

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE MAYO DE 1888.

4.ª Serie.

Tomo 6.º

Número 9.º

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Puente sobre el Hudson (Río del Norte) (conclusión).—Faros. Aparatos lenticulares, por D. Francisco Lizárraga (conclusión).—Puentes metálicos, por D. Joaquín Pano (conclusión).

PUENTE SOBRE EL HUDSON (RIO DEL NORTE) EN NEW-YORK

(Conclusión.)

IV.—TABLERO.

Esta parte del puente se halla colocada lo más baja posible, y las viguetas transversales de suelo van colgadas por dos puntos intermedios (figura 7.ª) de un travesero superior, hallándose cada dos de éstos separados entre sí 7^m,50 y referidos por medio de tirantes á dos largueros longitudinales, que se hallan suspendidos de cincuenta en cincuenta metros de los arcos formados por los cables y armadura de celosías.

El conjunto de estas armaduras transversales está destinado á resistir, en combinación con los cuatro cables tensores, dos superiores y dos inferiores, la acción de los temporales y ciclones.

Las viguetas del suelo obran como arriostrado de los cables tensores inferiores, y la armadura superior produce idéntico efecto para los cables de su mismo nombre, pudiendo decirse que es tal la distribución de las distintas partes de la obra, que con excepción de los largueros, soportes de la vía y cables tensores, no hay parte alguna que no efectúe en distintos momentos un doble trabajo, por más que siempre aparezcan perfectamente proporcionados para cada objeto.

Las péndolas que sostienen los largueros desde los arcos invertidos, se hallan formadas por cables de alambre revestidos de una envoltura del mismo material, presentando el conjunto un diámetro de quince centímetros.

Los largueros en que se apoyan las vías tienen forma cóncava, conteniendo cada uno un carril de gran sección, que descansa sobre una pieza de madera preservada para amortiguar con ella la acción de las ruedas sobre las piezas del tablero, que son todas metálicas; los rebordes levantados evitan los descarrilamientos. Entre los largueros, y ocupando todo el ancho del puente, se halla extendida una fuerte red de alambre de mallas, suficientemente unidas para que se pueda andar sobre ellas, y bastante reforzadas para sostener un tren descarrilado, resultando así un piso más ligero que si fuese de madera, y con la doble ventaja sobre éste de no retener el agua llovodiza ni las nieves, y no presentar resistencia la acción del viento cuando obra de arriba á abajo ó viceversa.

V.—SOPORTES DE LOS CABLES EN LAS TORRES.

Los mecanismos de apoyo de los cables no son fijos en absoluto, sino que se hallan dotados de movimiento, viniendo á constituir unas plataformas oscilantes, de tal modo (figuras 9 y 10), que cuando un cable tiende á descender más que el otro, este último reacciona y lo eleva hasta que los dos se hallen sometidos á igual tensión. La reacción de cada cable, solo por el peso muerto, es de 7.500 toneladas, pudiendo deducirse de esta cifra las enormes proporciones del conjunto. La sección de los cables varía de forma cerca de las torres, de circular en aplastada; con objeto de presentar más superficie de apoyo en los cojinetes destinados á recibirlos, alcanzándose también con esta reducción del diámetro vertical de aquélla, que con los cambios de temperatura permanezcan los alambres en los cables igualmente tirantes en cuanto sea posible.

Los cojinetes se apoyan en esferas de acero fundido, que son preferibles á los rodillos, puesto que con estos últimos la más mínima desviación de la resultante de los esfuerzos, con respecto á la dirección normal al eje de los mismos, aumenta de un modo considerable los rozamientos. Estos cojinetes pueden desplazarse en la plataforma con independencia de su movimiento oscilatorio.

Los esfuerzos laterales producidos por el pandeo de los cables se contrarrestan por medio de un arriostrado especial entre los cojinetes correspondientes á ambos cables, extendiéndose de una torre á otra, y contenido el conjunto en una vasta cámara de $21^m \times 10^m \times 10^m$, situada en la parte más alta de las torres y en el cornisamento que se desarrolla entre ellos. Estas cámaras están defendidas de la intemperie y del directo acceso de las lluvias, y todas sus partes están dispuestas de tal modo que permitan fácil y cómodo acceso para inspeccionarlos y pintarlos.

VI.—CONSTRUCCIÓN Y DETALLES DE LOS ARCOS FORMADOS POR LOS CABLES.

A primera vista parece impracticable el construir arcos atirantados de cables de alambre, en atención á las dificultades que deben surgir al tratarse de efectuar su unión con los elementos de la celosía que los enlaza, máxime si se tiene en cuenta que en determinadas circunstancias, sobre algunos tramos de la celosía, gravitarán cargas que alcanzarán la cifra de 400 toneladas, de lo cual se desprende que las uniones de referencia no pueden hacerse siguiendo los procedimientos ordinarios.

Por lo que respecta á los cables de alambre, de dimensiones tan considerables, á más de las grandes dificultades que presenta su construcción, se hallan expuestos á que los alambres, desigualmente influenciados por la acción del sol, según que se hallen en la superficie de aquél ó en su interior, sufran desiguales dilataciones, de las que resultan expansiones irregulares. Tanto es así, que antes que las viguetas del puente de Brooklyn se suspendiesen de los cables por medio de las péndolas, las piezas destinadas á fijar éstas á aquél, en un día de sol muy fuerte, giraron en un ángulo de 30° de la mañana á la noche, demostrando la existencia de esfuerzos desiguales, producidos por la falta de uniformidad en la dilatación de los alambres.

No es suficiente protección para los alambres el revestirlos con una capa de pintura, puesto que el agua llovediza en las ciudades se halla siempre más ó menos cargada de ácidos tomados á la atmósfera, pudiendo decirse otro tanto por la proximidad de los mares, como sucede en el caso actual, que también suministran ciertas sales; y esta acción, unida en el transcurso del tiempo á la de los pesos que sobre el puente gravitan y á la de las vibraciones, son causas de que el cable, más tarde ó más temprano, se degrade y afloje. Tampoco da buen resultado apelar á la galvanización, recubriéndolo de una ligera capa de zinc, pues sabido es que por poco que ésta se oxide, se forma en presencia del agua acidulada de la atmósfera de que hemos hecho mención, un par voltáico que produce una activa córrosión del metal que se trata de proteger. Es muy difícil evitar á los materiales esta degradación durante la ejecución de las obras, y da mejores resultados revestir los metales de una sencilla capa de aceite de linaza, que pintarlos ó galvanizarlos, por lo que una vez terminado el cable, lo mejor es aislarlo por completo del contacto del agua. A este efecto se propone recubrirlo, todo él, de una sólida envolvente de acero de tres milímetros de espesor; y para evitar que el cable experimente desiguales temperaturas, se dispone la envolvente de tal modo, que exista un espacio de cinco centímetros entre ella y el cable que protege.

La sección de los cables puede verse en detalle en la figura 11, y representándose al mismo tiempo en la figura 12 una sección del cable del puente de Brooklyn, para establecer la comparación entre ambos.

Los alambres que forman un cable se hallan agrupados en distintos ramales para el mejor manejo de los mismos durante los trabajos, y dispuestos en las torres de tal manera, que se puede obtener un perfecto ajuste y tensión de los mismos, siendo las principales condiciones que fija el autor del proyecto, acerca de los detalles de construcción, las siguientes:

1.^a Fabricar los cables en el emplazamiento con independencia de las condiciones atmosféricas, no interrumpiéndose la obra, ya sea el tiempo frío ó caluroso, seco ó húmedo.

2.^a Efectuar el ajuste de los alambres en curvatura y longitud bajo una permanente tensión, igual á la máxima que soportará el puente cargado.

3.^a Fijar á cada alambre la misma posición en el cable, de amarre á amarre y á través de todos los varios hilaces.

Después de haberse colocado el cable, su sección se divide en cuatro cuadrantes, entre los cuales se colocan cuñas de hierro fundido de grandes dimensiones (figura 16). Por medio de un aparato compresor, capaz de ejercer una presión de 700 toneladas y que se coloca sobre los alambres para comprimirlos contra las cuñas, se forma una depresión, en la cual se colocan las abrazaderas del cable. Los dados que deberán verificar la compresión tendrán una cara de 25 centímetros de lado, y cuando los alambres se hayan comprimido sobre las cuñas, se efectuará á ambos lados de aquéllas una atadura con alambre arrollado en espiral, en un espesor de ocho centímetros. Una vez hecho lo que se acaba de indicar, se separa el aparato compresor, y el espacio que ocupaba se rellena é iguala con alambre arrollado á una gran tensión; y para evitar que los alambres sean forzados entre las cuñas, se propone establecer planchuelas delgadas de hierro, dispuestas á ángulo recto entre los alambres y las cuñas. Si en este caso se aplican abrazaderas como mecanismos de suspensión, aun cuando fueran del mejor acero forjado, se romperían infaliblemente con sólo el peso muerto que deberían soportar, y por esta razón se ha apelado al sistema especial siguiente (figuras 13, 14 y 15). Sobre la capa de alambre arrollado, que se presenta bajo la forma cóncava, dada la compresión efectuada en aquella parte, se colocan unas abrazaderas de acero fundido, compuestas de dos partes que se recubren en los bordes mutuamente; estas abrazaderas llevan reborde en sus extremos, y ambas mitades se unen entre sí por medio de alambre arrollado en el espacio reservado al efecto, y sobre esta envolvente de alambre se coloca una delgada placa de hierro con el doble objeto de evitar que se desarrolle el alambre y defender á este último de la intemperie.

En la parte central de estas abrazaderas de acero se hallan colocados los anillos de suspensión de las celosías, que se componen también de dos partes y se adaptan á las abrazaderas, soportando cada uno un medio muñón, que se complementa con el del otro semi-anillo y que se unen por medio de tuercas, á más de estar ya enlazada por la pieza de ojo en que terminan las barras ó elementos de las celosías. Este anillo de suspensión es menos ancho que el espacio que media entre los rebordes de las abrazaderas, y tiene sus caras oblicuas para que correspondan á los rebordes, obedeciendo esta disposición á la necesidad de que estas uniones se efectúen con esmerado ajuste, pues de ellas depende el montaje definitivo de las celosías. Los rebordes de las abrazaderas encajan en los de la envolvente de acero, que como ya he dicho anteriormente, protege al cable de tal manera, que el agua llovediza no puede introducirse en las piezas, por más que las dilataciones y contracciones de la última no sean iguales á las del cable, pues ha provisto este caso dando expansión á la parte mencionada.

La división del cable en cuatro elementos presenta la ventaja de que las temperaturas son más uniformes á través de su sección, bajo esta forma, que si correspondiese á la total del cable, permitiendo también el acceso para el recorrido y pintado, puesto que la envolvente puede retirarse y colocarse con facilidad. A cada tres metros de distancia, aproximadamente, los cables se hallan sujetos con fajas de hierro, y con tacos de madera se consigue que los cuatro ramales del cable se hallen separados y paralelos entre sí en el espacio que media entre cada dos abrazaderas.

VII.—SISTEMA DE ARCOS EN CELOSÍA.

No es indiferente la elección del sistema de construcción de los arcos invertidos para el puente, debiendo adoptarse aquel que en igualdad de circunstancias requiera menor peso de metal, siendo el mejor en el caso que nos ocupa, el sistema doble triangular, no sólo por el concepto indicado, si que también en atención á la gran rigidez que presenta comparado con los sistemas compuestos de elementos sujetos á esfuerzos de compresión y extensión. Todas las partes del sistema triangular doble se hallan sometidas á esfuerzos de extensión, actuando sobre ellos sólo el peso muerto, lo cual es garantía de rigidez. Los elementos son todos de la misma longitud, lo cual simplifica y abarata la manufactura del material, y deben hallarse calculados para resistir, tanto los esfuerzos de extensión como los de compresión, producidos estos últimos por las sobrecargas accidentales, reuniendo, además, á la vez que buen aspecto y ligereza, resistencia y cohesión.

La forma conveniente para los cables, en vez de ser circulares y concéntricos, es la de circulares, del mismo radio y colocados paralelamente uno encima de otro; en este caso la longitud de todos los elementos verticales es la misma, y sólo varía el de los arriostramientos oblicuos de un panel á otro, teniendo este sistema la ventaja de que para cualquiera deformación de la curva de los cables dichos elementos verticales conservan siempre, sin hallarse forzados, la misma disposición, y tan sólo los oblicuos exigen algún huelgo en el ajuste.

Esta disposición es racional para arcos en que el pandeo alcance ó pase de $\frac{1}{10}$ de la luz, pues para ellos la adopción de la forma parabólica daría lugar á considerables momentos de flexión. Los cables, unidos solamente por los elementos verticales durante la construcción, toman la forma de equilibrio, que permite aportar definitivamente dichas fuerzas; y por lo que respecta á los arriostramientos oblicuos, se sigue el procedimiento que vamos á indicar: Tanto los anillos de suspensión del cable superior como los del inferior, y alternativamente se van dejando ajustados ó flojos, y á continuación se suspende el tablero de los arcos á la altura conveniente por medio de las péndolas. Desde luego se comprende que uno de los anillos inferiores, que se ha dejado flojo, deslizará mientras se lo permitan los rebordes de las abrazaderas de acero de que ya se ha hablado, y como consecuencia, todo el peso que gravite sobre el elemento de la doble celosía, se referirá al anillo fijo del cable superior, sin que el inferior, aflojado, sufra esfuerzo alguno ó sólo insignificante; lo contrario sucederá para el elemento siguiente de celosía á que corresponda el anillo sin ajustar en el cable superior y el fijo en el inferior, obteniéndose así, como resultado, la posición definitiva de equilibrio, y que ambos cables queden igualmente cargados. Si existiese alguna diferencia, quedaría compensada por el mecanismo de la plataforma oscilante, que ya conocemos, y como complemento, se aprietan todos los anillos y quedan los cables libres de momentos de flexión iniciales. El movimiento de giro de anillos, antes de ajustarlos al cable, evita los esfuerzos de torsión que inevitablemente ocurrirían al pasar el cable, de su posición, en un plano vertical, á la inclinada definitiva.

A primera vista, en esta clase de obras, no parece tan transcendental que exista alguna pequeña deferencia en la longitud de los cables, dado su enorme desarrollo; pero en realidad, en este puente, una diferencia de un centímetro á la de dos cables superpuestos, da otra de 6 centímetros; en la distancia que los separa en la mitad del tramo, lo cual causaría deficiencias en la longitud de las fuerzas del atirantado, siendo indispensable, por lo tanto, observar el mayor esmero en la construcción y una inspección incesante de todos los detalles.

VIII.—PRECAUCIONES QUE DEBEN OBSERVARSE CONTRA VIENTOS Y TEMPESTADES.

Es indispensable, al tratar de la construcción de puentes de tan grandes dimensiones, tener muy en cuenta la poderosa acción de los temporales sobre ellos, por más que un ciclón en su movimiento de desplazamiento rara vez ejerza toda su acción en una faja mayor de un kilómetro de ancho, y por lo tanto, afectar á la vez todo el puente; á más de que éste se compone de elementos que presentan poca superficie, pues los que mayor la tienen son los cables, y de forma convexa, que como es sabido, se halla más defendida de esta clase de acciones que las cóncavas ó planas.

Los arcos de cables presentan en esta obra un pandeo del $\frac{1}{10}$, que no es suficiente para contrarrestar la acción del viento, por más que esta disposición aumente su estabilidad; y lo que neutraliza por completo las flexiones laterales es la resistencia combinada producida por el pandeo de los cables y por los cables tensores. Estos se hallan dispuestos de tal modo, que al obrar enérgicamente el viento en un costado del puente, los dos tensores de este lado tienden á ceder, presentando su concavidad á la acción de aquél; pero reaccionando sobre el extremo de los del lado opuesto, se aumenta su rigidez, resistiendo el conjunto al desplazamiento lateral sin necesidad de arriostramientos que refieran los elementos de los tensores de un lado á los del opuesto, bastando únicamente la unión que tienen con el tablero y con uno de los cables principales. Estos cables tensores, en número de cuatro, tienen 32 centímetros de diámetro, y se hallan compuestos de cuerdas de alambre retorcidas, siendo lo original en su disposición que se hallan siempre tensos, presentando una resistencia equivalente á los $\frac{2}{3}$ de la mayor acción que los temporales puedan ejercer sobre el puente. Los cables de sujeción ordinarios, usados hasta la fecha en todos los puentes colgados, el de Brooklyn inclusive, se hallan fijos por sus extremos; de modo que si por una disminución de temperatura se contraen los elementos metálicos del puente, los vientos sujetos á un aumento de tensión se hallan muy estirados; y, por el contrario, si el metal se dilata con las altas temperaturas, los vientos cuelgan sin producir tensión alguna; de modo que así no es posible evitar los movimientos iniciales que puedan producirse en el conjunto del puente, efecto que se pronuncia más con la circunstancia de que, siendo aquéllos también metálicos, aumentan de longitud sensiblemente también con la temperatura.

Los cables tensores (figuras 17 y 18) se desarrollan de amarre á amarre alrededor de las torres y por encima del tablero, presentando en este punto la mayor curvatura posible en un plano horizontal; frente á las torres dichos cables se adelgazan y ensanchan, hasta tomar la forma de una tira

de una sola cuerda de espesor, y ejerciendo su presión sobre poderosos rodillos de eje vertical, que combinados por un juego de palancas, transmiten el esfuerzo de los cuatro tensores á una sola suspensión, de la cual cuelga libremente un contrapeso D de 100 toneladas en cada torre, y que produce una tensión de 1.500 toneladas en cada cable. Fácil es prever el modo de obrar de este sistema, que por sí sólo produce una tensión constante, dispuesta á reaccionar tan pronto se ejerza una acción lateral sobre el puente, y que además aumenta la estabilidad del tablero con un considerable peso, cuyo centro de gravedad es bastante inferior al conjunto del puente entre las torres.

Por lo que respecta á la acción de un ciclón de abajo á arriba (considerada como la más peligrosa para estas obras) se halla suficientemente contrarrestada por el peso considerable de la obra, por la rigidez de los arcos armados y demás piezas componentes del puente, y también por la tensión permanente de los cables tensores. En este caso, el viento, que halla libre paso á través de la red de alambre del piso, obraría sobre los largueros, traveseros y aspas, presentando el conjunto mucha menos superficie á aquella acción, que la que encontraría el viento al impulsar lateralmente toda la obra.

(Traducido de la Revista *Engineering News and American Railway Journal*.)

FAROS

APARATOS LENTICULARES

(Conclusión)

En las condiciones normales todos los prismas refractantes, menos dos, así como todos los prismas catadióptricos inferiores, dirigen hacia el horizonte la mayor parte de su luz; pero los prismas catadióptricos superiores la dirigen con una inclinación, que va creciendo desde el más bajo hasta el más alto.

Esta distribución se adapta perfectamente á las condiciones referidas, porque los rayos de menor intensidad van dirigidos á los puntos menos distantes. Los dos prismas inferiores del tambor, en los que tiene lugar la mayor refracción, aunque más alejados del plano focal horizontal que ninguno de los prismas superiores, no ocupan por esto una posición menos favorable, si se tiene en cuenta las pérdidas de luz debidas á la refracción, á las superficies y á la dispersión, puesto que están destinados á dar una