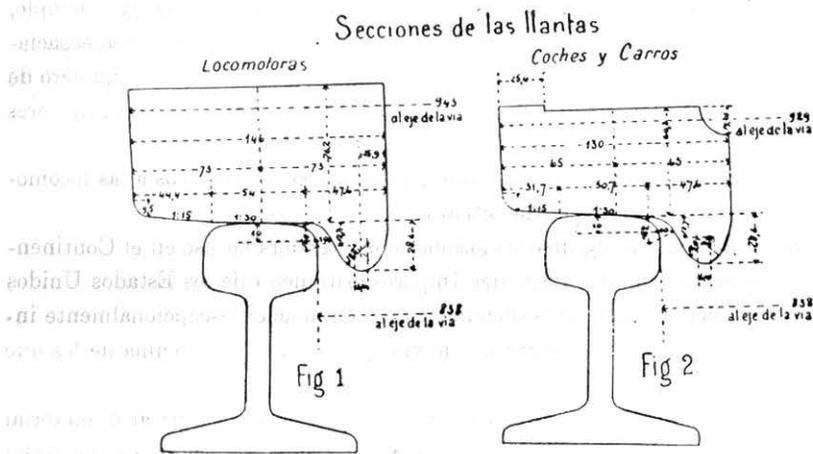
Tocaria ahora entrar a tratar de los medios apropiados para corregir estos defectos i a proponer los nuevos tipos que deben reemplazar a los existentes. Pero tal estudio debe tener como base, según ya lo hemos espresado, proporcionar la rigidez de la vía al conjunto de las condiciones de explotación.

Por estos motivos es indispensable considerar ante todo el material rodante en uso en nuestros ferrocarriles de trocha ancha, las velocidades medias i máximas toleradas en los reglamentos o aceptadas en la práctica i la importancia de los accidentes de la vía.

2. *Material de tracción.*—A fin de agrupar ordenadamente los datos relativos a este material, i que nos interesan para nuestro estudio, distinguiremos la variedad de locomotoras en grupos correspondientes a los servicios en que se las utiliza, en la forma siguiente:

locomotoras de pasajeros,
locomotoras de carga,
locomotoras de montaña.

Teniendo en vista la acción del material de tracción sobre la superestructura, existe todo un conjunto de datos relativos al peso de ese material, a la facilidad de su inscripción en la vía i especialmente en las curvas, etc., que debemos considerar con esclusión de las demás características que, si bien muy interesantes en sí mismas, no tienen cabida en el cuadro del presente estudio. Para mayor claridad hemos agrupado los datos referidos en el cuadro núm. 2. Por otra parte, en la fig. 1 pueden consultarse los detalles relativos a las llantas de las ruedas de las locomotoras en servicio.



3. *Material de transporte.*—Distinguiremos entre los vehículos de transporte las categorías que se indican a continuación:

coches de pasajeros,
carros de carga.

En el cuadro núm. 2, hemos anotado los principales datos que a este material se refieren i que es interesante considerar bajo el punto de vista de su acción sobre la superestructura.

Los detalles relativos al perfil de las llantas de las ruedas de los coches i carros pueden consultarse en la fig. 2.

4. *Comparación entre el material rodante de los Ferrocarriles del Estado i el que se emplea en los ferrocarriles extranjeros comparables con aquéllos.*—En el estudio de la superestructura, deben siempre considerarse los vehículos que más fatigan la vía, es decir, las locomotoras i los ténders.

A primera vista parece que bastaría tener en cuenta la acción de las locomotoras; pero, como lo veremos más adelante, los efectos dinámicos producidos por los ténders pueden alcanzar una importancia considerable, i solo un estudio comparativo entre ellos i los que las locomotoras producen podrá fijar el criterio sobre su importancia relativa.

En cuanto al material de transporte, coches i carros, puede observarse que su acción

es análoga a la de los ténders i que su influencia será siempre ménos importante; esta consideracion permite desde luego eliminar tales vehículos en el estudio de la influencia de las cargas rodantes sobre la superestructura.

Segun esto, al tratar de una comparacion como la a que se refiere el presente número, nos interesan solo los datos relativos a las locomotoras i ténders de los ferrocarriles extranjeros i entre éstos a los vehículos que obran sobre la vía con mayor intensidad.

Debe ademas tenerse presente que el máximo de las fatigas de los elementos de la superestructura es determinado por los ejes mas cargados i que, en consecuencia, debemos tener en vista esta observacion al elejir, entre las diversas locomotoras i ténders de cada pais, el vehículo que fatiga la vía en forma mas intensa. En efecto, no pasa con los elementos de la superestructura como con algunas obras de arte, los puentes por ejemplo, en los cuales puede mui bien suceder que un vehículo de ejes numerosos i poco espaciados produzca fatigas superiores a las que determinaria otro vehículo de menor número de ejes colocados a mayor distancia entre sí, aun cuando las cargas de eje fueran mayores en este último.

En el cuadro núm. 3 (1) se encuentran consignados los datos relativos a las locomotoras i ténders de ejes mas pesados en uso actual.

En este cuadro pueden distinguirse las locomotoras i tenders en uso en el Continente europeo i las empleadas en las líneas del Imperio británico i de los Estados Unidos de Norte-América. Estas últimas corresponden a una circulacion escepcionalmente intensa i su accion con respecto a las fatigas de la vía queda mui por encima de las que aquéllas desarrollan.

Teniendo presente esta observacion, se vé que no seria lójico comparar el material de traccion de los Ferrocarriles del Estado con los tipos usados en las líneas inglesas i norte-americanas. Ello es tanto mas evidente cuanto que debe tenerse presente que estos últimos ferrocarriles están llamados a satisfacer necesidades que de seguro nunca se harán sentir entre nosotros. Segun esto, para comparar racionalmente los cuadros núms. 2 i 3, deben escluirse desde luego esos tipos extrapesados, lo que reduce la cuestion a un estudio comparado de las locomotoras i ténders en uso en nuestros ferrocarriles con las locomotoras i ténders mas pesados que se emplean actualmente en Alemania, Austria-Hungría, Béljica, Francia, Holanda, Italia, Rusia i Suiza. Con relacion a estos paises puede decirse que, en término medio, los Ferrocarriles del Estado en Chile han llegado a emplear locomotoras i ténders no solo comparables sino aun mas pesados que los adoptados en ellos.

No es ésta la ocasion para discutir si esa exajeracion en el peso de los vehículos

(1) VON LEBER.—De la construction et des épreuves des ponts métalliques. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

DU BOUSQUET ET HERDNER.—Locomotives des trains à très grande vitesse. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1900.

RICHES.—Id. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

SLACK.—Id. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

WORTHINGTON.—Aiguilles, croisements et traversées (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

KUPKA.—Les locomotives modernes. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1903.

Renseignements divers. (B. du C. des Ch. de F.) i (R. G. des Ch. de F.)

motores, que tan perjudiciales efectos causa sobre la vía i en especial sobre las obras de arte, se justifica o no en Chile por las necesidades de la explotación. Solo debemos dejar constancia de que ese material se encuentra en servicio i de que, dentro del criterio dominante en la Empresa de los Ferrocarriles, no sería raro que se exajeraran aun en el porvenir las cargas de rueda.

En todo caso, creemos que no se debe llevar esas cargas a límites superiores a los valores máximos que corresponden a los países últimamente nombrados, pues ello no conduciría a otro resultado que a fatigar la vía sin beneficio para el tráfico.

Estas consideraciones i la necesidad de tomar en cuenta en el estudio de la superestructura las modificaciones probables del material rodante, nos conducen a aceptar para las cargas ordinarias de rueda de las locomotoras i ténders cifras superiores a las que en la actualidad existen, pero que quedan siempre por debajo de los valores máximos aceptados en el Estranjero. Dentro de este criterio, hemos creído prudente aceptar en el presente estudio las cifras siguientes:

carga máxima de rueda de locomotora.....	9.000 k.
» » » ténder.....	6.500 k.

5. *Velocidades.*—El Reglamento de explotación de nuestros ferrocarriles no consigna disposiciones relativas a las velocidades máximas con que deben circular los trenes destinados a los diversos servicios. En cuanto a la velocidad máxima de los trenes de pasajeros, fijada por los itinerarios, ella puede estimarse alrededor de 80 kilómetros por hora.

Cabe no obstante observar que, aunque en la práctica se llegue a veces i aun se pase de esa velocidad, ella debe considerarse simplemente como escepcional i que no sería deficiente fijar la velocidad media máxima para los trenes de pasajeros entre 70 i 80 kilómetros por hora.

Aun así, esta velocidad sería la que correspondería a trozos de la línea en que la circulación es fácil, pues en las secciones accidentadas, con curvas estrechas especialmente, el máximo fijado debe reducirse en fuerte proporción.

Por lo demás, las cifras apuntadas están en relación con los valores admitidos en otros países. Sin hablar de las grandes velocidades de mas de 100 kilómetros por hora a que se ha llegado en Inglaterra i en Estados Unidos de Norte-América, el cuadro núm. 1 nos manifiesta que en jeneral la velocidad media máxima de las líneas estranjeras no pasa de 80 kilómetros por hora (1).

Escusado parece observar que las consideraciones anteriores se refieren a las líneas de gran circulación; para las de mediana i de pequeña circulación, el máximo fijado para la velocidad debe reducirse a 60 kilómetros por hora.

6. *Disposicion de la via en plano i en perfil.*—En el capítulo anterior observamos que los accidentes del trazado de nuestra línea férrea la colocan en condiciones desfavorables bajo el punto de vista de su conservación.

Para que se comprenda la influencia que sobre ella tiene la importancia de las inclinaciones i de las curvas que una vía presenta, bastará recordar cuánto fatiga la vía la

AST.—Renforcement des voies en vue de l'augmentation de la vitesse des trains. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1895.

accion de los frenos i cuán importantes son los efectos dinámicos que enjendra la dificultad que presenta el material rodante para inscribirse en las curvas.

En nuestra red central, en sus secciones mas recargadas, los accidentes del trazado revisten por lo jeneral gran importancia: a la línea de Santiago a Valparaiso, por ejemplo, corresponden las cifras siguientes, que pueden considerarse como los valores límites a que se ha llegado en el establecimiento de la via férrea de trocha ancha:

valor máximo de la pendiente.....	0,023
radio mínimo de las curvas.....	160 m.

con la observacion de que la pendiente máxima anotada corresponde a la inclinacion de la línea sin tomar en cuenta las curvas, que a veces coinciden con aquella.

La comparacion de las cifras anteriores con los datos correspondientes relativos a los ferrocarriles estranjeros (2) pone en evidencia las condiciones desfavorables en que se encuentra colocada la red de los Ferrocarriles del Estado bajo el punto de vista de su conservacion.

Pero, en un estudio sobre la superestructura i especialmente en un estudio sobre las vias férreas por establecerse en lo sucesivo, será necesario partir de bases racionales en lo que se refiere a los accidentes del trazado; en realidad, los trozos de la red central a que nos hemos referido, aparte de su carácter escepcional, constituyen un ejemplo que no debe imitarse. Estas consideraciones manifiestan la conveniencia de revisar las cifras anteriormente apuntadas.

Por otra parte, si se considera que debemos tratar mas adelante del establecimiento de la via, el cual está íntimamente relacionado con las inflexiones del trazado, se justificará la necesidad de fijar desde luego los valores máximos de las inclinaciones i mínimo de los radios de curva que son aceptables en la práctica.

Las pendientes i las curvas introducen en la circulacion de los trenes un elemento de resistencia tanto mas considerable cuanto mayor es la pendiente i menor el radio de la curva. En las vias en que la economía de explotacion desempeña un papel preponderante, como es el caso jeneral, hai que proceder con prudencia al fijar los límites de que nos ocupamos.

Por lo demas esos límites no obedecen a reglas fijas i varian con la naturaleza de la línea que se considera. En un ferrocarril de gran tráfico, las inclinaciones deberán ser pequeñas i las curvas abiertas, pues entónces hai conveniencia en sacrificar la economía de establecimiento a la de explotacion. En las líneas de débil tráfico i que recorren una rejion accidentada, prevalecerá un criterio opuesto.

De aquí resulta la necesidad de distinguir entre las líneas de gran circulacion i las de mediana o de pequeña circulacion.

Para las primeras hemos fijado los límites siguientes:

pendiente máxima admisible.....	0,015
radio mínimo de las curvas.....	250 m

(2) HERZENSTEIN.—*La conservation des bois.* (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1900.

i para las líneas de mediana i de pequeña circulacion:

pendiente máxima admisible.....	0,030
radio mínimo de las curvas.....	250 m.

Debemos observar que estas cifras no contemplan el caso en que una pendiente coincida con una curva. Entónces habrá que rebajar el máximo fijado para las pendientes en una proporcion equivalente a la resistencia suplementaria debida a la curva.

Como puede observarse, hemos aceptado para ambos grupos de líneas un valor único de 250 m para el radio mínimo de las curvas, dando mayor flexibilidad al trazado de las últimas solo en lo que se refiere a las pendientes. Estimamos este criterio perfectamente racional por cuanto la esplotacion de una línea de trocha de 1,68 m. con curvas de radio inferior a aquél es notablemente costosa, i si la naturaleza del terreno hiciera imposible la conservacion del mínimo fijado, habria llegado el caso de pensar en la construccion de una vía de trocha angosta.

§ II.—ACCION DEL MATERIAL RODANTE SOBRE LA SUPERSTRUCTURA

1. *Jeneralidades* —Las acciones estáticas que el material rodante desarrolla sobre la superestructura de las vías férreas pueden distinguirse en verticales, trasversales i longitudinales; las primeras, con mucho las mas considerables, dependen directamente de la importancia i de la reparticion de las cargas de rueda i de las reacciones que resultan de la elasticidad de la vía; las últimas son debidas a la conicidad de las llantas i a la flexibilidad de los rieles.

Pero, para considerar el estado de solicitacion mas desfavorable de la superestructura, es necesario tener en cuenta el movimiento de los vehículos, pues entónces los esfuerzos verticales, trasversales i longitudinales a que nos hemos referido, adquieren su máximo de intensidad.

Estas acciones dinámicas están, por lo demas, íntimamente relacionadas con la velocidad de la circulacion, con los accidentes del trazado de la línea i con la disposicion del material rodante, circunstancias que es necesario considerar cuando se trata de determinar la importancia de aquéllas.

Demas está decir que los efectos dinámicos no pueden apreciarse exactamente mediante una investigacion teórica: solo la observacion directa ha permitido darse cuenta de una manera mas o ménos exacta de su naturaleza e importancia.

Por este motivo, en el estudio que sigue trataremos de coordinar los resultados obtenidos por los diversos experimentadores que se han dedicado al estudio de esta cuestion (1).

(1) BRIERE.—Note sur le renversement du rail dans les voies Vignoles. (R. G. des Ch. de F.) 1883.

MICHEL.—Etude sur la stabilité des voies des chemins de fer. (R. G. des Ch. de F.) 1884-1885.

FLAMACHE ET HUBERTI.—Expériences relatives à la flexibilité de la voie. (B. du C. des Ch. de F.) Diciembre, 1888.

COÛARD.—Recherches expérimentales des conditions de stabilité des voies en acier. (R. G. des Ch. de F.) 1887-1888-1889.

2. *Acciones verticales.*—Hemos dicho que las acciones verticales que las ruedas de los vehículos transmiten a la vía no corresponden solo a la carga de rueda estática, pues ésta sufre durante la marcha variaciones importantes que aumentan o disminuyen en proporciones considerables las presiones efectivas sobre los rieles.

En efecto, la acción de los resortes de suspensión, la de la fuerza centrífuga que se desarrolla a causa de las ondulaciones verticales que presentan los rieles al paso de las ruedas i los efectos de los contrapesos de las locomotras, obran, ya aisladamente, ya en conjunto, para incrementar o reducir las referidas acciones; todavía mas, a estos efectos de recarga se agregan los choques que se producen, sea por los movimientos anormales de los vehículos, sea por las irregularidades o las discontinuidades de la vía, sea en fin por las partes planas que la acción de los frenos determina en las llantas de las ruedas.

Conviene, sin embargo, constatar que las mejoras introducidas en la construcción de los vehículos i el refuerzo de la vía tienden día a día a atenuar la influencia de los esfuerzos adicionales que se agregan a la carga estática.

Considerada la cuestión que nos ocupa bajo el punto de vista de la fatiga máxima que la superestructura experimenta por efecto de las acciones verticales, nos interesa exclusivamente la determinación del máximo absoluto de tales esfuerzos; pero, como debemos también tomar en cuenta las acciones transversales determinadas por el material rodante, será interesante ocuparse de los valores máximos a que puede alcanzar la descarga de los ejes, pues entonces aquéllas acciones revisten especial importancia relativa.

Por otra parte, debemos tener presente que, atendiendo a la importancia de las acciones dinámicas que determinan, debe hacerse una distinción marcada entre las locomotoras i los ténders, pues en estos últimos la relación entre la acción dinámica i la acción estática puede alcanzar valores mucho mas considerables que en aquéllas.

Resulta, de lo espuesto anteriormente, la necesidad de considerar el recargo i la descarga máxima que pueden experimentar por efecto de las acciones dinámicas las ruedas de las locomotoras i de los ténders.

Entre las diversas experiencias realizadas para conseguir este resultado, creemos

BEMELMANS ET BRUNEEL.—Comparation des voies à double bourrelet et des voies Vignoles. (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1889.

KLEMMING.—Efforts des bandages sur les rails. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1892.

AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

AST.—Renforcement des voies en vue de l'augmentation de la vitesse des trains. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1895.

AST.—Les traverses des chemins de fer et leur assise. (B. du C. des Ch. de F.) Enero, 1895.

COUARD.—Note sur les déformations momentanées de la voie. (R. G. des Ch. de F.) 1896-1897.

WASIUTNKI.—Note sur les déformations momentanées de la voie. (B. du C. des Ch. de F.) No viembre, 1898 i Junio, 1900.

DUDLEY.—L'emploi du «Stremmatographe de Dudley» pour la détermination des efforts dans les rails sous les trains en marche. (B. du C. Ch. de F.) Abril, 1899.

AST.—Les joints des rails. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

BAUCHAL.—De la question du ballast. (B. du C. des C. de F.) Junio, 1900.

EUGERTH.—Cheminement des rails. (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1900.

conveniente no tomar en cuenta sino aquellas que han tenido en vista el efecto de los trenes en movimiento, examinando directamente la via cargada i midiendo el hundimiento de los durmientes i las flexiones de los rieles.

Los esperimentadores que han seguido este camino son, principalmente Flamache, Coüard, Ast i Wasiutynski; pero en especial las esperiencias de Wasiutynski han sido realizadas mediante aparatos que permiten eliminar toda causa de error i, en consecuencia, nos referiremos con preferencia a ellas en las observaciones que siguen.

Hemos dicho ya que en el curso de esas esperiencias se han medido directamente los hundimientos de los durmientes i las flexiones de los rieles i que de esos datos se ha partido para determinar las cargas efectivas que han producido tales deformaciones. Sin entrar en detalles, que pueden consultarse en las publicaciones a que se refiere la nota preinserta, debemos observar que la forma en que las esperiencias se han realizado permite hacer desde luego una distincion de gran importancia.

Se refiere ella a que la carga dinámica varía segun que se la determine en vista de una o de otra de las deformaciones apuntadas i a que, en consecuencia, debe distinguirse entre la carga dinámica a plomo de los durmientes i la carga dinámica entre dos durmientes. Mas adelante veremos cuánta importancia tiene esta distincion cuando se trata de calcular las fatigas que esperimentan los diversos elementos de la superestructura.

En este orden de ideas, las esperiencias de Wasiutynski permiten concluir que la carga dinámica máxima, trasmitida a la superestructura a plomo de los durmientes por las ruedas motrices de la locomotora, puede estimarse como igual a la carga estática i que dicha accion dinámica, en el intervalo comprendido entre dos durmientes, puede alcanzar a 1,6 de la misma carga. Para las ruedas de los ténders, las acciones dinámicas correspondientes serán iguales a 1,5 i 2 veces la accion estática.

Debe tenerse presente que los resultados anteriores se refieren a las condiciones ordinarias de establecimiento de la superestructura, pues, segun Wasiutynski, en una via en línea recta cuidadosamente conservada, la sobrecarga accidental máxima de las ruedas aisladas no es superior en mas de 0,35 a la carga en reposo.

Si se comparan las cifras anteriores con los resultados obtenidos por los demas esperimentadores que se han ocupado de la determinacion de las acciones dinámicas producidas por los trenes en movimiento, se ve que en jeneral ellas son inferiores a estos últimos. Pero, si se tiene en cuenta la perfeccion de las instalaciones i de los aparatos empleados por Wasiutynski, no se estará léjos de concluir que las cifras a que este esperimentador ha llegado, son las que mas se aproximan de la realidad de las cosas.

No obstante, como lo observa Michel, conviene en semejante materia mantenerse por encima de las cifras obtenidas por las esperiencias, lo que aconseja aumentar en forma prudencial el recargo de los ejes anotado anteriormente.

Esta observacion adquiere mayor importancia cuando se tiene en vista el cálculo de la superestructura de las líneas férreas del Estado en Chile, cuya conservacion deja tanto que desear bajo diversos puntos de vista.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, hemos aceptado para los valores máximos de la sobrecarga, que los efectos dinámicos introducen en la carga estática de rueda, las cifras consignadas en el cuadro que sigue:

LOCOMOTORA	TÉNDER
Carga estática de rueda. = 1,00 G	Carga estática de rueda. = 1,00 G'
Carga dinámica, máxima de- terminada segun:	Carga dinámica máxima deter- minada segun:
el hundimiento de los dur- mientes = 1,50 G	el hundimiento de los dur- mientes = 2,00 G'
la flexion de los rieles = 2,00 G	la flexion de los rieles = 2,50 G'

En realidad, lo que en el presente estudio nos interesa son las acciones dinámicas máximas absolutas, i por consiguiente, conviene discutir desde luego si esos valores corresponden a las cargas máximas de rueda de la locomotora o a las del ténder, que hemos fijado anteriormente.

Recordando que esas cargas máximas son respectivamente

$$G=9.000 \text{ k.}$$

$$G'=6.500 \text{ k.}$$

i teniendo a la vista los coeficientes del cuadro de mas arriba, concluimos que los valores máximos absolutos que tratamos de determinar corresponden a las ruedas motrices de las locomotoras.

En definitiva, las cargas dinámicas máximas verticales que deben tomarse en cuenta para el cálculo la superestructura son las siguientes:

a plomo de los durmientes	13.500 k.
entre los durmientes	18.000 „

Debemos ahora fijar el valor máximo de la descarga que por efecto de las acciones dinámicas, puede producirse en las ruedas de los vehículos.

Segun las esperiencias de Wasiutynski, en una vía en línea recta i bien conservada, la descarga que nos ocupa no alcanza a mas de 0,37 de la carga estática.

Pero, si se toma en cuenta el conjunto de circunstancias desfavorables que tienden a exajerar esa accion en una via establecida en condiciones normales i si se tienen presente los valores máximos fijados para la descarga por otros esperimentadores, se ve la conveniencia de aumentar la cifra anotada mas arriba.

De acuerdo con estas consideraciones fijamos en 0,70 el valor máximo de la descarga que las ruedas motrices de la locomotora esperimentan por efecto de las acciones dinámicas. Segun esto, el peso mínimo trasmitido a los rieles por la rueda tipo que consideramos para el cálculo de la superestructura puede estimarse en

$$0,30 G = 2.700 \text{ k.}$$

3. *Acciones transversales.*—El esfuerzo lateral de los vehículos en reposo depende esclusivamente de la conicidad de las llantas i de la inclinacion con que los rieles se colocan en la via; por lo demas, su accion es insignificante i queda anulada por el frotamiento que se desarrolla entre el riel i la rueda.

En cambio, cuando se consideran los vehículos en movimiento, las acciones laterales son de la mayor importancia, especialmente en las curvas.

En línea recta, dichas acciones resultan de las causas ya apuntadas i además del deslizamiento debido a la diferencia de diámetro de las partes de las llantas en contacto con los rieles i del movimiento de lacet.

Pero en las curvas dichos efectos se incrementan todavía: con el esfuerzo que se opone a la orientación radial de los ejes; con la acción de la fuerza centrífuga que no es jamás exactamente contrarrestada por el peralte del riel exterior, peralte que se determina para un valor dado de la velocidad; por el deslizamiento que se produce a causa de la circulación de los vehículos por dos filas de rieles de diferente desarrollo; por el empuje hácia el exterior de la curva que resulta de que los topes interiores de los vehículos están solos en contacto i dan una resultante de empuje normal a la curva, presión que se aumenta todavía cuando los frenos están apretados.

Sin tomar en cuenta los movimientos laterales del conjunto de la vía, las acciones de que nos ocupamos tienden a desplazar los rieles transversalmente i a hacerlos jirar en torno de la arista interior o exterior de su zapata, según el caso. Esta influencia trae como consecuencia el estrechamiento de la vía en las rectas i su ensanche en las curvas.

Las experiencias realizadas hasta la fecha no son tan concluyentes como las que se han llevado a cabo en vista de determinar la influencia de las acciones dinámicas sobre las cargas verticales; no obstante, ellas han permitido constatar los efectos referidos i partir de ellos para la apreciación de la magnitud de las acciones transversales.

Observando que, para que el riel pueda moverse en un sentido perpendicular al eje de la vía, es necesario que los esfuerzos trasversales sean capaces de contrarrestar las acciones de frotamiento de la rueda sobre el riel i del riel sobre su apoyo, Wasiutynski llega a fijar el valor que tales esfuerzos han alcanzado en el curso de sus experiencias.

En efecto, si estimamos en 0,15 el coeficiente de frotamiento de la rueda sobre el riel i en 0,50 el coeficiente de frotamiento entre el riel i los durmientes de madera, en las vías sin silla de asiento, i si despreciamos la influencia de las amarras, podemos concluir que la acción lateral debe haber sido a lo ménos igual a 0,65 de la carga efectiva que la rueda trasmite al riel en el momento en que el movimiento lateral se produce, para que éste haya podido realizarse.

Este resultado, que está de acuerdo con las experiencias de Weber i de Woehler, es el que aceptaremos al efectuar el cálculo de la superestructura.

Por otra parte, para avaluar los efectos producidos sobre la vía por el conjunto de las fuerzas verticales i horizontales, será necesario tener presente que las mayores presiones verticales son producidas por los ejes recargados, mientras que las mayores presiones horizontales son producidas por los ejes descargados.

4. *Acciones longitudinales.*—Cuando un vehículo descansa sobre la vía, determina acciones verticales que producen la flexión de los rieles i, en consecuencia, dan origen a un esfuerzo longitudinal, cuyo valor es, no obstante, mui débil i queda destruido por la resistencia de frotamiento.

Pero, si se considera la acción dinámica de los vehículos, se observa que ellos producirán en los rieles un movimiento ondulatorio que tenderá a aumentar la importancia de los esfuerzos longitudinales. A este efecto vienen a agregarse: la fuerza viva del tren, que manifiesta principalmente sus efectos en los choques que producen las ruedas al

salvar las juntas; las fuerzas de arrastre, debidas al conjunto de las ruedas en movimiento, i la tendencia al avance que se produce por efecto de la conicidad de las llantas i de la inclinacion de los rieles.

Todavía mas, la accion de los frenos determina, en el momento límite en que las ruedas patinan, el desarrollo entre ellas i los rieles de un frotamiento de deslizamiento cuya importancia depende directamente de la carga frenada.

Por fin, la fuerza de adherencia de las ruedas motrices i acopladas de la locomotora producirá un esfuerzo longitudinal dirigido en sentido contrario del movimiento de los trenes i, por consiguiente, en sentido contrario de aquel en que obran las demas acciones anteriormente recordadas.

Si se quisiera hacer la enumeracion completa de las causas que determinan el conjunto de los esfuerzos longitudinales a que la superestructura se encuentra sometida, seria necesario tomar en cuenta ademas los efectos de dilatacion i de contraccion de los rieles debidos a las variaciones de temperaturas, cuando el juego entre ellos i sus amarras no se realiza en todos los puntos de la via con igual facilidad.

La evaluacion de los esfuerzos que efectivamente se desarrollan por las diversas circunstancias anotadas no ha podido efectuarse ni siquiera de una manera aproximada. Es verdad que para algunos de ellos la teoría permite llegar a ciertas conclusiones mas o ménos concretas; pero en todo caso las causas mas importantes, como ser la influencia de la fuerza viva del tren i la fuerza de arrastre determinada por los vehículos que recorren la via, han escapado hasta el presente a toda investigacion.

Debemos, pues, limitarnos a anotar que las acciones longitudinales existen i que su importancia puede ser considerable, aun cuando los efectos que producen sobre la via no sean de ordinario de gran intensidad. En efecto, aunque la adherencia de las ruedas motrices de las locomotoras tiende a hacer retroceder la via en sentido contrario del movimiento de los trenes, el conjunto de las demas acciones es bastante considerable para oponerse a ese retroceso i para determinar el avance de los rieles en el sentido del movimiento.

Esta misma oposicion entre las diversas acciones longitudinales es la que explica que, si bien muy importantes en sí mismas, sus efectos no revistan gran intensidad por cuanto tienden a anularse recíprocamente. Todavía mas, la poca importancia de su influencia se explica especialmente en las líneas de simple via, en las cuales la circulacion de los trenes en ambos sentidos anula, o por lo ménos disminuye notablemente, el movimiento de avance de los rieles.

Por el contrario, en las líneas de doble via, ese movimiento se nota siempre i se produce en el sentido de la marcha de los trenes, aun en las rampas.

De las observaciones anteriores se desprende que, en el estado actual de la cuestion, es imposible llegar a espresar numéricamente la intensidad de los esfuerzos longitudinales que efectivamente se desarrollan en una via dada. Por lo demas, esta deficiencia en el estudio de las acciones solicitantes de la superestructura no reviste carácter de gravedad, por cuanto son los esfuerzos verticales i horizontales los que tienen una influencia preponderante sobre las fatigas que experimentan sus diversos elementos.

De todos modos, conviene dejar constancia de que los esfuerzos longitudinales revis-

ten suficiente importancia para que deba tomárseles en cuenta i arbitrar los medios tendentes a anular sus efectos perjudiciales sobre la conservacion de la via.

CAPITULO III

ELEMENTOS DE LA SUPERSTRUCTURA

§ I. *Lastre*

1. *Jeneralidades*.—El papel del lastre como elemento de la superestructura es de importancia capital. En efecto, el lastre da a la via una base de asiento elástica i que adquiere exactamente su forma i la de la plataforma; reparte la presion sobre ésta i la reduce a la tasa conveniente; resiste a los desplazamientos laterales i longitudinales así como a los solevantamientos verticales de la via; preserva los durmientes de las alternativas de sequía i humedad, i, por fin, constituye para ciertas plataformas una pantalla contra las heladas. (1)

Por la enumeracion de los servicios que el lastre presta se comprende la importancia que tiene en el establecimiento i en la conservacion de la superestructura la eleccion de un buen material para lastre i la disposicion de su perfil. Puede decirse en efecto que, en combinacion con la resistencia del subsuelo, el lastre puede por sí solo influir sobre la conservacion de la via mas que todos los otros elementos de la superestructura.

En Chile, la lastradura de las vias férreas no ha sido nunca materia de un cuidado esmerado. Es verdad que las «Especificaciones técnicas para la construccion de ferrocarriles» contienen ciertas disposiciones relativas a la naturaleza del lastre i a la forma en que aquella operacion debe efectuarse; pero en la práctica la apreciacion de la calidad del lastre queda esclusivamente sometida al criterio del personal que inspecciona los trabajos sin que se haya fijado regla alguna a la cual ese criterio deba someterse.

Por este motivo creemos útil tratar con algun desarrollo de las cuestiones que se relacionan con la eleccion de un buen lastre. Por lo demas, en el capítulo siguiente nos ocuparemos de la disposicion de su perfil.

2. *Materiales empleados*.—Pueden distinguirse los materiales naturales i los artificiales.

Entre aquellos debemos citar el lastre de tierra, especialmente de la que se estrae de los fosos laterales a la via. Pero la tierra es impropia para el objeto considerado i solo debe recurrirse a su empleo en caso de no disponer de ninguna otra de las materias que pueden servir como lastre. (2)

Los materiales que se presentan naturalmente fragmentados, ya sea bajo la forma de aluviones fluviales formados de pedazos de piedra, cascajo i arena, solos o mezclados entre sí, ya sea en forma de aluviones marítimos formados de piedra i arena de mar i que se encuentran en las playas o en las dunas, son talvez los mas empleados como lastre.

(1) BAUCHAL.—*De la question du ballast. (B. du C. des Ch. de F.)*. Junio, 1900.

(2) FELDPAUCHE.—*De la question du ballast. (B. du C. des Ch. de F.)*. Junio, 1900.

Al lado de ellos deben mencionarse la laja de las canteras i especialmente la piedra partida.

En cuanto a los materiales artificiales, ellos se reducen a la arcilla cocida i a los residuos industriales, entre los cuales deberíamos mencionar los residuos del combustible de las locomotoras, las escorias ordinarias i las escorias de los altos hornos; pero, no existiendo este último material en Chile, no tendremos para que tomarlo en cuenta en las consideraciones que siguen.

3. *Cualidades de los materiales.*—Los inconvenientes que un lastre de mala calidad puede presentar son: retener el agua por falta de permeabilidad; ser rodadizo o arrastrable por las aguas; producir polvo; obrar químicamente sobre los materiales de la vía; cubrirse de yerbas, i ser poco durable.

Para encontrarse exento de estos defectos, el lastre debe presentar las cualidades opuestas a ellos.

Desde luego, el lastre debe ser permeable, pues, si la capa de atraque, cuyo espesor es próximamente de 0,10 m., no se encuentra exenta de agua, el atraque desaparese fácilmente a causa de que los pequeños fragmentos cuya existencia exige para mantenerse se transforman en barro o son arrastrados por las aguas. Por otra parte, cuando hiela, el agua aumenta de volúmen i levanta el lastre i, si sobreviene entónces un deshielo brusco, la vía queda en una situación mui crítica porque baja i se desatraca por todas partes a un mismo tiempo.

Otro defecto que el lastre puede presentar es ser rodadizo, en cuyo caso la resistencia transversal de la vía se reduce considerablemente.

El lastre mui fino da mucho polvo, lo que molesta a los pasajeros, gasta las máquinas, dificulta su limpia i lubricacion, gasta la superficie de rodadura de los rieles i las superficies en contacto con ellos, etc. Los efectos de este polvo, cuya accion es mecánica, se atenúan considerablemente cuando se limita el lastre al nivel superior de los durmientes.

Algunos lastres obran químicamente sobre los durmientes i otros sobre los elementos metálicos de la superestructura, ocasionando o acelerando su destruccion.

Hai lastres que se cubren de yerbas. Estas desagregan la capa superior de lastre i la transforman en una tierra impermeable; atacan tambien los durmientes apénas empiezan a podrirse i aceleran su putrefaccion; cuando son altas i llegan a los rieles, hacen patinar las máquinas i ocultan la superficie de la vía; cuando secas, propagan los incendios.

Por fin, el lastre puede ser poco durable, es decir, puede desagregarse por la accion de las heladas o por el choque de los útiles de atraque. Los materiales que se aplastan no dan lastre consistente ni permeable, debiendo observarse que miéntras mas consistente es el lastre mayor es su resistencia al aplastamiento i mas ríjida es la vía.

Estas observaciones permiten fijar las cualidades de un buen lastre: éste debe ser permeable, consistente, suficientemente duro; debe resistir a la influencia de los ajentes atmosféricos i a las presiones que los durmientes le transmiten; no debe aplastarse bajo el golpe de los instrumentos de atraque; finalmente, el frotamiento entre el lastre i los durmientes debe ser bastante grande para oponerse al desplazamiento de la vía. (1)

(1) AST.—*Les traverses des chemins de fer et leur assise.* (B. du C. des Ch. de F.) Enero, 1895.

Aplicando las consideraciones anteriores al estudio de las cualidades que caracterizan a los diversos materiales que pueden emplearse como lastre, se llega a la conclusion de que el mejor lastre es la piedra partida dura i no heladiza, de tamaño uniforme i pasada por el anillo de 0,04 m. a 0,08 m. de diámetro. (1)

Viene en seguida el cascajo de rio; pero, como la composicion de este lastre varia desde la arena fina hasta la mezcla en proporciones mui variadas de arena, arcilla i piedras de diversos tamaños, conviene entrar en algunas consideraciones sobre las ventajas que presenta segun su composicion.

Puede decirse que su calidad es inferior a medida que la proporcion de materias terrosas aumenta i con ellas la dificultad del drenaje. Cuando la arcilla figura en proporcion excesiva, el cascajo participa en cierto modo de la naturaleza de la tierra, es decir, que llega a ser mas o ménos impermeable, lo que tiene por consecuencia que los durmientes se muevan i se impriman en su asiento reblandecido i que la alineacion i el nivel de la via se hagan defectuosos.

Un lastre de cascajo mas o ménos puro es rodadizo, aumentando este defecto la presencia del agua; en cambio, un exceso de arena hace que el lastre dé mucho polvo. En la práctica no conviene que el cascajo de rio contenga mas de 0,15 de arena.

Resulta de lo anterior que podrá colocarse inmediatamente despues de la piedra partida el lastre de cascajo de rio mas o ménos anguloso, pasado por el anillo de 0,04 m. a 0,10 m., exento de arcilla, libre de arena fina i que contenga arena gruesa hasta un máximo de 0,15.

El cascajo de cantera o de pozo es una mezcla en proporciones variables de pedazos de piedra, de cascajo, arena i arcilla. Para que este material dé buenos resultados como lastre debe precisarse tambien su composicion.

Desde luego, la presencia de piedras de fuertes dimensiones en la masa del lastre haria que, al atracar éste bajo los durmientes, llegaran a constituir puntos fijos e incomprendibles que alterarian la rodadura i la continuidad de la via; tales piedras deben, pues, separarse del lastre, lo que se consigue al pasarlo por el anillo.

Por otra parte, las observaciones hechas sobre el cascajo de rio con relacion a la presencia de arcilla i arena son aplicables tambien al material que de tratamos.

Resulta de lo anterior que ocupará el tercer lugar entre los materiales de lastradura el cascajo de cantera exento de piedras grandes, pasado al anillo de 0,04 m. a 0,10 m. de diámetro, libre de arcilla i de arena fina i que contenga arena gruesa en una proporcion hasta de 0,15.

Viene en seguida la arena de grano grueso, que presenta mui buenas condiciones como lastre, pero que tiene el inconveniente de dar polvo. Ademas este material no puede trabajarse si hai mucha agua o sequedad pronunciada, pero en tiempo favorable es de un atraque fácil.

(1) PRICE-WILLIAMS.—Voies en acier. (B. du C. des Ch. de F.) Diciembre, 1898.

TRATMAN.—La voie et le service de la voie aux chemins de fer. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1899.

GOIRING.—Coup d'oeil rétrospectif sur les derniers perfectionnements apportés à la superstructure des chemins de fer allemands. B. du C. des C. de F.) Junio, 1899.

TELAPAUCHE.—De la question du ballast. (B. du C. de Ch. de F.) Junio, 1900.

El lastre de arena fina no debe usarse sino para líneas secundarias i esto en razon de la facilidad de su atraque, pues sus cualidades son mui inferiores a las de los anteriores. En todo caso, si se cubre la arena con una capa de material grueso i se da fuertes pendientes a la superficie, se mejora notablemente la calidad del lastre que consideramos. Puede aun combatirse el polvo dejando crecer la yerba sobre el lastre para mantener la arena aglomerada.

Pasando ahora a los lastres artificiales, debemos observar que los residuos del combustible en las locomotoras pueden considerarse como un lastre igual i aun, bajo ciertos aspectos, superior al cascajo de calidad media: es mas elástico, mas permeable, da ménos polvo i no crecen en él las yerbas. En cambio, ese lastre es ménos durable i tiende a reducir la duracion de los durmientes.

La arcilla cocida, de un empleo tan jeneral en los Estados Unidos de Norte América, se obtiene calcinando una mezcla de carboncillo i de arcilla relativamente exenta de arena, siendo preferible para tal objeto la arcilla negra compacta. Este lastre posee la mayor parte de las cualidades de la piedra partida, pero es ménos durable.

Por fin, los residuos de las fundiciones pueden compararse tambien con el lastre de cascajo; pero son ménos durables i a veces atacan las partes metálicas de la superestructura.

4. *Eleccion de los materiales.*—El estudio hecho anteriormente fija el criterio con relacion a las ventajas e inconvenientes que presentan los diversos materiales de lastradura. No quiere esto decir, sin embargo, que tales indicaciones dominen cuando se trata de elegir el lastre que ha de emplearse en una línea dada, pues tienen sobre esa eleccion una influencia determinante los recursos en materiales adecuados de que se puede disponer en la rejion que se considera. Por regla jeneral, solo existirán en ella un cierto número de materiales de lastre i las consideraciones económicas obligarán a elegir esclusivamente entre ellos, i de acuerdo con las observaciones anteriores, el lastre por emplear.

Fácilmente se comprende que en Chile la utilizacion de residuos industriales es forzosamente mui limitada. Del mismo modo, el pequeño número de canteras en explotacion i la reducida existencia de máquinas chancadoras hará escepcional el empleo como lastre de la laja i de la piedra partida. En todo caso, la utilizacion de los materiales a que aquí nos referimos será forzosamente local i solo se aplicará a secciones de línea de estension mui reducida.

Por su parte, la arcilla cocida exige para su elaboracion la existencia de una tierra adecuada i su empleo solo se justificaria en las rejiones totalmente desprovistas de lastre de buena calidad i siempre que fuera él aconsejado por consideraciones económicas. Se vé por esto que el material que nos ocupa será tambien de un empleo escepcional.

Los residuos de las locomotoras son siempre poco abundantes i se destinarán de ordinario a las líneas de servicio.

De esta discusion resulta que en Chile la materia de empleo jeneral i especialmente apta para la lastradura de las líneas será el cascajo de rio o de cantera, debiendo preferirse por lo jeneral el primero porque se presenta en mejores condiciones de utilizacion económica. Esta conclusion pone de manifiesto que, al estudiar las condiciones a que

debe satisfacer un buen lastre, hai que tener especialmente en vista, entre nosotros, el lastre de cascajo i solo por escepcion las demas sustancias aplicables a tal objeto.

Por lo demas las observaciones contenidas en el número anterior resúmen el conjunto de las condiciones que deben exijirse a dicho lastre.

Antes de terminar con lo que a la materia en estudio se refiere, creemos interesante reproducir las conclusiones del Congreso de Ferrocarriles de 1900, que confirman en todas sus partes las observaciones anteriores. (1)

«Ordinariamente no se tiene libertad de eleccion entre diversos lastres, sobre todo « para las líneas nuevas; pero sucede tambien frecuentemente que se puede escojer entre « materiales de calidad desigual i de precio diferente.

«La piedra quebrada dura i no heladiza, la escoria partida de los altos hornos i el « cascajo anguloso son los mejores lastres para las grandes líneas.

«En líneas secundarias bien trazadas, los materiales finos son por el contrario ven- « tajosos por su empleo mas cómodo.

«Las escorias forman tambien un excelente lastre; los residuos del carbon en las « locomotoras serán reservados en lo posible para las vias de servicio en las estaciones i « para los ramales industriales.

«El cascajo estraído en seco o en el agua de las canteras o de los rios será empleado « como sale o bien cernido parcial o íntegramente, segun las circunstancias».

§ II. *Durmientes*

1. *Jeneralidades.*—La importancia de los durmientes es demasiado conocida para que haya necesidad de insistir sobre ella: en efecto, los durmientes sirven de apoyo a los rieles i contribuyen a mantenerlos a una distancia invariable; reparten los esfuerzos que solicitan a la via sobre una estension conveniente de lastre, i, por fin, encontrándose envueltos por este material, se oponen a los desplazamientos longitudinales i transversales de la superestructura, que tratan de producirse al paso de los trenes.

No obstante, i a pesar de su papel tan importante, no se ha prestado al durmiente en el establecimiento ni en la conservacion de nuestras vias férreas un cuidado esmerado. Las «Especificaciones técnicas para la construccion de ferrocarriles» no contienen disposicion alguna sobre el particular, i en la práctica se ha aceptado para los durmientes la primera madera que se ha tenido a mano, cortada de ordinario en mala época i sin preparacion alguna. Por otra parte, si se tiene en cuenta que los rieles descansan directamente sobre los durmientes i que la renovacion de éstos no es debidamente atendida (2), se puede concluir que tanto los materiales empleados como la forma en que prestan sus servicios en la via dejan mucho que desear.

No es, pues, de estrañar que la duracion de los durmientes sea mui corta, i que, en consecuencia, el número de ellos renovado anualmente sea mui considerable.

Segun los datos suministrados por las Memorias de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, no seria exajerado admitir que la duracion de los durmientes varía entre 5

(1) BALLAST.—(*B. du C. des Ch. de F.*) Junio, 1901.

(2) Memorias de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado.

i 6 años, exigiendo la conservacion de la via la renovacion annual de mas de 300.000 piezas.

2. *Materiales empleados.*—Desde luego debemos dejar constancia que solo nos ocuparemos de los durmientes de madera, pues el durmiente metálico, que todavía no ha salido del período de experimentacion, seria inaceptable entre nosotros por su precio excesivo.

De las maderas indíjenas solo se han aplicado a la confeccion de los durmientes el roble i el cipres, este último en mucho menor escala. En cuanto al roble, de uso casi esclusivo, se exige que la madera empleada sea apelinada o de corazon, pero no es raro que en la práctica se recurra tambien al empleo de roble nuevo.

De las maderas de origen extranjero cuya explotacion comienza en el pais, el eucaliptus parece prestarse para la confeccion de durmientes; pero hasta el presente no ha sido ensayado con tal objeto.

3. *Cualidades de los materiales.*—Las cualidades que deben exigirse a un durmiente de madera pueden deducirse de la consideracion de las circunstancias en que se encuentra colocado.

El durmiente debe asegurar la estabilidad de la via oponiéndose a su desplazamiento i llenará tanto mejor su papel cuanto mas pesado sea. Por otra parte, el durmiente está espuesto en la via a dos causas de destruccion: una es la influencia de las acciones atmosféricas i de las alternativas de sequía i humedad a que se encuentra sometido i que determinan su putrefaccion; la otra es debida a las fatigas a que somete a los durmientes la carga rodante. Se ve por esto que una madera para durmientes deberia ser imputrescible i suficientemente dura i resistente para oponerse a su destruccion mecánica.

Considerando las cualidades del roble pellin, en vista de las observaciones anteriores, se reconoce que es una madera de gran densidad, dura i resistente; pero en cambio ella está sometida a la putrefaccion, la que la atacará con tanta mayor intensidad cuanto ménos apelinado sea el roble de que los durmientes han sido cortados.

No obstante, esta última circunstancia no bastaria por sí sola para explicar por qué el durmiente de roble es en la superestructura de nuestros ferrocarriles un elemento de calidad inferior. Conviene, pues, investigar a qué se debe este resultado tan desfavorable.

Desde luego, la circunstancia que mas influye en tal sentido es la preparacion que se da hoi dia a los durmientes: esta preparacion se reduce invariablemente a la corta de los árboles en cualquiera época, a su trozadura inmediata, a la division inmediata tambien de los trozos en durmientes i al apilamiento de éstos sin discernimiento alguno. Resulta de aquí que los durmientes de roble al ser colocados en la via se encuentran siempre embebidos de sávia, i, por consiguiente, llevan en sí todos los elementos necesarios para destruirse en corto tiempo bajo las influencias atmosféricas.

A estas observaciones debe agregarse aun el empleo en la via de un lastre mui poco permeable o que se pone a la larga impermeable por falta de conservacion: se mantiene así la plataforma constantemente humedecida i se favorece la putrefaccion.

A pesar de esto, por mui rápida que sea la descomposicion de los durmientes, en la je-

neralidad de los casos este material será rechazado de la vía por destrucción mecánica no por putrefacción. Ello se explica fácilmente si se considera que el tipo de enrieldura actualmente en uso prescribe el asiento directo de los rieles sobre los durmientes, circunstancia que determina sobre éstos presiones excesivamente desfavorables, que producirán el cizalle de la madera a plomo de la zapata de los rieles; por otra parte, el escaso número de escarpas i la falta de solidaridad entre ellas produce el agrandamiento de los hoyos bajo la acción de los esfuerzos laterales, el aflojamiento de la superestructura, el contacto de la zapata del riel contra la cara interior de la entalla i por fin la destrucción mecánica del durmiente. Debe observarse aun que este aflojamiento de las amarras permite la entrada del agua en los agujeros de los clavos, i favorece la putrefacción.

Se reconoce, pues, que el mal resultado obtenido por el empleo del roble pellin se debe, no a las cualidades de la madera, sino a la forma en que ella se utiliza.

Segun lo justificaremos en detalle mas adelante, las causas de destrucción mecánica se atenúan hasta casi anularse con el empleo de un órgano intermedio que reduzca las presiones que el riel trasmite al durmiente i haga solidarias las amarras de ambos lados del riel.

Las causas de destrucción química se combaten prestando la atención debida a la corta i elaboración de los durmientes i preservando la madera por un procedimiento que la haga imputrescible.

No nos proponemos tratar aquí en detalle de la preparación de los durmientes; pero creémos de todos modos indispensable declarar que la superestructura tipo que proponemos exige su preparación antiséptica. Conviene, pues, justificar el por qué es indispensable esa preparación.

4. *Preparación de los durmientes.*—Alejadas las causas de destrucción mecánica, los durmientes de roble pellin no inyectados perecerán por putrefacción aun admitiendo que se haya atendido en su elaboración a todas las prescripciones que la práctica aconseja; es evidente, por lo demas, que la duración de los durmientes será tanto menor cuanto mayor sea la cantidad de albura que encierran.

Debe observarse aquí que hai gran interes en aumentar la duración de los durmientes, no solo por la economía que de ello resulta en definitiva, sino i mui especialmente porque los reemplazos frecuentes alteran la homogeneidad de la vía i exigen una obra de mano costosa i que encarece con la intensidad del tráfico, circunstancias que se hacen mas graves cuando se aumenta el número de durmientes para reforzar la superestructura.

Por lo demas, si se evita la destrucción mecánica agregando a la enrieldura un órgano suplementario destinado especialmente a ese objeto, es indispensable sacar de tal mejora todo el provecho posible, i esto solo se consigue evitando que los durmientes perezcan por putrefacción.

Aceptada la silla de asiento, ella trae consigo indiscutiblemente la preparación antiséptica de los durmientes, si se quiere sacar de este material el máximo de aprovechamiento de que es susceptible (1).

(1) *Asst.*—*Relation entre la voie et le matériel roulant.*—(B. du C. des Ch. de F.) Agosto, Setiembre i Octubre, 1892.

Este es el criterio que las diversas Compañías de Ferrocarriles han adoptado invariablemente, criterio que en los últimos años se ha introducido también en los Estados Unidos de Norte América, en cuyas líneas férreas la preparación antiséptica de los durmientes se ha generalizado casi tanto como el empleo de la placa de apoyo. Es cierto que algunas Compañías no inyectan los durmientes de encina o de otras materias análogas, pero ello se explica fácilmente si se tienen en vista las cualidades excepcionales de tales maderas, i por lo demás, muchos ferrocarriles creosotan aun sus durmientes de encina.

La Empresa de los Ferrocarriles del Estado en Chile ha reconocido por lo demás la conveniencia de ocuparse de esta cuestión, si bien los ensayos realizados en tal sentido no revisten gran importancia hasta el presente (1).

Las consideraciones anteriores bastan para justificar la necesidad de prescribir reglas racionales para la elaboración de los durmientes i de preparar éstos con una sustancia antiséptica; nos limitaremos a ellas, dejando para un informe separado todo lo que se refiere a los detalles de esas operaciones.

Debemos, no obstante, observar aquí que, con la adopción de las reformas que proponemos, podrá esperarse de los durmientes una duración en servicio a lo menos triple de la de 5 a 6 años que prestan actualmente. Si se atiende a que el número de durmientes que se deberían renovar al año puede estimarse como un mínimo en 300.000 piezas, se comprende la importancia enorme de las medidas propuestas bajo el punto de vista económico.

5. *Formas i dimensiones.*—Los durmientes de roble en uso son de sección rectangular, forma la mas apropiada para la trasmisión de las presiones i para la unión de los rieles a los durmientes.

Podría discutirse si la sección rectangular es o no superior a la trapezoidal, por cuanto este perfil permite ensanchar la base de asiento de los durmientes sobre el lastre. Pero, como lo observa Ast (2), la sección trapezoidal tiene tendencia a que el durmiente se flexione en el sentido de su ancho i a que su cara inferior trasmita en consecuencia las presiones de los rieles al lastre segun una superficie curva correspondiente a la línea elástica. Por otra parte, segun Herzesntein (3), el tipo de durmientes mas ventajoso bajo el punto de vista de su duración, de acuerdo con la opinión unánime de las diversas Administraciones de Ferrocarriles, es el durmiente escuadrado en sus cuatro caras sin albura o con albura pero bien inyectado.

Las dimensiones de los durmientes son las siguientes:

largo	2,750 m.
ancho	0,250 m.
alto.	0,150 m.

HERZENSTEIN.—Renseignements techniques relatifs à la durée des traverses en bois. (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1895.

ENGINEERING NEWS.—Junio 25, 1896.

GOERING.—Superstructure des chemins de fer allemands.—(B. du C. des Ch. de F.) Junio, 1899.

HERZENSTEIN.—De la conservation des bois. (B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1900.

SANDBERG.—Prolongation de la vie des traverses en bois. (B. du C. des Ch. de F.) Marzo, 1903.

(1) LOPEZ.—*Preservacion de las maderas para durmientes de ferrocarriles.*—ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE. Diciembre, 1901.

(2) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

(3) HERZENSTEIN.—De la conservation des bois. (B. du C. des Ch. de F.) Junio, 1900.

Estas dimensiones están de acuerdo con la práctica generalmente aceptada i satisfacen ampliamente a las normas jenerales fijadas por el Congreso de Ferrocarriles de 1895; por lo demas, como lo veremos en la segunda parte de esta memoria, ellas son suficientes para mantener dentro de límites aceptables las fatigas del lastre i de los durmientes i las deformaciones elásticas de la vía; por fin, se prestan a una buena fijacion de los rieles.

Con las dimensiones indicadas, i aceptando como término medio para el roble pellin un peso específico de 1.000 k/m³, el peso del durmiente es de 103 k. Como se ve, se trata de un durmiente pesado i que asegurará en gran manera la estabilidad de la vía.

Por las consideraciones anteriores hemos creído conveniente aceptar las formas i dimensiones que se dan hoy día a los durmientes.

§ III.—RIELES (1)

1. *Jeneralidades.* Los rieles reciben directamente la accion de las cargas rodantes, i en consecuencia sus formas i dimensiones i la naturaleza de los materiales que los constituyen deben fijarse teniendo mui especialmente en vista aquella circunstancia.

Por otra parte, el ensamble longitudinal de los rieles i su descanso i amarra sobre los durmientes revisten especial interes, por cuanto aquéllos están destinados a proporcionar a las ruedas de los vehículos una superficie de rodadura lo mas suave i continua que sea posible.

En el presente párrafo nos ocuparemos tan solo de los rieles, dejando para mas adelante el estudio de los accesorios metálicos de la superestructura.

2. *Materiales empleados.*—La eleccion del material por emplear en la confeccion de los rieles debe ser materia de un estudio detenido i que hemos considerado conveniente independizar de la presente memoria, para no exajerar sus proporciones. Por lo demas, el resultado de ese estudio se encuentra consignado en detalle en el «Cuaderno de condiciones jenerales para la provision de rieles de acero i accesorios de la vía», del cual tomamos las cifras características para el acero de los rieles:

carga límite de elasticidad.....	= 35 k/mm ²
» » de ruptura.....	= 65 a 75 k/mm ²
alargamiento de ruptura, medido sobre muestras de 100 m m de largo útil.....	= 18 a 12 %
coeficiente de elasticidad....	= 20.000 k/mm ²
peso específico mínimo.....	= 7.700 k/m ³

3. *Formas i dimensiones.*—Desde luego debemos observar, sin entrar al estudio comparativo de los rieles de cojinete i de zapata, que se nos ha impuesto la adopcion de este último tipo, motivo por el cual nos referiremos esclusivamente a él en las consideraciones que siguen.

Sentado esto, trataremos sucesivamente del peso del riel por metro corrido, de su seccion transversal i de su longitud.

(1) Para el estudio de este párrafo i del siguiente, hemos contado con la cooperacion del ex-injenero primero de la Direccion de Obras Públicas, don Jorge Lira Orrego.

a) *Peso*.—Si se considera que una vía es tanto mejor cuanto mas pesados i estables son los elementos que la constituyen, se reconoce la conveniencia de emplear rieles tan pesados como sea posible.

Por otra parte, a un aumento del peso del riel por metro corrido corresponde un aumento de su momento de inercia i de su módulo de flexion, i, luego, una mayor rijidez i capacidad mas grande para resistir a las fatigas que se desarrollan en su masa por la accion del material rodante.

Todavía mas, miéntras mas ríjido es el riel mayor será el número de durmientes entre los cuales se distribuyen las acciones de las ruedas de los vehículos, i, en consecuencia, serán menores las fatigas de los durmientes i las presiones que ellos transmiten al lastre; el hundimiento de los durmientes será, pues, menor i se elevará así la rijidez de la vía.

Estas consideraciones aconsejan aumentar el peso de los rieles. Pero en cambio la economía de establecimiento exige que tal aumento se mantenga dentro de ciertos límites. Debe reconocerse así mismo, como ya lo hemos observado, que aun teóricamente no hai ventaja en aumentar en exceso la rijidez de los rieles.

Conviene ademas tener presente que el refuerzo de la superestructura puede realizarse no solo elevando el peso de los rieles sino tambien aumentando el número de durmientes por kilómetro, solucion tanto mas racional cuanto mas caros sean aquellos i mas baratos los durmientes.

Se ve, por estas observaciones de carácter opuesto, que el verdadero criterio consistirá en la combinacion de ambas soluciones, lo que conduce a adoptar un riel pesado sin exajeracion.

En la superestructura empleada actualmente en nuestros ferrocarriles, se ha adoptado el riel llamado del tipo normal reformado, riel cuyo peso se estima en 38,5 k/m.¹, si bien, adoptando para el acero una densidad de 7,8, se llega para el metro corrido de riel al peso de 39,7 k.

Por otra parte, como puede observarse en el cuadro núm. 1, la jeneralidad de las Compañías que en él aparecen han elevado el peso de sus rieles a mas de 40 k/m.¹, tendencia que ha sido espresamente reconocida por el Congreso de Ferrocarriles de 1895.

Segun esto, parece que deberíamos, adoptando las normas en uso, fijar el peso por metro corrido del riel que estudiamos en 40 k.; pero la consideracion del conjunto de la superestructura nos ha permitido reconocer que un riel de 38,5 k/m. satisface a las necesidades de la explotacion i de la conservacion de la vía: será, pues, esa cifra la que adoptaremos.

b) *Perfil*.—Habiendo limitado a 38,5 k. el peso por metro corrido de riel, se hace indispensable estudiar una nueva seccion que realice dicho peso. Por lo demas, este estudio habria sido necesario aun conservando el peso del riel existente, pues la introduccion en la enricladura de la silla de asiento permite reducir el ancho de la zapata i distribuir la materia de la seccion trasversal de una manera mas racional.

La seccion trasversal del riel se compone de dos partes bien definidas: la parte superior de la cabeza, destinada a desaparecer por el desgaste, i el cuerpo del riel,

La primera no es indispensable para la resistencia elástica de éste i depende únicamente de la densidad del tráfico i de la duracion asignada a los rieles.

El desgaste de los rieles se produce en todo su contorno, i es debido a la accion del material rodante i a la oxidacion; pero esta última circunstancia solo hace sentir su influencia de una manera notable en los rieles que se encuentran colocados en condiciones especiales, como ser en el interior de los túneles largos i mal ventilados i a las orillas del mar, lo que le da un carácter escepcional i aconseja no tomarla con cuenta cuando se trata de fijar el márgen de desgaste que debe aceptarse.

El desgaste mecánico se produce en la cabeza del riel i tambien en su zapata; pero es mui débil en esta última parte i las alteraciones de superficie que resultan en ella son rara vez bastante pronunciadas para determinar el retiro de los rieles (1). Estas son sin duda las razones porque en jeneral no se considera sino el desgaste de la cabeza de rodadura.

Sin entrar sobre este particular en detalles, que pueden consultarse en las numerosas publicaciones que existen sobre la materia (2), podemos observar que el sobreespesor en la cabeza de 9 a 13 milímetros, que han adoptado la mayor parte de las Compañías de Ferrocarriles, es suficiente para asegurar a los rieles de acero una duracion por decirlo así indefinida, cuando se encuentran colocados en circunstancias normales.

Por lo demas, como lo observa Bricka, las cabezas mui altas, estudiadas en vista de dejar amplia márgen al desgaste, no han presentado en la práctica todas las ventajas que podrian teóricamente atribuírseles.

Por estas consideraciones fijaremos en 12 milímetros el sobreespesor que daremos a la superficie de rodadura i que estará destinado a desaparecer por efecto del desgaste.

Pasando ahora a ocuparnos del cuerpo del riel, debemos observar que esta parte de la seccion subsiste por entero cuando el desgaste obliga a rechazar el riel, no valiendo entónces sino como acero viejo: ella debe ser, pues, lo mas reducida posible, pero al mismo tiempo debe presentar, bajo el punto de vista de la capacidad de resistencia, un módulo de flexion suficiente i, bajo el punto de vista de la rijidez, un momento de inercia conveniente (3).

Desde luego, i teniendo en cuenta la forma jeneral del riel de zapata desgastado, forma en la cual la materia de la zapata aparece mejor aprovechada para la resistencia que la de la porcion de cabeza opuesta, pareceria natural distribuir la materia en la sec-

(1) DE BUSSCHERE.—Usure des rails d'acier.—(B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1889.

(2) COÛARD.—La durée des rails d'acier.—(R. G. des Ch. de F.) 1884-1889.

BRICKA ET DE BUSSCHERE.—Renseignements techniques relatifs aux bris des rails.—(B. du C. des Ch. de F.) Junio, 1892.

BRICKA.—Renseignements techniques relatifs aux bris des rails.—(B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1889-Marzo, 1895.

BRICKA.—Nature du métal pour rails.—(B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1900.

POST.—Nature du métal pour rails.—(B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1900.

(3) BEMELMANS ET BRUNEEL.—Comparation des voies à double bourrelet et des voies Vignoles.—(B. du C. des Ch. de F.) Julio, 1889.

HOHENEGGER.—Fixation des rails Vignoles aux traverses en bois.—(B. du C. des Ch. de F.) Junio, 1889.

TRATMAN.—The Engineer. Agosto 14, 1896.

cion de modo que el área de la zapata fuera menor que la de esa porcion de cabeza. Se ha observado, sin embargo, que un riel concebido segun este principio teórico se presenta desequilibrado, especialmente cuando nuevo; la experiencia aconseja mas bien exajerar la superficie de la zapata.

Por otra parte, a fin de asegurar dentro de ciertos límites la estabilidad del riel sobre sus apoyos, es indispensable conservar una razon determinada entre la altura del riel nuevo i el ancho de la zapata, lo que obliga a dar a ésta una dimension mayor que la que resultaria del cálculo de la resistencia del perfil.

Es preciso, pues, transformar el perfil racional del riel desgastado en otro de seccion sensiblemente mayor, aunque no ofrezca una resistencia notablemente mas elevada. Mientras mas se aproxime a 1 la razon de los pesos de la cabeza i de la zapata, mejor se comportará el riel en servicio; por otra parte, su laminaje será mas fácil i la densidad del metal mas uniforme (1).

Es éste, por lo demas, el criterio que tiende a jeneralizarse invariablemente. Se nota en efecto que la reparticion del metal de la seccion transversal en los rieles nuevos arroja, para aquellos cuyos perfiles hemos podido estudiar, los resultados medios siguientes:

cabeza.....	43,6%
alma.....	21,5%
zapata.....	34,9%

Las consideraciones anteriores se complementan con las que se desprenden de la necesidad de obtener para el riel un perfil relativamente estable.

En el riel nuevo, la relacion entre el ancho de la zapata i su altura debe quedar dentro de ciertos límites que aseguren la estabilidad del riel bajo la accion de los esfuerzos transversales.

Por otra parte, adoptando el empleo de sillas entre el riel i los durmientes, desaparece la necesidad de exajerar el ancho de la zapata para repartir la presion sobre aquéllos: en este caso la relacion de que se trata puede fijarse entre 0,8 i 0,9 (2).

La consideracion de obtener un buen laminaje debe tambien tomarse mui especialmente en cuenta. Ella aconseja no emplear grandes cabezas ni zapatas demasiado anchas, ni con bordes demasiado delgados, pues el laminaje se dificulta considerablemente por el enfriamiento desigual de la cabeza i de la zapata i se disminuye la buena calidad del producto.

En lo que se refiere a los detalles de la seccion deben tenerse presente algunas indicaciones de importancia.

La cabeza del riel puede tener sus caras laterales verticales o inclinadas hácia adentro o hácia afuera; pero la experiencia se ha pronunciado definitivamente en favor de las cabezas con caras laterales verticales.

El ensanche de la cabeza se recomienda especialmente porque permite tener un eclisaje con mayores superficies de contacto. La proporcion ordinaria es que el ancho de la cabeza gale alrededor de la mitad de la altura del riel.

Conviene que la cabeza presente cierto bombeo para la facilidad de circulacion del

(1) POTTER.—Les rails dans le passé et dans le présent.—(B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1898.

(2) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant.—(B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

material rodante; pero hai interes en no exajerar ese bombeo, aceptándose de ordinario para él un radio de 300 milímetros.

La superficie de rodadura se acorda con las caras verticales por medio de arcos de círculo cuyo radio no debe ser en ningún caso mayor que el radio de acordamiento de la llanta de la rueda con la pestaña; pero no conviene que aquel sea demasiado pequeño porque se aumenta así el desgaste. Debe observarse aquí que el radio de acordamiento de la llanta en el equipo chileno es igual a 15,9 milímetros, (figs. 1 i 2).

La cabeza se une al alma i ésta a la zapata por medio de espaldones rectos, realizándose la union por acordamientos cuyo radio no debe ser superior a 8 milímetros. Se ha constatado que hai conveniencia en aumentar la inclinacion de los espaldones, llevándola a $\frac{1}{4}$ i aun a $\frac{1}{5}$, pues así las eclisas i los pernos de ensamble resisten en mejores condiciones a las acciones verticales del material rodante, mejorándose considerablemente el eclisaje (1).

Por fin, las caras laterales de la zapata deben ser verticales i su union con los espaldones inferiores, así como la de éstos con la base de asiento, se realizará mediante acordamientos de radio mui pequeño, que exigen las necesidades de construccion.

(Continuará)



CUADRO NÚM. 1 A

FERROCARRILES QUE EMPLEAN RIEL DE ZAPATA I DURMIENTES DE MADERA DATOS JENERALES RELATIVOS A LA SUPERSTRUCTURA

NÚMERO	ADMINISTRACIONES	Trocha, en m.	Carga máxima de rueda, en k.	Velocidad media máxima, en km. por h.	RIELES		ECLISAJE		FIJACION DEL RIEL SOBRE EL DURMIENTE			DURMIENTES		LASTRE		OBSERVACIONES	
					Peso, en k./m ¹	Lonjitud, en m.	Naturaleza de la junta	Perfil de las eclisas	Lonjitud de las eclisas, en mm.	Numero de pernos	Organo intermediario	Fijacion del riel o del órgano intermediario al durmiente por silla	Perfil	Dimensiones, en m	Número de durmientes, por km.		Espesor total en el eje de la vía, en m.
Alemania																	
1	Ferrocarriles del Estado Sajon	1,435	7.500	Entre 70 i 80	46,00	10,000	Al aire	Cantoneras	850	6	Silla	3 tirafondos	Rectangular	2,500 x 0,260 x 0, 16	1.300	0,500	
2	Ferrocarriles del Estado Prusiano.....	1,435	7.500	»	41,00	12,000	»	»	720	4	»	»	»	2,700 x 0,260 x 0, 16	1.333	0,500	
Austria-Hungria																	
3	Ferrocarriles del Estado de Austria.....	1,435	7.450	Entre 60 i 70	43,00	15,000	»	»	590	4	»	3 escarpías	»	2,500 x 0,250 x 0, 16	1.280	0,350	
4	Ferrocarriles del Sur de Austria	1,435	7.150	»	34,00	12,500	»	»	780	6	»	»	»	2,400 x 0,250 x 0, 16	1.200	0,530	
5	Sociedad privilegiada Austro-Húngara de los Ferrocarriles del Estado	1,435	6.975	»	33,00	9,000	»	»	470	4	»	1 tirafondo	Rectangular con chafanes	2,500 x 0,300 x 0, 15	1.222	0,390	
6	Ferrocarril del Norte Emperador Fernando.....	1,435	7.000	»	35,30	9,000	»	»	590	4	»	1 tirafondo	Rectangular con chafanes	2,700 x 0,260 x 0, 16	1.333	0,400	
7	Ferrocarriles del Estado Húngaro	1,435	7.150	»	42,80	12,000	»	»	553	6	»	2 escarpías	Trapezial	2,700 x 0,300 x 0, 17	1.130	0,300 a 0,600	La junta es apoyada en algunas líneas secundarias. Se emplean hoy eclisas de 730 mm. con 6 pernos.
Bélgica																	
8	Ferrocarriles del Estado Belga.....	1,435	8.700	Entre 70 i 80	52,00	9,000	»	»	730	4	»	2 tirafondos	Rectangular	2,600 x 0,280 x 0, 14	1.333	0,48 a 0,58	
Chile																	
9	Ferrocarriles del Estado (tipo existente).....	1,676	8.125	»	39,70	9,144	»	»	445	4	Nada	2 escarpías	»	2,750 x 0,250 x 0, 15	1.422	0,500	
Dinamarca																	
10	Ferrocarriles del Estado Danes.....	1,435	7.000	»	37,00	12,000	Al aire o apoyada	»	550	4	Silla	3 escarpías	»	2,600 x 0,255 x 0,125	1.312	0,350	
España																	
11	Madrid a Zaragoza i Alicante.....	1,674	6.000	Entre 40 i 50	32,70	8,000	Apoyada	Planas	590	4	»	2 escarpías	»	2,600 x 0,230 x 0, 14	1.100	0,420	Se emplean eclisas cantoneras de 790 mm. i de 6 pernos, con junta al aire.
12	Medina del Campo a Zamora i Orenze a Vigo.....	1,674	6.000	»	32,50	8,000	»	»	450	4	»	2 tirafondos	»	2,800 x 0,260 x 0, 13	1.125	0,450	
Egipto																	
13	Ferrocarriles Egiptios.....	1,435	7.035	Entre 50 i 60	42,00	12,000	Al aire	Cantoneras	550	4	»	3 tirafondos	»	2,720 x 0,254 x 0, 15	1.250	0,350	
Estados Unidos de Norte América																	
14	Atchinson Topeka and Santa Fe Railway.....	1,434	11.340	Superior a 80	37,00	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	965	6	»	2 escarpías	»	2,438 x 0,203 x 0,178	1.969	0,406	
15	Lehigh Valley Railroad.....	1,435	11.470	»	49,50	13,720	Al aire	»	711	6	»	»	»	2,590 x 0,229 x 0,178	1.752	0,390	
16	Chesapeake and Ohio and Railway	1,448	10.550	»	49,50	9,144	»	»	864	6	»	»	»	2,590 x 0,228 x 0,178	1.750	0,406	
17	Chicago Burlington and Quincy Railroad.....	1,434	10.870	»	37,00	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	965	6	»	»	»	2,438 x 0,203 x 0,152	2.078	0,381	
18	Illinois Central Railroad.....	1,435	11.250	»	49,50	9,144	Apoyada	»	1916	6	»	»	»	2,743 x 0,203 x 0,178	1.969	0,457	
19	Norfolk and Western Railroad.....	1,448	10.050	»	42,00	18,288	Al aire	»	762	6	»	»	»	2,590 x 0,228 x 0,178	1.750	0,430	
20	Lake Shore and Michigan Railway	1,448	10.050	»	39,50	9,144	»	»	813	6	Nada	2 cuñas de fierro	»	2,590 x 0,203 x 0,178	1.641	0,330	
21	New York Central and Hudson River Railroad.....	1,448	11.390	»	49,50	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	914	6	Silla	2 tirafondos	»	2,438 x 0,229 x 0,152	1.750	0,457	
22	Pennsylvania Railroad.....	1,448	12.420	»	49,50	9,144	Al aire	»	864	6	»	2 escarpías	»	2,590 x 0,178 x 0,178	1.750	0,381	
23	Baltimore and Ohio Railroad.....	1,434	12.420	»	39,50	9,144	»	»	762	6	»	»	»	2,590 x 0,178 x 0,178	1.750	0,483	
24	New York, New Haven and Hartford Railroad.....	1,434	10.050	»	49,50	9,144	»	»	610	4	»	»	»	2,438 x 0,152 x 0,152	1.969	0,457	
25	Central New Jersey Railroad.....	1,434	11.270	»	39,50	9,144	»	»	762	6	Nada	»	»	2,590 x 0,242 x 0,203	1.750	0,457	
26	Chicago, Mil. and St. Paul Railway.....	1,448	11.350	»	44,50	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	1016	6	Silla	»	»	2,438 x 0,178 x 0,178	1.969	0,483	
27	Chicago, Burlington and Kansas City Railway.....	1,448	9.660	»	37,00	9,144	»	»	965	6	»	»	»	2,438 x 0,203 x 0,152	1.969	0,457	
28	Clev; Chicago and St. Louis.....	1,434	9.700	»	39,50	9,144	Al aire	»	762	6	»	»	»	2,438 x 0,203 x 0,178	1.750	0,483	
29	Delaware Lake Western Railway.....	1,434	10.550	»	39,50	9,144	»	»	762	6	Nada	»	»	2,438 x 0,178 x 0,165	1.853	0,483	
30	Denver and Rio Grande Railroad.....	1,434	9.700	»	42,00	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	1016	6	Silla	»	»	2,590 x 0,178 x 0,178	1.853	0,419	
31	Erie Railroad	1,448	10.520	»	39,50	9,144	Al aire	»	762	6	»	»	»	2,590 x 0,229 x 0,178	1.750	0,483	
32	Great Northern Railway.....	1,434	9.790	»	39,50	9,144	Apoyada	»	914	6	Nada	»	»	2,590 x 0,203 x 0,152	1.750	0,557	
33	Michigan Central Railroad.....	1,434	9.650	»	39,50	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	1118	6	»	»	»	2,736 x 0,254 x 0,152	1.750	0,457	
34	Penn. Lines West of Pittsburg.....	1,434	12.360	»	42,00	9,144	Al aire	»	864	6	»	»	»	2,590 x 0,203 x 0,178	1.750	0,430	
35	Philadelphia and Reading Railroad	1,434	11.370	»	44,50	9,144	»	»	762	6	»	»	»	2,641 x 0,178 x 0,178	1.750	0,407	
36	Union Pacific Railroad.....	1,434	13.100	»	37,00	9,144	Apoyada	»	1016	6	Silla	»	»	2,438 x 0,203 x 0,152	1.853	0,407	
37	Wabash Railroad.....	1,448	9.650	»	39,50	9,144	Apoyada en 3 durmientes	»	1118	6	Nada	»	»	2,438 x 0,203 x 0,152	1.750	0,457	
Francia																	
38	Ferrocarriles de Paris a Lyon i al Mediterráneo.....	1,445	8.485	»	48,00	12,000	Al aire	»	800	6	Silla	4 tirafondos	»	2,600 x 0,210 x 0,140	1.500	0,500	
39	Ferrocarriles del Este.....	1,445	8.375	Entre 70 i 80	44,60	12,000	»	»	650	4	»	3 tirafondos	»	2,600 x 0,250 x 0,150	1.500	0,500	
40	Ferrocarriles del Norte.....	1,445	8.200	Superior a 80	45,12	12,000	»	»	650	4	»	»	»	2,600 x 0,260 x 0,130	1.333	0,450	
Imperio Británico																	
41	Great Southern and Western of Ireland Railway.....	1,435	6.550	»	41,17	9,144	»	»	457	4	»	2 escarpías	»	2,743 x 0,254 x 0,127	1.210	0,508	
42	Great Northern of Ireland Railway.....	1,435	6.700	»	39,20	7,920	»	»	457	4	»	»	»	2,718 x 0,254 x 0,127	1.290	0,610	
43	South Australian Railway Company.....	1,533	6.650	Entre 60 i 70	39,50	9,144	»	»	546	4	»	1 perno 2 escarpías	»	2,590 x 0,254 x 0,127	1.248	0,445	
Italia																	
44	Ferrocarriles del Mediterráneo.....	1,445	7.500	Entre 70 i 80	45,00	12,000	»	»	735	4	»	2 tirafondos	»	2,600 x 0,240 x 0,140	1.166	0,500	
45	Ferrocarriles de Sicilia.....	1,440	7.490	Entre 60 i 70	36,00	9,000	»	»	648	4	»	»	»	2,600 x 0,230 x 0,130	1.111	0,500	
46	Ferrocarriles Meridionales.....	1,445	7.490	Entre 70 i 80	36,00	12,000	»	»	735	4	»	2 escarpías	»	2,600 x 0,240 x 0,140	1.222	0,460	
Países Bajos																	
47	Ferrocarriles del Estado Neerlandes.....	1,435	7.375	Entre 60 i 70	38,60	7,000	»	»	760	4	»	3 escarpías	»	2,700 x 0,260 x 0,150	1.100	Variable	Se emplean rieles de 47 k/m. ¹ i de 12,250 m. de largo con eclisas cantoneras de 6 pernos i silladas asiento.
48	Ferrocarriles Holandeses.....	1,438	7.300	»	38,60	9,800	»	»	760	4	»	2 escarpías	»	2,600 x 0,280 x 0,150	1.130	0,350	
Portugal																	
49	Compañía Real de los Ferrocarriles Portugueses.....	1,670	6.500	Entre 40 i 50	40,00	12,000	»	Exterior cantonera Interior plana	760	6	»	»	»	2,800 x 0,300 x 0,150	1.250	0,400	
Rumania																	
50	Ferrocarriles del Estado Rumano.....	1,435	6.880	Entre 50 i 60	36,00	6,020	»	Exterior cantonera Interior plana	590	4	»	»	»	2,600 x 0,300 x 0,150	1.130	0,350	
Rusia																	
51	Ferrocarriles del Estado Ruso. - Catherine	1,525	6.825	Entre 40 i 50	32,25	7,032	»	Cantoneras	584	4	»	»	»	2,650 x 0,270 x 0,135	1.368	0,427	
52	» » » Kharkov-Nicolaiev	1,525	6.900	»	32,25	7,032	»	»	584	4	»	»	»	2,660 x 0,225 x 0,140	1.370	0,427	
53	» » » Koursk-Kharkov-Azov	1,525	7.475	Entre 50 i 60	32,25	8,534	»	»	584	4	»	»	»	2,700 x 0,270 x 0,135	1.289	0,427	
54	» » » Moscow-Koursk i Nijni-Novgorod.....	1,525	6.900	»	36,19	8,534	»	»	584	4	»	»	»	2,600 x 0,245 x 0,140	1.404	0,426	
55	» » » Nicolas.....	1,525	7.475	»	35,16	10,675	»	»	584	4	»	»	»	2,670 x 0,245 x 0,156	1.596	0,523	
56	» » » Oural	1,525	6.400	Entre 40 i 50	32,25	8,540	»	»	584	4	»	»	»	2,770 x 0,250 x 0,140	1.460	0,470	
57	» » » Saint-Petersbourg-Varsovie.....	1,525	6.825	Entre 50 i 60	32,25	8,540	»	»	584	4	»	»	»	2,670 x 0,235 x 0,155	1.291	0,523	
58	» » » Orel Riga.....	1,525	7.475	Entre 40 i 50	32,25	8,540	»	»	584	4	»	»	»	2,760 x 0,245 x 0,135	1.416	0,470	
59	» » » Moscow-Brest.....	1,525	6.900	Entre 50 i 60	30,25	8,534	»	»	584	4	»	»	»	2,660 x 0,220 x 0,130	1.289	0,427	
60	» » » Varsovie-Vienne.....	1,435	7.475	»	38,00	12,000	»	»	770	6	»	»	»				

CUADRO NÚM. 1 B

FERROCARRILES QUE EMPLEAN RIEL DE COJINETE I DURMIENTES DE MADERA

DATOS GENERALES RELATIVOS A LA SUPERSTRUCTURA

NÚMERO	ADMINISTRACIONES	Trocha, en m.	Carga máxima de rueda, en k	Velocidad media máxima, en km. por h.	RIELES		ECLISAJE				FIJACION DEL RIEL SOBRE EL DURMIENTE		DURMIENTES			LASTRE	OBSERVACIONES
					Peso, en k. /m ¹	Longitud, en m.	Naturaleza de la junta	Perfil de las eclisas	Longitud de las eclisas, en mm.	Número de pernos	Organo intermediario	Fijacion del riel o del organo intermediario al durmiente, por cojinete	Perfil	Dimensiones, en m.	Número de durmientes por km.	Espesor total en el eje de la via, en m.	
Francia																	
1	Ferrocarril de Paris a Orleans.....	1,440	8.300	Entre 70 i 80	42,54	11,000	Al aire	Cantoneras	450	4	Cojinete	3 tirafondos	Rectangular	2,700 × 0,220 × 0,150	1,273	0,450	} Se emplea ahora un riel de 46,25 k/m ¹ con eclisas de 1,50 m. de largo con 10 pernos, que descansan en 3 durmientes.
2	Ferrocarriles del Mediodía.....	1,445	8.300	»	38,00	11,000	»	Interior plana Exterior cantonera	540 450	4	»	»	»	2,700 × 0,260 × 0,130	1,273	0,500	
3	Ferrocarriles del Oeste.....	1,450	8.300	»	44,00	12,000	»	Planas prolongadas	460	4	»	»	»	2,700 × 0,260 × 0,130	1,250	0,500	
4	Ferrocarriles del Estado.....	1,450	7.680	»	40,00	11,000	»	»	460	4	»	{ 2 tirafondos 1 perno	»	2,500 × 0,240 × 0,140	1,273	0,500	
Imperio Británico																	
5	The Furness Railway.....	1,435	7.365	Superior a 80	43,50	13,716	»	»	457	4	»	{ 2 escarpías 2 tarugos demadera	»	2,718 × 0,254 × 0,127	1,094	0,610	
6	Hull Barnoley and Dock Company Railway.....	1,435	6.450	»	43,50	9,144	»	Planas	457	4	»	{ 2 escarpías 2 tarugos de madera	»	2,718 × 0,254 × 0,127	1,203	0,305	
7	Great Eastern Railway.....	1,435	9.570	»	42,22	9,144	»	Planas prolongadas	457	4	»	{ 4 escarpías 2 tarugos de mdera	»	2,718 × 0,254 × 0,127	1,203	0,610	
8	Great Northern Railway.....	1,435	9.145	»	47,60	10,973	»	Planas	457	4	»	{ 2 escarpías 2 tarugos de mdera	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,274	0,534	
9	London and North Western Railway.....	1,435	9.145	»	51,09	18,290	»	Planas prolongadas	508	4	»	{ 2 escarpías 2 tirafondos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,094	0,458	
10	London and South Western Railway.....	1,435	9.145	»	43,20	9,144	»	»	457	4	»	{ 3 tarugos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,308	0,458	
11	London Tilbury and Southened Railway.....	1,435	9.015	»	39,70	10,973	»	Planas	457	4	»	{ 3 escarpías 2 tarugos metálicos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,364	0,610	
12	Midland Railway Company.....	1,435	9.945	»	49,80	10,973	»	»	508	4	»	{ 2 tarugos de madera	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,274	0,431	
13	South Eastern Railway.....	1,435	8.265	»	40,73	9,144	»	»	457	4	»	{ 1 tirafondo 1 escarpía	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,249	0,610	
14	Tafe Vale Railway.....	1,435	9.070	»	42,22	9,144	»	»	457	4	»	{ 3 pernos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,203	0,450	
15	Great Central Railway.....	1,435	9.250	»	42,70	9,144	»	»	457	4	»	{ 2 escarpías 2 tarugos de madera	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,203	0,610	
16	Lancashire and Yorkshire Railway.....	1,435	8.890	»	42,70	9,144	»	»	457	4	»	{ 2 escarpías 2 tarugos de madera	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,203	0,534	
17	North Eastern Railway.....	1,435	10.160	»	44,60	9,144	»	»	457	4	»	{ 2 escarpías 2 pernos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,210	0,457	
18	Cambrian Railway.....	1,435	7.620	»	39,50	9,144	»	Planas prolongadas	457	4	»	{ 1 escarpía	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,094	0,610	
19	Great Western Railway.....	1,435	9.145	»	47,10	13,563	»	Planas	508	4	»	{ 2 pernos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,224	0,457	
20	London Brighton and South Coast Railway.....	1,435	8.125	»	47,10	9,144	»	Planas prolongadas	457	4	»	{ 3 tarugos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,308	0,610	
21	Caledonian Railway.....	1,435	9.100	»	44,50	9,754	»	»	457	4	»	{ 4 escarpías	»	2,718 × 0,254 × 0,126	1,224	0,500	
22	Glasgow and South Western Railway.....	1,435	8.380	»	44,50	9,144	»	Planas	457	4	»	{ 2 tarugos de madera	»	2,718 × 0,254 × 0,127	1,203	0,381	
23	Highland Railway.....	1,435	7.620	»	39,50	9,144	»	»	457	4	»	{ 3 escarpías	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,203	0,457	
24	North British Railway.....	1,435	7.925	»	41,50	9,144	»	»	457	4	»	{ 2 escarpías	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,203	0,572	
25	Great Northern Railway of Ireland.....	1,435	7.500	»	42,20	7,920	»	Planas prolongadas	457	4	»	{ 3 escarpías	»	2,718 × 0,254 × 0,127	1,290	0,610	
26	East Indian Railway.....	1,676	7.365	Entre 60 i 70	42,20	12,500	»	»	559	4	»	{ 2 escarpías	»	3,048 × 0,254 × 0,127	1,203	0,610	
27	New South Wales Gouvernment Railway.....	1,435	7.586	Superior a 80	39,70	9,144	»	Cantoneras	508	4	»	{ 2 tarugos	»	2,743 × 0,254 × 0,127	1,308	0,534	

CUADRO NÚM. 2

Material mas pesado de los Ferrocarriles del Estado de Chile

MATERIAL DE TRACCION					MATERIAL DE TRASPORTE			
DESIGNACION	LOCOMOTORAS				DESIGNACION	COCHES I CARROS		
	LOCOMOTORAS DE PASAJEROS		Locomotoras de carga	Locomotoras de montaña		COCHES DE PASAJEROS		Carros de carga Rejas para ganado
	Espresos	Ordinarios				Coches-salon	Coches de 1. ^a clase	
Numeracion	185 a 193	237 i 238	241 i 242		Número de ruedas	8	8	8
Tipo (1)	4—4—0	4—4—0	4—6—0	2—8—0	Peso total, en k.....	26.500	25.150	36.000
Base ríjida de las ruedas, en m.	2,590	2,514	4,419	4,270	Carga máxima de rueda, en k....	3.415	3.145	4.500
Peso total en servicio, en k.....	49.850	54.000	59.600	60.327	Tipo.....	de bogies	de bogies	de bogies
Peso adherente, en k.....	31.600	32.500	42.700	53.977				
Carga máxima de rueda, en k.	7.900	8.125	7.115	6.750				
TENDERS								
Numeracion..	185 a 193	237 i 238	241 i 242					
Tipo.....	de ejes independientes	de ejes independientes	de ejes independientes	de ejes independientes				
Número de ruedas.....	6	6	6	6				
Peso total en servicio, en k.....	32.115	33.000	33.000	33.000				
Carga máxima de rueda, en k.....	5.350	5.500	5.500	5.500				

(1) Segun la notacion adoptada, la primera cifra indica el número de ruedas directrices, la segunda el de ruedas motrices i acopladas i la tercera el de ruedas de atras.

CUADRO NÚM. 3

Locomotoras i ténders mas pesados en 1903

LOCOMOTORAS	LOCOMOTORAS			TENDERS			
ADMINISTRACIONES	Tipo (1)	Peso total, en kilogramos	Peso adherente, en kilogramos	Carga máxima de rueda, en kilogramos	Número de ruedas	Peso total, en kilogramos	Carga máxima de rueda, en kilogramos
Alemania.—Estado Bávaro.	4—4—2	60.200	32.000	8.000	8	49.000	6.125
Austria-Hungría.—Estado Austriaco.....	4—4—0	58.200	29.700	7.450	6	38.750	6.850
Bélgica.—Estado Belga.....	2—6—0	65.000	51.700	8.700	8	52.400	6.850
Chile.—F. C. del Estado.....	4—4—0	54.000	32.500	8.125	6	32.055	5.560
Estados Unidos de N. A. — Union Railroad..	2—8—0	104.310	94.310	13.100	8	55.600	6.950
Francia. — Paris, a Lyon, i al Mediterráneo.	4—4—0	55.710	33.740	8.435	6	42.800	7.500
Imperio Británico.—North Eastern Railway.....	4—4—0	53.520	36.320	10.160	6	34.800	6.000
Italia. — F. C. del Mediterráneo.....	4—6—0	62.600	45.000	7.500	6	33.000	5.500
Paises Bajos.—F. C. del Estado Neerlandes	4—4—2	66.500	29.500	7.375	8	48.760	6.095
Rusia.—F. C. de Varsovia a Viena.....	4—4—2	64.830	29.900	7.475	6	41.700	7.100
Suiza.—F. C. del Gothardo.....	4—6—0	67.900	45.900	7.150	6	36.500	6.500

(1) Segun la notacion adoptada, la primera cifra indica el número de ruedas directrices, la segunda el de ruedas motrices o acopladas i la tercera el de rueda de atras.