

## La construcción del Puente de Isabel II de Sevilla. Los problemas de cimentación

Amparo Graciani García

El objeto de esta ponencia es el análisis de los procedimientos de cimentación de uno de los emblemas más característicos de Sevilla: el Puente de Isabel II, vulgo de Triana, así conocido por el reinado durante el cual fue realizado. Este vino a sustituir a uno flotante, de época almohade, conformado por un sistema de barcazas ancladas, popularmente conocido como «Puente de Barcas», que facilitaba la comunicación entre Sevilla y el barrio de Triana y que, aunque sucesivamente «restaurado», tras las frecuentes riadas del Guadalquivir, perduró hasta el siglo XIX en que dió paso al actual puente de Triana.

Posiblemente, problemas de cimentación en las tierras del Guadalquivir, demasiado blandas y arenosas, fueran la causa de que los romanos eludieran la construcción de un puente fijo y de que los árabes eligieran un puente de barcas articuladas, más flexible y dúctil a las corrientes del río, además de razones económicas, pues un puente de piedra, hubiera sido más costoso de construir y reparar en caso de crecida del río. Ambas razones motivaron que aunque hasta el siglo XIX las autoridades sevillanas plantearan sucesivamente la necesidad de construir un puente fijo, éstos nunca se llevaron a efecto, pese a existir diversos proyectos (Pedro de Andrade, 1585; Andrés de Oviedo, 1629;...), alegando consideraciones técnicas, sobre todo la mala calidad del lecho del río, que obligaría a profundizar hasta encontrar el estado idóneo para cimentar los pilares, a lo que habría que añadir la insolvencia municipal.

El puente fue realizado por dos ingenieros france-

ses, llegados a Sevilla en 1844, especializados en la construcción de puentes metálicos, Gustavo Steina-cher y Fernando Bernadet, quienes proyectarían tres puentes fijos, uno de piedra, otro colgante y otro de hierro fundido, siendo este último el estimado más conveniente por la Corporación Municipal. El proyecto fue aprobado por la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos el 24 de abril de 1845; la construcción se iniciaría en julio de 1845, pero no finalizó hasta enero de 1852, por problemas económicos que incluso llevaron a paralizar las obras más de dos años, además de por problemas entre Stainacher y la Fundición «San Antonio» de Narciso Bonaplata, a quien se había encomendado el Puente, a realizar con hierro de las minas de Guerezo (Vizcaya), El Pedroso y Marbella. De la ejecución de la obra debió encargarse sólo Stainacher; al menos en la documentación de la época es el único que aparece mencionado, siendo Ingeniero Jefe de la obra Carlos María Cortés, una de las personas que, años más tarde, con motivo de los estudios para la reforma de 1873, testificaría acerca de los procedimientos empleados en la construcción.

El Puente de Isabel II era una réplica del hoy desaparecido del Carrusel de París, realizado por el ingeniero Remigio Polenceau, en 1834, sobre el Sena. Tiene 136,5 m. de luz, incluyendo los estribos, con una anchura entre barandas de 12,40 m. Su luz se repartía en tres vanos de 43,33 m. cada uno, pues éste apoya sobre cuatro bases de piedra (dos pilas centrales y dos estribos laterales), sustentando tres bandas

de cinco arcos con una longitud de 44 m. en las que descansaba un tablero a través de unos anillos en serie creciente hasta la clave. El tablero estaría compuesto por un emparrillado metálico, recubierto con una capa de argamasa hecha con cal hidráulica, cascotes y restos de cerámica sobre el que se echaría una solera para conformar el piso. El estribo del lado de Sevilla se distingue por un arco mariner que, en la actualidad, sirve de comunicación entre el Paseo Marqués de Contadero y la zona de El Barranco.

Para el análisis de los sistemas constructivos del proyecto original y de la marcha y ejecución de los trabajos, hemos dispuesto de unas fuentes documentales, gráficas y escritas, muy contadas que obtuvimos en el Archivo Municipal de Sevilla, cuyo estudio hasta la fecha es inédito. No se conservan ni el proyecto original ni el contrato para la realización del puente y sólo nos quedan algunas descripciones referentes a la primera fase de las obras (la dirigida por los ingenieros franceses, concretamente, la ejecución de las cimentaciones y elementos de apoyo), en especial los informes emitidos por la Junta Consultiva de Caminos el 24 de abril de 1845, a raíz de la aprobación del proyecto.

Aunque la memoria presentada por Steinacher y Bernadet no se conserva, sí hemos localizado los planos del proyecto original, firmados por G. Steinacher. Sin embargo, éstos presentan dos problemas. Uno, la escasez y la falta de información ya que en ellos sólo hay un dibujo de detalle referente a la construcción de las pilas, que nada dice respecto al proyecto de construcción. El otro, la inadecuación entre el proyecto primitivo y lo finalmente ejecutado, como años más tarde comprobarían los ingenieros Soto y Conradi durante sus intervenciones en el Puente.

A ello, añadir ciertas referencias en la documentación inmediatamente posterior (1873) a las obras, coincidentes con la realización de una serie de ensayos previos a la actuación de Pedro de Soto, de las que se desprenden interesantes reflexiones acerca de los materiales y los sistemas constructivos empleados. Estos informes venían acompañados de unos planos poco detallados; en ellos predominaban los datos referidos a la pila de Sevilla, a la que se limitaban los ensayos.

De las mencionadas fuentes se desprendía que Bernardet y Steinacher proponían cimentar con hormigón la sillería de las pilas y los estribos dos pies

por debajo del lecho del río. El sistema para la cimentación de las pilas consistía en un recinto formado por tablestacas y pilotes unidos entre sí. En el interior de dicho recinto debía dragarse hasta el terreno firme; posteriormente, se rellenaría con hormigón hidráulico y se construiría una escollera que lo defendería de su exterior.

Según el informe emitido por la Junta Consultiva el 24 de abril de 1845, en principio el sistema propuesto «cumplía todas las exigencias que podían esperarse de una buena construcción»; se indicaba que, en caso de que el terreno firme no se hallara a dos pies del lecho del río, habría que llegar a él. No obstante, otros informes y documentos de la época, así como ensayos posteriores (previos a la actuación de Soto en 1873) evidenciarán dos hechos: que la cimentación realizada no correspondió a lo establecido en el proyecto original ni a la condición exigida por la Junta Consultiva, dado que sin sondeo previo alguno para la comprobación de la suposición emitida por este organismo acerca de la distancia al lecho del río, inició la construcción del recinto de tablestacas y pilotes, suponiendo que la capa de terreno falso era de dos pies de espesor.

La falta de previsión a la hora de establecer el nivel de los cimientos por parte de los ingenieros franceses llama la atención si consideramos que poco después (1858-9), cuando José Espinosa construyera los muros de sostenimiento de la rampa de acceso al Puente por el lado de Sevilla, concluyó a raíz de los sondeos previos que realizara al tratarse de un terreno arcilloso y poco resistente (denominado «absorvo»), que se necesitarían medios muy complejos, para obtener resultados que, al final, no serían del todo satisfactorios, y para apoyar los cimientos sobre el terreno firme, se estableció su nivel superior a cuatro metros por encima de la línea marcada por las aguas en bajamar y no a la misma cota de ésta como se pretendía anteriormente.

Sobre los materiales empleados poseemos pocos datos; éstos se reducen a las noticias recogidas en los informes que, con motivo de la intervención de 1872 o 1873, dieron testigos presenciales de las obras, como el Ingeniero Jefe, Carlos M. Cortés. Versaban sobre los cuatro puntos siguientes: 1. Componentes del hormigón; 2. Proporciones de las mezclas; 3. Método empleado en la fabricación del mortero y del hormigón; 4. Medios empleados en la inmersión de éste.

Según la Junta Consultiva, el mortero empleado para la confección del hormigón se componía de la cal de Tajón, procedente de Quinto (hacienda próxima a Dos Hermanas), la puzolana artificial, la arena del río y el agua. Según manifestó en 1873 Carlos M. Cortés, para no emplear cemento, tan caro y escaso en la época, el contratista supuso que la cal de Tajón tenía ciertas condiciones de hidraulicidad. Para ello presentó algunas pruebas y trató de darle carácter hidráulico, empleando la puzolana artificial; aunque este segundo elemento comenzó importándose desde Marsella, su elevadísimo precio motivó que los constructores se decidieran a fabricarla en la misma obra. Para ello se sirvieron de la «lama» que el Guadalquivir depositaba en uno de sus caños. Amasada y moldeada en ladrillo, ésta era cocida y pulverizada para constituir así el elemento verdaderamente hidráulico del mortero. Respecto a los otros dos ingredientes, la arena y el agua, presumimos que serían las del río.

En relación al método de inmersión empleado, cabe decir que el hormigón fue echado en el recinto por medio de tolvas y no empleando cajas que impidiesen su lavado. Así lo afirmarían en 1873 testigos presenciales de las obras.

La primera actuación de interés en el Puente tuvo lugar sobre sus cimientos en 1873, en base al proyecto que Pedro M. de Soto realizara en 1872. Se debió al mal estado en que, en octubre de 1870, con motivo de la reposición de la escollera, incluso antes aún de la recepción definitiva del puente, se descubrió estaba el hormigón. La intervención vino precedida de unos reconocimientos sobre el estado de las pilas y el terreno en octubre de 1871 y del intento de documentar los reconocimientos habidos hasta la fecha del terreno y cómo se habían ejecutado las cimentaciones, para lo que, al no existir fuentes al respecto en el Archivo Municipal de Sevilla, hubo que recurrir a personas que, de alguna manera, habían intervenido en la obra.

Por medio de sondeos, se pretendía levantar un plano exacto de los cimientos, con objeto de apreciar el estado de las escolleras, cubicar el volumen real existente, y comprobar la situación del tablestacado y del hormigón contenido en el recinto; el reconocimiento no habría de ser muy exhaustivo: se localizaría en la parte superior de las pilas y estribos, ya que los trabajos de buzos lo hubieran prolongado, y hubieran exigido un gasto superior al presupuesto. Así

se descubrieron las cabezas de algunos pilotes en algunos puntos de la zapata comprendida entre la sillería de la pila y el recinto. Al carecer de datos que permitieran suponer la existencia de pilotes bajo la pila, pensaron que la obra estaba construida sobre un macizo de hormigón que, encerrado en el recinto, descansaba sobre el lecho del río. En otros puntos, el hormigón reconocido estaba descompuesto en las proximidades de las tablestacas, siendo el estado de éstas muy variable.

El proyecto, de junio de 1872, trataría no de reformar las cimentaciones sino de contener la acción destructiva de las aguas sobre el puente; habría que asegurar el estado en que en esos momentos se encontraban los macizos de hormigón, defendiéndolos de nuevas socavaciones y rellenar las socavaciones producidas.

Se estudiaron tres sistemas de reparación. El primero consistía en sustituir el tablestacado por otro, procediendo por zonas, separando la escollera del tablestacado y dejando en el hormigón una zona libre de 20 cm. de anchura desde las tablestacas hacia el interior y toda la altura, hincando después las nuevas tablestacas en el sitio de las antiguas y se repondría la escollera y finalmente, inyectando hormigón hidráulico en la zona libre del recinto para formar un nuevo revestimiento al hormigón y un macizo inalterable a la acción de las aguas. Este sistema presentaba las ventajas de su reducido presupuesto y que su ejecución no estrecharía en lo más mínimo el cauce del río, evitando una variación en el régimen del Guadalquivir durante las avenidas, pero diversos inconvenientes, como la falta de seguridad y solidez del corazón del cimiento y la dificultad en el arranque de las tablestacas, pues la pequeña distancia existente entre algunos pilotes, haría imposible la entrada de un buzo para remover el terreno y facilitar su arranque.

El segundo sistema consistía en un nuevo recinto de pilotes y tablestacas, clavadas por el exterior que defendería al existente y a la cimentación de pilas y estribos. Después se dragaría el fondo en el espacio comprendido entre ambos recintos y se procedería al relleno con hormigón hidráulico del volumen existente y las socavaciones. Por último, desde la sillería de la pila hasta el nuevo tablestacado, se construiría una zapata de mortero de cemento. Al no tocar al antiguo tablestacado, no se temían disgregaciones en el macizo, pero era de costosa ejecución, pues al estar

el terreno firme a diez metros de profundidad habría que emplear pilotes de grandes dimensiones y además, la reducción que el cauce experimentaría por la construcción del nuevo recinto sería muy perjudicial.

El sistema finalmente propuesto unía las ventajas de los dos anteriores. No se comprometía la seguridad de la obra durante la ejecución y resultaría mucho más económico, pues aunque exigiera más gasto de material sería más fácil de ejecutar y menos costoso en mano de obra. Esencialmente, se reducía al segundo, con la salvedad de que los pilotes empleados serían los existentes; consistía en: «...construir un fuerte tablestacado exterior apoyado sobre los actuales pilotes por el intermedio de nuevas riostras que se clavasen en el plano exterior de éstos. Construido este tablestacado, después de desalojar la escollera necesaria hasta dejar libre el intervalo comprendido entre el nuevo y el actual tablestacado y de limpiar el fondo, se procedería a rellenas de buen hormigón hidráulico el espacio comprendido, envolviendo en este macizo los actuales pilotes. Terminado que fuese este macizo, se procedería a la reposición de la escollera hasta dejar ésta con la altura conveniente, terminando la reparación con el relleno de las socavaciones, según el método antes expuesto y la reconstrucción de la zapata».

Los ensayos previos a la actuación demostraron que los autores del puente no habían realizado los cimientos tal como previeron en el proyecto original, pues el interior del recinto no se dragó hasta el terreno firme ya que al emprenderse en 1871 los trabajos de separación e intentar la primera excavación, se profundizó 1,60 m sin llegar al mismo. Los sondeos verificados daban cuenta del terreno firme, constituido por margas azules a aproximadamente 2 m, por debajo de este lecho. Alternando con otras de arena y, antes de llegar a él, se encontraban delgadas capas de esta misma marga, formando la clase de terreno que en la localidad se denominaba «absorvo». Resulta por tanto indudable que, conocida la poca estabilidad de esta formación, no era sobre la primera capa de marga sobre la que debía cimentarse.

En la pila de Sevilla, las obras se iniciaron construyendo un recinto de pilotes y tablestacas, clavados y adosados interiormente a las riostras que coronaban las cabezas de los pilotes. El equipo técnico encargado de las reparaciones de 1872 comprobó los dos hechos siguientes: 1. La pila de Sevilla estaba cimentada directamente y sin dragado sobre el lecho del

río, es decir, sobre un terreno socavable, cuya profundidad no era menor de 1,5 a 2 m; 2. Las tablestacas que formaban el recinto, las cuales se encontraban en mal estado no llegaron al terreno firme, sino que estaban hincadas solamente a una profundidad media de 35 cm en una capa de terreno medio y su longitud era de 6,5 m; como sus cabezas estaban a la altura de la bajamar y el terreno firme no se encontraba a menos de 8 m por debajo de esta línea, las tablestacas no llegaron al terreno firme.

Quizás fuera ésta la causa que impulsó a los constructores a intentar el agotamiento del recinto. Por no haber llegado con las tablestacas al terreno firme, tal vez pensaran que el dragado se prolongaría indefinidamente, puesto que la arena y fango que del interior se extrajese serían inmediatamente reemplazadas por las que del exterior se fueran deslizando por debajo de las tablestacas. Parecía que, agotando el interior del recinto y macizando en seco, quedaría oculto el error y no repercutiría en los resultados. Por tanto, pensamos que se habían ignorado por completo las condiciones del lecho del Guadalquivir. Finalmente, también se desistió del agotamiento, revistiendo sin más el recinto con una tela embreada y posteriormente bombeando. De diversos documentos, un oficio dirigido por Gabriel Gómez Herrador, Subinspector de Caminos, Canales y Puertos, entonces encargado de la obra, a Steinacher y una comunicación de 1 de noviembre de 1845 contestando a la anterior, se deduce que la pila de Sevilla se cimentó sobre el lecho del río sin previo dragado y que, por ello no se cumplió la primera condición exigida para cimentar el puente.

En la pila de Triana, sobre la que no se realizaron ensayos previos, Steinacher tampoco dragó, realizando, por tanto, modificaciones sobre el proyecto original, justificando su pretensión con que la solidez del fondo del río era variable y por tanto las posibilidades de clavar las estacas. La inspección no admitió la propuesta de Steinacher obligándole a «formar con esmero el cajón, dragando su fondo hasta el terreno firme y sellando su exterior por tongadas de hormigón lo más perfectas posibles». Sin embargo, según C. Cortés, al construir la pila de Triana los constructores empezaron por formar el cajón y sin dargar ni sacar fango alguno de su exterior, clavaron gruesos pilotes en el recinto, entre los que vertieron hormigón hasta enrasar con al cabeza de aquellos. Sobre la cimentación del estribo de Triana hay pocas referen-

cias, pero por algunas aportaciones de Cortés es probable fuera como la de la pila de Triana.

En general, en los reconocimientos de 1873 se evidenció que las cimentaciones habían sufrido numerosos desperfectos en los años transcurridos desde su construcción. El pilotaje de la parte resistente del recinto, formado por gruesos pilotes de 30 a 40 cm de diámetro en cabeza, procedentes de Hinojos, estaban en buen estado, pero la mayoría habían sido hincados irregularmente, sin verticalidad, equidistancia ni alineación y con un replanteo poco esmerado. Las riostras que enlazaban los pilotes y los diversos paramentos del cajón estaban en muy malas condiciones. El estado del hormigón tampoco era satisfactorio. Con los reconocimientos superficiales, podía apreciarse perfectamente que, en contacto con el tablestacado, el hormigón se encontraba completamente disgregado en muchos sitios, arrastrada la cal y arena y sueltos los guijos y cantos: el motivo no podía ser otro que la acción mecánica de las aguas, por haberse reunido mal los componentes. El hormigón del núcleo principal de la pila se encontraba en buenas condiciones de resistencia pero apenas se sometía a la acción de las aguas tomaba el aspecto del envolvente.

En 1873 comenzó la intervención en la pila de Sevilla. Se hicieron sondeos taladrando el tablestacado en diversos puntos e introduciendo por ellos una varilla de hierro y extrayendo varias muestras del hormigón para estudiar los efectos destructivos sobre la composición. Se abrieron zanjas en la escollera para sacar la piedra de donde había de clavarse el nuevo recinto de tablestacas. Se intentó llegar en el dragado

a la marga, pero a 1,60 m el macizo comenzó a desprenderse. Se rellenó el hueco clavando tablestacas e inyectando hormigón de gran calidad. Soto pensó colocar un macizo suplementario de hormigón que sustituyera el frente de fango y arena pero con el talud natural de 45 grados que tomaría la arena, éste se arrastrará al centro del cimientado de la pila; por ello, optó por asegurar el macizo de hormigón existente y rellenar las socavaciones producidas; construyendo un nuevo tablestacado exterior a 0,70 m del primitivo, con sus tablestacas clavadas a terreno firme y uniendo las cabezas a una nueva riostra asegurada a los pilotes originarios. El espacio entre ambos tablestacados se rellenaría con hormigón, así como todas las socavaciones existentes.

Posteriormente, hubo otras intervenciones sobre la cimentación del puente. Entre ellas destacar la del ingeniero Juan B. Conradi, a raíz del mal estado de las tablestacas y las socavaciones observables en el hormigón a consecuencia de las fuertes avenidas de los años precedentes a 1907, pues había huecos en el macizo que en algunos sitios llegaban a tener en la dirección del centro de una de las pilas hasta 1,70 m, entre otros desperfectos. Consistió en una defensa del macizo análoga a la practicada en 1873, si bien con algunas modificaciones: la sustitución del antiguo hormigón destruido por un cajón metálico, siguiendo el contorno de la base de los apoyos, supliendo a las tablestacas desaparecidas o deterioradas y empotrándose en la escollera. Estas reparaciones se efectuarían años después, en 1914, constituyendo todo un proceso, cuyo análisis puede ser objeto de trabajos posteriores.