

Reparación del Puente Santa Bárbara sobre el río Cidacos en la carretera LR-286 en Enciso (La Rioja)

Repair of the Santa Bárbara Bridge over the Cidacos River on the LR-286 in Enciso (La Rioja, Spain)

Francisco Javier León González^a, Cristina Sanz Manzanedo^b, Alejandro Vadillo Pérez^c, Francisco Soto Fernández^d, José Miguel Mateo Valerio^e y Javier Sáenz^f

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Director técnico. jlg@fhcor.es

^b Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Directora de Departamento de Obra Civil. csm@fhcor.es

^c Ingeniero Civil. FHECOR. Ingeniero de Proyecto. avp@fhcor.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gobierno de La Rioja. Jefe de Área de Planificación y Proyectos.

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gobierno de La Rioja.

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. OCISA. Jefe de Obra.

RESUMEN

El puente de Santa Bárbara, de origen medieval, tiene tres vanos de luces 2.30 m, 13.75 m y 7.85 m. Se trata de un puente de fábrica de piedra que ha sufrido diversas intervenciones a lo largo de su historia que han afectado a su rasante (inicialmente en lomo de asno sensiblemente simétrico), se ha añadido el vano 1 y se ha perdido prácticamente uno de sus tajamares. La bóveda principal exhibía una deformación significativa. El informe de evaluación estructural realizado en 2021 concluyó que era recomendable actuar y en 2022 se redactó el proyecto. Entre las actuaciones más importantes destaca la operación de ensillado de las bóvedas, es decir, la sustitución del relleno existente por hormigón en masa.

ABSTRACT

The Santa Bárbara Bridge has three spans with lengths of 2.30 m, 13.75 m and 7.85 m. It is a medieval masonry stone bridge that has undergone various interventions throughout its history: its original alignment (initially a humpback shape) was modified, the first span was constructed and one of its cutwaters was almost removed. The main vault exhibited a significant deformation. In 2021 a structural evaluation report concluded that it was necessary to intervene, being developed the refurbishment project in 2022. The most significant intervention included was the “saddling”, that is, the replacement of the existing fill with plain concrete.

PALABRAS CLAVE: reparación, bóveda, fábrica, ensillado.

KEYWORDS: repair, vault, masonry, saddling.

1. Antecedentes

Con fecha febrero de 2021, la Dirección General de Infraestructuras del Gobierno de La Rioja requirió la realización de un informe de evaluación del límite de la sobrecarga máxima que podía circular sobre el Puente de la LR-286 sobre el río

Cidacos en Enciso (La Rioja). En aquel momento, debido a una apreciable deformación de la directriz del arco principal, había una limitación de 12 t, siendo el objeto del análisis la posibilidad de relajar dicha limitación, permitiendo el

paso de vehículos de mayor tonelaje. Las conclusiones de dicho informe, lejos de permitir el incremento de sobrecargas, subrayaban la recomendación de actuar sobre el puente a fin de asegurar un correcto funcionamiento incluso frente a la carga límite vigente entonces.

El 28 de marzo de 2022 se adjudicó a FHECOR, por medio de un contrato de Servicios, la redacción de un proyecto de reparación del Puente.

Con fecha enero de 2024 se inician las obras para llevar a cabo las actuaciones previstas en el citado proyecto.

2. Descripción del puente

El puente, de tres bóvedas de diferentes dimensiones, salva el río Cidacos en el PK 0+000 de la carretera LR-286 al sur del municipio de Enciso.



Figura 1. Vista general desde aguas abajo del puente.

El puente tiene, aproximadamente, 35 m de longitud y un ancho medio de 4.5 m. El puente cuenta con 3 vanos de 2.30 m, 13.75 m y 7.85 m. La calzada tiene un ancho de 3.9 m aproximadamente.

La rasante del puente, inicialmente en lomo de asno simétrico, se recreció sucesivamente hasta convertir al estribo 1 en el más alto, permitiendo la conexión con la LR-115 en la margen izquierda del río, dejando en asimetría de cargas permanentes a la bóveda principal.

Este puente de piedra ha sufrido numerosas reparaciones a lo largo de su historia: además de la modificación de la rasante, se ha añadido el vano 1 para paso de un canal y se ha eliminado casi totalmente el tajamar de la pila 1, lado aguas

arriba. En el lado de la margen derecha, el puente mantiene casi su configuración primitiva.

Los estribos son cerrados, de mampostería, y están parcialmente ocultos bajo el terreno, con aletas tanto aguas arriba como aguas abajo.

Las pilas, también de mampostería caliza, son de sección rectangular de 3.2 y 4.2 m de grosor (pilas 1 y 2, respectivamente) y de ancho igual al total del puente. Los tajamares se construyeron, probablemente, como postizo al puente, después de ejecutar las pilas, pues no están enjarjados a las mismas, como sucede habitualmente en los puentes medievales.

El material predominante en las bóvedas es caliza y los morteros en llagas y tendeles son, en general, de cal y arena, si bien con desafortunados rejuntados más recientes con mortero de cemento.

Las bóvedas son de cañón semicircular o cuasi-semicircular (la bóveda 3 está parcialmente enterrada) realizadas en sillería salvo en el vano 1, con piezas lajasas pues se ejecutó con posterioridad a las otras dos bóvedas, probablemente horadando los muros estribo.



Figura 2. Bóveda 2, principal, desde margen izquierda, lado aguas abajo. Obsérvese la deformada.

Dejando aparte la singularidad de la primera bóveda, llama la atención (ver tabla 1) la diferencia de esbeltez (L/c) entre las bóvedas 2 y 3. La 2 es atrevida, típica de los puentes medievales —la mayor esbeltez redunda en mayor deformabilidad—, mientras que la 3 resulta conservadora, más cercana a los valores romanos ($L/c = 10$) sin que eso deba interpretarse como de tal

origen, aunque pudo comprobarse que tenía una calidad constructiva mucho mejor.

Tabla 1. Relación luz/flecha y luz/canto en clave

Bóveda	L/f	L/c
1	1.92	4.62
2	2.39	27.5
3	2.76	15.72

El canto de las bóvedas es uniforme, de igual valor en arranques y en clave, típico de los puentes de piedra hasta entrado el siglo XIX (ver, por ejemplo, [1] y [2]).

En la figura 3 se observa nítidamente (un simple ejercicio de ‘lectura de paramentos’) el citado recrecido de los tímpanos sobre la bóveda 1 hasta convertir la primitiva rasante simétrica en lomo de asno hasta una pendiente casi uniforme descendente de izquierda a derecha.

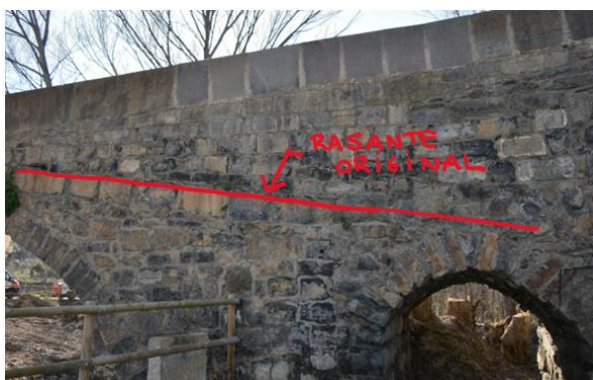


Figura 3. Tímpano izquierdo entre bóvedas 1 y 2.

Los pretilos están compuestos por sillares de piedra caliza compacta, con una altura de 0.77 m y un espesor promedio de aproximadamente 0.28 m.

El pavimento original, detectado al vaciar los senos de bóveda 1 y el dorsal de bóveda 2, estaba formado por piedra natural de diferentes tamaños organizada en hiladas que se entrecruzan (figura 17). Ese pavimento y otros detalles detectados en los tímpanos –sillares con baquetones provenientes, probablemente, de una ermita ubicada en la margen izquierda, desaparecida hace mucho tiempo– fue documentado por especialistas en arqueología, en un trabajo

coordinado y mutuamente apoyado durante la fase de asistencia técnica a la obra.

3. Reconocimiento de la estructura

Durante las fases iniciales, se realizaron tres visitas a la zona de estudio. En la primera de ellas se realizó una inspección principal y, luego, dos sondeos (S) en la zona de pilas, tres calicatas (C) y se extrajeron tres testigos (P), en las posiciones indicadas en la figura 4.

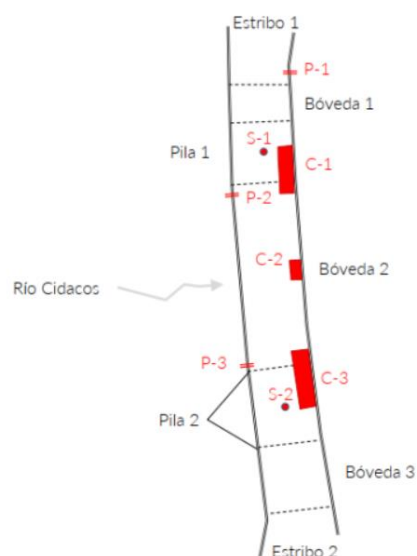


Figura 4. Localización de las inspecciones realizadas

Los resultados de estos reconocimientos aportaron la siguiente información, necesaria para redactar el proyecto:

- Cota de la transición entre el relleno granular y el relleno rígido.
- Espesor de bóvedas, tímpanos (merced a testigos P horizontales) y pretilos. Debe recordarse que los pretilos de piedra no son meros elementos de contención. Aportan rigidez longitudinal al puente y estabilizan los tímpanos, que son muros que han de contener el empuje de los rellenos del trasdós.

4. Descripción de daños

4.1. Daños en bóvedas

Los deterioros principales se debían al efecto del agua, tanto por filtraciones desde la plataforma y

escorrentías superficiales como por un sistema de drenaje obstruido, especialmente nocivo sobre la bóveda 1 y sus arranques. Se observaron fundamentalmente:

- Cercos de humedad en el intradós de las bóvedas 2 y 3 debidos a filtraciones desde su trasdós.



Figura 5. Presencia de humedades en la bóveda 2.

- Pérdida de material de juntas, que podrían haber desencadenado desprendimientos de sillares.
- Depósitos de sales por la citada circulación de agua, con la aparición de eflorescencias.



Figura 6. Eflorescencias en la bóveda 2.

- Deformación de la bóveda central, más bien esbelta, como consecuencia lógica de los empujes asimétricos de los rellenos, recrecidos en el lado dorsal. Tampoco ayudó el paso más

frecuente de vehículos pesados. Dichas acciones causaron la formación de tres rótulas (zonas de rotación), con daño en las piezas y patente deformada de la directriz. Debe recordarse que una bóveda triarticulada es estable, pero más deformable.



Figura 7. Deformaciones en bóveda 2. Puntos de formación de rótulas

- Aparición de fisuras verticales en los sillares de las bóvedas, principalmente en la bóveda central, derivadas del empuje de tierras del relleno.
- Presencia de exfoliaciones de manera generalizada a lo largo de las tres bóvedas, estando más desarrolladas en la bóveda 1, de fábrica mucho más tosca.



Figura 8. Pérdida de material de juntas y exfoliaciones en bóveda 1.

- Pérdida de piezas de sillería y presencia de vegetación enraizada en las juntas entre sillares.

4.2. Daños en tímpanos

No presentaban mal estado general aparente, pero los concurrentes en la bóveda 1 presentaban un ligero abombamiento en ambos alzados.

4.3. Daños en pretilos

Se observó un daño generalizado correspondiente a la presencia de exfoliaciones y oxidaciones en varios puntos. Además, daños puntuales debidos al impacto de vehículos.

4.4. Daños en estribos

El estribo 1 es el que presentaba mayor número de daños, entre los que cabría destacar:

- Presencia de fisuras verticales consecuencia de contactos puntuales entre sillares que dan lugar a concentración de tensiones que propician el hendimiento.



Figura 9. Fisuras verticales en el estribo 1.

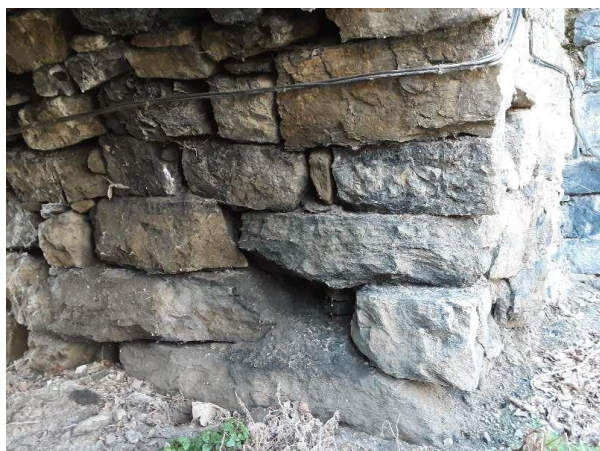


Figura 10. Deslavado de juntas y pérdida de sillares en estribo 1.

- Pátinas biológicas, meteorización y arenización en los mampuestos, derivadas del ambiente húmedo existente y la proximidad al cauce.
- Deslavado de juntas entre mampuestos y pérdida de sillares.

4.5. Daños en pilas

Los daños más comprometedores se encontraban en la pila 1, constatándose:

- Deslavado puntual de juntas debido al paso del agua.

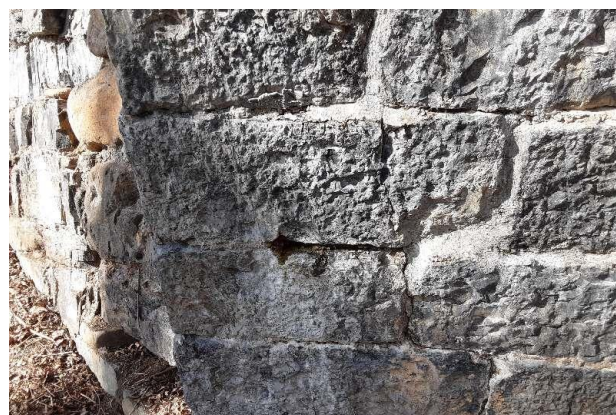


Figura 11. Deslavado puntual en juntas.



Figura 12. Arenización en la parte inferior de pila 1.

4.6. Daños en cimentaciones

Las cimentaciones no se encuentran a la vista por lo que no pudieron ser inspeccionadas. Cabe imaginar que el sustrato rocoso y de gravas competentes, así como la ausencia de síntomas asociados a movimientos impuestos, que la

cimentación no es objeto de especial preocupación.

5. Evaluación estructural

Para la evaluación estructural se empleó el método de análisis por bloques rígidos mediante el programa RING desarrollado por Limitsate, orientado específicamente a puentes de fábrica.

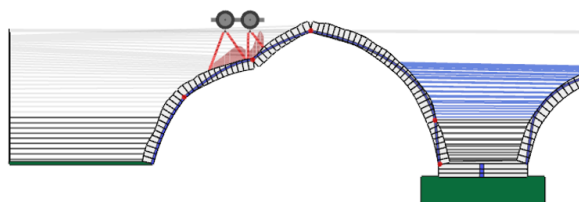


Figura 13. Ejemplo de una de las situaciones de colapso obtenida aplicando un carro de 12 t (factor de seguridad global = 2,40).

Los cálculos realizados llevaron a concluir que tanto las bóvedas como los tímpanos tenían un nivel de seguridad muy estricto y sensible a cualquier reducción de su espesor con relación al medido, lo que comportaba una incertidumbre inaceptable.

Por tanto, se concluyó que sería recomendable actuar sobre el puente para asegurar su correcto funcionamiento incluso con la limitación de carga existente (12 t).

6. Actuaciones realizadas

Las actuaciones llevadas a cabo en el puente fueron las siguientes, ordenadas cronológicamente:

- Cimbrado de la bóveda 2, mediante una cimbra porticada, dada su patente deformabilidad, de cara al resto de trabajos.
- Fresado del pavimento preexistente (hormigón).
- Ejecución del ensillado de la bóveda, operación consistente en el vaciado del relleno granular de los senos, y la disposición de hormigón en masa.

Como se explica detalladamente en [3], el ensillado tiene muchas ventajas: por un lado, se anulan los empujes sobre los tímpanos, pues

se sustituye un material que empujaba y no resistía por otro (hormigón) que ya no empuja y, además, dota al conjunto de una muy sobrada capacidad resistente. Por otro lado, el nuevo relleno rígido mejora el reparto de las cargas, disminuyendo el nivel tensional de bóvedas y tímpanos.

- Eliminación de la vegetación enraizada en todos los paramentos.
- Limpieza general de todos los paramentos de la fábrica con agua nebulizada.
- Reparación de sillares deteriorados.
- Rejuntado con mortero de cal o cemento bajo en sales.
- Eliminación del rejuntado con cemento Portland en llagas y tendeles. En las zonas donde esto no fue posible, pues era mayor el daño que el beneficio, se procedió a la ejecución de taladros en los encuentros en T invertida de llagas y tendeles para que la salida de agua se produzca por éstos y no a través de los sillares.
- Aplicación de hidrofugante invisible en las caras exteriores de la estructura.
- Pavimentación del tablero.

De todas las actuaciones a realizar se hace hincapié a continuación, dada su relevancia, en el seguimiento realizado del ensillado de las bóvedas.

7. Descripción del vaciado y ensillado

El proyecto, en el que se describieron los criterios para la realización de las actuaciones, contemplaba el proceso a seguir para la retirada del relleno granular y su posterior ensillado:

- En primer lugar, se establecía que la excavación de los rellenos se realizaría mediante medios mecánicos, de un lado a otro en tongadas de 0.25 m de espesor. Se indicaba la necesidad de realizar la excavación de manera manual, con precaución, en las zonas próximas a las bóvedas para no dañar los tímpanos.
- Se establecía que la excavación se debía realizar lo más rápido posible, para evitar que las

bóvedas permanezcan abiertas demasiado tiempo y teniendo, además, precaución de que no se previeran lluvias durante esos días.

- Se indicaba que el inicio del ensillado se realizaría en primer lugar en el estribo 1.
- Posteriormente, se seguiría por las zonas del estribo 1 y la pila 2.
- Se establecían, también, criterios de máximo espesor de tongadas, no debiendo ser de más de 0.25 m de espesor. Además, no podía haber una diferencia entre las distintas zonas de más de cuatro tongadas (1.0 m).
- La fase de ensillado terminaría cuando quedarán 0.10 m.

Durante el proceso de ejecución se produjeron algunas incidencias, descritas en el siguiente epígrafe, que llevaron a la modificación de algunos de estos criterios previos, lo que nos permite recordar la importancia de la asistencia técnica especializada en este tipo de trabajos.

8. Ejecución del ensillado

Previamente al inicio de los trabajos de vaciado del relleno del puente, fue preciso disponer una cimbra bajo la bóveda 2, dado que la aludida presencia de rótulas y la potencial pérdida de piezas hacían especialmente importante evitar situaciones de riesgo.



Figura 14. Disposición de bóveda bajo bóveda 2.

Cabe destacar la necesidad de que la cimbra esté perfectamente acuada en todo su ancho y en todos los aprestes, lo que se logra, como se ha venido haciendo siempre, mediante la

disposición de cuñas de madera templadas sucesiva e iterativamente mente a golpe de martillo.



Figura 15. Cimbra perfectamente acuada.

Durante la ejecución de los trabajos, se realizaron una serie de calicatas adicionales para poder identificar de manera inequívoca la naturaleza del relleno, la cota del relleno rígido, los recubrimientos en clave y la posible existencia de pavimentos primitivos, como muestra la experiencia vivida por los autores en otras intervenciones.



Figura 16. Calicatas adicionales.

La realización de estas calicatas sirvió también para establecer tanto la calidad de los rellenos como las alturas de vaciado a realizar, siendo máxima en la zona de pila 1 (2.90 m) y mínima en la zona de clave de la bóveda 2 (0.15 -0.25 m). Conocer estos datos es de enorme importancia porque así aumenta el rendimiento de los trabajos y se aleja el riesgo de inestabilidad y deterioro de los tímpanos y el trasdós.

Los trabajos se iniciaron con la retirada del pavimento existente. Una vez iniciado el vaciado del puente, se detectó, como se ha anunciado más arriba, el pavimento original que fue documentado por el servicio de arqueología y, tras el permiso de las arqueólogas, fue retirado. Aunque resulte en cierto sentido paradójico, es una ventaja adicional del ensillado, pues hace posible detectar y documentar (que es lo verdaderamente importante) vestigios y configuraciones, en su

caso, que habrían permanecido ignotos de otra forma.



Figura 17. Pavimento original del puente

Se fueron retirando progresivamente los rellenos de la estructura, habiéndose detectado durante el proceso algunas incidencias que hicieron necesarias modificaciones en las cotas de vaciado previstas inicialmente.



Figura 18. Vista de las labores de vaciado del seno dorsal a bóveda 1 y pila 2.

Durante las labores de vaciado se detectó, sobre pila 2, el debilitamiento del tímpano primitivo, es decir, la pérdida de mampuestos y de ligante, lo que hizo temer una falta de estabilidad del tímpano. Ante la necesidad de seguir excavando, se tomó la decisión de apea los tímpanos tanto interior como exteriormente (especialmente en lado aguas abajo). Hay que tener en cuenta que el debilitamiento de los tímpanos podría producir su vuelco hacia el interior.

Además, se observó el deterioro del trasdós de la bóveda 1, observándose un alto grado de meteorización de los mampuestos lajosos y la falta de compresión de algunas piezas que podrían retirarse incluso manualmente. Por tanto, y aunque no se había llegado a la cota de excavación planteada tras las catas realizadas, se decidió

no profundizar más el vaciado. La base para esa decisión es que el relleno sirve para puentear la carga hasta el estribo 1 y la pila 1, por lo que no hay riesgo estructural.



Figura 19. Vista del apeo interior de los tímpanos.

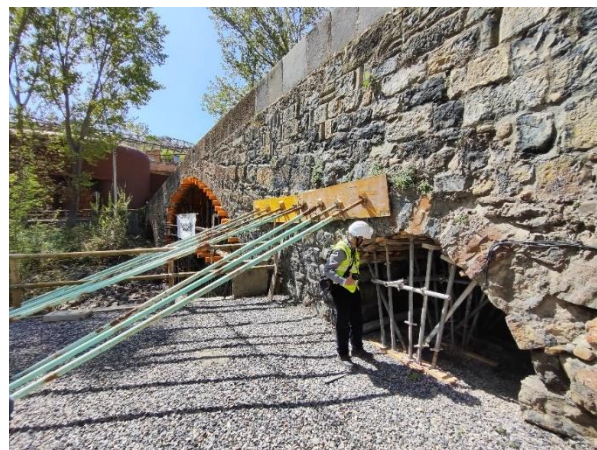


Figura 20. Vista del apeo exterior del tímpano sobre pila 1.



Figura 21. Vista del estado del trasdós de la bóveda 1.

Sobre la bóveda 3 se detectó la existencia de un relleno de cal, descubriéndose un trasdosado o ensillado primitivo (típico de la construcción romana). Dado que el estado de este elemento era bueno, se confirmó que no era preciso demolerlo, considerándolo como relleno rígido.



Figura 22. Vista del vaciado tras bóveda 3, hacia E2.

Una vez realizado el vaciado, se procedió al hormigonado por tongadas que, dado el buen estado del puente, se realizó con los siguientes criterios, avalados por los estudios de [3]:

- Desde clave de bóveda 2 hacia estribo 2: dado el buen estado del puente, se realizó por tongadas de 0.5 m.
- Alrededor de la bóveda 1, donde existían riesgos de inestabilidad, se rellenó primero hasta el nivel de puntales, a fin de mantenerlos. Una vez endurecido el hormigón hasta esa cota, con los tímpanos ya estabilizados, se procedió por tongadas de 0.25 m.

El hormigonado se dio por terminado, en fase inicial, hasta una cota ligeramente inferior a la clave de la bóveda central y coincidente con la coronación de los tímpanos.



Figura 23. Estado de la fase de ensillado

A pesar de haberse ejecutado el ensillado, dado el nulo sobreespesor en clave, se dispuso armadura sobre ésta y los hombros de la bóveda 2 (losa armada de 0.15 m de espesor) con el fin de dotar a esa zona de una capacidad adicional frente a acciones de punzonamiento. Al conjunto se le dio un acabado de hormigón impreso sin más pretensiones que las de marcar una textura diferenciada a la convencional de la carretera.



Figura 24. Hormigón impreso en primer término, moldes ya dispuestos y hormigón aún sin imprimir.



Figura 25. Configuración final de la plataforma acabada.

Cabe añadir que se puso también mucho empeño en evitar la que parece inveterada costumbre de algunos subcontratistas en destacar, mediante encintados, el resultado del tratamiento en las juntas, lo que nos parece un error. El resultado final de la restauración de paramentos en este caso puede considerarse satisfactorio y contenido en presupuesto.



Figura 26. Sendas vistas del alzado derecho del puente al concluir los trabajos (junio de 2024). Arriba, bóvedas 1 y 2; abajo, a la derecha, bóveda 3.

9. Consideración final

Los trabajos, llevados a efecto globalmente de manera satisfactoria, dan cuenta de lo acertado de la intervención, habida cuenta de la deformación de la bóveda 2 y de la pésima calidad del relleno sobre pila 2 y senos de bóvedas 1 y 2, lado dorsal.

La solución de ensillado ha sido, sin duda alguna, la mejor de todas las posibles, pues ha permitido detectar y documentar las características geométricas y morfológicas del interior (incluido el pavimento primitivo desde el lado de la antigua ermita, en la margen izquierda del Cidacos), y dotar al interior del puente, casi a igualdad de carga muerta total, de una rigidez muy conveniente, al tiempo que se ha anulado el riesgo de estabilidad de los tímpanos, precarios sobre la pila 1.

Se desea hacer constar que el valor del puente de Santa Bárbara se ha visto extraordinariamente incrementado tras esta intervención,

tanto porque se ha mejorado el nivel de seguridad, ciertamente comprometido antes de la actuación, como porque ha mejorado el conocimiento de la configuración de la obra y de sus aspectos constructivos, enriqueciendo el valor patrimonial del puente y el de su entorno.

Agradecimientos

Los ingenieros de FHECOR y OCISA agradecen a la Dirección General de Infraestructuras del Gobierno de La Rioja la confianza depositada para la redacción del proyecto y la asistencia técnica prestada durante la ejecución de las obras.

Referencias

- [1] José Eugenia Ribera (1929), Puentes de fábrica y hormigón armado, Tomo III Anteproyectos y puentes de fábrica.
- [2] E. Boix (1889), Estabilidad de las construcciones de mampostería.
- [3] B. Orfeo (2023), *On the design and construction of stone masonry bridges: comprehensive review of traditional literature-based techniques and practical applications to current professional projects*, Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPM.