

MADRID 15 DE JULIO DE 1866.

TOMO XIV.

NÚM. 14.

## PUENTE DE PRADO

SOBRE EL RIO PISUERGA, EN VALLADOLID.

(Lámina 59.)

(Conclusion.)

La idea de los puentes del sistema Bow-Strings (arco atirantado) es debida al distinguido Ingeniero Mr. Brunel, que hizo de ella su primera aplicacion en el puente de Windsor para salvar una luz de 57,25 metros.

El puente de Prado, de este mismo sistema, tiene, como ya hemos dicho, 67,70 metros de luz; está compuesto de dos vigas ó formas laterales, en arco su parte superior para resistir á la compresion, y en línea recta la inferior para resistir á la extension; 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 un tramo de celosia, á contrarestar los 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 por medio de dos planchas de palastro, á las cuales se roblonan; la seccion del arco y del tirante es constante. La altura de 8 metros que tienen las vigas en el centro del puente permite atirantarlas por su parte superior en una cierta longitud, á fin de mantenerlas de una manera invariable en la posicion vertical que le corresponde; se han proyectado en su consecuencia piezas aligeradas, que sirven de tirantes entre los dos cuchillos; la distancia entre estas piezas es de 4,80 metros, y su número el de nueve, que son las que pueden colocarse sin impedir el tránsito á los carruajes ó diligencias de mayor altura. La anchura del puente, contada entre los ejes de las vigas, es de 7 metros; el piso es de madera y está sostenido por piezas trasversales de *T*, distantes un metro y cinco centímetros, cuyas extremidades van sujetas en la parte inferior de las dos formas, ó cuchillos de cabeza, y no siendo bastantes las piezas de que estos últimos están formados para servir de resguardo, se ha colocado interiormente una barandilla de fundicion. La longitud total del puente es de 71,80 metros, con lo cual resultan para la entrega ó asiento sobre los estribos 2,30 metros de cada lado.

Para calcular la resistencia de esta obra, y determinar las secciones de las piezas que han de componer cada viga, se ha deducido del ante-proyecto el peso de hierro que entra en el tramo, que se ha hallado ser de 365 toneladas; de aquí, suponiendo que el peso se halle repartido con uniformidad en todo el puente, se ha deducido el que obra sobre cada metro lineal de las vigas principales, ó sea el valor de *P*, que es necesario introducir en las fórmulas del cálculo, y es de 4.456 toneladas. Con este dato, y la luz, que para evitar fracciones se ha supuesto ser de 68 metros, la ecuacion general de la curva en los momentos máximos es

$$M = \frac{R I}{\sqrt{\quad}} = \frac{P x}{2} (l - x) = 2238 x (68 - x),$$

con la cual se ha podido trazar la curva correspondiente.

Para determinar las secciones, se han hallado los esfuerzos ejercidos tanto en el arco como en el tirante, y dividiéndolos por la resistencia adoptada (5,5 kilogramos por milímetro cuadrado para la compresion, y 6,00 para la extension), se ha obtenido la seccion del arco y del tirante, resultando para la primera 57,167 milímetros cuadrados (90 pulgadas inglesas), y para el segundo 52,403 milímetros cuadrados (84 pulgadas inglesas): la marcha que ha de seguirse en estos cálculos puede verse más detalladamente en la obra «*Traité de la construction des ponts metalliques, par MM. Molinos et Proumier, pag. 87.*» Para poder apreciar hasta qué punto se ha economizado el material en esta misma obra, haremos notar que el puente de Windsor, de este mismo sistema, á que ya hemos aludido, cuya luz es 11 metros menor, y cuya anchura si bien es dos metros mayor que la del nuestro, en cambio comprende tres cuchillos ó formas, circunstancia que favorece la buena reparticion del metal; haremos notar, repetimos, que el peso por metro cuadrado del tablero es de 836 kilogramos, al paso que en el de Prado es de 776; el puente sobre el Escalda en Andenarde de 27 metros de luz, y cuya superficie del tablero es menor que la mitad del de Prado, arroja 380 kilogramos, es decir, una mitad próximamente de los 776 de este último, á pesar de que el peso crece mucho más rápidamente que la luz.

El coste de la parte metálica del puente puesto en Liverpool al costado del buque ha sido de 360,000 rs. vellon; carecemos de datos acerca del precio de transporte desde Liverpool á Bilbao; desde los muelles de la ria de este último punto hasta Valladolid, ha costado 70,775 rs. vn.

Terminada la descripción del puente, vamos á ocuparnos de la colocación y armado de sus piezas.

Con arreglo al art. 26 del pliego de condiciones, el fabricante quedaba facultado para emplear en el montaje el método que tuviera por más oportuno, pero siempre bajo la inmediata vigilancia del Ingeniero Inspector del Gobierno. Dada la índole de esta obra, no creemos que pueda emplearse otro sistema ó método de montaje que la construcción previa de un puente provisional de madera, sobre el cual, como sobre una cimbra pudieran irse armando las piezas, y en lo único que podría haber alguna duda era en la disposición más ventajosa de este andamio. No faltó entonces, sin embargo, quien estudiara y propusiera al encargado de la casa constructora el sistema de correr el puente después de armado hasta más de una tercera parte de su luz, y cubrir el resto del vano con un andamio de madera, apoyado en el cual, seguiría corriendo el puente hasta descansar en los apoyos de fábrica, economizándose así la construcción de una cierta longitud del puente-andamio provisional. Este método no fué aceptado, y creemos no hubiera dado resultados satisfactorios, ni en cuanto á la economía de la operación, ni en cuanto á sus dificultades y contingencias de buen éxito. Fué en nuestro concepto muy acertado desecharse este pensamiento, y construir, como se hizo, un puente provisional de madera, de cuatro tramos, apoyados en los estribos, y tres palizadas ó castilletes de madera, emplazadas dos de ellas á 4 metros del paramento de cada estribo, y uno en el centro del río. Los claros de los costados eran de 4 metros y los dos centrales de 22 metros, y estaban salvados por tirantes de madera con sus sopandas y tornapuntas; no insistiremos sobre la ejecución de este puente provisional, porque nada nuevo podríamos decir, y solo consignaremos que los primeros pilotes empezaron á clavarse en 18 de Mayo de 1864, que el puente quedó terminado en Julio, y que el cubo de la madera empleada ascendió á 272 metros cúbicos, y su coste, inclusa la mano de obra, se calcula en 120,000 rs. Terminada la construcción de este puente-andamio, se procedió á la colocación, ajuste y roblonado de las diversas piezas de hierro que se hallaban marcadas con números y letras, correspondiéndose con otras análogas inscritas en los dibujos que servían de guía; la operación empezó en el apoyo derecho, en que se colocaron las correspondientes planchas de lecho ó asiento, y siguió sin interrupción hasta la otra extremidad sobre el apoyo izquierdo, donde se colocaron las cajas de rodillos para facilitar los movimientos de dilatación y contracción; en el ajuste y roblonado de las piezas se invirtieron próximamente siete meses, y se ocuparon ocho operarios especiales de roblonado, además de algunos braceros. Durante esta operación no ocurrió accidente alguno que merezca llamar la atención, ni se emplearon medios auxiliares extraordinarios; los trabajos marcharon con el mejor orden y regularidad sin entorpecimiento alguno, y para levantar algunas de las piezas de hierro, cuyo peso

excedía de siete toneladas, tan solo se usó una sencilla cábria, formada con tres fuertes maderos; todo revelaba el acierto y previsión que había presidido en la redacción del proyecto, y la merecida reputación y crédito que goza la fábrica de Mr. Henderson Porter y Compañía, establecida en Birmingham, como constructora de puentes de hierro. Desgraciadamente, si en la parte facultativa no se suscitó ningún embarazo, no sucedió lo mismo en la parte económica, á la que afectaron profundamente las quiebras de varias casas de comercio ocurridas entonces, entre ellas la quiebra de la que suministraba los fondos, siendo esto origen de que la obra se continuase por administración desde Enero de 1865.

Terminada la operación del montaje, se quitaron las cañas y demás piezas, por el intermedio de los cuales descansaba el puente sobre el andamio, y si alguna duda se hubiese abrigado acerca del buen éxito de esta importante obra, habría quedado desvanecida desde este momento, en que, privado el puente de sus apoyos intermedios, presento á la vista todo su elegante conjunto, sostenido tan solamente por sus extremidades, que apenas, al parecer, llegaban á tocar los cornisamentos de los estribos, sobre que hacían reposar cerca de cuatrocientas toneladas. El tirante inferior no tomó flecha alguna del descimbramiento, y ofreció una línea recta perfectamente continua, y en ninguna de las partes de la obra se notó movimiento alguno. En vista de esto se desarmó el puente-andamio, y se sentaron las viguetas, entablonado del suelo y barandilla, quedando así terminada por completo la ejecución del puente. La condición 21 del pliego de las facultativas de esta obra, declara que el contratista percibirá 2,043 libras esterlinas (204,300 rs. próximamente) por el montaje del puente, no siendo de su cuenta la colocación y coste de las maderas del piso, el cual ha importado 41,500 rs. hecho por administración.

Nos resta, por último, hablar de la prueba, que, conforme á la condición 23, debía sufrir la obra.

### Prueba del puente.

Consistía la prueba, con arreglo á la condición 28 de las facultativas, en cargar uniformemente el tablero en toda su anchura al respecto de 400 kilogramos por metro cuadrado, cuyo peso había de permanecer durante veinticuatro horas.

Llegado el momento de emprender esta operación, se colocaron y fijaron sólidamente en los puntos medios de las vigas de cabeza dos miras, cuyo pie correspondía á la parte inferior del tirante; la graduación de estas miras podía ser leída por cada uno de los tres observadores colocados en la margen derecha y provistos de niveles de antejo, asegurados sólidamente en el terreno, para que no pudiesen moverse durante la operación. Dispuestas así las cosas, y teniendo acopiado en las avenidas del puente grandes pilas de piedra, de la que había de servir para el afirmado de estas mismas avenidas, empezaron á colocarse á lo largo del puente y en las zonas

exteriores del tablero dos filas de cargos escrupulosamente medidos con el cajon métrico al tiempo de colocarlos, y cuyo peso se habia hallado el dia anterior por medio de operaciones minuciosamente practicadas, con el objeto de conocer de antemano el número de cargos que habia de colocarse sobre el tablero. La carga de prueba empezó á repartirse por cuatro cuadrillas, dos de las cuales avanzaban del centro á los extremos, y cada una de las otras dos de los extremos al centro, los observadores de las orillas anotaron las alturas de mira, tanto al principio de la operacion, como en varios periodos subsiguientes de ella, siendo el resultado que, al llegar á completar la tercera parte de la carga de prueba, la flexion del punto medio fué de nueve centímetros aguas arriba y ocho aguas abajo; pero es de advertir que en este momento la temperatura, que tanto en los dias anteriores como al empezar la carga, era bastante templada, comenzó á enfriarse por causa de la lluvia que hacia un rato estaba cayendo; no pudiendo ménos de originarse con este descenso de temperatura un movimiento de contraccion, cuyos efectos habian de ser más sensibles en la parte curva superior de los cuchillos que en la horizontal inferior del tirante, por ser aquella de mayor longitud que este; movimiento de contraccion que, obligando á bajar los montantes verticales del cuchillo, pudo producir parte de la flexion observada, como podrá verse por los fenómenos que despues se notaron con las variaciones de temperatura. Al llegar á la mitad de la carga, que correspondia á dos filas completas de cargos de piedra, que ocupaban en su totalidad las dos zonas exteriores del tablero, la flecha observada aguas arriba como aguas abajo fué de trece centímetros, debiendo tambien manifestarse que seguia lloviendo. Al mismo tiempo que el resultado de la mira, se observó tambien que el tablero, en el lado de los rodillos, se separó de su posicion inicial dos centímetros, debido á la contraccion del metal. Continuada la operacion, se terminó con la colocacion de la total carga en las dos zonas centrales del tablero, que quedó de esta manera cubierto de cuatro filas longitudinales de cargos de piedra, que en junto componian el peso total de la carga de prueba. Las flechas observadas, que parecia natural, debieran haberse aumentado bastante al

empezar esta nueva carga en el centro, solo experimentaron un aumento de dos centímetros, descendiendo despues progresivamente hasta ser de nueve centímetros la flecha observada al final de la operacion, tanto en el lado de aguas arriba como en el de aguas abajo. Ya á este tiempo la lluvia habia cesado, y el sol calentaba notablemente las planchas del puente, coincidiendo, como se vé, la disminucion de la flecha con el aumento de la temperatura, y corroborándose de esta manera el efecto notado al observar las primeras flechas. Durante la operacion se registraron repetidas veces los estribos, sin que en ellos se observara grieta, señal ni circunstancia alguna que atestiguara los esfuerzos que estaba sufriendo.

Concluida la carga, se dejó que gravitara sobre el puente con arreglo á condiciones; por la tarde sobrevinieron fuertes aguaceros, que á no dudar, debieron aumentar el peso de la carga, sin que esta circunstancia influyera en los resultados observados.

Al siguiente dia se empezó á hacer la descarga, procediendo á quitar las dos filas centrales desde los extremos al centro, en medio de una aglomeracion de 60 obreros que producian una gran trepidacion en el tablero al arrastrar los carretillos. Las flechas fueron disminuyendo en uno y dos centímetros concludida la media descarga, y al terminar toda ella disminuyó 5 centímetros, debido naturalmente al encaje que habian hecho todas las piezas del sistema.

Con lo que vá relacionado se dió por terminada la prueba, y de ella se extendió el acta correspondiente, que fué elevada á la Superioridad. Pocos dias despues el Excmo. Sr. Arzobispo de la Diócesis, en presencia de todas las autoridades, y en medio de un gentio inmenso, bendecia solemnemente el puente, imprimiendo de este modo el sacrosanto sello de la Religion cristiana á esta grandiosa obra, que desde aquel momento el Sr. Gobernador de la provincia, en nombre de S. M., declaró abierta al tránsito público, precipitándose en seguida millares de personas, que representaban una carga dinámica bastante más considerable que la de la prueba oficial.

C. C.

Equilibrio de un sólido empotrado en sus extremidades y cargado de  $n$  pesos.

## MEMORIA DEL INGENIERO CIPOLETTI.

(Conclusion.)

### OBSERVACIONES.

I. Se obtiene una comprobacion de la exactitud de los cálculos en que las ecuaciones relativas á las diversas partes de la curva elástica son independientes de la longitud de sólido empotrado á la derecha.