

Rehabilitación del Viaducto del Barranco del Caballar en la variante de Almería

Rehabilitation of Viaduct over the Caballar Ravine in Almería

Francisco Prieto Aguilera^a, José Romo Martín^b, Julio Sánchez Delgado^c, Javier de Cabo Ripoll^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores, Director Departamento Obra Civil. fpa@fhcor.es

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. CEO. jrm@fhcor.es

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Director Técnico. jsd@fhcor.es

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefe de Proyecto de Obra Civil. jcr@fhcor.es

RESUMEN

El tablero del Viaducto del Barranco de El Caballar es una celosía mixta de 415 m de longitud y 65 m de luz tipo. En las inspecciones previstas por la Dirección General de Carreteras para analizar la sensibilidad frente a fatiga de este tipo de estructuras se detectaron algunas deficiencias en soldaduras y detalles con riesgos de rotura frágil en las uniones entre diagonales y cordones superior e inferior que motivaron la intervención que se presenta en esta comunicación.

ABSTRACT

The deck of the Viaduct over the Caballar Ravine is a 415 m long composite truss beam, with a typical span of 65 m. During the inspections planned by the Spanish Road Administration to assess the fatigue sensitivity of this type of bridge decks, some weldings in the joints between diagonals and truss chords and some welded joints showed other deficiencies. This paper describes the subsequent repair and strengthening intervention.

PALABRAS CLAVE: celosía metálica, fatiga, soldadura

KEYWORDS: steel truss, fatigue, welding

1. Introducción

Los trabajos que se presentan en esta comunicación tienen como antecedentes las campañas de inspecciones principales pautadas por la Dirección General de Carreteras que, cuando es preciso, se complementan con inspecciones especiales. En el caso de los puentes metálicos en celosía la DGC previó hace algunos años la necesidad de realizar inspecciones específicas y los estudios necesarios para evaluar la sensibilidad frente a fatiga de los tableros metálicos en celosía de la Red de Carreteras del Estado.

En los trabajos de campo realizados en las inspecciones sobre la estructura se detectaron deficiencias en soldaduras, y uniones con una geometría poco adecuada frente a las sollicitaciones de fatiga, con valores de vida útil estimada teóricamente superados en las uniones entre las diagonales y los cordones de la celosía, con el correspondiente riesgo de rotura frágil. Estos daños motivaron una intervención de emergencia que se limitó a un vano extremo en primera instancia (enero de 2023) y que se amplió posteriormente al resto del tablero (diciembre de 2024).

2. Descripción de la estructura

La A-7 salva el Barranco del Caballar en el tramo correspondiente a la circunvalación de Almería mediante dos viaductos gemelos de 415 m de longitud cada uno. Los viaductos constan de siete vanos de luces entre ejes de apoyos de $47.50 + 5 \times 65.00 + 42.50$ m.

La presente comunicación se refiere exclusivamente a las actuaciones realizadas en el viaducto de la calzada sentido Algeciras. Estas actuaciones han permitido además redactar un proyecto de rehabilitación del viaducto gemelo.



Figura 1. Vista general del viaducto

El tablero es una celosía mixta, con dos vigas laterales con una configuración de celosía tipo Warren, dispuestas con una separación de 6.0 m entre ejes, y una losa de hormigón de 11.30 m de ancho y espesor variable, desde 0.20 m en los bordes laterales a 0.40 m sobre los cordones superiores de las celosías y con un espesor de 0.24 m en el centro de la losa

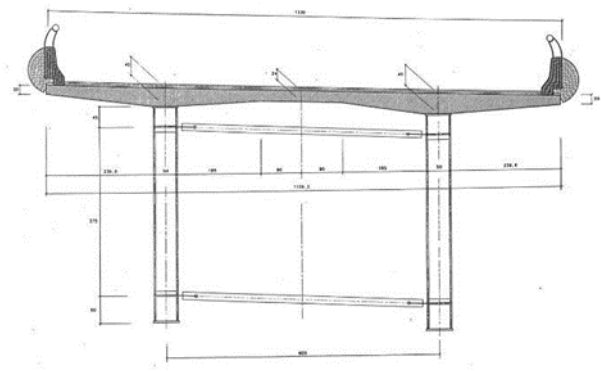


Figura 2. Sección transversal del tablero

Las dos celosías están arriostradas mediante triangulaciones situadas en los planos definidos por los cordones superiores e inferiores, configurando una celosía tridimensional que cuenta igualmente con diafragmas triangulados en los planos de apoyo y en alineaciones intermedias. Estos diafragmas triangulados están dispuestos en planos inclinados siguiendo la disposición de las diagonales de las celosías.

El canto total de la celosía metálica es de 4.80 m, de los que 0.60 m corresponden al cordón inferior y 0.45 m al superior.

Formalmente las celosías siguen una configuración tradicional y están formadas por tramos poligonales. Los nudos están resueltos mediante unas cartelas de dimensiones superiores al canto de los cordones, a las que se conectan estos y las diagonales. Sin embargo, la configuración resulta poco adecuada frente a las sollicitaciones de fatiga, que demandan formas suaves, caracterizadas por encuentros curvos y transiciones continuas entre elementos.

Las uniones entre cordones y diagonales están resueltas con dos tipos de cartelas. Las denominadas cartelas tipo “A” son las más comunes, y son chapas soldadas en prolongación de las almas de los cordones. Las cartelas tipo “B” interrumpen el trazado de los cordones ocupando así la altura del alma del cordón y la zona fuera del cordón que hace las veces de cartela. Algunas cartelas tipo “B” están, además, formadas por dos elementos unidos por una soldadura vertical coincidiendo con el plano central del nudo.



Figura 3. Cartelas A (izquierda) y B (derecha)

Las pilas tienen alturas de entre 25 y 55 m, aproximadamente. Las dimensiones exteriores de los fustes son de 7.20 x 4.00 m. Los fustes tienen un contorno exterior aproximadamente hexagonal, con los dos bordes menores y un tabique central de 0.40 m de espesor, y los lados mayores con espesor variable entre 0.60 m y 0.35 m.

Los fustes están coronados por unos dinteles con sus paramentos exteriores inclinados y con y 4.50 m de canto, sobre los que apoya el tablero.

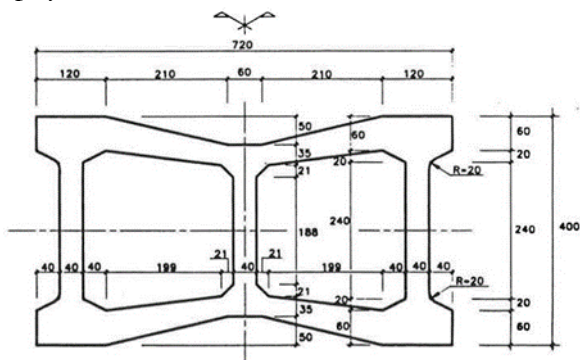


Figura 4. Sección tipo de fuste de pila

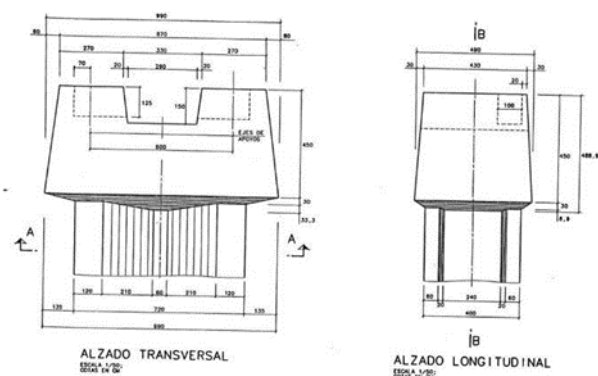


Figura 5. Alzado y perfil de dinteles de pilas

Los estribos son cerrados, de hormigón armado, que adoptan en los planos de apoyo la inclinación correspondiente al peralte del tablero.

Las cimentaciones son directas, con cantos de zapata de entre 2,50 m y 3,00 m.

Los apoyos originales son neoprenos convencionales. Los situados en los estribos son circulares de diámetro 750 mm, con 210 mm de altura total y 150 mm de altura neta. Los dispuestos sobre pilas son de planta cuadrada de

700 mm de lado, 227 mm de altura total y 135 mm de altura neta.

Las juntas de dilatación originales de los viaductos son metálicas, tipo peine, modelo Wd-160 de Freyssinet, y se encontraban en buen estado tras casi 35 años desde su puesta en servicio, aunque presentaban problemas asociados a un mal comportamiento de los aparatos de apoyo.

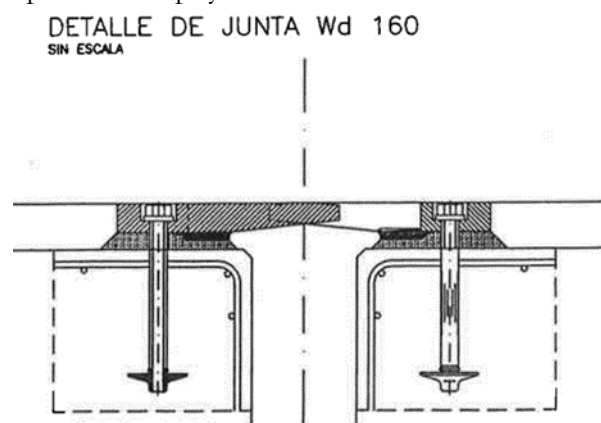


Figura 6. Detalle de junta de dilata

3. Resumen de daños detectados

3.1. Inspecciones realizadas

Durante el periodo previo a la realización de las obras que se presentan se realizaron una serie de inspecciones principales, detalladas con medios de acceso, y especiales.

Las inspecciones principales y especiales fueron realizadas por la UTE formada por FHECOR e INTEMAC.

El objetivo de las inspecciones fue, en primer lugar, disponer de un diagnóstico del comportamiento anómalo o inadecuado de algunos elementos, en particular los aparatos de apoyo.

Por otro lado, la tipología de los tableros requería de la realización de ensayos in situ y estudios teóricos para evaluar la posibilidad de un posible fallo por fatiga en algunas de las uniones de la estructura metálica.

Los ensayos in situ realizados para comprendieron la realización de inspección

visual, por partículas magnéticas y ultrasonidos, en una selección de cordones de soldadura.

Para el estudio de las uniones soldadas in situ se realizó una campaña de inspección visual, con partículas magnéticas y mediante ultrasonidos de una muestra de las uniones soldadas, realizándose los trabajos con la ayuda desde un camión plataforma. Se realizaron además ensayos de ultrasonidos en chapas, destinados a detectar posibles defectos de hoja derivados de las tensiones residuales a la ejecución de los cordones.

Se realizaron también mediciones de espesores de chapa, ensayos de dureza Brinell de chapas y ensayos de mediciones de espesores de pintura.

3.2. Daños observados

3.2.1. Concepción estructural de los

La configuración de los nudos y sus cartelas poligonales implica la existencia de zonas con concentraciones de tensiones relevantes en los nudos.

Se trata de un planteamiento poco acertado con origen en la fase de proyecto.

3.2.2. Soldaduras

En las inspecciones realizadas se observaron defectos asociados a una ejecución poco cuidada de las uniones soldadas en algunas zonas, no habitual en una estructura de estas características y nivel de solicitaciones.

La simple inspección visual permitió apreciar cordones de soldadura irregulares, cordones de garganta inferior a la mínima indicada en planos, ausencia puntual de soldaduras, mordeduras, desalineamiento de chapas, entallas, existencia de cortes en chapas realizadas mediante oxicorte manual sin repaso, presencia de poros y escoria, transiciones bruscas de espesores, sobreespesores de cordones de soldaduras, etc.



Figura 7. Transiciones bruscas de espesores



Figura 8. Poros e irregularidades en soldaduras



Figura 9. Entalla en cartela de nudo inferior

Con independencia de la calidad de ejecución de las soldaduras, se observaron otros detalles poco adecuados, como empalmes de alas y almas en cordones ubicados en la misma sección transversal.

En otros casos la propia geometría de proyecto conducía a disposiciones poco adecuadas. Así, las cartelas principales de los nudos y las que recogen los arriostramientos

horizontales eran idénticas, provocando que los extremos de estas últimas coincidieran con los cordones verticales de las cartelas principales de tipo B.

3.2.3. Estructura metálica

Un aspecto llamativo observado en la inspección en la calzada paralela a la reparada es la deformación plástica localizada en una zona puntual del ala inferior del cordón inferior, posiblemente producido durante el proceso de lanzamiento sobre los rodillos metálicos.



Figura 10. Cizallado inducido en el deslizamiento

Por lo general la conservación del sistema de protección era correcto, gracias a la escasez de precipitaciones en la zona, y a pesar de la proximidad a la costa. Únicamente en zonas puntuales de zonas acumulación de agua en la cara superior del cordón inferior, y en cordones de soldadura por su propia configuración y porque en ellos la aplicación de la pintura no debió alcanzar un espesor homogéneo y suficiente.

3.2.4. Apoyos

Los apoyos de neopreno recibían el apoyo de la chapa de regularización de la pendiente y el peralte, soldada al ala inferior del cordón inferior de la celosía, confiando el funcionamiento del apoyo al rozamiento neopreno – chapa.

En un gran número de apoyos se observaron movimientos relativos entre los apoyos y el chapón superior de apoyo de las celosías e incluso entre el apoyo y el pedestal de

hormigón, a pesar de presentar más rugosidad que la chapa superior. En muchos casos el neopreno se situaba parcialmente fuera de las superficies de apoyo.

No resultó posible identificar un patrón preciso de comportamiento de los aparatos de apoyo ya que en algunos puntos los dos neoprenos situados en la misma alineación de apoyos mostraban una respuesta diferente frente a sollicitaciones que deberían ser similares.



Figura 11. Apoyo desplazado

El desplazamiento mostraba sentidos contrarios en cada estribo: hacia la derecha en el 1 y hacia la izquierda en el 2.

3.2.5. Junta de dilatación

Como se ha apuntado ya, las juntas de dilatación dispuestas en estribos se encontraban en buen estado tras casi 35 años desde su puesta en servicio, pero presentaban problemas asociados al movimiento relativo entre el tablero y los apoyos. Estas deformaciones provocaron que quedasen parcialmente bloqueadas al tener la junta una configuración en peine formada por elementos de planta triangular, que quedaron parcialmente bloqueados.

4. Evaluación estructural y propuesta de actuación

4.1. Evaluación estructural

Se realizó una evaluación estructural de la estructura incluyéndose un estudio a fatiga de las celosías. La evaluación estructural se ha realizado

con las acciones y formato de seguridad definidos en la normativa vigente para obras de nueva construcción.

Desde el punto de vista de la fatiga, considerando que muchos de los detalles de unión no respetaban las recomendaciones ya conocidas en la época de proyecto para controlar los efectos de la fatiga se estimó necesaria la realización de un refuerzo que minimizase las concentraciones de tensiones en los nudos, y redujera el riesgo de rotura frágil de las uniones entre diagonales y cordones, ya que su vida útil estimada teóricamente se habría consumido hace tiempo, con el correspondiente riesgo de rotura frágil.

También se concluyó que existía un ligero déficit de capacidad resistente en algunas diagonales comprimidas de las celosías.

Desde el punto de vista sísmico, la situación de los apoyos y de la junta resultaba incompatible con un funcionamiento adecuado del conjunto, tanto por encontrarse las juntas parcialmente coaccionadas, como por la ausencia de conexión entre el tablero y los apoyos.

4.2. Propuestas de actuaciones

Se enuncia a continuación las actuaciones que se propuso llevar a cabo

Estructura metálica:

- Montaje de andamios para el acceso a los distintos vanos de la estructura.
- Inspección de soldaduras.
- Reparación de soldaduras.
- Reparación de uniones entre tramos del cordón inferior y superior.
- Refuerzos locales de la totalidad de los nudos de las celosías.
- Refuerzo de las diagonales comprimidas donde se obtuvieron valores de capacidad resistente inferiores a la necesaria frente a los esfuerzos estimados con un el formato de seguridad vigente para obras de nueva construcción.

- Retirada del arriostramiento superior horizontal que carece de utilidad estructural una vez ejecuta la losa, tratando de minimizar el incremento de peso asociado a los trabajos de refuerzo.
- Limpieza general y aplicación de nueva pintura de protección.
- Ejecución de pasarelas para inspección y mantenimiento futuros.

Aparato de apoyos y juntas de dilatación:

- Sustitución de aparatos de apoyo y juntas de dilatación, para asegurar el correcto comportamiento del viaducto frente a las acciones sísmicas.
- Colocación de topes sísmicos transversales en pilas y estribos.

Calzada:

- Fresado y reposición de capa de rodadura.

Drenaje:

- Reparación de sumideros metálicos.

Instrumentación:

- Instalación de un sistema de instrumentación en el tablero para medir diferencias de comportamiento entre el tablero reforzado y no reforzado, medir movimientos en apoyos y aceleraciones en el centro del vano extremo.
- Realización de aforos para caracterizar el tráfico pesado que soporta la estructura desde el punto de vista de la fatiga.

5. Descripción de las obras de rehabilitación

En una primera fase de la emergencia se actuó sobre el vano 7 y en una segunda emergencia se extendió el alcance al resto de la estructura. Las obras se desarrollaron entre enero de 2023 y diciembre de 2024.

5.1. Medios auxiliares

Para poder realizar los trabajos de inspección, refuerzo y rehabilitación necesarios ha sido

preciso disponer un andamio colgado de la losa superior del tablero.

Por razones ambientales los andamios se encapsularon mediante una lona termoretráctil que, además, protegía del viento los trabajos de ejecución de soldaduras.

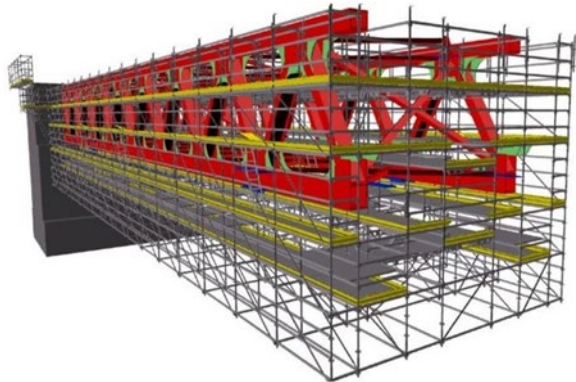


Figura 12. Infografía del andamio instalado

En función de las fases de la obra se han andamiados un número diferente de vanos. En general, se realizaban trabajos de inspección en un vano, de rehabilitación y refuerzo en el siguiente, y de repintado en el tercero, y existía un juego de andamio para un cuarto vano que se desmontaba del vano recién pintado para reinstalarlo en el siguiente vano a inspeccionar.

5.2. Reparación y refuerzo de celosía

5.2.1. Inspección y reparación de soldaduras

En las soldaduras en ángulo, fundamentalmente en las zonas de los nudos entre diagonales y cordones, se han realizado inspecciones visuales (IV) e inspecciones mediante partículas magnéticas (PM) en todos los cordones de todos los nudos.

En las soldaduras de penetración completa se realizaron inspecciones visuales (IV), inspecciones mediante partículas magnéticas (PM) e inspecciones mediante ultrasonidos (UT). Estas inspecciones se han realizado en el 100% de las uniones de este tipo del tablero.

Más en detalle, la frecuencia de los ensayos realizados ha sido la siguiente:

- Cordones a tope, en platabandas, almas o elementos de responsabilidad, traccionados

o susceptibles de fatiga: Las soldaduras preexistentes y reparadas o nuevas se ensayaron mediante UT al 100% y se realizaron ensayos de contraste al 20%.

- Cordones en ángulo o con penetración parcial, en elementos de responsabilidad (riostros, elementos de diafragmas transversales), traccionados o susceptibles de fatiga: Las soldaduras preexistentes y reparadas o nuevas se ensayaron mediante PM al 100% y los ensayos de contraste al 20%.
- Cordones a tope o en ángulo en elementos de responsabilidad, trabajando fundamentalmente a rasante (unión alasmala, rigidizadores, mamparos de apoyo, etc.): Las soldaduras preexistentes y reparadas o nuevas se ensayaron mediante UT (uniones a tope) o PM (ángulo) al 30% y los ensayos de contraste al 7%.
- Cordones en ángulo o con penetración parcial, en elementos secundarios (cartelas, rigidizadores intermedios, células, arriostramientos, riostras, marcos de rigidez, uniones de atado, etc.): Las soldaduras preexistentes y reparadas o nuevas se ensayaron mediante PM al 10% y los ensayos de contraste al 3%.

Con carácter general los criterios de reparación o corrección empleados en las soldaduras fueron los siguientes:

- Grietas o fisuras: Saneado de las fisuras y ejecución de nuevo cordón en esa zona.
- Poros e inclusiones: Ejecución de nueva unión tras sanear con arco-aire en una longitud mínima de cordón.
- Mordeduras y desbordamientos: Saneado y posterior depósito de material de aportación, con longitud mínima de saneado.
- Concavidades y excesos de espesor no previstos: Amolado de cordón.
- Otros defectos: entallas y estrías superficiales con posterior depósito de material, etc:

Amolado o saneado por arco-aire y reparación del cordón.

5.2.2. Refuerzo de nudos

Para mejorar el comportamiento a fatiga de la estructura se reforzó la totalidad de los nudos superiores e inferiores de las celosías mediante la prolongación de las cartelas para cumplir con el ELU de fatiga y evitar una rotura prematura en la unión soldada entre las alas de las diagonales y las cartelas del nudo.

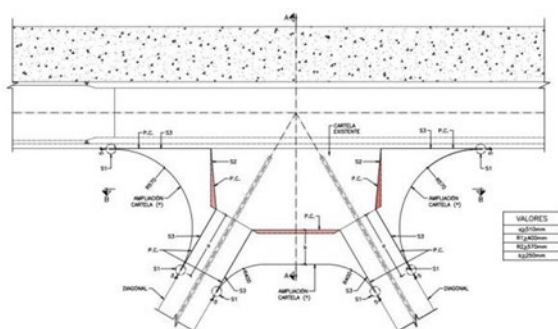


Figura 13. Detalle de refuerzo de nudo superior

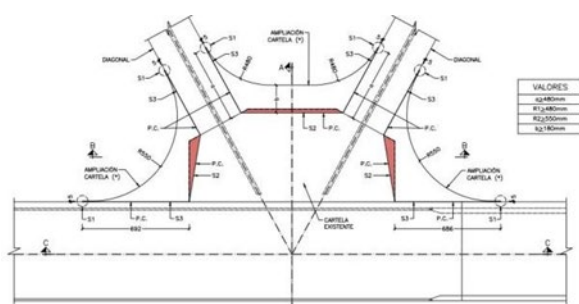


Figura 14. Detalle de refuerzo de nudo inferior

Con la nueva geometría se pretende dar formas más suaves y curvas en las transiciones entre los nudos y las barras (cordones, diagonales, arriostramientos, etc).

Los suplementos de chapa dispuestos en los nudos podrían absorber por sí solos la transferencia de esfuerzos entre las diagonales y los cordones. Al analizar el comportamiento de las cartelas antes y después del refuerzo se tiene una reducción de las tensiones máximas debidas al tren de cargas de fatiga del orden del 50%.



Figura 15. Refuerzo de nudo del cordón superior



Figura 16. Vista general de nudos reforzados

5.2.3. Refuerzo de diagonales

Las diagonales comprimidas en las que se estimó un ligero déficit de capacidad resistente a compresión fueron reforzadas cerrando el perfil mediante la disposición de dos chapas de 10 mm soldadas a los bordes de las alas existentes,



Figura 17. Refuerzo de diagonal

5.2.4. Eliminación de arriostramiento superior horizontal

En toda la longitud del viaducto se eliminó el arriostramiento horizontal superior, que carece de utilidad una vez que la losa del tablero fue ejecutada, y tratando de minimizar el incremento de peso asociado a los trabajos de refuerzo.



Figura 18. Arriostramiento superior retirado

5.2.5. Repintado de estructura metálica

Toda la estructura fue limpiada mediante arena hasta un grado de limpieza Sa 2 ½ vano a vano tras la realización de los trabajos de reparación y refuerzo.

En una fase inicial de trabajos en cada vano se chorrearon todos los cordones de soldadura que fueran a ser objeto de inspección.

Tras la preparación de superficies se aplicó un sistema de pintura para una clase de corrosión C5 y durabilidad muy alta formada por una imprimación epoxi de 100 µm, una capa intermedia de epoxi con alto espesor de fosfato de zinc 200 µm y una capa de acabado de poliuretano alifático acrílico de 60 µm.

5.3. Topes transversales

5.3.1. Topes en pilas

Con el fin de limitar la deformación total de los apoyos se planteó coartar su deformación transversal en estribos y limitar la deformación a la ligada al viento y al sismo frecuente en pilas, para lo que se dispusieron topes transversales sin holgura y con la holgura necesaria en estribos y pilas respectivamente.

Los topes de las pilas se materializaron mediante dos cajones metálicos unidos al travesaño inferior del diafragma de apoyos en pilas, y mediante un ligero recrecido del hueco central del dintel de la pila para disponer de un paramento vertical contra el que eventualmente se produzca el tope. El cajón, de ancho 700 mm y canto variable entre 250 y 750 mm, está

formado por almas de espesor 25 mm y alas de 10 mm.



Figura 19. Vista de tope de pila ejecutado

5.3.2. Topes en estribos

Los topes de estribos se materializaron mediante un cajón metálico que se conecta mediante soldadura al travesaño inferior del diafragma de estribos. El cajón tiene 400 mm de ancho y 450 mm de canto, y 350 mm de altura. Sus alas y almas tienen 10 y 20 mm de espesor respectivamente.

Adyacentes a este cajón se han ejecutado dos bloques de hormigón de dimensiones 0.80 x 0.6 x 0.35 m, sobre la meseta de apoyos en estribos y conectados a ésta. Entre el cajón metálico y los bloques de hormigón se han dispuesto un neopreno adherido al bloque y una lámina de teflón pegada al cajón.



Figura 20. Vista de tope de estribo ejecutado

5.4. Cambios de apoyo

Los aparatos de apoyos existentes en pilas y estribos, bastantes de ellos con importantes reptaciones y con deterioros considerables, fueron sustituidos por otros nuevos. Los nuevos aparatos de apoyo son de neopreno zunchado, convencionales, con las siguientes dimensiones:

- Pilas: 800x800x209 (144)

- Estribos: Ø750x195 (120)

Para asegurar la conexión de los nuevos apoyos a la estructura metálica del tablero y a las pilas y estribos se colocaron con una chapa superior vulcanizada con el propio apoyo, que se ha soldado a las cuñas metálicas que regularizan el peralte y la pendiente y que están dispuestas bajo el cordón inferior del tablero.

En la base del apoyo ha sido necesario realizar trabajos de recrecido de algunas mesetas, debido a los movimientos que se habían producido, para asegurar unas distancias mínimas del apoyo al borde de la meseta.

Para evitar taladrar la meseta existente se fabricaron unas piezas metálicas a modo de caperuza dispuesta sobre la meseta. El apoyo se conectó mediante soldadura a dicha pieza, que quedaba coaccionada lateralmente por los bordes de la meseta.



Figura 21. Cambio de apoyos en pilas

5.5. Sustitución de junta de dilatación

La sustitución de las juntas de dilatación existentes en ambos estribos fue precedida de un periodo de auscultación de aproximadamente dos meses para calibrar el rango de deformaciones y su correspondencia con la variación térmica diaria.

Las juntas existentes, metálicas de tipo peine, se sustituyeron por unas juntas de elastómero armado de recorrido de ± 115 mm.

Para la retirada e instalación de las juntas fue necesario el corte total del tráfico sobre la calzada ya que fue preciso demoler con medios

mecánicos y reconstruir el murete de estribo y la losa del tablero en la zona de conexión a la junta.



Figura 22. Instalación de nueva junta de dilatación

Además, se aprovechó el corte total de la calzada para fresar y reponer la capa de rodadura, y rehabilitar los sumideros.

5.6. Pasarela de mantenimiento

Para poder llevar a cabo labores de inspección, mantenimiento o futuras reparaciones de la estructura metálica existente se instalaron en la estructura dos pasarelas de mantenimiento con un piso de rejilla de PRFV.

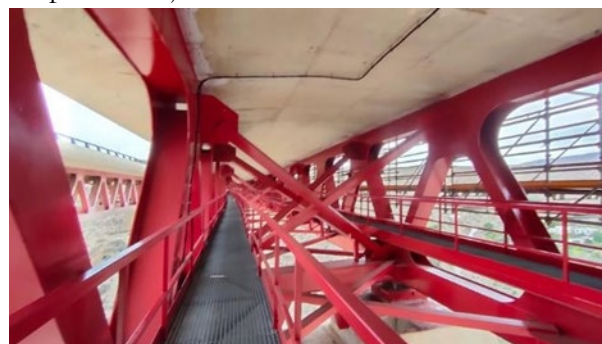


Figura 23. Pasarelas de mantenimiento instaladas entre celosías

Referencias

- [1] Guía para el proyecto frente a fatiga de puentes metálicos y mixtos de carretera. DGC. 2019.
- [2] Código Estructural. Real Decreto 470/2021. Capítulos 21 y 25.
- [3] UNE-EN ISO 5817, niveles de calidad para imperfecciones en uniones soldadas
- [4] UNE-EN ISO 6520-1. Soldeo y técnicas afines. Clasificación de las imperfecciones geométricas en los materiales metálicos