

tervención a la puramente decorativa y ornamental. Aun así, se observan algunos excesos y desaciertos, por desequilibrarse la ponderación indispensable entre la técnica que debe dominar y el arte que ha de amoldarse a aquélla, sin submergir nunca las proporciones de la estructura.

Sigamos, pues, todos la simpática evolución moderna hacia la *sinceridad*, característica de esta época; persigamos en nuestros proyectos la *sencillez* de disposiciones y la *sobriedad* de ornamentos, como se está consiguiendo en la indumentaria y en el arte y hasta en la oratoria.

J. EUGENIO RIBERA
Ingeniero de Caminos

Las recientes electrificaciones de la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España

Barcelona a Manresa y San Juan de las Abadesas.—Alsasua-Irún

I

Consideraciones generales

Por la importancia política de las líneas afectadas por la transformación de su sistema de tracción y por el considerable tráfico que en ellas se desarrolla, las electrificaciones llevadas a cabo por la Compañía del Norte en las regiones de Barcelona y Guipúzcoa señalan, sin duda, un paso decisivo en la historia de la electrificación de los ferrocarriles españoles.

La electrificación de las líneas de Barcelona a Manresa y San Juan de las Abadesas ocupa lugar preeminente entre las importantísimas obras acometidas por la Compañía del Norte en Barcelona y su región. La necesidad de esta electrificación se hizo ya patente al finalizar la guerra europea, como consecuencia del elevado precio del carbón y del incremento enorme del tráfico de cercanías de Barcelona; tráfico originado no solamente por la intensa vida industrial de la región, sino también porque el progresivo y rápido desarrollo de la población de Barcelona buscaba expansión en los alrededores de la ciudad y en aquellas cercanías donde la facilidad de comunicaciones asegurara un cómodo acceso a ésta.

Este aumento de vitalidad no fluía por los carriles del antiguo ferrocarril, porque su tracción por vapor era enteramente inadecuada para servir técnica y económicamente las exigencias de tal tráfico, cuyas condiciones eran allí agravadas por las fuertes rampas (16 mm por m en la línea de Manresa y 18 a 20 mm por m en la de San Juan) y por la congestión que, a pesar de la doble vía entre Barcelona y Manresa, producía el importante tráfico de mercancías sobre esta línea.

Y no sólo esto, sino que la extensión de los servicios de otros ferrocarriles, singularmente eléctricos, y el desarrollo de los transportes por carretera, arrebataron a la Compañía del Norte la casi totalidad de su primitivo tráfico de viajeros e hicieron merma considerable en el de mercancías. En ambos aspectos fué más duramente castigada la sección Barcelona-Manresa, sobre cuya línea se cuentan, además de las terminales, poblaciones como Sardañola, Sabadell, Tarrasa y Monistrol (combinación para Montserrat), que poseen un extraordinario movimiento de

viajeros; los que, como era natural, se alejaban del ferrocarril de vapor para utilizar medios de transporte de mayor rapidez, comodidad y economía.

Por otra parte, la línea de San Juan de las Abadesas, que, arrancando de la estación de Moncada, a 9 kilómetros de Barcelona sobre la línea antes citada, penetra en el Pirineo, es una de las más pintorescas de la región; frecuentadísima en verano y durante la temporada de los deportes de nieve, sirve poblaciones tan importantes como Ripoll y Vich, y su floreciente tráfico de viajeros estaba en condiciones de suscitar la codicia de cualquier empresa competidora.

Mención aparte de la importancia internacional que ha adquirido esta última línea por su enlace en Ripoll con la línea transpirenaica de Ripoll a Puigcerdá (construida y electrificada por el Estado y explotada por la Compañía del Norte), constituyendo la comunicación más directa de Barcelona con París y la costa atlántica francesa, el problema que se planteaba a la Compañía en la región de Barcelona era la defensa de su tráfico y la posible recuperación del perdido. Sin embargo, el descenso que los precios del carbón y de los fletes experimentaron a partir del año 1920 y el elevado nivel a que se mantuvo el correspondiente a los materiales eléctricos (de forzosa importación), mientras que en el coste de la energía eléctrica para tracción no se obtenía disminución apreciable, restaron posibilidades económicas a la transformación proyectada, deteniendo por entonces los impulsos de la Compañía; y hasta 1924, año en que se normalizaron estas condiciones y se terminó con tan halagüeño éxito la electrificación de la rampa de Pajares, no se emprendieron los estudios definitivos.

La electrificación de esta zona se extiende, como hemos indicado, a la sección Barcelona-Manresa, en doble vía de 64 kilómetros de longitud, perteneciente a la línea general de Zaragoza a Barcelona por Lérida; y a la línea de Barcelona a San Juan de las Abadesas, que posee el trayecto Barcelona-Moncada común con la anterior, siendo la longitud total entre Moncada y San Juan de 106 km de vía única.

Los primeros trabajos comenzaron a fines del año 1926, y en el transcurso de los de 1928 y 1929 se pusieron, respectivamente, en servicio las secciones mencionadas.

Además, acaba de terminar la Compañía la construcción de un triple túnel entre la estación del Norte en Barcelona y la Plaza de Cataluña (1,4 km), que, incorporado a las electrificaciones anteriores y juntamente con la construcción de una estación terminal subterránea en dicha plaza, permitirá realizar los servicios de viajeros desde el corazón mismo de la ciudad.

En la sección fronteriza de la línea principal Madrid-Hendaya fueron otras las razones fundamentales que impulsaron la transformación del sistema de tracción. Aparte de las ventajas económicas de la explotación con tracción eléctrica, que el estudio consiguiente demostró eran ya sensibles para el considerable tráfico que tenía lugar sobre las fuertes rampas (hasta 16 mm por m) de aquella zona del Pirineo Cantábrico, se presentaba el problema técnico originado por la necesidad de remolcar a velocidades elevadas (60 a 65 km/h) sobre la mencionada divisoria los trenes expresos y rápidos de 400 t de carga que constituyen uno de los principales servicios de la línea Madrid-Hendaya.

Las locomotoras de vapor más modernas de la Compañía (serie 4 600, tipo «Montaña») eran capaces de realizar este servicio en condiciones óptimas entre los Pirineos y la Sierra del Guadarrama; su aplicación a la subida de esta última mejoró también notablemente los horarios de dichos trenes. Pero sobre la sección Alsasua-Irún no pueden circular locomotoras de vapor del peso citado (153 t con tender), y menos aún del correspondiente a la potencia necesaria para desarrollar las velocidades previstas, porque su peso por eje sobrepasa el que, en condiciones de seguridad, admite la resistencia de los numerosos puentes metálicos existentes en esta sección, los que en otro caso sería preciso reforzar o sustituir a costa de grandes desembolsos; las frecuentes y muy cerradas curvas que en dicha sección presenta la vía impiden, por otra parte, el acoplamiento de mayor número de ejes motores que los cuatro que poseen las locomotoras de vapor normalmente usadas en las líneas de la Compañía.

Estas circunstancias y la conveniencia de recoger un tráfico muy intenso de viajeros de cercanías desde las estaciones comprendidas entre Zumárraga y San Sebastián hasta la frontera francesa, plantearon la conveniencia de la electrificación. No fué tampoco ajeno a esta idea el sentimiento de la conservación del prestigio general de nuestros ferrocarriles. Es, en efecto, patente que para el viajero que por Hendaya atravesaba la frontera había de resaltar la diferencia entre la tracción eléctrica de los ferrocarriles franceses y la tracción por vapor que en España se le ofrecía; mientras a la frontera llegaban en trenes que viajan a razón de 100 a 120 km por hora, esta velocidad quedaba reducida a poco de pisar nuestro suelo a la de 40 km por hora, que es la que realizaban los rápidos con tracción por vapor en la subida del Pirineo. La razón de esta diferencia, originada no tanto por el cambio del sistema de tracción como por el de las condiciones topográficas de los trazados, fáciles en Francia y abruptos en España, era difícil, por no decir imposible, de imponer a la gran masa de viajeros nacionales y extranjeros que atraviesa la frontera; los que, a no dudar, recibían una primera impresión poco favorable a los ferrocarriles españoles.

Decidida la implantación del nuevo sistema de tracción, comenzaron los trabajos a fines del año 1927;

a mediados de 1929 se puso en servicio la tracción eléctrica en la parte baja de la sección, y para fines del mismo año se extendió el servicio a la totalidad de ésta.

La electrificación comprende un trayecto de 104 km de doble vía entre Alsasua e Irún. A éste es preciso agregar el trozo de 1,5 km, también de doble vía (una española y otra francesa), entre Irún y el puente Internacional sobre el Bidasoa, en el que un seccionamiento separa las instalaciones españolas de las francesas, cuyas características son análogas, permitiendo la entrada recíproca de los trenes franceses y españoles en las estaciones fronterizas de Irún y Hendaya; de modo que la total longitud de doble vía electrificada alcanza 105,5 km.

El sistema adoptado para las dos electrificaciones citadas es el de corriente continua a la tensión de 1 500 voltios y línea aérea de contacto. Esta resolución no implica una rectificación de las normas adoptadas con motivo de la electrificación de la rampa de Pajares, donde ha sido empleada la tensión de 3 000 voltios en la línea de contacto; por el contrario, persistiendo en el empleo del sistema de corriente continua, que, desde todos los puntos de vista aplicables a los casos estudiados, se juzgó el más conveniente, fué reducida la tensión de línea a 1 500 voltios porque así lo aconsejaban las circunstancias particulares técnicas y económicas que se ofrecían en las electrificaciones de que se trata.

En efecto, una parte importante del programa que en éstas se pretendía realizar era la confiada a los trenes automotores que habían de emplearse en los servicios de cercanías; el empleo de tensiones del orden de 3 000 voltios no era por entonces aconsejable en dichos coches, dado el poco espacio disponible para el equipo eléctrico de los mismos, las escasas experiencias que se conocían y la dureza del servicio a que habían de estar sometidos.

Por otra parte, el coste del material motor constituía la partida de más peso en el presupuesto de ambas electrificaciones; el aumento de la tensión hasta los 3 000 voltios empleados en Pajares suponía un aumento de coste en dicho material motor que anulaba las ventajas económicas que pudieran obtenerse en la instalación fija. Por el contrario, sería aconsejable la adopción de los 3 000 voltios donde, como sucede en la rampa de Pajares, fuera menor la importancia relativa del coste del material motor y donde el intenso tráfico de trenes pesados o las fuertes y continuadas rampas justificaran la mencionada solución.

Desde el punto de vista de los gastos de explotación, los correspondientes al material motor para 1 500 voltios y la posibilidad del empleo de comutadores (cuyo rendimiento es muy superior al de los grupos motor-generadores necesarios con los 3 000 voltios, a menos del empleo de rectificadores de vapor de mercurio) propugnaban la aplicación de la tensión adoptada.

Finalmente, otro punto de vista muy interesante que hubo de tenerse en cuenta, era la situación de la construcción y del mercado mundial del material eléctrico de tracción para corriente continua a alta tensión. Mientras que la construcción del correspondiente a los 3 000 voltios era, puede decirse, exclusiva de las grandes firmas americanas, en Europa se consolidó y fué consagrada por la experiencia la

construcción de material para instalaciones a 1 500 voltios, favorecida por la adopción del sistema para la electrificación de los ferrocarriles en Francia, Inglaterra, Holanda, Checoslovaquia, etc.; la adopción de esta tensión daba entrada en la lid a todos los constructores europeos, y la rebaja que con-

siguientemente pudo obtenerse en los precios fué considerable.

En un próximo artículo se expondrán sucintamente las principales características de las instalaciones efectuadas; características que son comunes a ambas electrificaciones.

José GARCÍA LOMAS
Ingeniero de Caminos

NOTA

sobre el diámetro de los roblones en las estructuras metálicas, con especial referencia a los tramos metálicos para ferrocarril¹

Introducción

Aunque actualmente se está generalizando mucho el empleo de la soldadura para ensamblar entre sí las diferentes piezas o elementos de las estructuras metálicas, es indudable que este sistema de unión no ha entrado aún dentro del campo de absoluta aplicación práctica, sobre todo en aquellas de dichas estructuras que, como los tramos metálicos para ferrocarril, deben sufrir esfuerzos dinámicos de consideración.

Es sabida la importancia creciente que actualmente se concede a los esfuerzos dinámicos en el estudio de los tramos metálicos para ferrocarril, importancia que nace de la imposibilidad que hay de someter a normas de cálculo definidas y precisas los múltiples motivos y causas que, originados por las sobrecargas móviles a velocidad, determinan y producen verdaderos *estados anormales* en la estructura de que se trate, cuyos esfuerzos unitarios reales difieren considerablemente de los establecidos por el cálculo, motivándose, con esa diferencia, la aparición del *esfuerzo secundario*, cuya comprobación práctica justifica su existencia indiscutible.

No corresponde a este trabajo un estudio de todas y cada una de las innumerables causas que pueden influir en la aparición de dichos esfuerzos secundarios.

Sólo queremos llamar la atención sobre un detalle de las estructuras que puede ser de importancia decisiva en la producción o aparición de dichos esfuerzos, cual es el roblonado entre sí de sus diversos elementos.

Pero aún queremos establecer otra aclaración sobre este asunto, y es la referente al doble aspecto con que el roblonado de una estructura puede originar dichos esfuerzos secundarios.

Uno de dichos aspectos corresponde, como es sabido, a la disimetría geométrica con que se encuentran distribuidos los roblones de un nudo respecto al eje teórico o línea del esfuerzo principal de la pieza cosida.

De esta forma pueden originarse, principalmente en los nudos, pares de flexión parásitos que tendrán, desde luego, mayor o menor importancia, según que el otro aspecto de la cuestión, que es el que interesa a nuestro estudio, tenga, a su vez, más o menos preponderancia; este segundo aspecto es el referente a la ejecución práctica del roblonado.

Ambos aspectos están íntimamente ligados entre sí, pero desde luego es la defectuosa coincidencia de ambos la que puede crear una situación de peligro que debe evitarse, por todos los medios, en las estructuras metálicas.

Fácilmente se deduce, a primera vista, que el aflojamiento de un roblón, o serie de roblones, puede ser

debido a un defecto de construcción; pero también es indudable que ese aflojamiento será más intenso o más rápido si en el nudo de que se trata tienen los aludidos roblones una disposición inadecuada que motiva la aparición de esfuerzos en dicho nudo para los que tales roblones no fueron previstos; el resultado será la aparición de un esfuerzo secundario *local* que puede determinar o exacerbar la producción de otros más generales a la estructura, todo ello de un peligro evidente.

Recíprocamente, la especial situación de un nudo en el que otras piezas que se crucen, o la posición del mismo respecto al conjunto de la estructura, creando dificultades de alguna importancia para asegurarnos la bondad de ejecución material de todos o varios de los roblones de ese nudo, sobre todo en el montaje, puede originar también puntos débiles o zonas escasamente protegidas que, en resumen, merman las buenas condiciones de utilización de la misma por ese solo motivo, es decir, que se originen esfuerzos secundarios, cuya aparición nos demuestra la importancia que debe concederse a obtener un roblonado perfectamente ejecutado, sobre todo en la fase más delicada de toda estructura metálica, es decir, en su montaje.

El objeto de esta nota es detallar algunos puntos de vista sobre el diámetro de los roblones de las estructuras metálicas, en especial de tramos para ferrocarril, deducidos de un estudio práctico de esta cuestión.

Ideas sobre el roblonado

En el estudio teórico del roblonado, si bien en algunos casos se considera el esfuerzo que puede proporcionar la resistencia al arrancamiento de la cabeza y la compresión que en los elementos cosidos determina el roblón al enfriarse, lo más general es exigir a los roblones una adecuada resistencia al esfuerzo cortante, puesto que se aceptan en los nudos cargas totales dirigidas según los ejes teóricos de las piezas que al citado nudo concurren, suponiéndose que dichas piezas quedan articuladas y que todas las fuerzas exteriores e interiores que las solicitan están situadas en el plano de la estructura.

Efecto de las ideas apuntadas son las normas teórico-empíricas que se han seguido y siguen para fijar el diámetro de los roblones, sin tenerse presentes las *dificultades de elaboración*, que ya de por sí marcan una norma importante que debe tomarse en cuenta para garantizar la *eficacia* del roblonado.

El roblonado establece de hecho un empotramiento, que a sabiendas no se calcula, por la dificultad que hay de valorar los pares que crea tal empotramiento, y además porque, como consecuencia del pandeo de las piezas y la deformación de la estructura, se desarrollan fuerzas normales al plano de la misma, creándose, en definitiva, en el nudo de que se trate un estado elástico

¹ Trabajo presentado al Congreso Internacional de Construcciones metálicas (Lieja, 1930).