

tension variables de 5,4 á 7,5 toneladas, ó sea una quinta parte de tonelada por centímetro cuadrado de seccion.

Este sistema de arcos atirantados posee grandes ventajas sobre el de Warren y demás de celosías de cabezas paralelas. Todos estos requieren teóricamente diferencias de espesor y dimensiones en las cabezas que no se pueden lograr con facilidad en la construccion, teniendo que ceñirse á las máximas dadas por la teoría, con mayor coste y pérdida de material que lo preciso. Esto no sucede en el de arcos atirantados donde la teoría indica una seccion uniforme, lográndose así facilidades en la práctica y el mínimo empleo de metal necesario. Las aspas, en el sistema Warren y otros, están sometidas á esfuerzos muy variables, que hacen necesario el empleo de secciones diferentes en ellas; en el de arcos atirantados estas variaciones son tan pequeñas que puede usarse sin inconveniente alguno una seccion uniforme, alcanzándose tambien la disminucion de peso en las aspas muy considerablemente.

En el puente que describimos el peso de las aspas solo asciende á 6 toneladas, cuando el peso total de la viga es de 24 $\frac{1}{2}$.

El puente fué montado sobre caballetes, á pocas pulgadas de altura de la posicion que debia ocupar, á la que se le hizo bajar, quitando los bloques de madera que lo acunaban. Al apoyarse las formas en las pilas se efectuó una nivelacion escrupulosa que, comparada con la efectuada anteriormente, acusó la flexion de las formas al hallarse sometidas á la accion de su propio peso. La flecha máxima de la flexion fué 0,0009.

Finalmente, se le sometió á diversas pruebas. Una máquina de 54 toneladas de peso estacionó en el centro de cada tramo; la misma recorrió todo el puente á velocidades que variaron de 16 á 40 kilómetros por hora. Las flechas de flexion oscilaron entre 0,0046 y 0,006 en cada viga, volviendo estas á su forma primitiva cuando dejaba de actuar la carga y sin quedar ninguna flexion permanente. Las pruebas oficiales á que sometió la obra el Ingeniero inspector del gobierno fueron practicadas con cuatro máquinas unidas, de las más pesadas, que daban una carga de 5 toneladas por metro lineal. Cada forma fué sometida á la prueba por tres ó cuatro veces, y las flechas acusadas variaron entre 0,0012 y 0,0015. Las piezas transversales solo dieron flexiones de 0,003. Se observaron tambien con sumo cui-

dado las vibraciones en las aspas y en los tirantes de cabeza, que se vieron ser insignificantes.

El coste total de esta obra fué 15.000 libras esterlinas, ó 1.255.000 reales. Se empezó por el contratista Mr. Thomas Nelson, de Carlisle, en Abril de 1859, dándose por completamente terminada en Octubre de 1860, á causa de que en este término era en el que el contratista debia dar todas las obras de su contrata, pues el puente podia haberse construido en un plazo de un año á lo más.

El autor del proyecto es Mr. Eduard L. Blyth, distinguido ingeniero civil de Edimburgo, y á cuya amabilidad debemos los presentes datos. Dicho ingeniero ha seguido aplicando este sistema de puentes en muchas de las líneas férreas, de cuya construccion ha estado encargado; y en la actualidad, en la línea de Callander á Oban, en la primera seccion en construccion, hemos tenido ocasion de examinar algunos de ellos montados.

La esbeltez y elegancia de estos puentes de arcos atirantados y su mayor economía respecto á los ordinarios de celosía de cabezas paralelas, por la reduccion de metal que se obtiene á igualdad de resistencia, los hace muy superiores, puesto que reunen esta ventaja á todas las que tienen los otros sistemas que le son comunes.

Estas consideraciones son las que nos han movido á presentar esta ligera reseña, con el único objeto de exponer la superioridad de este sistema de puentes que, aunque conocido en principio, no han llegado á generalizarse entre nosotros; debiendo advertir, para terminar, que las fábricas de Escocia llevan construido al presente muy gran número, y por lo tanto que están vencidas las dificultades prácticas, único inconveniente quizás que podria detener á nuestros Ingenieros á presentar proyectos de esta clase.

P. CLAIRAC.

FERRO-CARRILES ECONÓMICOS.

SISTEMA FELL.

Conclusion (1).

Observaciones sobre los experimentos referidos y juicio del sistema Fell.—Tales son en lo esencial los resultados observados por las comisiones francesa,

(1) Véanse los números 12, 13, 14 y 15 de la Revista.

inglesa é italiana. No conocemos los informes de los ingenieros rusos y austriacos, que visitaron también la vía de ensayo por encargo de sus respectivos gobiernos. Dos de los ingenieros que suscriben esta memoria estudiamos también personalmente dicha vía en Octubre de 1865, examinando detenidamente las máquinas; pero por la ausencia de Mr. Fell no pudimos verlas funcionar, ni hacer experimento alguno especial con ellas.

El examen de los resultados obtenidos en los experimentos que acabamos de reseñar, hace ver algunas diferencias y hasta contradicciones, que se explican en su mayor parte por las diferencias de las épocas, de las condiciones mismas de los experimentos hechos, y por último, de las hipótesis admitidas por los observadores para sus respectivos cálculos. Todos los resultados convienen sin embargo en los puntos capitales, y constituyen una demostración experimental de la posibilidad de aplicar el sistema á la explotación de la línea provisional del Monte Ceniso, en condiciones próximamente iguales á las señaladas por el autor en su programa.

El sistema Fell presenta, por lo tanto, una solución práctica del problema de la tracción en líneas, cuyas inclinaciones lleguen á 80 milésimas y las curvas á 40 metros de radio. Las cualidades características de esta solución, tales como se deducen de los experimentos, pueden resumirse en las siguientes:

1.ª Aumento de la adherencia, hasta cierto punto independientemente del peso de la máquina, lo que permite reducir este (en beneficio del peso útil remolcado) al mínimo exigido por las condiciones de la potencia.

2.ª Seguridad completa en la explotación, gracias al empleo del carril central, que á la vez que proporciona la adherencia suplementaria exigida por la tracción, hace casi imposible un descarrilamiento, y permite la aplicación de frenos sumamente enérgicos, así para moderar la velocidad, como para detener el tren en las bajadas.

Estas ventajas están compensadas en parte por inconvenientes de bastante gravedad, y que son:

1.º Aumento notable de las resistencias pasivas de la máquina y del material de transporte.

2.º Rápido deterioro de este mismo material y del fijo de la vía.

3.º Aumento considerable en el gasto de combustible.

4.º Necesidad de renovar á menudo las provisiones, y por lo tanto de frecuentes paradas.

5.º Necesidad de los trasbordos.

Así las ventajas como los inconvenientes manifestados por los experimentos, comprueban las previsiones de la teoría. La máquina Fell, por sus elementos de vaporización, distribución y trasmisión, puede ejecutar un cierto trabajo, que se aprecia exactamente lo mismo que el de una locomotora del sistema ordinario. Este trabajo se compone de dos factores: esfuerzo de tracción y velocidad.

Cuando, suponiendo un peso constante de tren, aumenta la inclinación de las rampas y con ella el esfuerzo de tracción necesario, hay que disminuir el otro factor velocidad, y si al primero pasa de cierto límite en cada máquina, determinado por la adherencia, la tracción es imposible. Para aumentar la adherencia en las locomotoras ordinarias hay que darles más peso, y este mayor peso, que por una parte permite desarrollar el mayor esfuerzo de tracción que se necesitaba, por otra obliga á reducir en una cantidad igual el peso útil del tren.

Ahora bien, el complemento de adherencia obtenido con el carril central, permite á la máquina desarrollar dicho esfuerzo sin aumentar en tanta proporción el peso de la misma, que no necesita exceder de lo absolutamente necesario para alojar, por

decirlo así, el generador y los mecanismos de la máquina, incluyendo los que exige el empleo del carril central. El peso muerto transportado se reduce por lo tanto á su límite inferior, si bien su disminución no puede ser igual al aumento del peso útil, porque el carril central, con los mecanismos correspondientes al suplemento de adherencia, ha de dar origen á resistencias pasivas de bastante consideración.

Lo primero que se deduce de estas observaciones es que el sistema de carril central no puede aplicarse con ventaja, sino en el caso de adoptar en los trazados inclinaciones muy considerables. Solo cuando por exceder estas de cierto límite, queda reducido á muy pequeñas proporciones el efecto útil de la máquina, y es absolutamente indispensable reducir mucho la velocidad para disponer de mayor esfuerzo de tracción, puede ser razonable el buscar en una adherencia artificial, que ha de traer necesariamente consigo una complicación de los mecanismos y la creación de nuevas resistencias, el medio de aprovechar más completamente el esfuerzo máximo de que sea capaz la máquina. Con toda seguridad puede por tanto afirmarse que el sistema de carril central no tiene por objeto reemplazar á la locomotora ordinaria para la tracción en las líneas, cuyas inclinaciones no pasen de los límites admitidos hasta el día en la generalidad de los trazados. El nuevo sistema se propone más bien extender el empleo de la locomotora á los casos en que hasta hoy se ha creído esta inaplicable.

¿Cuál es el límite á partir del cual empieza á ser ventajosa la aplicación del carril central?

Por ahora nos parece imposible determinarlo con algunas garantías de acierto. Además, fácilmente se comprende que este límite debe variar en cada caso particular, según las circunstancias que en el mismo pueden concurrir. En las localidades donde por las condiciones climatológicas y meteorológicas, el coeficiente de la adherencia sea muy pequeño, en los países elevados y húmedos, por ejemplo, la necesidad de la adherencia suplementaria se hará sentir para reducciones de velocidad y para inclinaciones muy inferiores á las que constituirán el límite en otras localidades donde dicho coeficiente tenga ordinariamente mayor valor. Ahora bien, este coeficiente puede variar de $\frac{1}{2}$ á un $\frac{1}{12}$, ó $\frac{1}{12}$, y aun quizás menos, en localidades excepcionalmente desfavorables. En la línea de Baltimore al Ohio, sin adherencia suplementaria, han podido explotarse durante cierto tiempo inclinaciones superiores á las del Monte Ceniso, remolcando la locomotora un peso igual al suyo propio. En el Monte Ceniso sin el carril central esto no sería posible, como lo han demostrado los experimentos.

Las diferencias observadas en los resultados de estos experimentos, que además han sido incompletos por haberse practicado solo en un trozo con las mayores inclinaciones y las curvas de menor radio, no permiten además fijar el límite mencionado, ni aun en el caso especial á que se refieren. El autor de la nueva máquina se proponía, según vemos en el informe del capitán Tyler, aplicar el carril central solo desde la inclinación de 40 milésimas en adelante. Mr. Desbrière, ingeniero delegado de la compañía concesionaria del ferro-carril provisional, opina que el carril central debe adoptarse siempre que la inclinación pase de 35 milésimas, y el radio de las curvas baje de 200 metros. Esta opinión, por el examen de las hipótesis en que se funda, nos parece demasiado favorable al sistema Fell. En nuestro sentir, y hasta que una experiencia más larga y completa de la explotación entre San Miguel y Susa proporcione mayores elementos para el juicio, con un motor bien elegido se puede ir, sin emplear el carril central, más lejos de lo que supone el Sr. Desbrière. El ejemplo de las líneas de grandes inclina-

ciones y pequeñas curvas, explotadas hoy con la locomotora ordinaria, nos parece en este punto concluyente.

Pero si hay motivos para creer, más aun, para poder afirmar con seguridad completa que el suplemento de adherencia proporcionada por el carril central no es necesario, y sería por el contrario inconveniente en las líneas trazadas hasta el día con inclinaciones inferiores á 35 ó 40 milésimas, parece indudable que cuando la inclinación pase de 50 milésimas la aplicación del carril central, permitiendo la reducción de la velocidad, sin aumento notable del peso de la máquina, proporcionaría el medio de aumentar el aprovechamiento útil del esfuerzo de tracción, sobre todo en aquellas localidades donde el coeficiente de adherencia sea muy pequeño.

Cierto es que á no ser el terreno excepcionalmente quebrado y montuoso, no suele ser necesaria la adopción de inclinaciones superiores á 40 ó 45 milésimas y curvas de 40 metros de radio. Pero estos casos se presentan con bastante frecuencia, sobre todo en el paso de las grandes cordilleras, y las exigencias de la economía en los gastos de establecimiento, cuando la línea tiene poco tráfico, aconsejarán no pocas veces que se pase de los límites en que la locomotora ordinaria es preferible á todos los demás sistemas de tracción. Entonces el carril central ofrecerá una solución aceptable, cuyas ventajas en cada caso habrán de compararse con la tracción por medio de máquinas fijas.

Para esta comparación en general no hay tampoco en el día elementos suficientes. Puede observarse, sin embargo, que la locomotora Fell, aunque no en tan gran escala como la locomotora ordinaria, á medida que necesite desarrollar mayor potencia, habrá de tener mayor peso, y por consiguiente menos efecto útil, mientras que en el sistema de máquina fija el aumento de la potencia no trae consigo como consecuencia necesaria el arrastre de mayor peso muerto. En cambio la tracción ordinaria por medio de máquinas fijas no admite trazados en curvas ni rasantes de gran longitud, teniendo además el inconveniente de los embarazos que produce en las combinaciones del servicio de explotación, y el de la situación del motor, colocado fuera de la acción del conductor del tren.

En la generalidad de los casos, y teniendo en cuenta la economía de los gastos de establecimiento, parece pues probable que convendrá dar la preferencia al sistema Fell sobre el de la tracción ordinaria con máquinas fijas; pero la cuestión varía de aspecto si el primero se compara con el sistema Agudio, que no adolece de la mayor parte de los inconvenientes reconocidos en el segundo.

Ya hemos visto, en efecto (nota 11), que con el locomotor Agudio pueden admitirse curvas de 200 á 250 metros de radio, y rasantes de longitud muy considerable; pudiendo además el conductor del tren hacer á este independiente de los motores fijos, y someterlo de nuevo á su acción, siempre que lo crea necesario. En cuanto á seguridad, el cable fijo de Agudio equivale al carril central de Fell, y teniendo el primero la ventaja de que el peso del locomotor es constante, cualquiera que sea el del tren remolcado, en tanto que el motor Fell habrá de aumentar en peso á medida que aumenta la carga, parece que donde las condiciones del terreno permitan la adopción de curvas superiores á 200 metros, el sistema Agudio debe merecer la preferencia.

Esta ha sido también la opinión de la comisión de ingenieros italianos encargados por su gobierno de hacer una comparación entre los sistemas propuestos para el paso de los Alpes, opinión fundada en un estudio muy detallado de todas las circunstancias de dichos sistemas.

Esta comisión desecha todos los medios presenta-

dos (sistema neumático, locomotora de hélice, etc.) á excepción de los de Agudio y Fell, únicos que, en su sentir, constituyen soluciones aceptables. Comparando luego estos dos sistemas, deduce de su estudio que la preferencia entre ellos depende de las circunstancias locales. *Donde haya una carretera construida, cuya explanación pueda aprovecharse para establecer la vía*, con curvas inferiores á 250 metros, el sistema Fell, á pesar de ser más costoso para la explotación, podrá ser preferible; donde no haya una carretera, y sea por lo tanto preciso construir una explanación, si esta puede sin gran exceso de gasto trazarse con curvas de radio superior á 250 metros, deberá darse la preferencia al sistema Agudio. Si fuera por lo tanto posible modificar este sistema de modo que admitiese curvas de radio más pequeño, resultaría superior en la generalidad de los casos al de Fell.

Resumiendo estas consideraciones, creemos que puede decirse del sistema de carril central:

1.º Que está fundado en un principio racional, y formulado prácticamente de una manera aceptable en la segunda locomotora experimentada en el Monte Ceniso.

2.º Que solo parece aplicable con ventaja á los trazados cuyas inclinaciones y curvas pasen de ciertos límites, que podrían prudencialmente fijarse en tanto que pronuncia su fallo la experiencia, en 40 á 45 milésimas para los primeros, y 150 á 200 metros de radio para las segundas.

3.º Que en estos trazados proporciona mayor seguridad y mayor aprovechamiento de la potencia del motor, que la explotación por medio de la locomotora ordinaria, si bien á costa de la creación de resistencias pasivas considerables y del aumento de los gastos de tracción, conservación y renovación del material.

4.º Que es principalmente ventajoso, en el caso de que se pueda aprovechar para el establecimiento de la vía férrea, una carretera construida; pareciendo inferior al sistema de tracción del ingeniero Agudio, cuando pueda sin excesivos gastos adoptarse un trazado de grandes inclinaciones en que las curvas no bajen de 200 á 250 metros de radio.

Tal es, expresado en términos breves, el juicio, que por lo que hasta ahora conocemos, nos merece el notable sistema ideado por el Sr. Fell, y aplicado á la carretera internacional franco-italiana.

La experiencia, después de algunos años de explotación, podrá proporcionar los elementos necesarios para rectificar este juicio, que solo puede ser definitivo cuando el tiempo lo haya con sus enseñanzas confirmado.

Segun nuestras noticias, el autor ha hecho algunas innovaciones, así en el material de tracción y transporte, como en el de la vía, que no alteran sustancialmente el sistema y constituyen solo mejoras de detalle y de no gran importancia. Tanto por este motivo, cuanto por estar nombrada una comisión especial, compuesta de los ingenieros Sres. Barron y Aramburu, que ha pasado á la localidad á estudiar el ferro-carril de que se trata, creemos innecesario detenernos á consignar aquí dichas innovaciones, que la comisión mencionada podrá conocer y describir de una manera más completa.

(Setiembre de 1867.)

MEMORIA DEL CONSEJO DE ADMINISTRACION del FERRO-CARRIL DE TUDELA Á BILBAO.

(Continuacion.)