

Algunas consideraciones sobre la intervención en puentes bóveda de piedra o ladrillo



Javier León

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Grupo de Hormigón Estructural. ETSICCP-UPMI

Resumen

Se plantean en este artículo unas consideraciones acerca del valor de los puentes de piedra y ladrillo, no siempre bien entendidos por la sociedad y, lo que es peor, por los propios ingenieros. Eso ha conducido a que las actuaciones sobre los puentes de fábrica se hayan hecho, frecuentemente, con poco criterio y peor fortuna. Se hace una primera referencia a su valor patrimonial, concepto algo etéreo, pasando luego a la componente estructural que comporta la belleza de estos puentes, de comportamiento resistente asombrosamente generoso aunque a veces frágil, apelándose a la necesidad, casi obvia, de entender bien estos puentes antes de intervenir o, mejor dicho, antes de analizar si es preciso intervenir, cuándo y cómo hacerlo. Por todo ello, ya en las conclusiones, se reivindica la necesidad de incorporar a la oferta docente el estudio de estos puentes, de formar a gestores y técnicos y de difundir hacia la sociedad el valor y el papel de estas nobles construcciones, dispuestas a seguir jugando un papel de primer orden en las infraestructuras de la sociedad actual.

Palabras clave

Puente de fábrica, bóveda, arco, valor patrimonial, formación

Abstract

The author raises a series of aspects related to the value of stone and brick bridges, that are not always understood by the public and, what is worse, by engineers themselves. This has led to interventions on masonry bridges that have often been made with poor criteria and mixed fortune. The article starts out by referring to the somewhat intangible concept of the heritage value of these bridges, before passing on to the structural component that encompasses the beauty of these bridges, and which, while sometimes fragile, incorporate a truly outstanding bearing capacity. The author makes the case in support of the almost obvious need for a correct understanding of these bridges prior to any intervention or, preferably, to establish whether any intervention is in fact required and, if so, when and how. The article concludes by arguing the need to include the study of these bridges in engineering coursework, to train administrators and technicians and to inform the public of the value and role of these noble structures that are destined to play an essential role in the infrastructures of modern society.

Keywords

Masonry bridge, vault, arch, heritage value, education

1. Ámbito y propósito

Marco Vitruvio Polión [1] estableció los tres principios en los que se basa la arquitectura: la belleza (*venustas*), la firmeza (*firmitas*) y la utilidad (*utilitas*) o función. Afirmaba que las tres virtudes han de estar en equilibrio, sin sobrepasar ninguna de ellas a las otras dos. ¿Participan los puentes de la condición de objeto arquitectónico y, por tanto, del equilibrio de belleza, capacidad resistente y funcionalidad? La percepción de la sociedad, alimentada en gran parte por los propios ingenieros, es que de los puentes sólo deben esperarse prestaciones funcionales y resistentes. Ése ha



Fig. 1. Puente de Narbarte, sobre el Bidasoa (Navarra)



Figura 2. Viaducto de El Lledoner, N-340. Barcelona

sido, por desgracia, el énfasis que ha primado en muchas administraciones, autores de reglamentos, constructores, docentes e investigadores. También hay que decir que, en tiempos recientes, se ha violado en alguna ocasión el equilibrio en la búsqueda de la belleza entendida con cierto carácter exhibicionista. No siempre fue así, ni es un sino inexorable que los puentes queden fuera del aludido equilibrio de los principios vitruvianos.

Los puentes romanos, medievales, renacentistas y barrocos, y también los de la Ilustración y su heredera la Revolución Industrial, buscaron el citado equilibrio, y es preciso admitir que, en líneas generales, lo consiguieron, dejando un legado que la sociedad del s. XX maltrató por la vía de la destrucción impuesta por guerras devastadoras y por actuaciones no siempre afortunadas aunque, dicho sea en descargo de sus responsables, bienintencionadas y fuertemente condicionadas por la escasez de recursos y la exigencia de satisfacer crecientes demandas.

En este artículo¹ se quiere centrar el objeto de las reflexiones en los puentes de piedra o de ladrillo, los más antiguos de todos los supervivientes que han llegado hasta nosotros de

épocas pasadas y a los que más atención y buena pluma han dedicado ilustres ingenieros, historiadores, arqueólogos y responsables del patrimonio. El *leitmotiv* es el de la aplicación de los principios de Vitruvio y cómo cabe interpretarlos en el tratamiento que cabe dar a los puentes de fábrica en el s. XXI.

2. Acerca del valor patrimonial de los puentes de fábrica

Es preciso admitir que el concepto de valor patrimonial es difuso porque se entremezclan conceptos estéticos, utilitarios, científicos, históricos, paisajísticos, económicos, sociológicos, políticos, simbólicos y hasta de metáfora del lenguaje [3]. Afecta, pues, a aspectos tangibles, no siempre cuantificables, y a aspectos intangibles, casi nunca cuantificables. La referencia [4] contiene, a estos efectos, una propuesta de acercamiento a este concepto que concita los tres referidos principios vitruvianos.

El capítulo 2 de la referencia [2] contiene un conjunto de criterios de actuación que, en sintonía con documentos como la carta de Venecia de 1964 o del Consejo de Europa de finales del s. XX, permiten al ingeniero valorar los aspectos patrimoniales del puente en el que se plantea una intervención.



Fig. 3. El ciego de Toledo. Sorolla, 1906. Sitúa al puente como nexo entre dos partes de la ciudad, para comunicar personas, entre la ciudad y el campo, integrado de manera equilibrada en su entorno. Meadows Museum, Dallas, Texas, EE. UU.



Fig. 4. El puente de Ponteceso sobre el río Anllóns, indisolublemente vinculado a su entorno



Fig. 5. Puente de Urnieta, durante el ensayo hasta rotura



Fig. 6. *Le viaduc*. Van Gogh, 1887. Solomon R. Guggenheim Museum, Nueva York



Fig. 7. Construcción de un puente sobre el río Tera, en Zamora (Foto: Laurent, mediados del s. XIX)



Fig. 8. Autopsia del puente de Urnieta tras su ensayo hasta rotura

La belleza (*venustas*) de un puente de fábrica está muy fuertemente condicionada por el paisaje en que se ubica el puente, pero más aún por la armonía de sus formas, las proporciones de sus elementos constitutivos o por la textura de sus paramentos. Esa belleza se nutre también, para las sensibilidades de los ingenieros, de los aspectos constructivos y resistentes que lee y goza quien tiene formación para hacerlo. En ese sentido, la bóveda (término mejor que el arco en los puentes de piedra) siempre fue motivo de fascinación por su forma de trabajo.

En ocasiones, son otros los que ven belleza en obras de fábrica de apariencia modesta, funcional y resistente, lo que obliga a ser especialmente modesto y cauto en la interpretación de la *venustas*, concepto abierto al enriquecimiento de puntos de vista que se aportan desde fuera de la ingeniería. Es una actividad interesante detectar cómo han sido representados los puentes en la historia del arte, lo que tiene que ver con la integración de éstos en el circuito cultural que se reclama en este artículo.

Elemento de gran importancia es la correcta adscripción temporal de un puente o de sus diferentes elementos, pues es muy frecuente que estas estructuras hayan tenido adita-

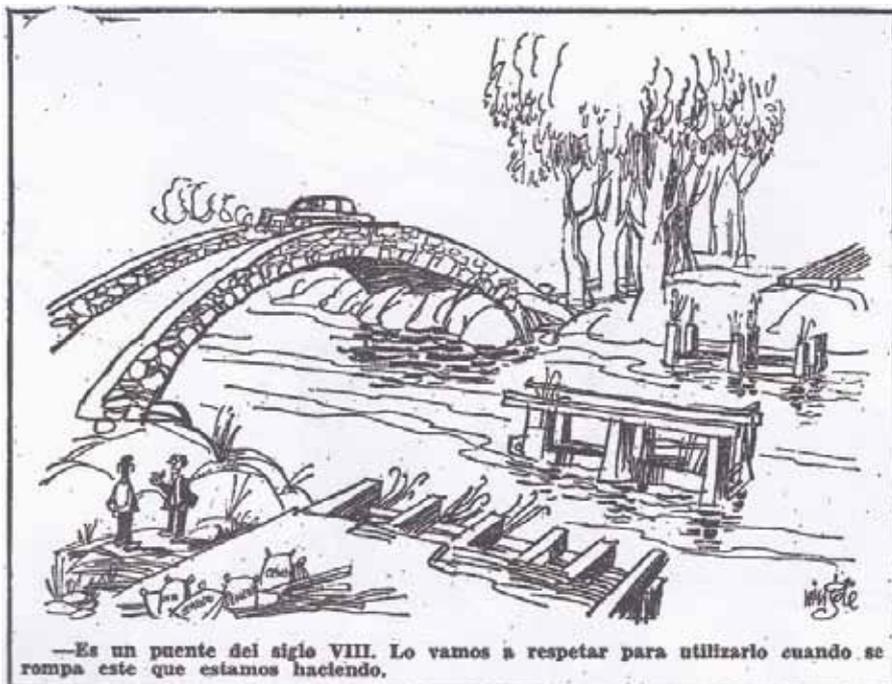


Fig. 9. Visión de Mingote en ABC a propósito de los puentes de fábrica

mentos, mutilaciones, refacciones e intervenciones de épocas muy diferentes. El capítulo 4 de la referencia [2] contiene una propuesta en esa dirección que no se había encontrado en la literatura especializada. Como ya se ha dicho [5], situar correctamente un puente en el momento temporal de su construcción aporta implícitamente mucha información acerca de la tipología probable de su cimentación, de sus pilas y estribos, de la morfología de sus tímpanos, bóvedas y rellenos, así como de los procesos constructivos utilizados. Eso es de gran utilidad para historiadores, ingenieros, arqueólogos y para la sociedad en general.

3. Acerca de la capacidad resistente

Los puentes de piedra o ladrillo tienen una propiedad que les diferencia notablemente de los más modernos de hormigón, metálicos o mixtos: su enorme capacidad resistente, que les permite aceptar sobrecargas muy superiores a las consideradas en el momento de la construcción. Como es sabido, eso es debido tanto a su tipología, la bóveda, como al hecho de que las sobrecargas, incluso las más exigentes de la actualidad, sean una fracción pequeña de las cargas permanentes que aportan el peso propio, los rellenos, el pavimento, etc.

Esta cualidad ha hecho de los puentes de fábrica objeto claro de ensanches y paso preferente de cargas pesadas en detrimento de obras más modernas construidas, como es natural, para los trenes de cargas vigentes en el momento de su proyecto, pero no para los requisitos de mayor exigencia que requieren los códigos más modernos.

La intervención elegida, o incluso la no intervención, ha de ser el resultado de un estudio previo suficientemente prolijo

de las alternativas posibles, lo que suele llamarse ‘estudio de soluciones’, como señala el capítulo 5 de la referencia [4], que se sigue de cerca en este apartado. A ese estudio debe contribuir el análisis estructural del puente, tanto en el estado previo como el posterior a la intervención para cada una de las situaciones imaginadas posibles para el puente. El análisis desempeña, pues, la bien conocida función justificativa de cada una de las soluciones técnicas planteadas. Sin embargo, en este contexto, el análisis juega otro papel mucho más importante y lamentablemente descuidado por los ingenieros desde que dejaron de proyectarse y construirse estas nobilísimas construcciones: el de permitir entender cómo funcionan, calibrar los órdenes de magnitud de los esfuerzos y, tras ello, aprovechar las capacidades estructurales del puente. El entendimiento debe servir también para rendir tributo a la sabiduría de aquellos que los proyectaron y construyeron.

Sólo desde la comprensión del fenómeno resistente de las obras de fábrica y del papel resistente que tiene cada uno de sus elementos se puede discernir qué es importante y qué no lo es tanto, base esencial en la toma de decisiones. La experiencia demuestra que, en general, muy pocas cosas son prescindibles. También enseña la experiencia que muchas de las no siempre afortunadas intervenciones del pasado ponen de manifiesto la ignorancia de sus autores acerca de cómo funcionan estos puentes. De la ignorancia se derivan, automáticamente el desprecio, es decir, la falta de aprecio y el desdén. De ahí al desamor y al desmán sólo hay un paso. Es, por desgracia, un comportamiento humano cuyas lamentables consecuencias están bien probadas.

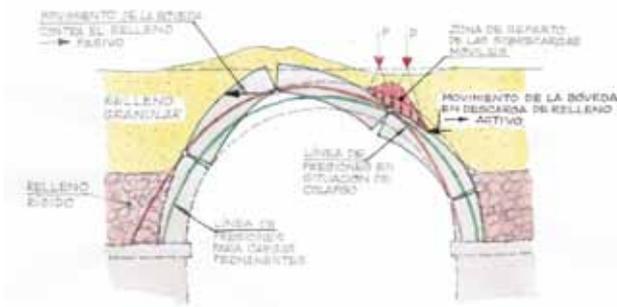


Fig. 10. Esquema del comportamiento de una bóveda de fábrica frente a sobrecargas [2]

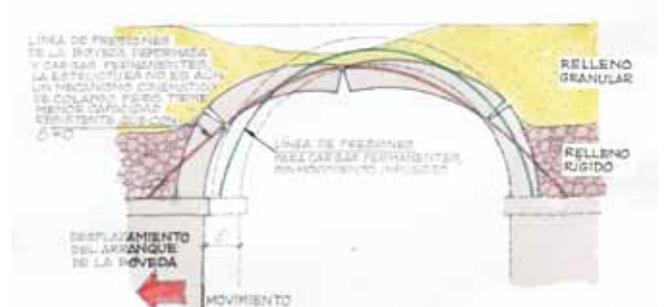


Fig. 11. Esquema del comportamiento de una bóveda de fábrica frente a movimientos impuestos [2]



Fig. 12. Socavación de la pila de un puente ferroviario

rubricaingenieria.es

 RÚBRICA PUENTES

- Diseño y fabricación de equipos especiales para puentes por método de voladizos sucesivos •



rubrica,
Soluciones de ingeniería inteligente

Puente arco ferroviario sobre el río Almonte.

Equipos especiales para ejecución del arco del puente (384m) sobre el río Almonte para la LAV Madrid - Extremadura.

Alsina
SOLUCIONES EN ENCOFRADOS

Distribuidor Oficial para Internacional



Fig. 13. Pérdida de durabilidad de una bóveda de ladrillo

Resulta paradójico que el progreso, asociado apriorísticamente al avance del conocimiento, haya traído a la ingeniería un retroceso en el saber y un desapego de la comprensión de la forma de trabajar de los puentes de piedra o ladrillo y, por extensión algo simplificada, de todas las construcciones que no son de hormigón o acero.

Por fortuna, son cada vez más fuertes las voces de ingenieros y expertos de otras disciplinas que reivindican que el verdadero progreso de la ingeniería pasa por saber del *ethos* de estos puentes, incluida muy principalmente la faceta estructural, que llega a ser, incluso, comprensiva de todas las demás. En ese proceso se hace necesario destacar la necesidad de que el ingeniero sepa identificar las amenazas que se ciernen sobre los puentes de fábrica [6, 7] y, muy en particular, los riesgos derivados de la socavación de sus cimentaciones. Éstas son, sin duda alguna, el talón de Aquiles de estas construcciones; a ese problema se dedica con extensión la referencia [8].

Pero también hay que incluir en este apartado la durabilidad, porque influye en la capacidad resistente tanto como puede hacerlo en la apariencia. Hay poca documentación, con excepción de las referencias [6] y [7], y es preciso hacer también en este campo un esfuerzo de pedagogía que permita superar las importantes lagunas formativas de los técnicos, lo que resulta paradójico porque hay cada vez mejores técnicas de reconocimiento y materiales, pero poca formación en los proyectistas.

Dentro de este apartado parece oportuno plantear asimismo la necesidad de investigar, tanto hacia atrás (profundizando

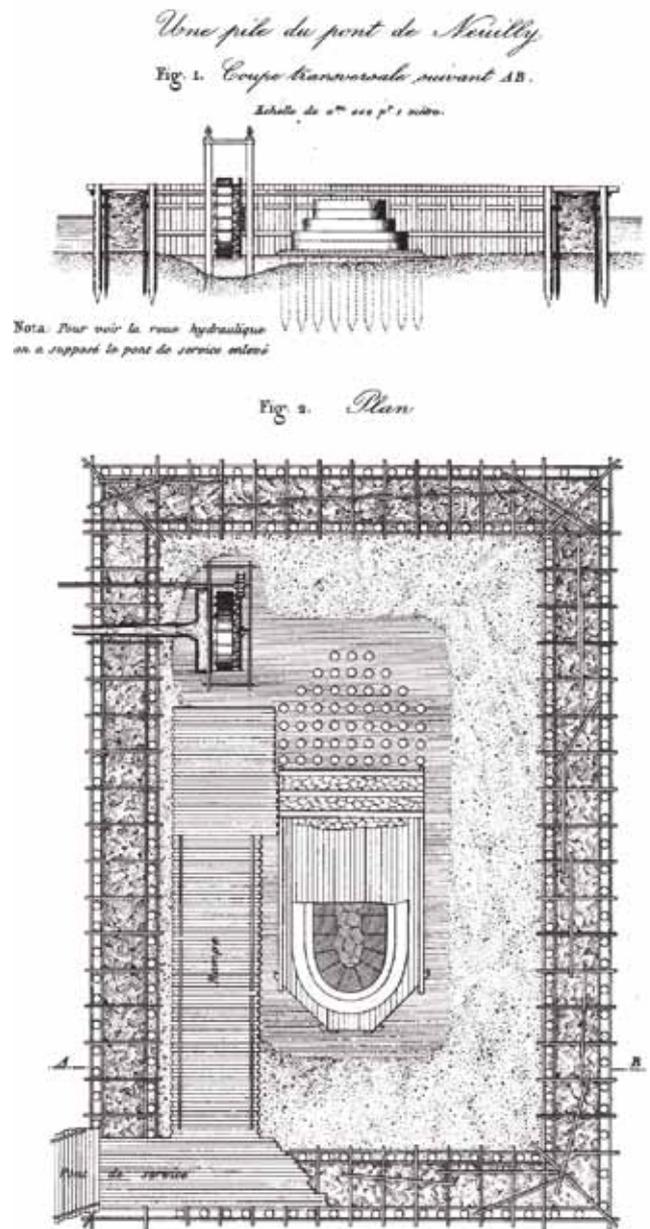


Fig. 14. Cimentación del puente de Neuilly. Perronet. Biblioteca de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

en el conocimiento de los procedimientos de proyecto y construcción, de los materiales utilizados o de los criterios de conservación de los puentes), como hacia adelante. En efecto, no cabe una visión meramente retrospectiva de la historia, sino que el conocimiento de ésta debe ayudar, junto con modernos procedimientos no destructivos, a la

TASSEMENTS DES VOÛTES

Fig. 2. *Pont de St. Edme construit en 1768 sur la Seine à Nogent*

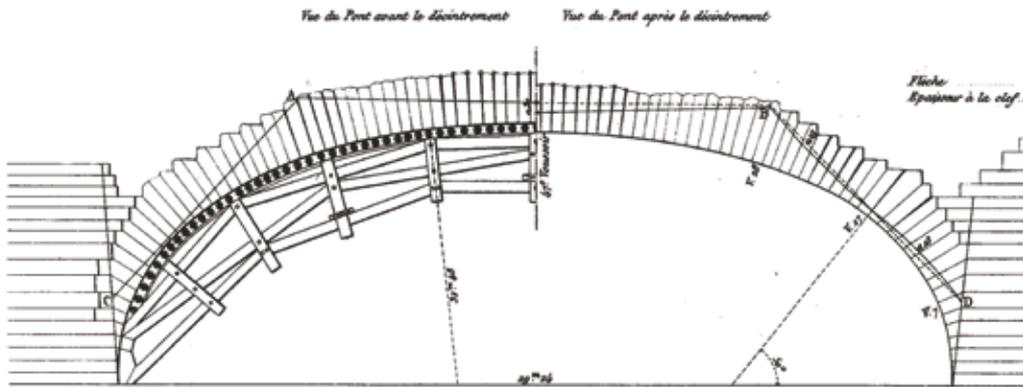


Fig. 15. Recursos para considerar a priori el ajuste de las dovelas tras el descimbrado y los movimientos posteriores por fluencia. Morandière, 1874. Biblioteca de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid

identificación geométrica de los elementos ocultos de los puentes, los rellenos, las lengüetas, etc.). También puede ser de enorme utilidad conocer cómo fueron los procesos constructivos y el porqué de ciertos detalles aparentemente insignificantes.

Aunque se es consciente de la dificultad que comporta el tratamiento de las construcciones existentes en general, y de los puentes de fábrica en particular, es oportuno suscitar la conveniencia de arbitrar documentos normativos que permitan ayudar a los técnicos, como sucede en obra

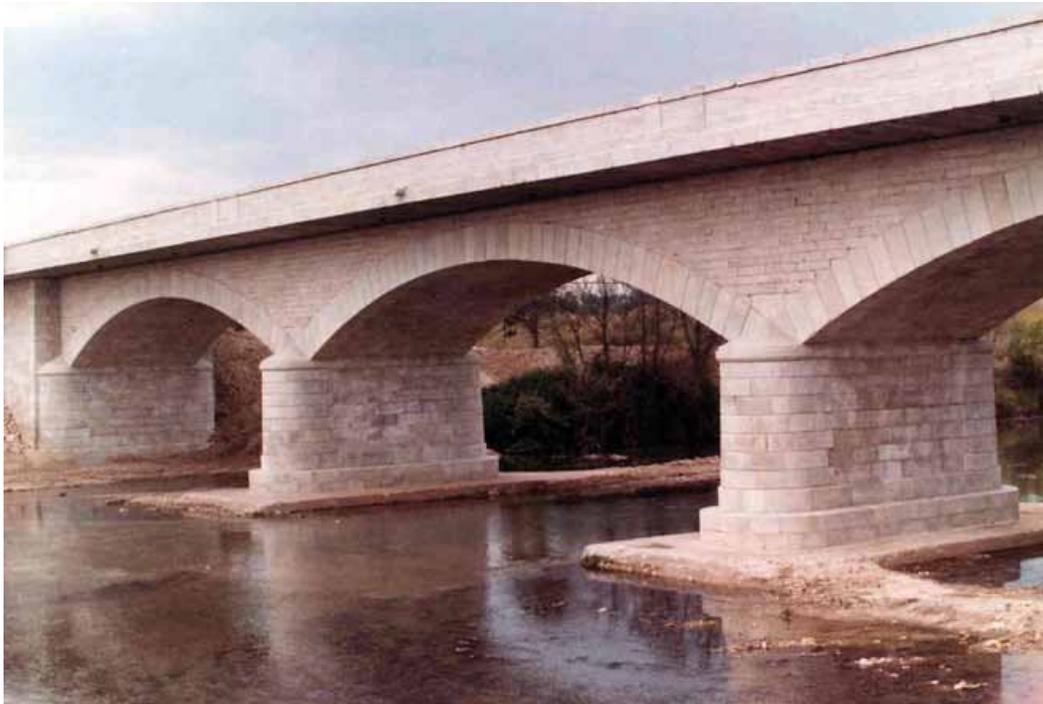


Fig. 16. Ensanche del puente de Algete, sobre el Jarama. Si bien el resultado formal es impecable y el proceso está muy bien documentado, se echa de menos un esfuerzo mayor por haber aprovechado más las posibilidades estructurales de las bóvedas

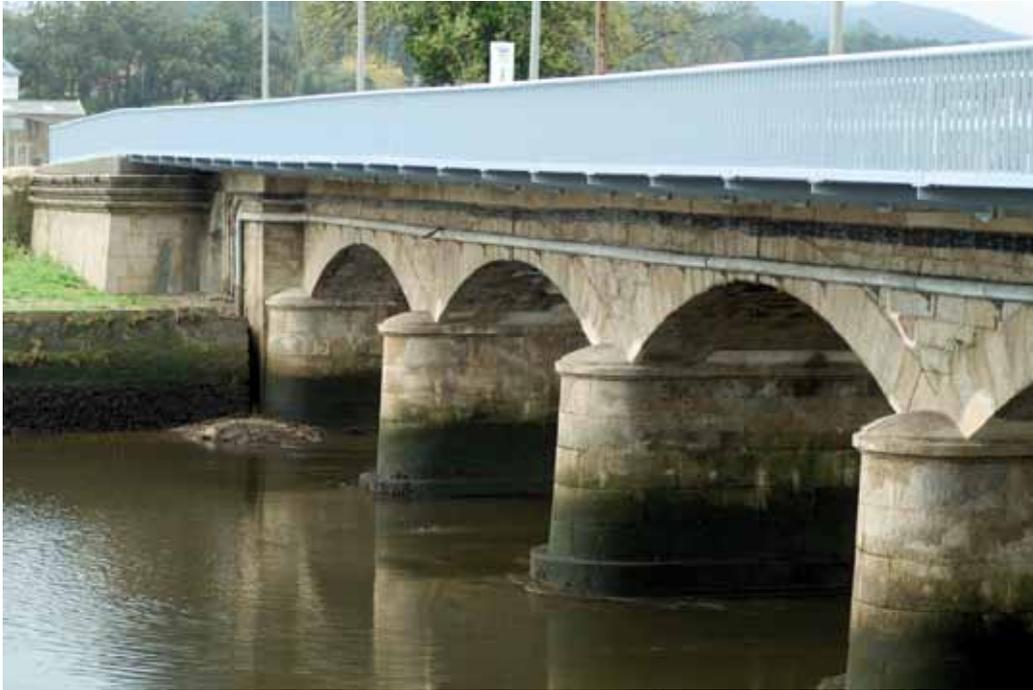


Fig. 17. Aspecto del puente de Ponteceso, ensanchado y documentado, pero con una conducción intrusa que no fue posible reubicar

nueva, a proceder en el contexto de unos procedimientos sancionados por el conocimiento previo para evaluar las capacidades resistentes de estas construcciones. En ese sentido, el capítulo 5 de la referencia [2], que se basa, a su vez, en las referencias allí citadas, está planteado con carácter pre-normativo de auxilio al ingeniero que ha de enfrentarse con este problema y sea capaz de sacar el máximo partido posible a estas construcciones.

4. Acerca de las posibilidades funcionales

Se trata del tercer principio de Vitruvio: *utilitas*. Los puentes, a diferencia de los edificios, no son objetos arquitectónicos por sí mismos. Cumplen la función de dar soporte a una vía que se encuentra con el obstáculo que salva el puente, lo que condiciona en gran medida el tipo de intervención.

Así, es frecuente que el tablero sea más estrecho que la plataforma de la carretera a la que da soporte, lo que ha hecho considerar la posibilidad de ensanchar el tablero. El documento [2], capítulos 3 y 6, trata el problema con suficiente extensión, dando algunas ideas para la intervención que, en general, no es deseable porque desnaturaliza el puente y, como muestra la experiencia, ha provocado daños de carácter irreparable. Pero el uso es vida para el puente, por lo que dicho documento ha preferido aportar, por encima de

todo, criterios que ayuden al técnico a analizar si verdaderamente no es posible acudir a otras soluciones alternativas al ensanche o, si el ensanche es ineludible, documentar la intervención y asegurar la reversibilidad de la actuación que se emprende para que, en un futuro, se pueda devolver al puente la configuración que tuvo.

Cada vez es más frecuente que el puente de fábrica sea objeto de intervenciones restauradoras cuando, reconocido el valor patrimonial y resuelto el problema funcional del tráfico, se da al puente un uso menos exigente pero no menos importante, como ruta peatonal, ciclista o de tránsito reducido de vehículos a motor. Es decir, se plantea la posibilidad de revertir una actuación anterior, si fue poco afortunada, a una más cercana a la asociada al puente primigenio. La cuestión tampoco es sencilla, porque se corre el riesgo de eliminar elementos añadidos de algún valor y porque, si no hay documentación que lo avale, la restauración puede generar 'falsos históricos' que es preciso evitar igualmente. La referencia [2] da, en los capítulos 3 y 6, criterios para la actuación en ese siempre deseable supuesto.

Además, es preciso tratar de conciliar otros requisitos funcionales importantes, como los sistemas de contención de vehículos, con la configuración formal de un puente de este



Fig. 18. Desprendimiento de la hoja de intradós de un puente de ladrillo

tipo, evitando en la medida de lo posible la implantación de sistemas que provoquen no sólo un grave deterioro a la imagen del puente, sino que resulten además poco eficaces puesto que el anclaje de los dispositivos de contención no sea posible o tenga pocas garantías. En ese mismo saco se ha de meter la interacción con otros servicios, con frecuencia 'intrusos' en el puente, como conducciones de diferente tipo.

5. Conclusiones

Relativas a la gestión del patrimonio:

a) La gestión de los puentes de fábrica, y esto es extensivo a cualquier otro tipo de puente, ha de incorporar los elementos que caracterizan su valor patrimonial, en los términos apuntados en el apartado 2 de este artículo.

b) Estos puentes han de ser incorporados al circuito cultural al que ya pertenecen edificios objeto de valoración social, turística y de conocimiento.

Relativas a la docencia y la formación de los técnicos:

a) Se hace necesario apoyar la incorporación, si aún no se ha hecho, de asignaturas que traten de los valores de estos

puentes, de su historia, de su funcionamiento estructural, de su inspección y diagnóstico, de las posibles intervenciones que cabe emprender en ellos. La sociedad precisa de ingenieros que sepan entender y valorar estos puentes y de situarlos en un contexto más amplio.

b) Por las mismas razones, se hace aconsejable formar a los ingenieros de las administraciones, consultorías y empresas constructoras.

c) También se hace preciso fomentar la preparación de técnicos, encargados y oficiales en técnicas de restauración, de materiales y procedimientos ancestrales, en un contexto actualizado, obviamente.

Relativas a la investigación teórica y aplicada:

a) Es preciso mejorar en ámbitos como el de las técnicas de reconocimiento, mediante técnicas no invasivas, de este tipo de puentes, así como los procedimientos de control de actuaciones como inyecciones para rigidizar rellenos o impermeabilizar el trasdós de bóvedas, estribos, tímpanos, etc.

b) Hay todavía mucho recorrido en la investigación de los procesos históricos de dimensionamiento y construcción

de los puentes de fábrica. El hecho de que sean ya objetos construidos no resta valor al conocimiento necesario de las técnicas de proyecto y construcción para entender por qué son así los puentes.

c) Se hace necesario conocer fenómenos como la fluencia y los fenómenos de cansancio en fábricas, especialmente las de ladrillo, que, aunque menos frecuentes, comportan algunas amenazas a la seguridad estructural.

d) Es preciso profundizar en las técnicas de evaluación de la sensibilidad de este tipo de estructuras frente a acciones sísmicas y los procedimientos para su adecuación.

e) Igualmente es necesario aún profundizar en los procedimientos de análisis frente a deformaciones impuestas, especialmente porque los modos de rotura frecuentemente condicionantes de la capacidad portante de estas estructuras son los de la formación de mecanismos. Las deformaciones impuestas adelantan la formación de éstos, reduciéndose drásticamente la seguridad estructural.

f) Estudio del papel de los rellenos, esencial y sorprendentemente poco analizado en la literatura especializada.

Relativas a las posibilidades futuras de estas obras:

a) La eventual redacción de códigos estructurales que regulen el tratamiento que los técnicos pueden dar al análisis y la intervención en este tipo de puentes.

b) Explorar las posibilidades de obras nuevas de fábrica, siquiera en un cierto rango de tipologías y luces, teniendo en cuenta los medios disponibles en la actualidad para la producción de sillares o ladrillos, los morteros, el montaje, etc. a la luz de consideraciones de sostenibilidad y muy reducidos costes de mantenimiento.

c) Avanzar en la definición de criterios y técnicas que permitan armonizar, con imaginación, los puentes existentes frente a la capacidad de desagüe, la sensibilidad frente a las socavaciones, la contención de vehículos, etc. **ROP**

Notas

(1) Coincide en el tiempo la redacción de este artículo con la presentación del documento [2], acto en el cual se rindió merecido homenaje a Ramón del Cuvillo, maestro de muchos de nosotros e inspirador de ese documento. Fue ingeniero que sintió los puentes y que buscó siempre el referido equilibrio, dando un ejemplo que debe perdurar.

(2) Los romanos establecieron la figura del ‘curator viarum’, funcionarios de alto nivel, precisamente para asegurar desde la administración la conservación, es decir, la seguridad y funcionalidad de la calzada, de la que los puentes eran pieza esencial.

Referencias

[1] Vitruvio Polión, M. Los Diez Libros de Arquitectura. Traducción del latín y comentarios de Don Joseph Ortiz y Sanz. Madrid, 1787. Reedición de Akal. Madrid, 1992.

[2] Grupo de trabajo “Puentes de Fábrica” del Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR). Criterios de intervención en puentes de fábrica. Madrid, 2014.

[3] Bauder, E. Las edades del puente de fábrica. Terminología y metáfora. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2007.

[4] Bernabéu J.; Berrocal, A.; Hernández P., López A., Hernández, V. La consideración patrimonial de las obras públicas. Fundación Miguel Aguiló. <http://www.fundacionmiguelaguilo.org/2011/06/la-consideracion-patrimonial-de-las-obras-publicas/>, 2011.

[5] León, J.; Corres, H.; Prieto, F. Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes. Revista de Obras Públicas, nº 3.492. 2008.

[6] ADIF. Inspección y diagnosis de puentes ferroviarios de fábrica. Madrid, 2008.

[7] García de Miguel, J.M^º. El tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y construcciones. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. Madrid, 2009.

[8] Grupo de trabajo “Puentes de Fábrica” del Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR). Cimentaciones de fábrica en puentes. Madrid, 2008.