

Obra de emergencia en Puente Villarente (León)*

*Emergency works on Puente Villarente Bridge (León)***

Javier León González^a, Cristina Sanz Manzanedo^b, Antonio Romero Ballesteros^c,
Adolfo Güell Cancela^d y Álvaro Amieva de Miguel^e

^aDr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Director Técnico. FHECOR

^bIngeniera de Caminos Canales y Puertos. Directora de Departamento de Obra Civil. FHECOR

^cIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Jefe de proyecto. FHECOR

^dIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Ministerio de Fomento. Unidad de Carreteras de León

^eIngeniero Técnico de Obras Públicas. Ministerio de Fomento. Unidad de Carreteras de León

RESUMEN

El puente sobre el río Porma, de origen medieval, está formado por dieciséis vanos de luces entre 12,6 y 21,2 m. Las bóvedas, pilas y estribos son de fábrica de piedra con un ensanchamiento del tablero en hormigón armado, resultado de sucesivas actuaciones.

Debido al accidente de un vehículo en 2018, con rotura del sistema de contención, se solicitó una emergencia ante el grave riesgo existente. Planteada la necesidad de minimizar los cortes de tráfico durante las obras, se empleó un sistema de losas prefabricadas para anclar en sus bordes un nuevo pretil. Adicionalmente se han llevado a cabo reparaciones en la fábrica y recalces en las dos pilas del río ante los deterioros observados en una de las bóvedas escarzanas.

ABSTRACT

The historical bridge over the Porma River, of medieval origin, is composed of sixteen stone vaulted spans ranging from 12.6 to 21.2 m. The bridge was submitted to several past interventions, including the broadening of its platform with a ribbed concrete slab. The crash of a lorry against the railing, in May 2018, provoked the emergency works presented in this paper: updating the platform, its railing system as well as strengthening of the two piers located on normal waters, since some disorders of a vault were detected.

PALABRAS CLAVE: Obra de fábrica, pretil, losas prefabricadas, recalce.

KEYWORDS: Masonry bridge, railing, precast slabs, underpinning of foundation.

1. Antecedentes

Con fecha 3 de mayo de 2018 se produjo un accidente sobre el vano 10 del puente, cuando un vehículo pesado perdió el control e invadió

la acera, impactando contra la barandilla metálica. El impacto destruyó 20 m de barandilla y dañó otros 120 m. Por todo ello, la Demarca-

ción de Carreteras del Estado en Castilla y León Occidental planteó, en agosto de 2018, una solicitud de obras de emergencia para actualizar el sistema de contención del puente siguiendo la OC 35/2014.

En dicha solicitud se planteaba la disposición de un sistema de contención H3 y se proponía una intervención en el tablero existente incluyendo demoliciones de las bandas laterales de la plataforma superior del puente y posterior reconstrucción para poder anclar con garantías el nuevo pretil. También estaba prevista la ejecución de nervios interiores de hormigón armado conectando las bandas laterales, en concreto un tirante por cada pareja de costillas enfrentadas. La actuación habría implicado, entre otros problemas, un corte total del tráfico. En noviembre de 2018, tras una inspección visual, se advirtieron algunos síntomas preocupantes en una de las bóvedas escarzanas sobre el río, con desprendimiento de sillares. Se planteó entonces una revisión de las actuaciones inicialmente previstas, lo que desembocó en la actuación completada en julio de 2019.

2. Descripción del puente

2.1 Datos generales

El puente se encuentra en la localidad de Puente Villarente (León), dando soporte a la N-601 sobre el río Porma. Es un ejemplo de localidad cuya toponimia y origen está vinculado al propio puente.



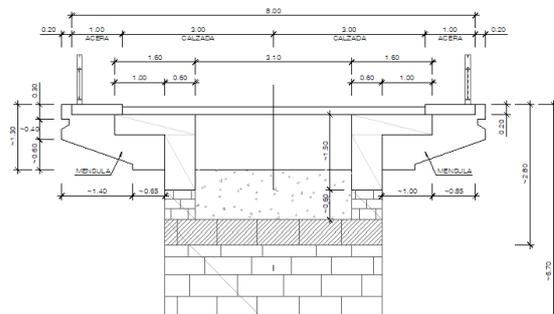
Se trata de un puente de bóvedas de piedra de trazado curvo y zigzagante en planta (fruto de las mil peripecias de su historia), com-

puesto por dieciséis vanos con luces comprendidas entre 12,61 y 21,20 m. Las pilas son de fábrica de piedra con tajamares, alcanzando una altura máxima de 8 m.

Los estribos son cerrados, formados por muros de frente y en vuelta de fábrica de piedra, pero de peor calidad en el lado León. El puente fue objeto de un ensanche en ambos laterales con hormigón armado, siendo su anchura total de 8 m, albergando dos carriles y aceras, pero sin arcén.



Antes de la intervención, la plataforma del puente expuesta al tráfico constaba de 6 m con dos carriles de 3 m, con un espesor de aglomerado de 15 cm, aceras de 1 m de ancho y 20 cm de espesor y barandillas laterales simples.



2.2 Breve reseña histórica

Se trata de uno de los puentes más antiguos del territorio leonés, con origen que se pierde en la noche de los tiempos. Se sitúa claramente en las viejas calzadas romanas que delimita el Iter Antonino y era paso de las Vías III y V, una de las cuales era la conexión con Lancia, antigua *civitas* de los astures, romanizada en el siglo I a.C. y que se encontraba en lo que se denominó Vía de la Plata.

Es probable que de aquellos tiempos romanos queden huellas en alguna cimentación,

sillares desperdigados y, más probablemente, en el arquillo que actualmente se encuentra semi-enterrado en la manguardía sur del lado León. Fue en el Medievo cuando se debió reconstruir en su totalidad, pues existen algunas referencias de esa época, especialmente en los comentarios viajeros que hizo Aymeric Picaud sobre su camino de peregrinación a Santiago en 1123, señalando la fortaleza y soberbia construcción, que consta, decía, de 20 arcos.



Figura 4. Arquillo primitivo en manguardía sur, lado León

De lo que no cabe duda es de la gran cantidad de arreglos, intervenciones y parches que ha sufrido el puente, de los cuales hay constancia escrita desde 1396, fecha en la que una gran avenida derribó las pilas. A lo largo del siglo XVI se documentan numerosas reparaciones y actuaciones en este puente.

En los siglos XVII y XVIII se producen numerosas intervenciones debidas principalmente a riadas. También se sabe, por apuntes de viajeros y escritores, que se encontraba en permanente mal estado de conservación.

Las obras de consolidación del puente fueron casi constantes durante el siglo XIX. Tras las fuertes inundaciones de 1880, fue finalmente reparado en 1883 y así aparece en la *Guía del Antiguo Reino de León* de Valverde. A esta época corresponde la construcción de las dos bóvedas escarzanas del lado Valladolid.

A principios de la década de 1920, el puente fue ensanchado por medio de voladizos de hormigón apoyados sobre ménsulas del mismo material; con tal motivo se eliminaron los pretils de piedra originales, que fueron sustituidos por una discreta barandilla metálica

(que ahora se ha visto claramente insuficiente para contener impactos de vehículos).

2.3 Situación previa a la actuación

El puente mide 248 m de longitud entre estribos y tiene un trazado más bien quebrado. La anchura es de 8 m, siendo 6 m para calzada y dos aceras de 1 m cada una.

Tiene 16 vanos con bóvedas variopintas: las dos últimas son escarzanas y el resto son de medio punto, salvo las bóvedas de los vanos 8 y 9 que son ojivales.

Las luces, medidas entre ejes de apoyos, son (a partir del estribo lado León): 18,30+20,83+13,54+13,42+14,04+14,53+14,04+13,12+12,90+12,78+14,75+15,4+14,92+15,05+21,1+19,22 m.

Además de las referidas bóvedas escarzanas de 1883, otras bóvedas y los tajamares correspondientes son de periodo renacentista-barroco, de medio punto. El grueso de las pilas antiguas es de 3 a 5 metros.

3. Descripción de daños

3.1 Pretil-barandilla

A raíz de los accidentes producidos el 3 de mayo de 2018 (y otro más el 4 de diciembre del mismo año), se constatan los daños producidos en el sistema de contención existente y su incapacidad para cumplir su cometido.



Figura 5. Daños en el pretil-barandilla tras el accidente de mayo de 2018

3.2 Ensanche de hormigón armado

Dado el notable deterioro de los voladizos de hormigón armado del puente, ante el riesgo de posibles desprendimientos y que forman parte del esquema estructural del tablero remodelado, se propone incluir en la emergencia la reparación de dichos voladizos, a los que se ha privado de función resistente adicional



Figura 6. Daños en ensanchamiento de tablero de hormigón armado

3.3 Obras de fábrica

3.3.1 Desprendimiento parcial de sillares en intradós de bóveda de vano 15

Ya en la primera visita al puente, el 13 de noviembre de 2018, se detectaron sillares desprendidos en la bóveda 15, así como fisuras en los arranques de dichas bóvedas.



Figura 7. Sillar parcialmente desprendido

3.3.2 Sillares deteriorados

En este grupo estarían los sillares deteriorados con pérdida importante de sección en bóvedas más antiguas. Al existir riesgo de desprendimiento de fragmentos de estos sillares (o sillares

completos) y que puedan dañar a viandantes, se recomendó que la intervención de emergencia comprendiera también la rehabilitación de estos sillares deteriorados.



Figura 8. Ejemplo de sillar deteriorado

4. Reconocimiento de la estructura

Una vez analizada la información disponible y a raíz de la visita del 13 de noviembre de 2018, se planteó la necesidad de realizar una campaña de reconocimientos para tener mayor conocimiento del puente y para determinar el estado de la cimentación de las dos pilas bajo el cauce del río Porma.

Esta campaña constó de:

- Sondeos verticales y horizontales en pilas y distintos puntos del puente para caracterizar tanto el terreno bajo pilas como el relleno tras la fábrica.
- Levantamiento topográfico del tablero, así como batimetría en el entorno de las dos pilas en cauce.
- Inspección subacuática de las pilas en cauce.

4.1 Inspección subacuática

Pudo comprobarse que la pila 14 es la que aparentemente se encontraba más dañada de las dos pilas inspeccionadas, aunque recibía un menor flujo de corriente respecto a la pila 15. Presenta daños en el tajamar norte, a pesar de estar en seco en el momento de la inspección, con pérdida de algunos sillares que están despedregados por el fondo en toda la longitud de la pila.

Por otra parte, las juntas de unión entre sillares en las zonas sumergidas y en aquellas más próximas al nivel del agua, se encuentran lavadas. Las piedras de la pila presentan igualmente un desgaste de sus aristas y ángulos debido a la erosión.

Por último, cabe indicar que, hasta donde se puede observar, la pila descansa sobre el terreno sin descalce aparente.



Figura 9. Juntas lavadas sobre la lámina de agua



Figura 10. Juntas lavadas bajo la lámina de agua

La pila 15 es la construida en la actuación de 1883, la que recibe el impacto permanente del agua del río y la que, por su esbeltez, más probabilidades de giro podría tener. Sin embargo, la inspección subacuática dio fe de su integridad tanto en la parte sumergida como en la aérea, descartándose que los desórdenes de la bóveda contigua tuviesen su origen en giro de esta pila.

4.2 Geotecnia y espesores de tímpanos

Para una correcta caracterización tanto del terreno de cimentación como del puente de fábrica, identificando espesores de bóveda, sillaría así como los distintos tipos de relleno tras los

tímpanos y en el núcleo de las pilas, se planteó una campaña de sondeos y testigos.

De los sondeos verticales se dedujeron dos conclusiones importantes:

- La cota de rellenos rígidos sobre pilas (sillas de las bóvedas) es muy alta. Apenas hay un metro de relleno granular, que se corresponde con las vigas de hormigón sobre la fábrica, con lo que, en teoría, no habría empuje sobre los tímpanos.
- El terreno de cimentación es estable, formado por arcillas de consistencia dura, con rechazo en SPT.

De los sondeos horizontales para caracterizar el espesor de sillares y rellenos interiores, se dedujo que:

- El espesor de los sillares varía entre 0,30 y 0,90 m aumentando de forma lógica desde la coronación hasta la base del muro-tímpano.
- El espesor del relleno rígido alcanza los 2 m por ambos lados, dejando una zona central de relleno granular (detectada en los sondeos verticales realizados en dicha zona).

5. Evaluación estructural

5.1 Obra de fábrica

El análisis de las bóvedas se ha realizado con un modelo de cálculo 2D mediante el programa RING, que se basa en la aplicación de los teoremas energéticos de cargas y desplazamientos, pero limita éstos a los valores pequeños, es decir, sin incluir efectos de segundo orden. El programa efectúa también un control tensional de las fábricas, advirtiendo de situaciones en las que las tensiones solicitantes agotan los materiales.

En cuanto a los tímpanos, el relleno rígido detectado en los sondeos está en una cota tan alta que no se produce apenas empuje contra los tímpanos. El posible empuje y los efectos negativos del agua filtrada desde superficie ya habrán desaparecido con el nuevo tablero. Las fisuras visibles actuales pueden ser debidas

a problemas muy anteriores, relacionados posiblemente con asientos en las pilas, y con las múltiples reconstrucciones realizadas.

6. Actuaciones realizadas

5.1 Nuevo tablero

Se ha ejecutado un tablero completo con losas prefabricadas dispuestas en cortes completos nocturnos. Este procedimiento ya lo hemos utilizado exitosamente en otros puentes con problemas parecidos.

Se plantea la ejecución de una prelosa casi completa con 30 cm en el eje y bombeo del 2% dejando la última parte justo en la zona del pretil con un espesor de 6 cm para facilitar la disposición de la ferralla y el hormigonado del pedestal. Se descartó la alternativa de partirla en dos y hacerla por mitades, dado que eso supondría la necesidad de anclarlas al relleno de las bóvedas para garantizar que no volcara cada mitad. Otra implicación sería el aumento de plazo y de coste.

La idea es no apoyar las nuevas prelosas en la acera ni en los voladizos existentes, de forma que funcionen independientemente, evitando así las demoliciones y trabajos descritos en la solicitud de emergencia. Además, de esta manera, se producirán muchos menos cortes puntuales de tráfico. Debe recordarse que un aumento de la carga muerta, como ha sido el caso, es incluso beneficioso para el comportamiento de las bóvedas, en las que genera una suerte de pretensado favorable. Tras el hormigonado de las juntas transversales entre losas, se garantizó un comportamiento longitudinal solidario. Sobre las prelosas se ejecutaron los zunchos laterales (pedestales) que dan soporte a los nuevos sistemas de contención.

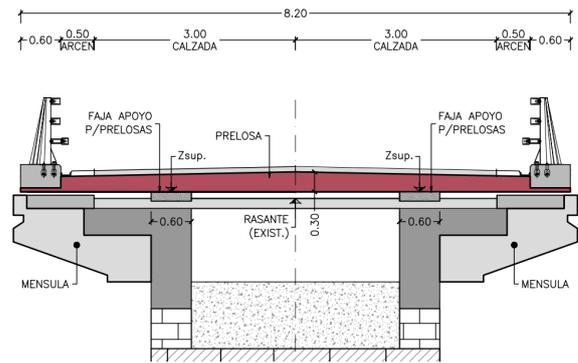


Figura 11. Sección transversal proyectada

Esta solución favorece el correcto drenaje de aguas sobre el tablero e impide que se siga acumulando agua en el cuerpo del puente de fábrica.

Un punto crítico en el cálculo ha sido la comprobación local de transmisión de cargas del pretil a la losa tras el impacto. Se ha resuelto con un modelo de bielas y tirantes.

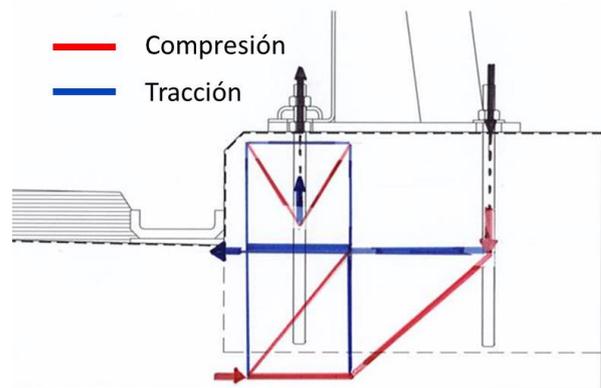


Figura 12. Modelo de bielas y tirantes

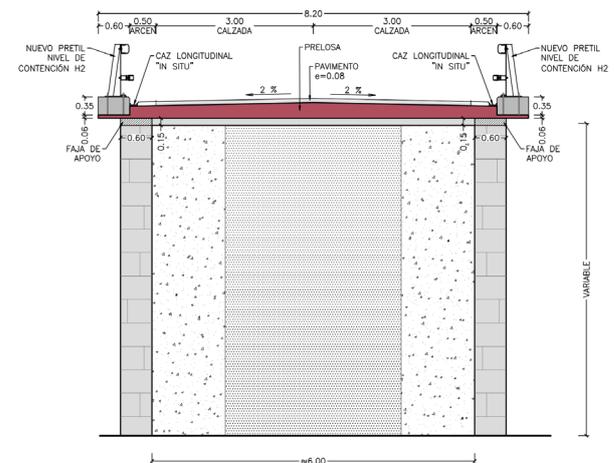


Figura 13. Sección transversal tipo acceso lado León

La zona entre manguardias (lado León), éstas de muy mala calidad, fueron objeto de

recrecidos históricos previos de calidades y cotas variables. Con el fin de no introducir una singularidad en el trazado, se optó por dar la misma solución a las prelosas de esta zona, que apoyaban directamente en la coronación, saneada, de los muros o manguardias, de forma que, así, se mejoraba su estabilidad.



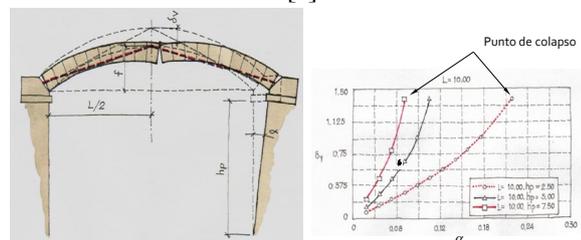
Figura 14. Apoyo de losas del ensanche en manguardía sur (lado León)

5.2 Recalce de pilas sobre el río

A la luz de los daños detectados en la bóveda 15 con desprendimiento parcial de sillares en clave y fisuras en arranque de bóvedas, se dedujo que, con toda probabilidad, la causa radicaba en un giro de la pila.

Es importante destacar la enorme sensibilidad al giro que tienen estas bóvedas tan rebajadas ($f/L=1/9$), donde pequeños giros provocan grandes descensos en clave que pueden desembocar en el colapso de la estructura.

Se comprueba que, para un giro de pila solo 2 grados sexagesimales, el descenso en clave sería de casi 1 m [2].



$$\delta_v = f - \sqrt{f^2 - \frac{1}{2}L\alpha h_p - \frac{1}{4}\alpha^2 h_p^2}$$

Ejemplo: para $L=10$ m, $f=2$ m, $h_p=6$ m y una rotación $\alpha=1^\circ$ ($\pi/180$ radianes), $\delta_v=0,14$ m (4,73) $\delta_v=0,105$ m
Si L crece, α disminuye para el mismo δ_v .
Cuanto más rebajada es la bóveda, α disminuye para el mismo δ_v .

Figura 15. Efectos del giro de cimentación en puentes de fábrica [2]

Este fenómeno se agrava cuanto más rebajada es la bóveda y más altura tiene la pila, y en esta bóveda se daban las dos circunstancias. Descartado que, como se ha indicado, la pila 15 hubiese girado, la atención se centró en la 14. En efecto, la bóveda alta empuja a la pila 14 con mucho brazo y más fuerza que la bóveda 14, de menos luz y de medio punto, que lo hace con menos brazo, por lo que la tendencia al giro de la pila 14 ha sido la causante de los desórdenes en la bóveda 15. La diferencia entre las acciones verticales de las dos bóvedas es pequeña porque, aunque de mayor luz la 15, es más ligera que la 14, más masiva.

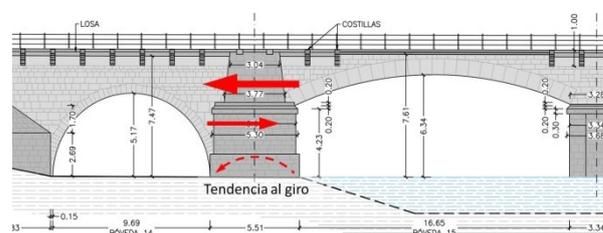


Figura 16. Empujes descompensados en pila 14

Por tanto, y dadas las incertidumbres y los riesgos existentes, se propuso realizar un recalce parcial de las pilas 14 y 15 y garantizar estabilidad frente al giro de la pila. Para esta última, el recalce ha consistido en ejecutar 8 micropilotes desde la plataforma con una inclinación de 5° para que sean capaces de resistir la carga del nuevo tablero, aceptando que la pila es capaz de sostener el puente existente.

Para la pila 14 se planteó un recalce similar al de la pila 15.

A la vista de la inspección, se recomendó una actuación complementaria sobre la pila 14 para cubrir los espacios en las juntas entre sillares, tanto por encima como por debajo de la lámina de agua para proporcionar mayor solidez, incluyendo limpieza y recuperación de los sillares de fondo.



Figura 17. Ejecución de recinto estanco para actuar sobre la cimentación de pila 14

5.3 Otras actuaciones en la fábrica

Se han ejecutado, dentro de esta emergencia por los riesgos que conlleva el desprendimiento de piezas o de fragmentos, la reconstrucción de sillares rotos, la reparación y anclaje de sillares parcialmente desprendidos y el rejuntado de intradós de las bóvedas sobre el río.

5.4 Actuaciones en paramentos de hormigón armado

Aunque con la nueva solución de tablero los voladizos pre-existentes de hormigón no se van a someter a carga adicional, aparte de su peso propio, se consideró imprescindible repararlos, dado su evidente deterioro, con armaduras vistas y corroídas. Esta actuación implica el saneo y limpieza de superficies de hormigón, recuperación de volúmenes perdidos con mortero y finalmente aplicar una pintura anticarbonatación que ofrezca características de durabilidad y estética.

6. Ejecución

Consistió en disponer losas prefabricadas a sección completa en cortes totales nocturnos. En este proceso no se planteaba la demolición de elemento estructural alguno.

A continuación, se resume dicho proceso con fotografías ilustrativas:

- Fresado del pavimento en ambos laterales y ejecución de fajas de apoyo.



Figura 18. Faja de apoyo ejecutada



Figura 19. Detalle de banda de neopreno que mejora el apoyo de la prelosa



Figura 20. Colocación de prelosa

- Disposición de prelosas (en horario nocturno).



Figura 21. Juntas entre losas antes del hormigonado

- Ejecución de juntas entre losas y pedestal de pretil.



Figura 22. Hormigonado de juntas y pedestal de pretil

- Disposición de nuevos pretils.



Figura 23. Pretil colocado.

- Obra terminada.



Figura 24. Vista parcial de la obra terminada



Figura 25. Aspecto parcial de la obra terminada

Referencias bibliográficas

- [1] 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.
- [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] Grupo de trabajo “Sistemas de contención” del Comité de Puentes de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC-AIPCR). *Adecuación de sistemas de contención a puentes existentes*. Madrid, 2013
- [4] VV.AA. *Los puentes de piedra (o ladrillo) antaño y bogaño*, ed. coord. por Javier León y José María Goicolea. Goicolea. Colección “Lecciones Juanelo Turriano de historia de la ingeniería”. Fundación Juanelo Turriano. Madrid, 2017.
- [5] León, J.; Jaime, I.; Prieto, F. Intervención en el puente de Deba. Argumentos para decidir. I Foro del Patrimonio de la Obra Pública. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, octubre de 2019.
- [6] León, J. *La construcción y la reparación de puentes según cuatro tratadistas españoles*. Catálogo de la Exposición Sueño e Ingenio. Biblioteca Nacional. Madrid, 2020 (pendiente de publicación).