

Rehabilitación de un puente de fábrica en la provincia de Toledo, afectado por un descenso de pila

Rehabilitation of a masonry bridge in Toledo province, due to a pier fail

Luis Carrillo Alonso ^a, Mariano Martín Cañueto ^b y Javier León González ^b

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Acciona Ingeniería. Jefe Dpto. O. Civil y Puentes Luis.carrillo.alonso@acciona.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Acciona Ingeniería. Gerente Area Proyectos. Mariano.martin.canueto@acciona.com

^c Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor Titular ETSI Caminos UPM. franciscojavier.leon@upm.es

RESUMEN

Acciona Ingeniería ha redactado el proyecto de recalce de un puente de fábrica, situado en la provincia de Toledo, que resultó dañado por una riada ocurrida en diciembre de 2022. El puente, cuya construcción se data en los inicios del s.XX, se constituye por 3 arcos de directriz circular de unos 6.00 m de luz, de sillarejo y mortero, con boquillas conformadas por 3 roscas de ladrillo. Se describe en este documento el proceso de estabilización y rehabilitación del puente proyectado y desarrollado por Acciona que permitió su reapertura al tráfico sólo seis meses después de la incidencia.

ABSTRACT

Acciona Engineering has drawn up the underpinning project for a masonry bridge, located in the province of Toledo, which was damaged by a flood that happened in December 2022. The bridge, whose construction dates back to the beginning of the 20th century, is constituted by 3 circular shape arches of about 6.00 m span, built of ashlar and mortar, with nozzles made up of 3 brick threads. This document describes the stabilization and rehabilitation process of the bridge, carried out by Acciona, that allowed its reopening to traffic only six months after the incident.

PALABRAS CLAVE: Puente de fábrica, recalce, micropilote, hormigonado bóvedas, socavación.

KEYWORDS: Masonry bridge, underpinning, micropile, cast of vaults, scour

1. Introducción y descripción de la estructura

El puente objeto de esta ponencia, da soporte a una carretera de tipo local que se ubica en la provincia de Toledo. Se trata de una noble, modesta y hermosa estructura de 4 m de ancho entre caras exteriores de tímpano y unos 20 de longitud total. Está formada por tres bóvedas de sillarejo y mortero con boquillas de tres roscas de ladrillo y adarajas hacia el interior para trabar con la bóveda interior. Las luces libres (de cara de estribo a cara de pila o entre pilas), son, aproximadamente, 6.10 – 5.30 – 6.00 m, con

igual cota del trasdós de las tres bóvedas, en el estado inicial.

Es posible que la obra sea de finales del s. XIX o incluso primeros años del s. XX. Se trata de una estructura de configuración tipológica frecuente, con comportamiento correcto en los últimos 120 – 140 años aproximadamente.

Las pilas, de fábrica de sillarejo trabadas con mortero, son de 1.0 m de ancho en el plano del alzado, lo que representa una ratio b/L (ancho de pila a luz libre) del orden de 1/13,

valor relativamente esbelto pero típico de los puentes de esa época.

Las bóvedas presentaban boquillas de ladrillo en roscas individuales, no trabadas, con un canto total del orden de 0.42–0.44 m, lo que equivale a una relación t/L (canto/luz libre) del orden de $1/13$, valor incluso conservador. Sin embargo, parecía que la bóveda tenía un canto claramente más pequeño que el de las boquillas, como se atisbaba en el vano 1, lado aguas arriba, siendo el canto probable del orden de 0.20-0.25 m, lo que llevaría la ratio t/L a $1/24$, valor relativamente frecuente, aunque algo atrevido, como recogen los tratadistas de puentes de fábrica.



Figura 1. Alzado general del puente desde aguas arriba, antes de producirse la avenida

Los tímpanos eran de mampostería concertada o careada, de un espesor aproximado de 0.40 m (algo menos que la profundidad de la boquilla de ladrillo). Los tímpanos contenían un relleno granular, no cementado, cuya potencia no pudo ser estimado inicialmente. La altura del relleno rígido, sobre la silla de las bóvedas, se estimaba que podría ser del orden de $2/3$ f

(flecha). Este valor no es alto y se situaría en el límite inferior de los valores habituales. En principio no se descartaba que el relleno rígido se hubiera visto afectado por la lixiviación del ligante del propio relleno rígido.

2. Incidencia ocurrida y patologías inducidas

El día 13 de diciembre de 2022 se produjo una crecida excepcional del cauce, con caudales registrados por encima de los $100 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que provocó que el agua sobrepasara la estructura y se viera dañada por ello.

Por este motivo, los técnicos de Acciona se desplazaron al lugar dos días después para evaluar la importancia de la afección causada y decidir en el lugar si era posible restituir el tráfico sobre la estructura.

La conclusión de dicha visita fue constatar que el daño generado por la avenida era muy grave y que la estructura sufría un riesgo claro de colapso, por lo que el tráfico rodado y peatonal fue clausurado.

La avenida extraordinaria había causado daños por socavación en pilas y estribos, especialmente en la pila 1, que habían implicado la generación de un fallo de la cimentación de dicha pila con el consiguiente descenso de ésta en unos 40 cm, junto con su cabeceo y giro.



Figura 2. Alzado general del puente desde aguas arriba, después de producirse la avenida.

A su vez, este movimiento de la pila 1 había desestabilizado las bóvedas que

descansaban sobre ella, de tal forma que la bóveda del vano entre estribo 1 y pila 1 había

sufrido un descenso apreciable de la clave, y por el contrario la bóveda entre pila 1 y pila 2 había sufrido un aumento de su flecha debido al giro de la pila 1.

De hecho, se pudo detectar en obra que en las dos bóvedas que apoyaban sobre la pila 1 se habían conformado mecanismos casi por completo de rotura, al generarse en ellas rótulas alternas en intrados y trasdos en número suficiente para provocar la ruina de la estructura. Así, el aspecto más reseñable de esta incidencia

es que se podían observar “in situ” mecanismos teóricos de colapso para arcos de fábrica, que normalmente no es posible ver en obra, dado que las estructuras que resultan en situaciones parecidas lo normal es que acaben colapsando.

En las siguientes imágenes se puede observar como de las tres roscas de ladrillo que conforman las bóvedas, en la zonas donde se habían generado “rótulas”, sólo quedaba una de ellas en funcionamiento.

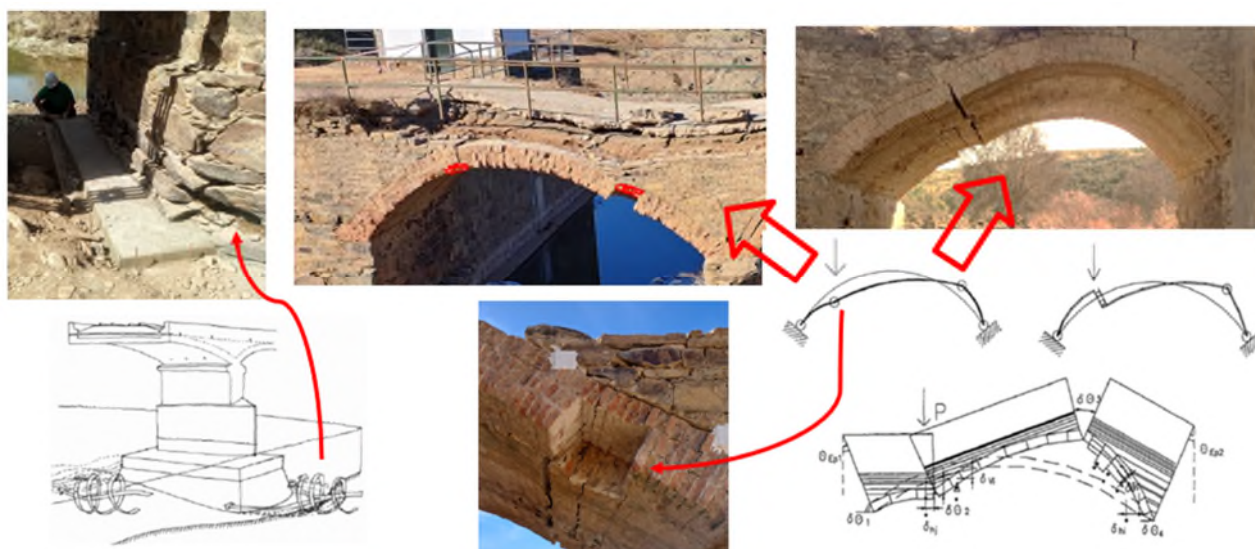


Figura 3. Esquemas de daños producidos en el puente.

Para completar la evaluación efectuada “in situ” se desarrollaron cálculos con software especializado para estructuras tipo arco de fábrica, que mostraron conclusiones similares, es decir que el margen de seguridad frente al colapso era realmente muy escaso.

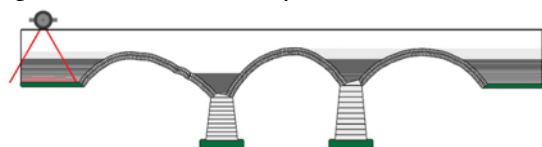


Figura 4. Esquemas del modelo de cálculo del puente.

Adicionalmente a los daños antes descritos anteriormente, en el paramento aguas arriba se habían producido daños con pérdida de parte de los tímpanos. Además en las cimentaciones del estribo 1 y pila 2 se apreciaban huecos de dimensiones considerables debidos a los efectos de la socavación.

3. Actuación de emergencia y decisión de intervención

A la vista de la comprometida situación del puente, se decidió desarrollar en primer lugar una serie de actuaciones encaminadas a garantizar la estabilidad provisional de la estructura. Con esta idea se acometieron los siguientes trabajos: Protección de las cimentaciones frente a nuevas avenidas mediante la disposición de sacos rellenos de material de excavación, relleno de huecos en cimentación con hormigón masivo y disposición de puntales en arranque de bóvedas 2 y 3 que impidían la progresión del movimiento y el desequilibrio de éstas.



Figura 5. Actuaciones de emergencia. Protección cimentaciones, hormigonado de huecos en cimentación e instalación de arriostramientos en arranque de bóvedas 2 y 3.

A la vez que se ejecutaban estas actuaciones de emergencia se planteó la disyuntiva de si ejecutar un nuevo puente en sustitución del dañado o bien si se procedía a la rehabilitación de la estructura existente. Finalmente se adoptó la decisión de proceder a acondicionar el puente original para su vuelta al servicio, en base a las preferencias de los vecinos y usuarios del puente en este sentido, consiguiéndose así mantener una infraestructura con valor sentimental, paisajístico y en cierta medida histórico.

De la anterior decisión se derivaba el condicionante de que cualquier actuación sobre el puente existente tendría que mantener su aspecto exterior original.

4. Descripción de la intervención efectuada

Una vez decidido que el puente original se debía rehabilitar manteniendo un aspecto similar al original, se procedió a proyectar una actuación que así lo permitiera.

Se pensó por ello plantear una solución con una estructura interior de hormigón masivo que realizara la función resistente, de tal forma que el esqueleto portante original de fábrica quedara colgado de él y ya sin función estructural ninguna.

Con este nuevo esquema estructural se liberaba a la estructura original de las cargas debidas a los rellenos de los trasdoses de las bóvedas, así como del tráfico, las cuales ahora eran resistidas por la nueva estructura interior, quedando incluso planteada una solución que permite redirigir el peso propio de la estructura de fábrica a la nueva interior mediante su conexión.

Para conseguir este propósito se necesitaba ejecutar los siguientes elementos y tareas:

- En primer lugar, se debía garantizar el no colapso de la estructura original durante los trabajos de reparación, por lo que era imprescindible apeaar las tres bóvedas del puente. Para ello se construyó una cimbra “ad hoc” en base a la geometría de las bóvedas deformadas. La geometría de las bóvedas deformadas se calcó mediante un escaneado laser 3D. Para limitar los trabajos a desarrollar bajo el puente, aun sin apeaar, se planteó que el montaje de los cuchillos de la cimbra (4 por bóveda) se montaran a un costado del puente, para posteriormente instalarlas mediante ripado transversal sobre unos carriles dispuestos encima de unas torres de apeo, las cuales a su vez habían quedado apoyadas en los macizos de hormigón de relleno de huecos de cimentación.

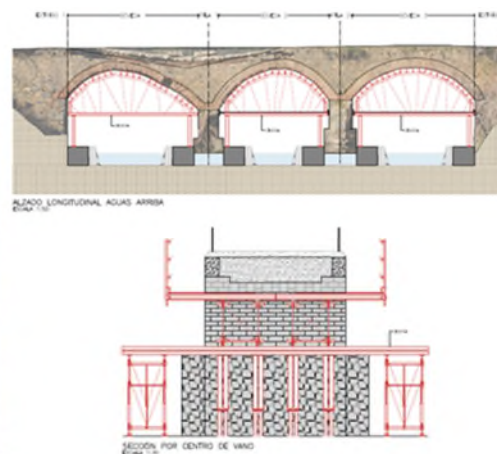


Figura 6. Disposición de cimbra mediante ripado para apeo de las bóvedas.

- Cuando la integridad de las bóvedas quedó asegurada mediante su apeo se procedió al vaciado de sus senos. Es de destacar que al realizar esta operación se descubrió que el relleno rígido sobre pilas era prácticamente inexistente, lo que suponía que el estado de las bóvedas después del incidente era más precario aun del supuesto inicialmente, al no disponerse de este elemento estabilizador de los arranques de los arcos. Simultáneamente a esta tarea de vaciado se procedió a reparar

el drenaje del trasdos de las bóvedas y a reparar los tímpanos dañados. A la vez que se efectuaban los trabajos anteriores se llevó a cabo la inyección de sellado de la sillería de las pilas, que buscaba por un lado restituir la integridad del conjunto de estos elementos, dañados durante la avenida, y por otra parte garantizar una cierta estanqueidad del conjunto, necesaria para que la inyección de los micropilotes que se ejecutaban posteriormente funcionase de forma adecuada.



Figura 7. Ejecución de vaciado de los senos de las bóvedas, inyección de sellado de la sillería de las pilas y reconstrucción de tímpanos.

- La siguiente operación realizada fue la ejecución de taladros en las piezas del trasdos de las bóvedas originales, en los que se introdujeron barras de fibra de

vidrio con resina epoxi, que permitirían que dichas piezas quedaran colgadas de la futura estructura interior de hormigón. Las labores de ejecución de taladros se

llevaron a cabo sólo con herramientas a rotación para evitar dañar la fábrica.

- Una vez que se hubieron ejecutado todos los taladros y colocadas todas las barras, se procedió a ejecutar el ensillado de las bóvedas. El hormigonado se desarrolló en una sola fase rellenando los senos de las bóvedas hasta la altura de los tímpanos.



Figura 8. Ensayado de las bóvedas (Hormigonado de tablero).

Esta operación se realizó de forma acompañada en todo el conjunto de la estructura, buscando minimizar los desequilibrios causados por la distinta altura de hormigón fresco. El proceso de hormigonado se desarrolló durante un día completo en jornada de 14h.



- Cuando se tuvo hormigonado el tablero se procedió a la ejecución de los micropilotes de recalce de las cimentaciones originales de pilas y estribos. Este recalce buscaba realizar dos funciones principales: una primera de cosido de la fábrica, y una segunda de transmisión de las cargas al terreno en profundidad. Los micropilotes que se ejecutaron lo fueron en un número de 10 en estribos y 12 en pilas, con

micropilotes de 60 mm de perforación y armados con barra roscada tipo GEWI de diámetro Ø32.

Los micropilotes se ejecutaron desde la parte superior del tablero, de tal forma que se garantizase que las nuevas bóvedas de hormigón quedaban cosidas a las pilas y estribos y a su vez se dirigían las cargas que recibiría el puente en servicio, al menos en parte, en profundidad.

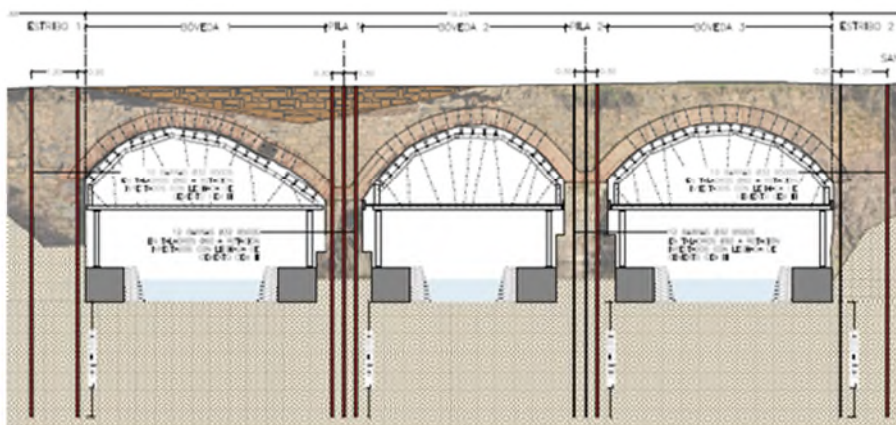


Figura 9. Ejecución de micropilotes desde el tablero del puente.



- Una vez ejecutados los micropilotes se procedió a la ejecución de una losa de hormigón armado que conformaba la plataforma de circulación, disponiéndose en un ancho ampliado respecto de la existente originalmente, mediante unos voladizos de 0'50m a cada lado de los paramentos originales, resultando en un ancho total de 5'00 m. Señalar que se

planteó un detalle que evitaba el apoyo de esta losa sobre los tímpanos de fábrica originales, para que se pudiera garantizar que toda la carga aplicada sobre la losa se transfería a las nuevas bóvedas interiores de hormigón en lugar de a la estructura original de fábrica.

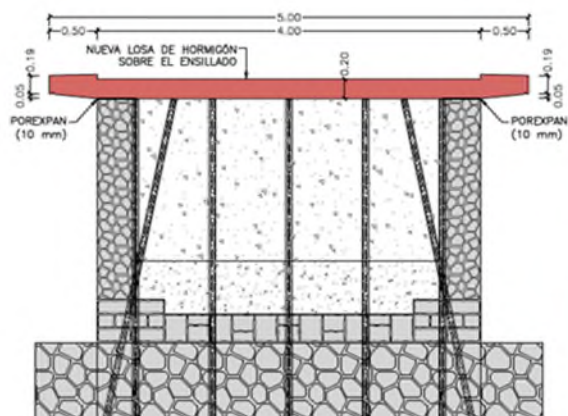


Figura 10. Ejecución de losa de hormigón armado para plataforma.

Por otra parte, habría que señalar que para comprobar que el proceso constructivo no inducía ningún movimiento sobre el puente, éste fue monitorizado mediante control topográfico, habiéndose dispuesto además de testigos de yeso en distintos puntos de la estructura, los cuales no mostraron ningún signo de apertura durante el desarrollo de las obras.

Finalmente, y después de la instalación de la barandilla de protección y de la iluminación, se

procedió a la reapertura al tráfico del puente en junio de 2023, tan sólo medio año después de la incidencia ocurrida. Se puede así destacar que el proceso de estabilización de la estructura, redacción de un proyecto de rehabilitación y ejecución de éste se desarrolló en un plazo de sólo seis meses.



Figura 11. Puente en servicio después de rehabilitación en junio 2023.

Agradecimientos

Queremos agradecer la labor desarrollada por la ingeniera Dña. Gemma Fernández en la redacción del proyecto, así como destacar la labor realizada por D. Jose Manuel Guinea, jefe de la obra de Acciona Construcción, y a los encargados de obra D. Francisco García, D. Juan Duro y D. Jose Manuel Hernández por el desarrollo de los trabajos de forma satisfactoria y en un plazo tan breve.

Referencias

- [1] Heynman, J. (2015) Estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera”, España.
- [2] Heynman, J. (1999). El esqueleto de piedra, mecánica de la arquitectura de fábrica. Instituto Juan de Herrera, España.
- [3] Martínez, J.L., Martín-Caro, J.A., León, J. (2003). Evaluación estructural de puentes arco de fábrica. Publicaciones E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid.
- [4] Comité de Puentes. Grupo de trabajo de Puentes de fábrica, Cimentaciones de fábrica en puentes, Asociación Técnica de la carretera, Madrid, 2008.
- [5] Eurocódigo UNE-EN1996-1:2011+A1, Estructuras de fábrica, Madrid, 2003.
- [6] Ribera, J. E. (1929). Puentes de fábrica y hormigón armado. Tomo III. Anteproyectos y puentes de fábrica.