

MADRID 15 DE JUNIO DE 1866.

TOMO XIV.

NÚM. 12.

PUENTE DE PRADO

SOBRE EL RIO PISUERGA, EN VALLADOLID.

(Lámina 59.)

En el número 10 de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, del año próximo pasado, se anunció el resultado satisfactorio de la prueba del puente de Prado sobre el río Pisuerga, en Valladolid. Imperdonable omisión sería guardar por más tiempo silencio acerca de esta importante construcción, primera quizá que de este sistema se ha hecho en España, y digna de llamar la atención por la dimensión del claro que salva, no diremos excepcional, pero sí de los mayores que se conocen en los ríos de nuestro país. Animados, pues, del deseo de dar á conocer á nuestros compañeros, siquiera sea imperfectamente, ciertos detalles de tan esbelta cuanto interesante obra, haremos una descripción del proyecto, insertaremos en seguida algunos apuntes tomados durante su construcción, y daremos cuenta, por último, de los resultados de la prueba ó ensayo verificado para asegurarse de su estabilidad.

PROYECTO.

La idea de construir un puente sobre el Pisuerga en el emplazamiento que ocupa el que acaba de terminarse, data desde 1851; varios fueron los proyectos que al efecto se formaron, y varias las vicisitudes que ha atravesado la realización de las obras, que, emprendidas en Octubre del año 1852, se suspendieron por completo en 1854, cuando ya estaban concluidos los estribos, y en tal estado han continuado hasta que este expediente pasó á la Comisión de estudio de puentes de hierro, que en aquella época existía, compuesta de los Ingenieros D. Lucio del Valle, D. Victor Martí y D. Angel Mayo.

Como datos preliminares para la formación del proyecto, se remitió el plano y perfil de emplazamiento, en que aparecían los estribos construídos hasta una altura de 19 metros sobre el fondo del cauce del río Pisuerga, y la distancia entre sus paramentos de 67,70 metros, que es la luz actual del puente; las avenidas ordinarias toman una altura de 6,84 metros y las más extraordinarias, como la que tuvo lugar en 1860, se elevan á la considerable de 16 metros, con lo que la rasante en la horizontal de la coronación de los estribos se halla elevada tres metros sobre el nivel de las mayores avenidas. Estas

cifras, en sentir de la Comisión, excusaban toda comparación entre el sistema de puentes de fábrica y los de hierro, y hacían decidir la elección en favor de este último material; restando únicamente conocer cuál es el mejor sistema que conviene adoptar entre los varios de hierro, que permiten salvar el río con un solo tramo, que es la condición esencial á que ha de satisfacer la obra.

Decía la Comisión en la Memoria del proyecto que cuando se presentó el primero para esta obra, que fué el de un puente colgado, no se había formado de este sistema de construcción la idea que de él se tiene hoy, ni se había propagado y generalizado el empleo del hierro elaborado de otro modo, y combinado y empleado en condiciones distintas; y así es que el puente sobre el Pisuerga se proyectó desde luego colgado, como el único sistema que entónces reunía condiciones ventajosas para salvar grandes espacios sin necesidad de apoyos intermedios.

Estos puentes, formados por un tablero suspendido por medio de péndolas verticales, rígidas ó de cuerda de alambre, de dos ó más grandes cables de alambres también ó de eslabones de hierro, ofrecen la ventaja de que todas sus partes principales por su disposición resistan solo á esfuerzos de tensión, y que aumentando la flecha de los cables pueda llegarse á obtener para cada luz ó longitud de puente la sección misma suficiente para la resistencia necesaria: de lo cual resulta que estos puentes son muy económicos respecto á los que se ejecutan por otros sistemas. Pero estas ventajas no compensan los graves inconvenientes que presentan los puentes colgados: el peso de los carruajes ó de cualquiera clase de sobrecarga se trasmite por una ó más péndolas á un punto ó á una longitud reducida de las cadenas que sostienen todo el peso de la construcción, las cuales por su flexibilidad ceden más ó menos á la acción de cualquier carga accidental, se deforman, permiten que el tablero tome una flecha que llega á ser considerable cuando el peso del vehículo es grande, y se producen con su movimiento y la falta de rigidez del sistema una serie de vibraciones que, según sea la índole é intensidad del movimiento por el puente, y el estado de los cables, puede determinar su rotura, como en varias ocasiones ha sucedido, causando en algunas espantosas desgracias.

Estos inconvenientes existen siempre, aun en el caso de que el puente esté perfectamente construído, sus materiales sean de superior calidad, y su estado el más satisfactorio; pero aumenta prodigiosamente su gravedad, y es tanto más temible una catástrofe cuando falta alguna de dichas condicio-

nes. Si la construcción se halle llevado á cabo sujetándose exageradamente á la condición de la resistencia límite; si todos los elementos que constituyen los cables y las péndolas no han quedado con igual tensión; si el material de alguna de las piezas del puente tiene algun defecto, propio de su naturaleza ó de su preparación; ó si, por último, existe cualquiera otro defecto en este sistema, que carece de rigidez y es susceptible de tan peligrosa movilidad, son seguras las probabilidades de un accidente desgraciado en un plazo más ó menos largo, y desde el momento que puede presentarse una causa ó un concurso de circunstancias que lo determinen.

Los puentes colgados, por último, ofrecen el inconveniente de transmitir á la fábrica de los estribos un esfuerzo en sentido horizontal muy considerable, que obliga á ejecutar un gran cubo de fábrica, á fundarlo con excelentes precauciones, y á darle, en una palabra, las mejores condiciones de estabilidad posibles, lo que es costoso en la mayor parte de los casos, en los cuales por punto general el terreno no ofrece circunstancias ventajosas para este género de construcciones. Los inconvenientes de que se acaba de hacer mérito, y que han dado origen á tan repetidos accidentes, han hecho abandonar casi por completo la adopción de los puentes colgados como sistema general de construcción, siendo solo aplicables á casos escepcionales, y sustituyéndose con notables y decisivas ventajas en la generalidad de los casos por los puentes fijos de hierro.

La Comisión, añadia, no ha titubeado en desechar el sistema de puente colgado para el caso que es objeto de esta Memoria, ni se ha atrevido á estudiar dentro del mismo sistema una disposición que evitara el mayor de sus inconvenientes, la falta de rigidez y trasmisión del efecto producido por las cargas accidentales á puntos determinados del sistema. No hay duda que una combinación de péndolas rígidas inclinadas, formando una celosía, distribuyen las cargas más uniformemente que las verticales; esta aquí empleadas; y que á los cables de cadenas ó de alambre pueden substituirse cintas de hierro de forma y dimensiones convenientes para que no sufran variaciones en sentido vertical; pero la Comisión opinaba que por una parte desaparece así la economía en el gasto, que es una de las circunstancias que han recomendado los puentes colgados; que por otra se acerca este sistema al de puentes fijos en arco, sin alcanzar todas sus ventajas, debiendo por consiguiente ser estos preferidos; y por último, que no es prudente admitir un sistema cuya bondad teórica puede discutirse, y cuyos buenos resultados prácticos no ha consagrado la experiencia: la Comisión, en consecuencia de cuanto se lleva espuesto, dedicó exclusivamente su atención á los puentes fijos de hierro.

No aceptó tampoco el pensamiento de construir un puente de fundición: la luz de 67.70 metros del puente de Prado obligaba á emplear los cuchillos en forma de arco, ya fuesen formados de dovelas ó ca-

jas huecas, compuestas de bastidores más ó menos reforzados, unidas las dovelas entre sí por medio de tornillos, ó bien formando dichos cuchillos curvos, segun alguna de las disposiciones más generalmente adoptadas. Sea cual fuere la disposición elegida, el arco resulta sujeto á una fuerza de compresión en su parte superior, y en la inferior á una de tensión, á la cual no resiste la fundición con ventaja, reuniendo además el inconveniente de transmitir á los estribos un gran esfuerzo en sentido horizontal; y por último, la naturaleza misma de la fundición presenta el inconveniente de estar espuesto al efecto de causas que pueden determinar su rotura, sean aquellas naturales, provenientes de la calidad del mineral, de la mayor ó menor perfección de la fundición, y de la manera cómo esta haya de obrar, ó bien de accidentes producidos por la mano del hombre.

Por otra parte, la forma adoptada para las piezas de fundición influye de una manera muy directa en las buenas condiciones de la fusión; es generalmente sabido que, á igualdad de todas las circunstancias, la bondad de una pieza de fundición depende de la uniformidad con que se verifica su enfriamiento; y como para esto es preciso acercarse cuanto sea dable á la igual de espesor en toda la pieza, y esto no sea generalmente posible en las de magnitudes algo considerables, destinadas á grandes resistencias, como han de suceder comunmente en las que entran en la composición de los cuchillos ó formas de los puentes, resulta de esta circunstancia una nueva causa que disminuye las garantías de la confianza que pueda tenerse en los puentes de fundición.

Al tomar en consideración el menor coste del hierro colado respecto al forjado, no debe olvidarse tampoco que la menor resistencia que aquel ofrece obliga á emplear mayor cantidad de material, y la economía que á primera vista podría parecer considerable viene á reducirse á bien poca cosa. De lo expuesto, como resultado principal del examen detenido que de este punto hizo la Comisión, y á pesar del buen resultado que han dado los grandes puentes de Coalbrookdale, de un solo tramo de 37 metros de luz, de Southwark, de tres tramos, los dos laterales de 64 metros y el central de 73; el puente sobre el Nera en San Petersburgo, de siete arcos, cuyas luces varían entre 32,60 y 47,50 metros, y algunos otros igualmente dignos de atención, opinó que la fundición es inferior por punto general al hierro para la construcción de puentes, y que desde luego no debe, en el estado actual de conocimientos, emplearse para salvar las grandes luces, para las cuales el hierro forjado presenta soluciones en todos conceptos más ventajosas; y que solo puede haber razón para emplear la fundición en los puentes de reducida magnitud, sin que aun en estos la ventaja decisiva esté en su favor.

Consecuente con estos principios, y siguiendo el ejemplo que ofrezcan las más notables y generalizadas construcciones de este género, la Comisión se fijó definitivamente en los puentes de palastro, dedicando sus estudios á la elección del sistema que

para el caso presente reconociese más ventajoso.

La Comisión manifestaba que había estudiado las condiciones de los puentes tubulares, de los de celosía, de los de cuchillos curvos de hierro, los de arco atrantado, conocidos con la denominación Bow-String, y de plancha de palastro de doble T: desde luego se convenció que este último sistema no era aceptable para el caso presente, porque la considerable luz del puente exigía para las vigas bastante altura, con cuya condición la rigidez de la plancha vertical solo podía obtenerse con el empleo de gran número de servicios de T, lo cual, junto con el crecido espesor que hay que dar á la plancha vertical, representa una cantidad de hierro de mucho coste, que puede invertirse con más ventaja en otro de los sistemas ántes expresados. Por otro lado, debiendo situarse el piso en la parte inferior de las vigas, porque no es conveniente levantar la rasante, el pasar por el puente sería atravesar entre dos paredes cerradas sin que por los costados pudiera extenderse la vista á más dilatado horizonte que el del ancho del puente: estas consideraciones decisivas para la Comisión, la inclinaron á desechar para el caso presente este sistema.

Los grandes puentes tubulares formados de paredes verticales de palastro, unidos en su parte inferior y superior por cuerpos formados de una serie de tubos ó celdas longitudinales solidariamente unidas entre sí, y á los costados del puente, colocando su piso en la parte inferior, ofrecían los inconvenientes ántes indicados, y sobre todo no tenían aplicación al caso presente, porque aunque la luz de 67,70 metros es ya muy notable, no es sin embargo tan grande que este sistema ofrezca las mismas ventajas, y tenga en este caso tan conveniente aplicación como en puentes tan excepcionales como el de Menay.

Las vigas ó formas tubulares tienen el gran inconveniente de no poderse reconocer, pintar y reparar fácilmente por su parte interior, y las mayores dificultades que ofrece el unir á ellas las traviesas. Se considera generalmente vencida esta dificultad cuando un muchacho ó un jóven pueden entrar en los tubos, y esto podría sin duda verificarse en los que se proyectasen para el puente de Prado; pero si esta facilidad se compara con la que ofrecen otros sistemas, en los cuales el Ingeniero y sus subalternos pueden reconocer sin dificultad alguna todas las partes del puente, y en los cuales el pintarlos, recorrerlos y repararlos puede hacerse sin obstáculo alguno, se vé que bajo este punto de vista es siempre desventajoso el sistema de vigas tubulares, aunque respecto á las condiciones de resistencia ofrezca notable seguridad, si bien esta se alcance á expensas del empleo de mayor cantidad de hierro.

Los puentes formados de cerchas curvas de hierro, como piezas principales para que sobre ellas se apoye el piso ó tablero del puente directamente en la parte superior de los arcos, y por medio de piezas diversamente combinadas en los tímpanos, no pueden aplicarse al caso presente, porque la gran altu-

ra que toman las avenidas más extraordinarias obligaría á colocar los arranques de los cuchillos ó formas curvas de manera que la rasante del puente resultaría excesivamente elevada. Por esta razón, á pesar de que el sistema es muy admisible, no puede aplicarse al puente de Prado, en el cual no puede alterarse el nivel de las mayores avenidas, ni el de la rasante de la vía.

Las vigas del sistema Warren, bajo el aspecto científico, nada dejan que desear: sencillez suma en su disposición, y facilidad y exactitud en la determinación de los espesores que á cada pieza corresponden, según el sentido y la intensidad de los esfuerzos á que han de resistir; pero bajo el aspecto práctico tienen el gran inconveniente de que un solo perno es la principal y casi única unión de cada dos piezas inclinadas con el arco superior y con el tirante inferior; y aunque el diámetro de estos pernos puede calcularse de manera que tenga resistencia sobrada para contrarrestar con ventaja las fuerzas que sobre él obran, en el caso desgraciado de que alguno tenga un defecto interior que no haya podido notarse, ó que sobrevenga un accidente extraordinario que determinase su rotura, como faltando el perno principal de cada punto de unión, los pocos roblones que á su alrededor se colocan pueden ceder también, es temible la ruina de la obra mejor calculada. Si á esto se une el que, á pesar de las ventajas teóricas de esta disposición, no se ha generalizado su adopción, y por consiguiente, ni la experiencia, ni la opinión general de los grandes constructores no ha venido aun á recomendar la construcción de esta clase de puentes, se deducirá fácilmente que no es prudente admitir este sistema de construcción, pudiendo adoptarse otros que reúnen mejores condiciones.

Quedan, pues, los puentes de celosía y los de Bow-Strings, ambos, como los de vigas rectas tubulares ó de doble T, obran verticalmente sobre los apoyos, lo cual simplifica notablemente su construcción, siendo menor la importancia de las dificultades que ofrezca el terreno para su edificación, permiten, á igualdad de circunstancias, el dejar la mayor sección á la corriente; y ofrecen por punto general, en las demás condiciones á que han de satisfacer los puentes, iguales ventajas que los de los sistemas de que ántes se ha hecho mérito. Son además susceptibles, sin necesidad de salir de sus condiciones ordinarias, de salvar con seguridad la luz que resulta en el emplazamiento adoptado; puede dárseles en ambas disposiciones la resistencia que sea más conveniente á la totalidad del tramo, y á cada una de las piezas que los constituyen; puede disponerse la resistencia de los diversos puntos ó zonas del puente, según sean los diversos efectos que en ellos producen las cargas; y por último, no tienen los notables inconvenientes que en los demás ha observado la Comisión.

Fundada en estas consideraciones, y viendo que se trata de una obra que, si no llega á ser excepcional, es sin embargo muy notable é importante por su magnitud y demás circunstancias, la Comisión

no quiso decidir desde luego de una manera terminante la eleccion del puente, y resolvió estudiar los dos proyectos que presentó, ambos de un solo tramo y de una misma luz, uno de celosía y otro de arco inverso atirantado ó Bow-Strings.

En el primero, las cabezas y las piezas verticales forman una viga de doble *T* aligerada: para unir estas piezas de una manera invariable y resistir á los esfuerzos que tienden á deformar la viga, se emplean las piezas inclinadas que constituyen la celosía: el puente tiene dos de estas vigas ó cuchillos principales. El piso del puente se proyecta apoyándose las traviesas de doble *T* de palastro en la parte inferior de las dos vigas, á fin de no elevar la rasante y dejar el mayor paso al agua en las grandes avenidas; estas traviesas tienen 0,48 metros de altura, y la distancia que separa sus ejes es de 1,05 metros; el piso se proyecta de madera para disminuir la carga permanente, rebajando así la cantidad de hierro necesaria; y no se establecen andenes porque tendrían poca anchura, dejándola el ancho de una vía de primer orden para los carruajes y caballerías. La altura de las vigas ó cuchillos principales es de 5,60 metros, y por consiguiente se atirantan por su parte superior á fin de mantenerlas de una manera invariable en la posicion vertical que les corresponde: las traviesas superiores, que son piezas aligeradas de la forma que en los planos se indicaba, son en número de 18, resultando colocadas á cada 4,20 metros de distancia. No siendo suficiente las piezas que constituyen las vigas para que en su parte inferior sirvan como antepecho ó barandilla, se proyecta una especial por la parte interior de dichas vigas. Por último, la anchura del puente es de 7 metros, contados entre los ejes de las vigas ó formas, y su longitud total es de 1,80 metros, con lo cual resulta para la entrega ó asiento sobre los estribos 2,30 metros por cada lado.

Como varían los efectos de las cargas en las diversas zonas del puente, según sus distancias á los puntos de apoyo, ha de ser también distinta la resistencia que el tramo ofrezca, y por consiguiente han de variar los espesores de las secciones trasversales en unas piezas, ó el número de otras. En un apéndice se presentan las consideraciones y los cálculos hechos para determinar las condiciones de la resistencia del puente. Siendo conocida la teoría de estas construcciones, dando los planos cabal idea del puente proyectado y de la disposición de sus detalles, y exponiéndose en el apéndice lo que es necesario en la cuestión de resistencia y estabilidad, creyó la Comisión excusado entrar en más minuciosas explicaciones, con tanta más razón cuanto que, respecto de algunos detalles, se habrían reproducido las explicaciones que sobre varios puntos se habían dado en las memorias de otros proyectos de la Comisión, que han sido examinados y aprobados. En este puente, según resulta de las dimensiones que á cada una de sus partes se habían asignado, se han de emplear 393 toneladas de hierro, incluidas 4,5 toneladas de fundición para las cajas de rodillos; y el coste total del tramo puesto en obra es de 1,097,001 rs.

El puente del sistema de Bow-Strings se compone, según la Memoria, también de dos vigas ó formas laterales, en arco su parte superior para resistir á la compresión, y en línea recta la inferior para oponerse á la tensión; estas dos cabezas, junto con la parte vertical de las formas, constituyen una viga de doble *T* de altura variable. Las piezas verticales y las inclinadas que forman la parte vertical de la viga unen entre sí de un modo invariable la cabeza curva superior y la recta inferior, y se hallan destinadas, como en el tramo de celosía, á contrarrestarlos diversos esfuerzos que producen el peso propio del puente y las cargas accidentales: además, la cabeza superior se une en sus extremos á la inferior, como se ve en el plano, por medio de dos planchas de palastro, á las cuales se roblonan. Para dar á cada zona del puente la resistencia que le corresponde, además del efecto producido por la forma de la viga, varía la sección de sus dos cabezas y las de las piezas inclinadas que resisten á la tensión, según el resultado deducido de los cálculos del apéndice. El ancho del puente, su piso y la barandilla son iguales al del proyecto de tramo de celosía. La altura de la viga, por ser mayor en el centro que la del otro proyecto, obliga con más razón á emplear tirantes en su parte superior, mientras la altura lo permite, sin obstruir el paso á los coches-diligencias de mayor elevación; proyectándose en consecuencia nueve de dichos tirantes que tienen la misma disposición que los del otro proyecto. El hierro de este puente pesa 340,5 toneladas, y el coste total del tramo puesto en obra es de 991696 rs., según se detalla en el presupuesto.

Ambos proyectos son aceptables porque satisfacen cumplidamente á las condiciones de buena construcción: insisten verticalmente sobre los apoyos sin ejercer en ellos esfuerzo alguno horizontal ó inclinado; las diversas piezas que los componen obran en las mejores condiciones de resistencia; ofrecen la mayor facilidad para ser reconocidos, recorridos ó reparados, presentando además el buen aspecto que también conviene dar á las construcciones de esta importancia. Sin embargo, este segundo proyecto aventaja al del primero en tres condiciones: con menor cantidad de hierro, y por consiguiente con menos peso, por la mejor distribución del material en este sistema tiene igual resistencia que el de celosía; su coste es 105,303 rs. más económico que este; y su aspecto es más bello y de carácter más monumental y más apropiado para una capital tan importante como la de Valladolid. Por estas razones, aunque la Comisión reconocía muy aceptables y convenientes los dos proyectos, dió la preferencia al del sistema de Bow-Strings.

(Se continuará.)

