

CODE 204

REHABILITATION OF TWO MASONRY BRIDGES IN CUEVA (BURGOS, SPAIN)

REHABILITACIÓN DE DOS PUENTES DE FÁBRICA EN CUEVA (BURGOS, ESPAÑA)

Martínez Martínez, José A.^{1*}; Aragón Torre, Ángel²; García Castillo, Luis M.³; Aragón Torre, Guillermo⁴

1: Departamento de Ingeniería Civil
University of Burgos
e-mail: jamartinez@ubu.es, web: <https://www.ubu.es/>

2: Departamento de Ingeniería Civil
University of Burgos
e-mail: aragont@ubu.es, web: <https://www.ubu.es/>

3: Departamento de Ingeniería Civil
University of Burgos
e-mail: lmgcite@ubu.es, web: <https://www.ubu.es/>

4: Departamento de Ingeniería Civil
University of Burgos
e-mail: garagon@ubu.es, web: <https://www.ubu.es/>

RESUMEN

La situación de inicio consistía en dos puentes de fábrica en la carretera BU-V-5626 en el acceso a la localidad de Cueva de Sotoscueva (Burgos). La edad de los puentes era diferente, y también su luz y la elaboración de la fábrica. El más antiguo tenía una luz máxima libre de 5,92, y el más moderno de 3,80. El ancho libre de paso era de 3,30 y 3,10 m respectivamente, totalmente insuficientes en una zona de tráfico elevado que da acceso a la visita del complejo cársico de Ojo Guareña, situada en una zona de alto valor paisajístico. El trabajo describe los trabajos de ampliación de ambos puentes hasta disponer anchos libres de 7 metros. Se analizan conceptos como la ampliación con desmontaje de paramentos o la ampliación con sillería nueva, y bóvedas ampliadas con sillería o con hormigón.

Finalmente se describe la opción elegida consistente en desacoplar el funcionamiento entre puente antiguo y puente ampliado, ampliar con bóveda de hormigón desconectada de la de sillería, realizar paramentos con sillería nueva y realizar acciones para aumentar la capacidad resistente de las bóvedas antiguas mediante la uniformización de cargas a través del trasdós. Además de describir las soluciones elegidas se presentará el análisis de todas las alternativas estudiadas, sus ventajas e inconvenientes, y las variables consideradas para la toma de decisiones.

Otro condicionante a tener en cuenta fue su capacidad de desagüe, que al contrario que en el diseño de otros puentes, no podía ser alterada, a sabiendas de que varias veces al año sería suficiente y el agua pasaría por encima de la rasante, todo ello debido a la singularidad del fenómeno cársico y la existencia de la desaparición del río Entrambosríos a través del sumidero de Ojo Guareña.

PALABRAS CLAVE: Rehabilitación; Ampliación; Puentes de fábrica.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe la intervención sobre dos puentes de fábrica que precisaron ser ensanchados para dar servicio a la carretera que pasaba sobre ellos. El objetivo del trabajo es describir, y compartir, las experiencias que con frecuencia se producen desde el planteamiento de la intervención, los trabajos previos a realizar, que suelen ser algo diferentes a actuaciones en otro tipo de obras, por la escasez de información, la planificación de la intervención a través del proyecto de ejecución, y la ejecución de la misma, en la cual es necesario ir dando respuestas técnicas al conjunto de singularidades que aparecen a medida que se va descubriendo la realidad material de las estructuras, el terreno, el cauce, etc.

Este tipo de intervenciones, sobre estructuras antiguas, suelen dar lugar a un conjunto de medidas que tienen que adaptarse a cada caso de forma diferente, precisando el empleo de técnicas muy diversas y especialmente adaptadas a cada caso particular. El conocerlas, consideramos que, es una experiencia enriquecedora para cualquier profesional que trabaje en este campo.

2. SITUACIÓN INICIAL

Ambos puentes se encuentran en la carretera BU-V-5626, en el norte de la provincia de Burgos (España), y su posición relativa es de separación de unos 20 metros a lo largo de la carretera, con unas alcantarillas de sección rectangular situadas entre ambos. Se encuentran en el mismo cauce, del río Entrambosríos, por lo que capacidad de desagüe total es la suma de la de los dos más las alcantarillas. Están situados en una zona de alto valor paisajístico, junto al sumidero del complejo kárstico de Ojo Guareña, y a otros monumentos de gran valor, como la cueva-ermita de San Bernabé y San Tirso. Por todo ello, el tráfico en la zona es intenso, con gran afluencia de turistas, y colegios, que se desplazan tanto en coches como en autocares. La carretera, a pesar de disponer de dos carriles, en general, sobre la zona de los puentes, durante más de 30 metros tenía una limitación de ancho efectivo entre pretilos de 3,10 metros (Figura 1). Por todo ello, era necesario intervenir sobre los puentes para que permitieran disponer de un ancho efectivo de paso de 7 metros.

Otra singularidad añadida a la intervención es el paraje sobre el que se encuentra. Ojo Guareña es un complejo kárstico situado en España, formado por más de 110 km de galerías, y está declarado Monumento Natural por el gobierno de la Junta de Castilla y León desde el año 1996. El río Entrambosríos, en el que se encuentran los puentes se junta, aguas abajo, con el arroyo de Cueva, y da lugar al nombre mayoritariamente aceptado de Río Guareña. Toda esta cuenca hidráulica se encuentra emplazada en lo que se conoce como el “Valle ciego de San Bernabé”, pues no tiene salida natural de sus aguas, o por lo menos no a cielo abierto. El agua desaparece pocos metros aguas debajo de los puentes por el Sumidero de Ojo Guareña, dando lugar al segundo sistema kárstico más grande de la península ibérica, y uno de los diez mayores del mundo.

Toda esta singularidad imprimía a la intervención una responsabilidad adicional, y no únicamente desde planteamientos técnicos, sino también estéticos. El funcionamiento peculiar hidráulico del cauce hace que sea aceptado que la carretera quede anegada por las aguas con relativa frecuencia, especialmente cuando se producen deshielos repentinos en la cuenca, tras copiosas nevadas.

Respecto a la antigüedad de los puentes, no tenía, ninguno, especial valor patrimonial en sí, pues se considera que, a falta de otra documentación, el más antiguo podría ser, quizás del siglo XIX, y el más moderno, de la primera mitad del siglo XX, pero ambos imprimían al paisaje una estética que se integraba en el mismo con fuerza, por lo que se decidió mantener su configuración global. Ambos son de medio punto, de luces 5,92, el más antiguo, y 3,80 m, el más moderno (Figura 2). Los anchos de bóveda eran 2,90 y 4,10 metros respectivamente.

3. ESTUDIOS PREVIOS

Como estudios previos se realizó una investigación documental sobre las estructuras, que resultó infructuosa. También se realizaron sondeos verticales sobre el terreno, en la zona de ampliación, y sondeos horizontales en los tímpanos de los puentes, con el doble objetivo de conocer el espesor y la composición de la sillería de los tímpanos, y lo mismo del material de relleno del trasdós de los tímpanos para tratar de ver hasta qué punto podía estar cementado. Además de ello se realizó una topografía de precisión de la zona, y un estudio y medición precisa de ambos puentes: luces, anchos, número y espesor de bóvedas, patologías, características constructivas singulares de las bóvedas, etc. Se observó un relleno del trasdós fuertemente cimentando en el puente más antiguo, y bastante suelto en el puente más moderno.

Sobre el puente más antiguo llamó la atención la escasez de su anchura (2,90 m). Asimismo, se observó un desajuste geométrico del trazado de la bóveda que se separaba en una de sus mitades del trazado exacto de un arco de medio punto. Como no se apreció ninguna patología en la cimentación, y la deformación presentaba aspecto de estar estabilizada, se consideró que previsiblemente había existido desde siempre, y su origen más probable sería el propio descimbrado, bien por reajuste del acoplamiento de las dovelas, que no eran de gran calidad formal, o bien por acondicionamiento del terreno con la primera puesta en carga.

Por último, el puente antiguo presentaba una ampliación antigua y poco afortunada, aguas arriba, con una viga metálica en muy mal estado de conservación. Las alcantarillas, entre los dos puentes, tenían sus losas de piedra, de dinteles, fisuradas y habían sido reforzadas, en algún momento, con perfiles de acero en forma de “U” (Figura 3). Textos que ayudaron a entender mejor la forma de trabajar las estructuras de fábrica se pudieron encontrar en las referencias [1], [2], [3], [4] y [5].



Figura 1: Situación inicial de alzado y sección de la carretera.



Figura 2: Alzado original de ambos puentes.



Figura 3: Refuerzos con estructura metálica.

4. PLANTEAMIENTOS TEÓRICOS: EL PROYECTO

Después de una fase de estudios y consideraciones previas, la cuestión estaba centrada en proporcionar una solución técnica que cumpliera determinados requerimientos:

1. Respetar la configuración estética actual de alzados.
2. Aumentar la sección efectiva de la carretera a 7 m.
3. No cortar el tráfico, si fuera posible.
4. Respetar la rasante de la carretera.
5. Ser compatible con las actuales cargas de tráfico.

Con el fin de reflexionar sobre el patrimonio construido en puentes de fábrica, y sus aspectos estéticos y funcionales se empleó gran cantidad de bibliografía entre la que cabe destacar [6], [7] y [8]. Con todos esos condicionantes y referencias se adoptó una primera definición técnica (Figura 4) que fue la siguiente:

- Ampliación asimétrica aguas abajo hasta conseguir el ancho necesario.
- Bóvedas nuevas de hormigón en prolongación de las existentes.
- Desmontaje y montaje posterior de paramentos actuales aguas abajo.
- Corte de tráfico muy limitado en el tiempo.

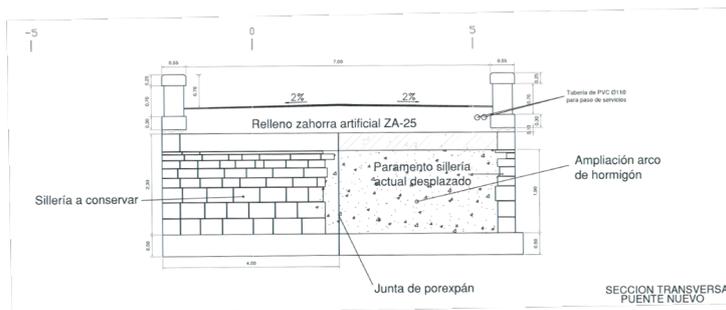


Figura 4: Solución de ensanche.

Para la evaluación estructural se estudiaron normas de acciones antiguas, como la de 1925, y se compararon con los estándares actuales de la instrucción de 2011. Para análisis de las bóvedas de nueva construcción, al ser de hormigón armado se empleó el programa de cálculo matricial METAL 3D, estableciendo dimensiones suficientes para que fueran capaces de soportar las nuevas cargas habituales en carretera (Figura 5).

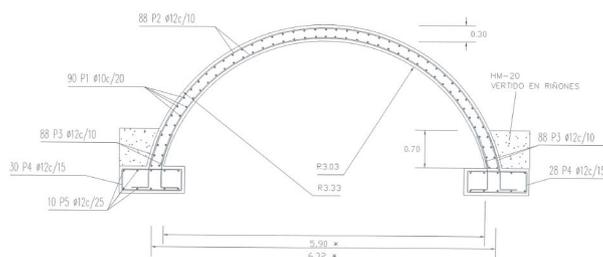


Figura 5: Solución de bóveda nueva.

Para el análisis de las bóvedas antiguas se empleó un programa, el cual mediante un proceso iterativo realiza un barrido de soluciones hasta encontrar una línea de presiones en equilibrio con las cargas. Se realizaron dos hipótesis de carga con el carro centrado en centro de luz, y el carro cargado en el cuarto de vano, además del resto de cargas uniformes indicadas en la instrucción IAP-11. Se realizaron cálculos con espesor de 40 cm, que era el estimado, con espesor de 42 cm, que era uno supuesto en caso de refuerzo, con carro centrado, con carro en cuarto de luz, con y sin sobrecargas uniformes, y, por último, con espesor de 40 cm y un relleno de riñones de 40 cm de altura en cada arranque. Se observó, que las bóvedas antiguas no eran capaces de equilibrar las cargas de la instrucción, pues la línea de presiones necesaria se salía del espesor del arco. Se verificó que se podía conseguir el equilibrio aumentando ligeramente el espesor del arco, o bien disponiendo un relleno estructural en los riñones del arco hasta una altura de 40 cm, que ya permitía una línea de presiones en equilibrio encajada dentro del arco (Figura 6). A pesar de que se había observado que el relleno del trasdós, especialmente en la bóveda más antigua, estaba fuertemente cementado, y con una resistencia próxima a la de la sillería de los tímpanos, se proyectó un relleno de hormigón en masa en el trasdós de las bóvedas. Esa solución implicaba un vaciado del trasdós de las mismas, y un relleno posterior con consolidación cuidadosa. Para evaluar la colaboración del relleno de riñones en el trasdós de bóvedas se emplearon las reflexiones de la referencia [9], y para la consideración sobre las formas de las mismas la referencia [10].

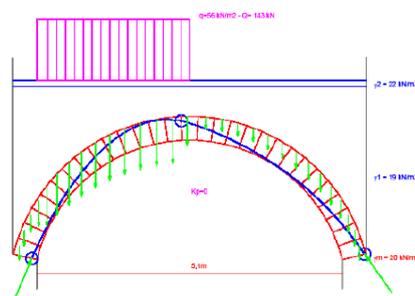


Figura 6: Línea de presiones en equilibrio. Carro en cuarto de luz

En resumen, en el análisis de la bóveda de fábrica del puente más antiguo, se observó que cuando tenemos las cargas no centradas, en un semivano, la estructura con su actual espesor de 40 cm no es capaz, aunque por poco, de equilibrar las mismas. Lo mismo ocurría cuando estaba el carro centrado en el vano, pero sin las sobrecargas uniformemente repartidas. En ambos casos existían dos formas de solucionarlo. O bien aumentamos algo el espesor de los arcos (bastaba con un canto total de 42 cm), mediante algún material de aportación y conectado a la fábrica primitiva, o bien se realizaba un relleno de riñones (bastaría con 40 cm de altura). Ésta es solución que finalmente se adoptó en la fase de proyecto.

5. SITUACIONES REALES: LA EJECUCIÓN

5.1 Diferencias entre teoría y realidad

Un primer aspecto que se planteó desde el primer momento fue una fuerte oposición de los usuarios del entorno a que se cortase el tráfico en ningún momento. Además, la Confederación Hidrográfica imponía

ventanas temporales de no actuación en el cauce para preservar momentos de reproducción de determinadas especies animales.

Otro segundo aspecto que se observó es que la trabazón real de la boquilla de las bóvedas con el cuerpo de las mismas era tal, que al tratar de desmontarlas era fácil arrastrar más de una dovela, y debido a la pequeña anchura de la bóveda del puente viejo se consideró conveniente estudiar la ampliación de los puentes, pero sin desmontar paramentos.

En estos trabajos es importante la colaboración efectiva de todos los agentes que intervienen en la ejecución de la obra, entre los que es necesario citar al propio contratista de la ejecución. En este caso, el contratista constaba de una experiencia acreditada en trabajos de sillería, y se llegó al acuerdo de elaborar paramentos con sillería nueva, de dimensiones y materiales totalmente análogos a los antiguos. De esa forma, al mantener, durante más tiempo la configuración íntegra de los puentes actuales se pudo mantener el tráfico sobre los mismos durante la mayor parte de la ejecución de las obras. Solo, durante muy pocas semanas fue necesario desviarlo, por un vado provisional, en tierras, aguas abajo, que al mismo tiempo fue aprovechado por el propio contratista para el suministro de materiales a la ampliación de aguas abajo (Figura 7).



Figura 7: Ampliación de bóvedas.

Un último problema apareció, en la fase final, al tratar de realizar la excavación del relleno del trasdós de las bóvedas para reforzar los riñones. Estaba previsto, y valorado, realizarlo a mano, para no dañar a las bóvedas, pero su fuerte estado cementado hacía imposible realizarlo manualmente, y no se consideraba conveniente actuar con maquinaria. Uno de los motivos que provocaba la salida de la línea de presiones del espesor de la bóveda era el problema de las cargas puntuales del tren de carreteras, por lo que se decidió disponer, justo debajo del pavimento, una losa de hormigón armado, sobre cada bóveda, que hiciera que las cargas puntuales pudieran considerarse como uniformemente distribuidas, en el cálculo (Figura 8). Y, además, se subió ligeramente la rasante de la carretera, para que la proporción entre cargas permanentes, que centran la línea de presiones, y cargas variables, que la descentran, fuera más favorable. Eso permitía tener, prácticamente garantizado, que incluso con las cargas de la instrucción de carreteras, fueran estables todas las bóvedas, las antiguas y las nuevas. El aspecto final fue el observado en la Figura 9.



Figura 8: Hormigonado de bóvedas y losas.



Figura 9: Vista final.

5.2 La prueba de carga

En este tipo de bóvedas, existen gran número de incertidumbres en el cálculo, por lo que es conveniente realizar una prueba de carga para verificar, que su comportamiento se ajusta a las previsiones. Las bóvedas nuevas y viejas se proyectaron desconectadas estructuralmente, por lo que se realizaron medidas y cargas sobre cada una de las 4 bóvedas. Por otro lado, debido a sus escasas dimensiones era difícil materializar cargas elevadas de varios ejes de un vehículo pesado, pues enseguida los ejes caían fuera de la vertical de las bóvedas. El camión empleado fue uno rígido de tres ejes con una carga por eje, de 7.360 kg (eje delantero), y 18.200 kg (ejes traseros) (Figura 10). El sistema de adquisición de datos estaba formado por una cadena de medida de la marca HBM. En cuanto a la instrumentación se dispusieron bandas extensométricas, en el trasdós e intradós de las bóvedas de hormigón, y traductores LVDT para medir los desplazamientos (flechas) en clave de los arcos. Los descensos máximos de las claves de los arcos fueron de 0,25 mm, en las bóvedas de fábrica, y de 0,035 mm en las claves de hormigón. Las deformaciones en trasdós e intradós, de las bóvedas de hormigón, son despreciables.



Figura 10: Prueba de carga.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se ha descrito la intervención sobre el ensanche de dos puentes de fábrica. Se han planteado todos los condicionantes previos que enmarcaban lo que se le pedía a la solución técnica del proyecto de ejecución. Se han explicado los estudios previos que se han llevado a cabo para obtener datos suficientes para realizar esa primera solución técnica.

A continuación, se ha relatado la experiencia que se obtiene cuando se actúa sobre la estructura real, y que consiste en un proceso en el que se van validando los planteamientos teóricos definidos en proyecto,

o bien, se van adaptando, a medida que aparecen nuevos datos de los que no se disponía cuando fue necesario redactar el proyecto. En esos momentos, es necesario adoptar decisiones que tengan en cuenta, gran cantidad de variables, donde las técnicas, aunque muy importantes, no son las únicas a considerar. Existen otros aspectos como sociales, económicos, legislativos, de plazo de ejecución, etc. Todo el conjunto de temas planteados y explicados, de forma resumida, en este documento se consideran especialmente interesantes para cualquier técnico que tiene que intervenir en este tipo de obras.

Aunque, en este caso, las estructuras no presentaban dimensiones que las hicieran especialmente relevantes, el especial emplazamiento en el que se encontraban, en un paraje declarado Monumento Natural, han obligado a conjugar con mayor rigor soluciones funcionales, de plazo, y estéticas. En el guion de la metodología empleada, y en otras consideraciones sobre alternativas de actuación se ha empleado la referencia [11]. Por último, es importante comentar también, que el aspecto, de la sillería y mampostería, recién realizada, se va atemperando con el paso de tiempo, como se puede observar después de un año de la finalización (Figura 11).



Figura 11: Alzado final al cabo de un año.

7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo de rehabilitación fue propuesto y financiado por la Excma. Diputación Provincial de Burgos, y coordinado por su Servicio de Vías y Obras. La ejecución de la obra corrió a cargo de RALLASA, S.L. Se agradecen a los dos la especial dedicación a lo largo de todo el proceso.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Heyman, J. El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica. Madrid, España. Instituto Juan de Herrera & E. Reverte, Eds. Universidad Politécnica de Madrid (1999)

[2] Huerta Fernández, S. La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico. Obra Pública Nº 38: 18–2 (1996)

[3] Arteaga, I de, & Morer, P. (2012). The effect of geometry on the structural capacity of masonry arch bridges. *Construction and Building Materials*, 34: 97–106.
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.037>

[4] Boix, E. Estabilidad de las construcciones de mampostería. Madrid, España. Establecimiento tipográfico de Gregorio Juste (1889)

[5] Espejo, J. Estudio del comportamiento experimental de los puentes de fábrica ensayados hasta rotura. Puente ferroviario de la Riera de Rubí y Puente sobre el ferrocarril de Plazaola en Urnietasu. Trabajo de investigación tutelado por León, J. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid (2007)

[6] Alzola y Minondo, P. Historia de las obras públicas en España. Madrid, España. Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y P. Ed. (1979)

- [7] Aramburu-Zabala Higuera, MA. La arquitectura de puentes en Castilla y León 1575-1650. Valladolid, España. Junta de Castilla y León (1992)
- [8] Chías Navarro, P, & Abad Balboa, T. La construcción del territorio: caminos y puentes en Castilla y León. Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y P. Ed. Historia de las obras Públicas en castilla y León. Ingeniería, territorio y patrimonio. (pp. 299–414.). Valladolid, España. Junta de Castilla y León (2008)
- [9] Urruchi-Rojo JR, Martínez-Martínez JA, Serrano-López R. From the semicircular vault to the flattened vault in masonry bridges. The influence of rise/span ratio and the resistant backfill in the breaking load. *Informes de la Construcción*. Vol. 69, 545, e187. Enero-marzo 2017. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.107>.
- [10] Urruchi-Rojo JR, Serrano-López R, Martínez-Martínez JA. The shallow arch: a step towards bridges styling in the early 19th century. *Engineering Structures* 167 (2018) 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.078>
- [11] ATC-AIPCR, Comité de Puentes, GT Puentes de Fábrica. Criterios de intervención en puentes de fábrica. 2014: 158 p.