

# Obras de emergencia derivadas de inspecciones especiales en la zona sur de España

*Emergency works as a result of special inspections in the southern part of Spain \*\**

Javier León González<sup>a</sup>, Francisco Prieto Aguilera<sup>b</sup>, Cristina Sanz Manzanedo<sup>c</sup>,  
Alberto Martín Galán<sup>d</sup>, Antonio Ortega Montero<sup>e</sup>, Enrique Arredondo<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Dtor. Técnico. [jl@fhecor.es](mailto:jl@fhecor.es)

<sup>b</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Dtor Departamento O. Civil. [fpa@fhecor.es](mailto:fpa@fhecor.es)

<sup>c</sup> Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Dtora Departamento O.Civil. [csm@fhecor.es](mailto:csm@fhecor.es)

<sup>d</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Jefe de Proyecto. [amg@fhecor.es](mailto:amg@fhecor.es)

<sup>e</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento. Director de Obra.

<sup>f</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento. Director de Obra.

## RESUMEN

Entre 2014 y 2018 la UTE INTEMAC-FHECOR desarrolló para el Ministerio de Fomento un conjunto de inspecciones y proyectos de reparación sobre una serie de estructuras seleccionadas en la zona sur, detectando daños de gran relevancia en algunas estructuras: dos pasos superiores de la A-1 sobre la M-40, los viaductos de Hoceillas I y II y el puente metálico de Linares–Baeza, que motivaron su reparación mediante la declaración de emergencia.

## ABSTRACT

Between 2014 and 2018, the DJV INTEMAC-FHECOR developed a set of inspections and repair projects for a number of selected structures in the southern zone for the Ministry of Civil Works, detecting damages with large relevance in some structures: two overpasses of the A-1 on the M-40, Hoceillas viaducts and on the steel bridge of Linares–Baeza, that caused their repair through the emergency works.

**PALABRAS CLAVE:** emergencia, puente, reparación, refuerzo, suelo reforzado.

**KEYWORDS:** emergency works, bridge, repair, strengthening, reinforced soil.

## 1. Introducción

El contrato del 11º Itinerario de la UTE INTEMAC-FHECOR con el Ministerio de Fomento incluía la realización de inspecciones especiales, con campañas de reconocimientos de campo y ensayos de laboratorio y proyectos de reparación. En ese contexto se detectaron las estructuras ya reseñadas con daños muy graves

que comprometían la seguridad del usuario, lo que dio pie a la ejecución de obras de reparación y refuerzo por la vía de emergencia, con proyecto y asistencia técnica.

## 2. Enlace de la A-1 con la M-40

### 2.1 Descripción de las estructuras

Son dos pasos superiores con características geométricas y mecánicas muy similares. El primero de ellos, situado sobre el enlace de salida hacia la M-40 para el tráfico que se incorpora a la A-1 en sentido Burgos, tiene una longitud total de 66,00 m, con tres vanos de luces 18+30+18 m. El segundo de ellos, ubicado sobre el enlace de salida desde la M-40 hacia la A-1 en sentido Madrid, cuenta con una longitud total de 70 m, con luces de 18+31+21 m.

En ambos casos, el tablero está constituido por una losa maciza continua de hormigón pretensado con sección trapezoidal de 14,70 m de ancho y 1,20 m de canto en su zona central. Las pilas están constituidas por fustes circulares de hormigón armado, mientras que los estribos son cerrados, formados por un muro frontal con muros en vuelta a 90° a modo de aletas.



Figura 1. Alzado tipo de ambas estructuras

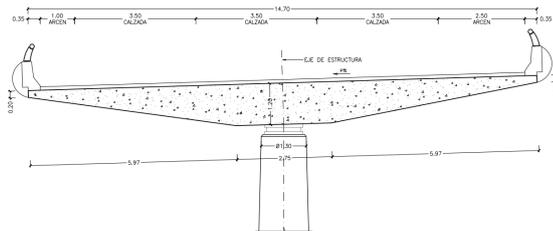


Figura 2. Sección transversal de ambas estructuras

### 2.2 Descripción de los daños

Tras la inspección principal preliminar, que diagnosticaba preliminarmente la existencia de

un ataque por reacción árido-álcali en tablero y estribos, se llevó a cabo una inspección especial en cada paso superior con extracción de probetas testigo y realización de calas, tanto en el tablero como en los estribos, para determinar:

- Resistencia a compresión.
- Módulo de deformación longitudinal.
- Presencia de gel y depósitos asociados al ataque árido-álcali mediante ensayos físico-químicos.
- Medición de la profundidad del frente carbonatado y del recubrimiento.
- Medición del espesor de pavimento.

Estas inspecciones y campañas de reconocimiento sirvieron para confirmar que ambas estructuras presentaban un grave ataque por árido-álcali en los estribos y en el tablero.

Estas reacciones árido-álcali se producen entre los óxidos de sílice de determinados áridos potencialmente reactivos, y los hidróxidos alcalinos presentes en el cemento. Se trata de una reacción lenta que requiere de la presencia de humedad, y en la que se produce la expansión de la masa de hormigón por la solidificación y aumento de volumen de los productos resultantes de la reacción. Esto se traduce en la aparición de tracciones y, a continuación, de fisuras de trazado en mapa (u orientadas en la dirección de las compresiones dominantes) con manchas blanquecinas en el exterior distribuidas en pequeños puntos de forma aleatoria.



Figura 3. Productos expansivos de la reacción árido-álcali en torno a los áridos

Estos daños tienen varios efectos. Por un lado, la fisuración generalizada tiene, en función

de su extensión e intensidad, consecuencias en la durabilidad general de la estructura, propiciando la entrada de humedad a las zonas afectadas y acelerándose los procesos. Por otro lado, la reacción árido-álcali lleva asociada una reducción drástica tanto de la capacidad resistente a compresión como del módulo de deformación longitudinal, lo que se traduce en una merma de la capacidad resistente y en deformaciones muy importantes en la sección del centro del vano central de ambas obras de paso, corregidas con añadidos del paquete de firmes.



**Figura 4. Fisuras en losa de tablero y estribos, con manchas blanquecinas en superficie**

Los resultados de los ensayos de laboratorio permitieron realizar una evaluación estructural cuyas conclusiones indicaron que las estructuras no estaban en condiciones de soportar las acciones recogidas en la instrucción vigente.

Los deterioros producidos por el ataque árido-álcali eran irreversibles e irreparables y, si progresaban, el paulatino descenso de la resistencia del hormigón afectaría fundamentalmente a la capacidad resistente a cortante del tablero (en menor medida a la capacidad resistente a flexión) y podría provocar el colapso súbito de la estructura. Resultó, por tanto, imprescindible acometer las actuaciones precisas para detener

la progresión de los daños, ante el déficit de capacidad resistente y dada la certeza de que la situación actual empeoraría en el futuro, lo que motivó la declaración de emergencia.

### **2.3 Trabajos de reparación**

Frente a soluciones agresivas como demoler o disponer puntales intermedios, se planteó una solución conservadora que permitiera, por un lado, evitar la progresión de los daños asociados a la reacción árido álcali actuando sobre su origen (el agua) y, por otro lado, incrementar la capacidad resistente del tablero. Así, las actuaciones de reparación fueron las siguientes, que se ejecutaron por semi-calzadas dada la elevada intensidad de tráfico, con una IMD superior a 20.000 vehículos/día:

- Fresado del pavimento del tablero en toda su extensión.
- Retirada del sistema de contención, que permitía las filtraciones de agua hacia la losa a través de las juntas entre módulos prefabricados.
- Recrecido del tablero con un espesor medio de 10 cm, de forma que la rasante final corrigiera la flecha existente y materializara un ligero incremento de canto en la sección, sin un aumento significativo de la carga permanente, lo que permitiría reforzar la sección del tablero sobre las pilas, que era la más comprometida. Este recrecido estaba conectado solidariamente con la losa original exclusivamente por rugosidad superficial.



**Figura 5. Rugosidad superficial de la losa original**



Figura 6. Ferrallado y hormigonado de semi-losa



Figura 7. Impermeabilización con poliurea

- Instalación de nuevo pretil metálico, nivel de contención H4b, aligerando la carga muerta previa, instalado sobre pedestal continuo de hormigón, impidiendo la caída de agua a los paramentos laterales del tablero.



Figura 8. Ensayo de tracción de los pernos del pretil



Figura 9. Pretil metálico con pernos pasantes

- Reposición del firme, con una capa de rodadura de espesor estricto de 6 cm.
- Reposición de la señalización horizontal, reproduciendo la situación original.

Conjuntamente con estas actuaciones, se plantearon otras de menor importancia asociadas con la durabilidad general de las obras:

- Reparación de desconchones y corrosiones.
- Inyección de fisuras en la losa con abertura superior a 0,4 mm.
- Aplicación de pintura anticarbonatación en los paramentos de losa y pilas.
- Dado el nivel de fisuración de los estribos, ejecución de nuevo revestimiento de hormigón armado anclado a los paramentos.

### 3. Viaductos de Hocecillas I y II

#### 3.1 Descripción de las estructuras

Los cuatro viaductos de Hocecillas I y II (dos por calzada) dan soporte a la A-1 Madrid-Irún y salvan el arroyo de la Hocecilla entre El Vellón y El Molar. Fueron construidos en 2009.

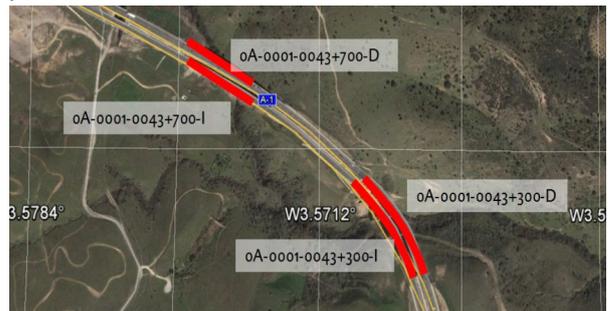


Figura 10. Ubicación de los viaductos en la A-1

Se trata, en todos los casos, de estructuras de cinco vanos isostáticos formados por vigas prefabricada doble T con losa superior de compresión, con una longitud total de 214 m y luces del orden de los 43 m. La principal diferencia entre ellos consiste en que las estructuras de la calzada sentido Madrid tienen 2 carriles y 11,30 m de anchura, mientras que las de la calzada sentido Burgos tienen 3 carriles y 14,80 m de anchura.



Figura 11. Vista general de los viaductos

Tabla 1. Dimensiones de los estribos

Hipótesis	Hocec. I Burgos	Hocec. I Madrid	Hocec. II Burgos	Hocec. II Madrid
Altura estribo 1 [m]	6.00	4.00	12.00	9.00
Longitud estribo 1 [m]	27.50	11.00	35.50	39.00
Altura estribo 2 [m]	15.73	9.15	-	-
Longitud estribo 2 [m]	38.00	38.00	-	-
5	6.00	4.00	12.00	9.00



Figura 12. Estribo tipo de suelo reforzado

### 3.2 Descripción de los daños

En las inspecciones principales previas se observaron abundantes grietas y deformaciones muy importantes en la calzada sobre los estribos, con continuidad en los pretiles de hormigón *in situ* y en las escamas de los muros. Estos daños estaban acompañados de grandes asientos en los rellenos de los estribos, debido a su altura, a la geometría de la plataforma del apoyo del macizo y a las propiedades mecánicas del relleno. Estos procesos de deformación y asiento estaban directamente relacionados con unas deficientes condiciones de drenaje de las estructuras y de la calzada en las zonas adyacentes, lo que provocaba filtraciones de agua hacia los estribos flotantes y hacia los rellenos de suelo reforzado, afectando gravemente a los estribos[1], aunque la seguridad estructural de tablero y pilas no estaba comprometida por tratarse de estructuras isostáticas.



Figura 13. Desalineación y rotura de piezas en muros de suelo reforzado

Las campañas de inspección especial y auscultación posterior a las inspecciones principales se centraron en la ejecución de cuatro sondeos en los rellenos de los estribos, dos inclinómetros y dos calicatas, así como ensayos *in situ* de las condiciones de drenaje empleando una cuba de agua. A propósito de esto, diremos que venimos defendiendo la idea de que debería prescribirse la realización de pruebas de drenaje en pie de igualdad con las reglamentarias prue-

bas de carga. Éstas son a la capacidad resistente lo que aquéllas a la durabilidad.

Los sondeos e inclinómetros sirvieron para confirmar la inadecuada naturaleza del material, su clara heterogeneidad y su baja compacidad, lo que producía asentamientos constructivos y diferidos posteriores, aunque éstos se encontraban en gran medida estabilizados.

Las catas permitieron confirmar que las grietas del pavimento tenían continuidad en las roturas y grietas del suelo estabilizado con cemento existente bajo el pavimento y previo al relleno de los estribos, con un elevado grado de saturación y filtraciones a través de las grietas.

La prueba de drenaje *in situ* confirmó que se producían filtraciones de agua a través de las escamas de los muros, así como arrastres de material, induciendo oquedades y hundimientos localizados. Además, la cuneta del estribo 2 de Hoceillas I se encontraba en contrapendiente por los asentamientos registrados, acumulando gran cantidad de agua que se filtraba hacia el estribo.



Figura 14. Piezas no coplanarias, desencajadas y rotas en los muros de suelo reforzado



Figura 15. Grietas en suelo estabilizado con cemento, en coincidencia con grietas del pavimento

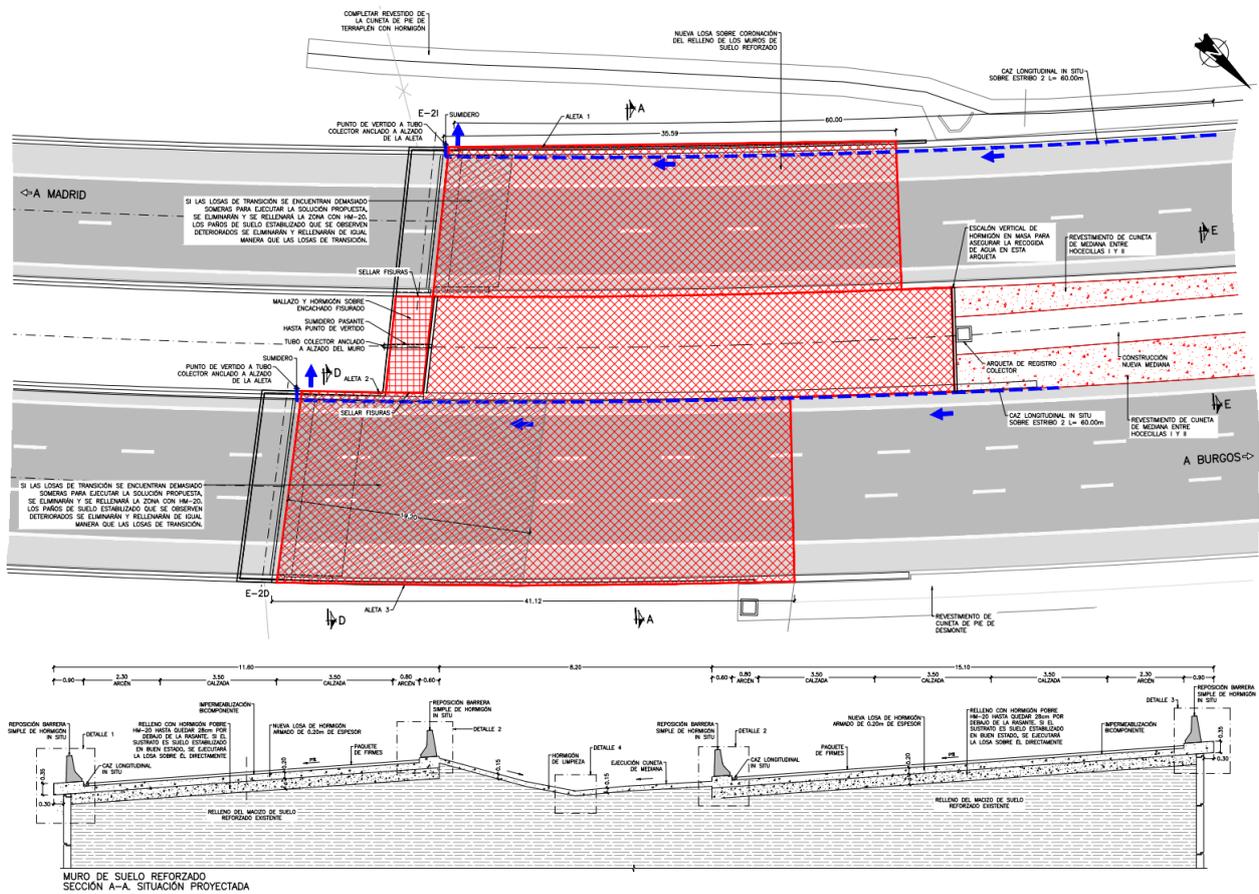
Todos estos trabajos previos sirvieron para confirmar el mal comportamiento estructural de los estribos y sus graves daños, cuya causa principal radicaba en el agua que se filtraba a los rellenos. Los deterioros observados eran claramente irreparables e irreversibles, con riesgos crecientes, por lo que fue necesario decretar la declaración de obra de emergencia para acometer obras de refuerzo y mejora del drenaje.

### 3.3 Trabajos de reparación

Al igual que sucedía con las estructuras del enlace de la M-40 con la A-1, el proyecto de emergencia se centró en la definición de actuaciones paliativo-preventivas que buscaban ralentizar los daños y evitar su progresión, en lugar de acometer agresivas obras de refuerzo que pudieran generar más daño en los muros de suelo reforzado. Estas actuaciones se combinaban con campañas de auscultación posterior basadas en un plan de mantenimiento redactado por FHECOR[2], para realizar un seguimiento de la eficacia de la intervención.

Las actuaciones sobre los estribos se orientaron fundamentalmente a evitar la entrada de agua a los rellenos de los estribos ejecutando unas losas “tapadera” de hormigón armado sobre cada uno de ellos, combinadas con medidas de impermeabilización y mejora del drenaje de la calzada, mediana y cunetas, para lo cual fue necesario el empleo de los pasos de mediana más próximos para desviar el tráfico de una calzada a la contigua.

El espesor de estas losas era de 20 cm, un compromiso entre rigidez, para absorber irregularidades, y flexibilidad, para adaptarse a la diferente deformabilidad del relleno, repartiéndose de manera eficiente las acciones del tráfico. Estas losas son claramente más impermeables que los rellenos de tierras y permitían, además, el anclaje del nuevo sistema de contención, que fue preciso demoler para construir las losas “tapadera”.



**Figura 16.** Planta y sección transversal de una de las losas “tapadera” sobre los estribos de suelo reforzado, tanto en la calzada como en la mediana de la autovía

Las actuaciones desarrolladas fueron:

- Fresado del firme, estudio de la sub-base y demolición de los pretiles.
- Saneo del suelo estabilizado con cemento dañado y preparación del terreno de cimentación de las losas “tapadera”.
- Construcción de las losas “tapadera” armadas, tanto en calzada como en mediana, con vuelo lateral sobre los muros.

- Impermeabilización con poliurea y pavimentación,



**Figura 17.** Saneo del suelo estabilizado con cemento



**Figura 18.** Losa “tapadera” sobre calzada y mediana



**Figura 19. Impermeabilización con poliurea**

- Revestimiento total de cuneta de mediana y bermas laterales.



**Figura 20. Revestimiento de la cuneta de mediana**

## 4. Puente metálico en Linares–Baeza

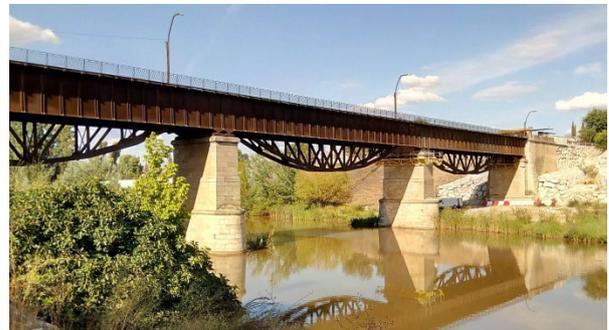
### 4.1 Descripción de la estructura

El puente salva el paso de la N-322a sobre el río Guadalimar, uniendo dos barriadas, cerca de la población de Estación de Linares-Baeza. El puente se encuentra situado aguas abajo del embalse de Giribaile.

Se trata de un magnífico puente metálico, proyectado en 1886 por el ingeniero de caminos José María Iturralde, de tres vanos, con un tablero original formado por 2 vigas de alma llena, con continuidad sobre los apoyos intermedios. Las vigas tienen 3 metros de canto y 97,60 m de largo, y sobre ellas apoyan unas costillas transversales, también metálicas, que dan sustento a unas chapas combadas sobre las que, en su día, se dispuso el macadam de la plataforma, como era usual en aquella época. En 1941, con el fin, entre otros, de dar soporte correcto al tranvía que llegó a estar en funcionamiento durante un tiempo, el puente fue reforzado,

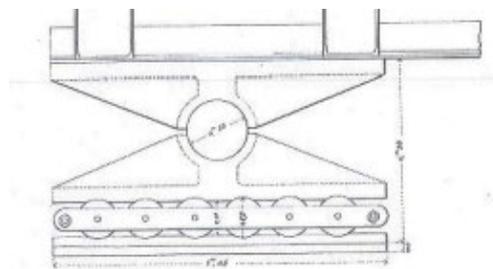
según un proyecto del ingeniero César Villalba, mediante dos celosías en vientre de pez dispuestas, en cada vano, entre las vigas de alma llena, con un canto máximo en centro de vano de 5,30 m.

Como ya se ha mencionado, el puente consta de tres vanos, con luces de 31,80 m los vanos extremos y 32,60 m el vano central. La longitud total del puente es de 130,00 m aproximadamente, incluyendo los estribos y muros de acompañamiento, de sillería de granito en los aristones y de arenisca en los restantes paramentos de los muros frontales y las pilas. Los muros en vuelta, así como los muretes de guarda, son de mampostería concertada.



**Figura 21. Vista general del puente**

Los apoyos de la estructura son de distinta tipología, en función de que se trate del puente original o del refuerzo posterior. Originalmente, según la información existente y la inspección realizada, el puente estaba apoyado en un total de 12 apoyos móviles (2 por estribo y 4 por pila). La ampliación posterior, según la información existente, tiene también un total de 12 apoyos, aunque la mitad de ellos son fijos.



**Figura 22. Apoyo móvil del proyecto original**

## 4.2 Descripción de los daños

Con fecha abril de 2017, durante la inspección que realizamos, se detectaron daños de distinta entidad en el puente.

El más importante fue la rotura de sillares en el estribo 2 bajo el apoyo de la jácena derecha. Este daño ya fue consignado en una inspección realizada en 2007, pero mostró una evolución muy significativa y alarmante en los meses previos a la inspección, lo que justificó plenamente una actuación de emergencia que se anticipara a la amenaza cierta de colapso que se cernía sobre la estructura y que acarrearía, de no atajarse, graves consecuencias para la estructura y para los usuarios de la vía.

En efecto, se observaron llagas (juntas verticales en las obras de sillería) abiertas y sillares partidos por hendimiento, con trazado sensiblemente vertical, resultado de la acción combinada de la carga vertical y de una carga horizontal inducida por bloqueo del aparato de apoyo de la jácena derecha en el estribo 2.



Figura 23. Estado del apoyo (primera inspección)

La causa de esta situación estaba en el bloqueo del aparato de apoyo sobre rodillos que, con movimiento impedido tanto en este punto (lado derecho del estribo 2), como en otros (pilas y estribo 1), indujo unas fuerzas de tiro horizontal debidas al acortamiento térmico coartado (más las fuerzas de frenado). El problema, con toda seguridad, se inició hace mucho tiempo, pero al cabo de 130 años (con sus correspondientes ciclos invierno-verano y día-noche), dieron lugar a una reptación progresiva que, en los últimos años previos a la actuación, provocaron los desórdenes descritos.

En la figura siguiente se puede observar cómo el tren de rodillos ha perdido la solidaridad de movimientos con la rótula de apoyo, desplazándose hacia el vano, en el mismo sentido en que se ha producido la reptación y rotura de los sillares [3].



Figura 24. Rodillos de aparato de apoyo desplazados con relación a la posición original

## 4.3 Reparaciones

En primer lugar se procedió al apeo completo del tablero mediante gatos (no sólo de la jácena derecha) en el estribo 2, para separarlo de la superficie de apoyo. Como medio auxiliar se empleó, en la zona del estribo, una torre de apeo de celosía metálica.

En el resto de apoyos, donde había espacio suficiente, el apeo se dispuso directamente sobre la cabeza de las pilas.



Figura 25. Gateo de la estructura

A continuación se procedió al desmontaje de los sillares existentes que se encontraban desplazados o rotos, previa retirada de las placas de asiento del apoyo.

Tras dicho desmontaje, se sanearon los paramentos mediante repicado hasta que las

superficies quedaron sanas y se aplicó un mortero de cal hidráulica para dotar de adherencia de las nuevas reparaciones, asegurando la compatibilidad de dicho mortero con los sillares de arenisca.



**Figura 26. Izado de puente. Apoyo desmontado**

Posteriormente, se dispusieron sillares nuevos, al no ser posible reutilizar los existentes.

Los apoyos desmontados se repararon en taller, restituyendo los rodillos existentes en origen.



**Figura 27. Retirada de sillares**



**Figura 28. Apoyo ya reparado**

## 5. Conclusiones

Las actuaciones conservadoras sobre las estructuras mencionadas resaltan la importancia de las tareas de inspección, auscultación, seguimiento y mantenimiento del patrimonio estructural.

Estas intervenciones ponen de manifiesto la necesidad de responder con agilidad para llevar a cabo la reparación de los daños especialmente graves detectados en estructuras, así como la realización de campañas de inspección que permitan detectar situaciones de riesgo.

### Referencias

- [1] VV.AA. Patologías en estribos y muros de suelo reforzado de puentes y estructuras de carreteras. ATC-AIPCR. Comité Técnico de Puentes y Comité Técnico de Geotecnia Vial. 2019.
- [2] VV.AA. Guía para la redacción del plan de mantenimiento en puentes. Monografía 27 de ACHE en grupo compartido con ATC-AIPCR. 2015.
- [3] Esteyco. Propuesta de recomendación para la evaluación de puentes metálicos antiguos de carretera. Junio, 1994.
- [4] Bates, W. Historical Structural Steelwork Handbook. The British Constructional Steelwork Association Limited.
- [5] B. Kühn et al. Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life. Joint Report Prepared under the JRC – ECCS cooperation agreement for the evolution of Eurocode 3
- [6] CIRIA 664. Iron and steel bridges: condition appraisal and remedial treatment. London, 2008.
- [7] M. E. Thiel, K. Zulfiqar, and M. D. Engelhardt. Evaluation and rehabilitation of historic metal truss bridges: survey of literature and current practices. The University of Texas at Austin. April 2001.
- [8] G. Sedlacek, C. Kammel, RWTH, Aachen/Germany, B. Kühn, W. Hensen, PSP, Aachen/Germany. Condition assessment and inspection of steel railway bridges, including stress measurements in riveted, bolted and welded structures. Background document SB3.4. Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives.