

el mal servicio de la Empresa, y dicha queja es atendida. Esta imprescindible condicion no existe en nuestras concesiones.

CARRILES DE ACERO.

Uno de los elementos que más influyen en el presupuesto de conservacion de las líneas férreas, es sin duda alguna el que se refiere á la reposicion del material fijo de las mismas.

Y si en todos los casos ha convenido por esta razon estudiar detenidamente el sistema de carriles, tanto en lo que corresponde á la naturaleza del material que haya de emplearse, cuanto en lo que atañe á la seccion más conveniente para la acertada distribucion de aquélla con arreglo á las condiciones de resistencia, es mucho más urgente en la actualidad tal estudio, una vez que dichas condiciones se han modificado por efecto de las trasformaciones que ha sufrido en no pequeña escala el material de traccion, destinado hoy á vencer las superiores resistencias que determinan las amplias condiciones facultativas con que se estudian los proyectos de ferro-carriles, principalmente los destinados á cruzar terrenos, en los que sería extraordinariamente costoso el establecimiento de una línea en las condiciones que ofrecen las construidas en nuestro país hasta el presente.

Por esto consideramos de imprescindible necesidad coleccionar cuantos datos puedan allegarse acerca de tan importante asunto, dando á conocer las experiencias y ensayos á que se han sometido los carriles de acero, que por la naturaleza de este material parece se prestan bastante bien á la satisfaccion de la necesidad que se siente de disponer una vía que resista en buenas condiciones, durante el más largo espacio de tiempo posible, los mayores esfuerzos determinados por el aumento que hoy se admite en las pendientes, y disminucion del radio de las curvas en los pasos difíciles á que anteriormente se hace referencia, conciliando, en la escala que se puede, esta ventaja, productora, por el solo hecho de serlo, de una no pequeña economía, con el coste de primera adquisicion del importante elemento que define por sí solo las líneas férreas.

A este fin, y con objeto de que se pueda apreciar debidamente en el estudio de los presupuestos de tales caminos las ventajas que permite al-

canzar el empleo de estos carriles, creemos conveniente presentar los resultados que se han dado á conocer en la Exposicion internacional de Viena, respecto á las líneas francesas en que se han empleado dichas barras.

En mayor ó en menor escala se han ensayado los carriles de acero en todas las líneas de la Nacion francesa. Antes, sin embargo, de dar á conocer los resultados cuya exposicion constituye el objeto del presente artículo, es oportuno consignar las principales condiciones que concurren en dicho material, y que han decidido el empleo del mismo para la construccion de los carriles.

La primera condicion favorable de los carriles de acero, que constituye, por lo tanto, una ventaja sobre los de hierro, consiste en que aquéllos sufren un desgaste paralelo y lento, al paso que los mejores de hierro se deterioran considerablemente por efecto de la circulacion, y se encuentran, la mayor parte de las veces, fuera de servicio ántes de haber perdido por un uso regular una notable parte de su peso.

La segunda ventaja de los carriles de acero sobre los de hierro, resulta de que ofrecen una resistencia más regular y mucho mayor que la que puede conseguirse de estos últimos. Sus resistencias elásticas y de rotura son, por lo ménos, dobles de las correspondientes á la materia constitutiva de los carriles de hierro.

Aprovechando estas notables diferencias, puede reducirse á 50 kilogramos el peso de los carriles de acero, dejándoles, sin embargo, una solidez superior á la de los de hierro, con lo cual se llega, no sólo á disminuir en gran manera el excedente de gasto de primer establecimiento, sino tambien á hacer su empleo más económico. Por lo tanto, con la adopcion de los carriles de que se trata, se obtiene tambien la importante ventaja de economía.

Estas buenas condiciones y ventajas del acero se han comprobado por experiencias practicadas en las redes férreas en que se han empleado los carriles fabricados con este material, de las cuales, como tambien de los sistemas de disposicion de las distintas vías ensayadas, pasamos á ocuparnos.

Compañía del Este (Francia). — Los carriles de acero Bessemer, empleados por esta Compañía en algunas pequeñas secciones de sus líneas, son del tipo *Vignole*, y del mismo perfil que los de hierro de 35 kilogramos de peso por metro lineal, usados

en la red desde hace mucho tiempo. Su peso, en razon de la diferencia de densidades de las dos materias, se eleva á 56 kilogramos por metro.

Cada carril de seis metros se apoya sobre traviesas de juntas por intermedio de platinas de dos rebordes, y traviesas intermedias separadas 90 centímetros de eje á eje.

Con objeto de comparar la duracion de los carriles de acero y de hierro, se hizo una experiencia en el mes de Marzo de 1866, colocando en una parte extraordinariamente fatigada de la línea (travesía de la estacion de la Villette) 60 carriles de acero Bessemer y otros 60 de hierro, alternados por grupos de seis. En el mes de Marzo de 1872, despues de haber sufrido una circulacion de 29 millones de toneladas próximamente, 51 de los 60 carriles de hierro estaban fuera de servicio, y la alteracion de los otros 29 impedia asignar al conjunto una resistencia media superior á 24 millones de toneladas, no obstante ser éstos carriles de excelente calidad. Los carriles de acero, sometidos á la misma fatiga, no sufrieron otra alteracion que un uso regular, medido exactamente por medio de impresiones sacadas en cera. Este desgaste corresponde á un milímetro por 26 millones de toneladas en los puntos donde la circulacion tiene lugar en condiciones normales. Es notablemente más rápida en aquellos donde los frenos actúan de una manera constante; pero así y todo su duracion es todavia considerable.

De otras experiencias practicadas se han deducido los siguientes resultados:

Sometidos á la flexion, la elasticidad de los carriles de hierro empieza á alterarse bajo un momento correspondiente á ménos de 25 kilogramos por milímetro cuadrado, y su módulo de elasticidad E es igual á $14,5 \times 10^9$. La resistencia de los carriles de acero, hasta el límite de elasticidad, se eleva á 38 kilogramos, ó sea vez y media la de los carriles de hierro; y su módulo de elasticidad es igual á $18,4 \times 10^9$. Casi todos los carriles de hierro se rompen bajo un momento inferior á 8.250 kilogramos, mientras que los de acero resisten todos 9.500 kilogramos, mayor esfuerzo que se podia obtener con el aparato de prueba.

Sometidos á la accion de un martillo pilon de 500 kilogramos, cayendo sobre el carril en medio del intervalo de los dos puntos de apoyo separados $1^m,40$, la altura media de caída que determina la rotura de los carriles de hierro es de $1^m,60$, siendo superior á $4^m,60$ la necesaria para producir el

mismo efecto en los carriles de acero. La mayor parte de éstos no han podido romperse con la altura máxima de 5^m que permitia el aparato. Los carriles de acero sometidos á la prueba descansaban en un yunque de fundicion de 10.000 kilogramos, al paso que los de hierro eran soportados por un bastidor de madera fijo sobre mampostería.

Es, por lo tanto, evidente que la relacion de las resistencias á la flexion de los carriles de acero y de los de hierro de la misma seccion es igual á 1,50 hasta el límite de elasticidad, y la de las resistencias á la rotura por choque es mucho más elevada todavia.

Este resultado condujo á la Compañía del Este á estudiar un tipo de carriles de acero Bessemer, de seccion reducida, como lo habia hecho ántes la Compañía del Norte.

Por decreto de 18 de Enero de 1875 se autorizó á aquella Compañía para hacer uso en su red de carriles de acero de 30 kilogramos de peso por metro lineal.

Compañía del Mediodía.—Esta Compañía emplea carriles de acero fabricados por el procedimiento Bessemer, ó por el sistema Martin, en las secciones más frecuentadas de su red.

Salvo raras excepciones, estos carriles son todos del sistema de doble T, y su forma no difiere de la que está en uso para los ordinarios: su longitud es igual á $5^m,50$, y se disponen sobre traviesas separadas de $0^m,60$ las próximas á cada junta, y $0^m,98$ las intermedias á éstas.

El carril de acero, fabricado por el procedimiento Martin, y procedente de las forjas de Firminy, pesa 38 kilogramos.

Tambien se han empleado carriles del mismo perfil de acero Bessemer, fabricados en Terre-Noire y Besages.

En cuanto á los pesos de las demas partes de la vía pueden indicarse las siguientes noticias:

Cojinete procedente de la fábrica de	
<i>Marquise (Pas de Calais)</i> . Fabricacion	
de 1869. Peso de uno.	10 ^k ,220
Clavijas de la fábrica <i>Dervaux</i> en <i>Vieux-</i>	
<i>Condé (Nord)</i> , 1872. Peso de uno. . .	0 ^k ,440
Cuñas proporcionadas por M. Bastiat de	
<i>Dax (Landes)</i> , 1872. Peso de una. . .	0 ^k ,900
Bridas procedentes de la fábrica de	
<i>Alais</i> , 1875. Peso del par.	9 ^k ,100
Pasadores de bridas de la fábrica de	
<i>Mr. Vankalek</i> . cerca de <i>Valenciennes</i> ,	
1875. Peso de uno.	0 ^k ,445

Carril *Brunel* hueco de acero *Bessemer*, para placa giratoria, procedente de la fábrica de *Terre-Noire (Loire)*, 1870.

Peso del metro lineal. 34^k,500

Compañía del Norte.—Esta Compañía ha adoptado para toda su red un carril de acero del tipo *Vignole*, cuyo peso es de 30^k,300 por metro lineal. La longitud normal de las barras es 8 metros, pero se admiten en los pliegos de condiciones, con objeto de facilitar la fabricacion, longitudes reducidas, que son de 7, 6 y 5 metros. Las juntas de los carriles se disponen sobre traviesas, y cada uno se se apoya en nueve puntos que están separados de 0^m,60, cerca de las juntas, 0^m,90 en las partes contiguas y un metro en todas las demas.

En una misma fila de carriles las barras se ligan una á otra por medio de bridas que presentan cuatro agujeros para los pasadores; reposan directamente sobre las traviesas en entalladuras preparadas para este objeto y se fijan á las mismas por medio de dos tornillos (*tire-fonds*) de hierro galvanizado en las traviesas intermedias, y de cuatro en las de junta. Dichos tornillos se aprietan sujetando la base del carril, que de este modo queda sin perforacion ni entalladura en toda su longitud.

Las experiencias hechas por esta Compañía con carriles de hierro de todas las procedencias han demostrado que los mejores no resisten, en su red, á una circulacion de más de veinte millones de toneladas, no pasando de catorce millones la resistencia de los de calidad ordinaria. De las practicadas con carriles de acero se ha deducido que su cabeza se usa ó desgasta uniformemente en un milímetro de espesor por una circulacion de 20 millones de toneladas; y como estos carriles están estudiados, suponiendo un desgaste de 10 milímetros, se puede estimar que su duracion responderá á una circulacion, por lo ménos, de 200 millones de toneladas; es decir, diez veces mayor que la de los mejores carriles de hierro. La sustitucion de estos carriles por los de acero proporciona, por lo tanto, una notable economia de conservacion, al mismo tiempo que procura á la vía una resistencia más regular, y aumenta en gran escala la seguridad de la explotacion.

De las experiencias hechas con objeto de comparar las resistencias de ambos materiales, resulta: que en los ensayos á la presion, los carriles de hierro conservan deformaciones sensibles y permanentes, desde el momento en que las compresiones y tensiones de las fibras llegan á 17

ó 18 kilogramos por milímetro cuadrado; en los practicados con los de acero, esta cifra pasa de 38 kilogramos. En los ensayos de traccion directa se ha deducido para los primeros una resistencia de rotura comprendida entre 28 y 36 kilogramos por milímetro cuadrado, y para los de acero los límites son 63 y 75 kilogramos. Ensayados, á la percusion los carriles de hierro resisten, por término medio, una potencia viva superior á 400 kilogrametros: la resistencia de esta clase en los de acero excede de 900 kilogrametros.

Las condiciones que se ha tratado de satisfacer en el estudio de la seccion de los carriles de esta linea, son las siguientes:

Conservar la altura del carril de 37 kilogramos de hierro, asi como la extension é inclinacion de los planos de junta de la brida, y el bombeo de la cabeza de aquél, que habian dado buenos resultados en el servicio;

Dar al desgaste la mayor amplitud posible, y con este objeto acumular la materia en la cabeza del carril, reduciendo los espesores del alma y de la base, tanto cuanto permitiera la fabricacion, y sin exagerar tampoco la relacion de la altura total al ancho del apoyo.

Teóricamente, en el momento del máximo desgaste el perfil debería ser tal, que los trabajos de las fibras más fatigadas de la cabeza y de la base fuesen iguales. Para satisfacer esta condicion completamente, hubiera sido preciso estrechar algo más el apoyo que presentan los carriles adoptados, en los que la igualdad de los esfuerzos de extension y de compresion se realiza cuando el desgaste está próximo á 3 milímetros. En este instante, sin embargo, el carril no se halla suficientemente debilitado para que deba desecharse, y aún despues de un desgaste de otros 5 milímetros, su resistencia es superior á la del carril nuevo de hierro de 37 kilogramos de peso por metro lineal.

En cuanto á la estabilidad sobre su base, el nuevo tipo puede ser mirado como más atrevido que el antiguo. La medida de esta propiedad está dada por la relacion de la altura á la base: ahora bien, esta relacion, que es de $\frac{125}{105}$ ó 1,19 para el carril de 37 kilógramos, se eleva á 1,288 para el de acero de 30 kilogramos. Hay, sin embargo, ocasion de notar que en el carril de hierro, tipo *Vignole*, empleado por la Compañía de Lyon, esta relacion se eleva á 1,50, y que en el de la linea de Cologne á Minden la relacion análoga es igual á 1,356. Por otra parte, el carril no tiende á invertirse hácia el

exterior de la vía, bajo las presiones laterales que sufre por parte de los rebordes de las ruedas; y la experiencia ha demostrado que la disminucion en las dimensiones laterales del tipo primitivo de 37 kilogramos, deja todavía el carril en excelentes condiciones de estabilidad.

Los resultados del cálculo y de las observaciones se refieren á una calidad de acero caracterizada por cierta dureza y una resistencia determinada, que las fábricas francesas producen corrientemente. Estas propiedades se comprueban por medio de ensayos estipulados en los pliegos de condiciones de la Compañía, y cuyo resumen es el siguiente:

Primera prueba (á la presion).—Cada carril sometido al ensayo, para lo cual se le coloca sobre dos puntos de apoyo separados de 1^m,10, deberá soportar, durante cinco minutos, en medio del intervalo de los puntos de apoyo:

1.º Una presion de 17.000 kilogramos, sin conservar flecha sensible despues de la prueba.

2.º Una presion de 30.000 kilogramos, sin que la flecha pase de 25 milímetros.

Segunda prueba (al choque).—Cada una de las dos mitades de una barra partida, colocada de canto sobre dos apoyos separados de 1^m,10, y fijos sobre un yunque de 10.000 kilogramos, deberá soportar sin romperse el choque de una maza de 300 kilogramos, cayendo de 2^m,25 de altura sobre la barra y en medio de los puntos de apoyo.

Con alturas de caída sucesivas de 1^m,00, 1^m,50, 2^m,00 y 2^m,25.

Las flechas que adquieran las barras no deberán diferir sensiblemente de 1^{mm}, 3½^{mm}, 8^{mm} y 18 á 20^{mm}.

En las líneas de esta Compañía se ha ensayado también un nuevo sistema de colocacion de los carriles, que consiste en no poner las dos juntas sobre una misma traviesa, sino en colocarlas sobre traviesas próximas.

Aunque esta disposicion no esté adoptada desde bastante tiempo para poder juzgarla por la experiencia, hay motivos para asegurar que proporciona una rodadura más suave que la conseguida con el antiguo sistema de colocacion. Por el pronto, no siendo simultáneos los choques debidos al paso por las dos juntas, su accion sobre el movi-

miento de los carruajes está atenuada por este solo hecho.

El efecto de estos choques está además debilitado por las circunstancias siguientes:

1.ª La traviesa de juntas, en lugar de estar solicitada á la inversion en sus dos extremidades, se halla; por el contrario, mantenida en una de éstas por la presion del carril continuo que soporta.

2.ª Como la traviesa recibe sacudidas ménos violentas, se conserva mucho mejor el balasto.

3.ª Cediendo solo una junta al paso del coche, éste se halla sostenido por tres ruedas, y no puede, por lo tanto, seguir el movimiento iniciado por la que encuentra la junta.

Compañía del Oeste.—Esta Compañía emplea también carriles de acero sobre las líneas de su red, donde la circulacion es más importante, elevándose á 254 kilómetros la longitud de vía sencilla de esta clase existente en 31 de Diciembre de 1872.

Dichos carriles son de seccion de doble T, idéntica á la de los de hierro, excepto los empleados sobre las obras metálicas, que son del tipo Vignole.

Su longitud es de 6 metros, y su peso se eleva á 38^k,75 por metro lineal.

Caminos de hierro de París á Lion y al Mediterráneo.—Desde el año 1867, la Compañía de estos caminos habia decidido no emplear otros carriles que los de acero en la renovacion de los 860 kilómetros de la linea de París á Marsella, en la que la frecuentacion es superior á 10.000 trenes por año, que recorren la vía con velocidades que llegan hasta 90 kilómetros por hora.

El carril empleado pesa 38^k 85 por metro lineal, y su seccion no difiere de la ordinaria de los de hierro usados por esta Compañía, mas que en el espesor del alma, que se ha reducido de 16 á 14 milímetros, y el ancho de la base, que se ha aumentado de 100 á 150 milímetros.

Su longitud normal es de seis metros.

Se fabrican unos por el procedimiento Martin y otros por el de Bessemer, obteniéndose, con ambos, barras que resisten perfectamente á las siguientes pruebas á que además de las de fábrica se somete el uno por ciento de los carriles en el acto de la recepcion:

1.ª La barra, colocada de canto sobre dos puntos de apoyo separados de un metro, debe soportar, durante cinco minutos, en medio del intervalo de aquéllos, una presion de 25 toneladas, sin conservar flecha sensible despues de la prueba.

2.^a La misma barra, en idéntica posición, debe resistir, sin romperse, durante cinco minutos, una carga de 40 toneladas; se aumenta en seguida la presión hasta la rotura.

5.^a Cada una de las mitades de la barra, colocada sobre dos puntos de apoyo separados de 1^m,40, debe soportar, sin romperse, el choque de una masa de 500 kilogramos, cayendo de dos metros de altura en medio del intervalo.

Y 4.^a Un trozo de carril, de 70 centímetros de longitud, colocado sobre dos apoyos distantes 50 centímetros, debe resistir el choque de una maza de 500 kilogramos, cayendo de 1^m,50 de altura.

Los resultados obtenidos con estos carriles han correspondido á las esperanzas que se tenían acerca de la duración del acero.

No se observa rotura alguna en los empleados desde más de cinco años, notándose sólo un uso cuya uniformidad atestigua la homogeneidad del metal.

Muchas secciones de ensayo han sido verificadas después del paso de 40.000 trenes. El desgaste medido es de 0,8 de milímetro en sentido vertical, que equivale á un milímetro por 50.000 trenes. Como la cabeza del carril puede, sin debilitarse, sufrir un desgaste uniforme de 10 milímetros, se deduce de lo dicho que es preciso el paso de 500.000 trenes para que se hallen los carriles fuera de servicio.

Si para tener en cuenta los accidentes imprevistos y las causas de error, se admite solamente la circulación de 400.000 trenes como cifra límite, y considera, por otra parte, que la duración media de los carriles de hierro corresponde, en las mismas circunstancias, al paso de 80.000 trenes, se llega á concluir que los carriles de acero tienen una duración cinco veces mayor que los de hierro.

El término medio de los carriles rotos en servicio, y que ha sido necesario retirar de las vías, es de uno por cada 15 kilómetros y por año. La circunstancia de haberse verificado las roturas, la mayor parte de las veces, en los primeros días del servicio del carril, permite atribuirlos á defectos de fabricación. Cuando los carriles han resistido algunos meses sin romperse, puede considerárseles libres de dichos defectos.

Un kilómetro de la vía empleada en estos caminos, cuesta:

1.^o Con acero de 280 francos la tonelada:

(Setiembre de 1869.)

	Francos.	Cénts.
77.700 kilogramos de carriles.	21.656,00	
666 bridas (peso, 5 ^k ,50) á 180 francos la tonelada.	655,56	
1.552 pasadores (peso, 0 ^k ,70) á 550 francos id.	526,54	
2.664 clavijas (peso, 0 ^k ,41) á 275 francos id.	500,76	
2.664 graponos (peso, 0 ^k ,59) á 275 francos id.	285,70	
Total.	25.204,16	

2.^o Con acero de 400 francos la tonelada:

(Enero de 1875.)

77.700 kilogramos de carriles.	51.080,00
666 bridas á 540 fr. la tonelada.	1.200,15
1.552 pasadores á 500 id. la id.	466,20
2.664 clavijas á 445 id. la id.	486,04
2.664 graponos á 445 id. la id.	462,85
Totales.	53.695,20
	25.204,16

Aumento en 1875. 10.491,04

Compañía de Orleans.—Salvo raras excepciones, los carriles de acero empleados por esta Compañía son todos del sistema de doble T y su forma no difiere de la usada para los carriles ordinarios.

El peso del carril, por metro lineal, que es de 56 kilogramos para los de hierro, es un poco superior para los de acero, á causa de la diferencia de densidades de los dos materiales, y puede evaluarse, por término medio, en 57 kilogramos.

Su longitud es de 5^m,50 y se disponen sobre seis traviesas de encina con intervalos de 0^m,916.

Los carriles de acero empleados por todas las Compañías mencionadas, les son proporcionados por las fábricas de *Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Friminy, Commentry, Rive-de-Gier, Saint-Jacques, Montlucon y Niederbronn.*

En satisfacción de los deseos manifestados por los compañeros que la firman, insertamos gustosos la siguiente carta:

Sres. Redactores de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

Alicante, 20 de Agosto de 1875.

Apreciables compañeros: conforme en un todo los que suscriben con las ideas emitidas por el señor Martín en su artículo *Plus Ultra*, inserto en el número de 15 de Abril último, y correspondiendo