

Rehabilitación del puente-viaducto de Requejo (Puente de Pino)



José Antonio Llombart Jaques
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Director general. Estudio de Ingeniería y
Proyectos (EIPSA)



David Rodríguez Bragado
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe de la Sección de Proyectos y Obras.
Servicio Territorial de Fomento de Zamora.
Junta de Castilla y León

Resumen

El puente-viaducto de Requejo (o puente de Pino) se encuentra actualmente en servicio y constituye hoy en día una referencia histórica de la Ingeniería española de principios del Siglo XX. Fue proyectado por el Ingeniero José Eugenio Ribera en 1897 e inaugurado en 1914. Su luz, de 120 metros, fue en su momento la mayor de España. Su aspecto está caracterizado por la ligereza y esbeltez de sus formas, quedando perfectamente integrado dentro de la grandeza paisajística de los Arribes del Duero.

En los cien años transcurridos desde su puesta en servicio, la estructura del puente se ha mantenido en un aceptable estado, en su conjunto. Sin embargo, últimamente se había detectado un importante deterioro en zonas localizadas de las vigas principales del tablero que precisaban una urgente reparación, que ya se ha llevado a efecto. Asimismo, se ha reconstruido el sistema de drenaje de tablero y se ha sustituido el firme existente por uno mucho más ligero.

En el presente artículo se describen las características más importantes del puente, así como los recientes trabajos realizados para su rehabilitación.

Palabras clave

Arco biarticulado, rehabilitación, roblón, tornillo, soldadura

Abstract

The Requejo Viaduct-Bridge (Puente de Pino) is currently in service and is a historic reference for early 20th century Spanish Engineering. Designed by the Engineer, José Eugenio Ribera in 1897, its appearance is characterized by the lightness and slenderness of its shapes and it perfectly integrates into the grandiose Arribes del Duero landscape.

In the one hundred years since it came into service, the bridge structure has overall remained in an acceptable condition. However, major deterioration in localised areas of the main deck beams had been detected, calling for urgent repair which, as of today, has been concluded. The deck's drain system has also been rebuilt and the roadbed existing has been replaced by a much lighter one.

This article describes the major characteristics of the bridge as well as recent work undertaken for its refurbishment.

Keywords

Two-hinged arch, rehabilitation, rivet, bolt, welding

1. Características y breve reseña histórica

El puente-viaducto de Requejo, conocido popularmente como el puente de Pino, salva el río Duero a su paso por los municipios de Pino del Oro y Villadepera, en la provincia de Zamora. Fue inaugurado el 15 de septiembre de 1914.

José Eugenio Ribera lo había proyectado casi veinte años antes, eligiendo el acero como material estructural. Trazó y analizó hasta doce soluciones diferentes, calculando los costes de cada una de ellas, así como las ventajas relativas de los arcos empotrados y biarticulados.

El puente construido (figura 1) está formado por un arco biarticulado de 120 metros de luz de directriz parabólica rebajada a 1/5, de canto constante y con tablero superior de alma llena. Las vigas principales están formadas por dos dobles 'T' unidas por barras dispuestas en un enrejado en 'N', y arriostradas por dos cruces de San Andrés.

2. Puente de Pino. Proyecto y Construcción

Actualmente, la Junta de Castilla y León dispone del proyecto original completo del puente de Pino, firmado por José Eugenio Ribera, el 1 de agosto de 1897. Se trata de



Fig. 1. Vista general del puente de Pino desde la margen derecha (Pino del Oro)

un valioso documento, que hoy día pertenece ya a la historia de la ingeniería y del que se ha considerado oportuno entresacar algunos datos y figuras interesantes.

El proyecto, realizado en su día, estuvo precedido de un amplio estudio relativo a los puentes de arco existentes en el mundo en aquel momento, acompañado de extensos cálculos orientados a ampliar el conocimiento del comportamiento estructural y a la obtención de la solución más adecuada a adoptar en el puente de Pino. Gran parte de los detalles y cálculos existentes en el proyecto desarrollado están contenidos en el libro escrito por el propio Ribera, titulado 'Grandes Viaductos' y editado en el año 1987, del que actualmente existe un ejemplar en la Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, de Madrid. El texto contiene extensos comentarios relativos a la tipología y al comportamiento estructural que hoy en día tendrían plena validez en el orden conceptual, a pesar de que gran parte de las conclusiones proceden de la consideración del análisis de resultados de cálculos realizados con los rudimentarios medios existentes en la época, así como por deducciones procedentes de la simple intuición.

El proyecto está magníficamente realizado, con una detallada definición de los elementos de la estructura metálica (posición, características geométricas y secciones transversales), de tal forma que durante los trabajos de rehabilitación ha sido posible elaborar un modelo completo en 3D para su análisis con ordenador (fig. 2).



Fig. 2. Modelo actual 3D, elaborado para cálculos de verificación mediante ordenador

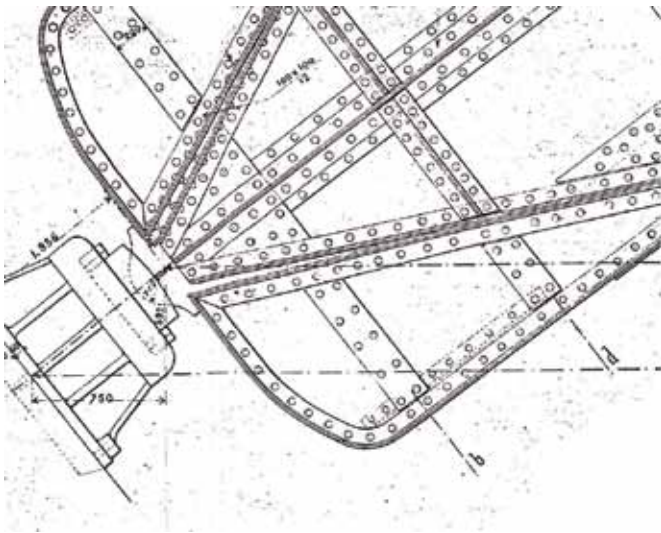


Fig. 3. Articulación en arranque de arco

La figura 3 corresponde a un alzado del arranque del arco biarticulado mostrado en un plano del proyecto, al lado de una fotografía real.

En el proyecto existe una gran cantidad de cálculos gráficos realizados para la determinación de esfuerzos en barras, obtención de líneas de influencia y verificación de la seguridad frente al pandeo de piezas comprimidas, con los procedimientos propios de la época. La figura 4 corresponde a uno de los cálculos gráficos contenidos en el proyecto.

Las acciones de tráfico tenidas en cuenta consistieron en una carga uniforme de 300 kg/m^2 más la consideración conjunta del efecto de unos trenes de carga representados en la figura 5.

La obra se realizó según la forma descrita en el proyecto, salvo muy pequeños cambios. Uno de ellos fue el relativo al pavimento a disponer, cuya definición original estaba representada en la sección transversal del tablero mostrada en la figura 6.

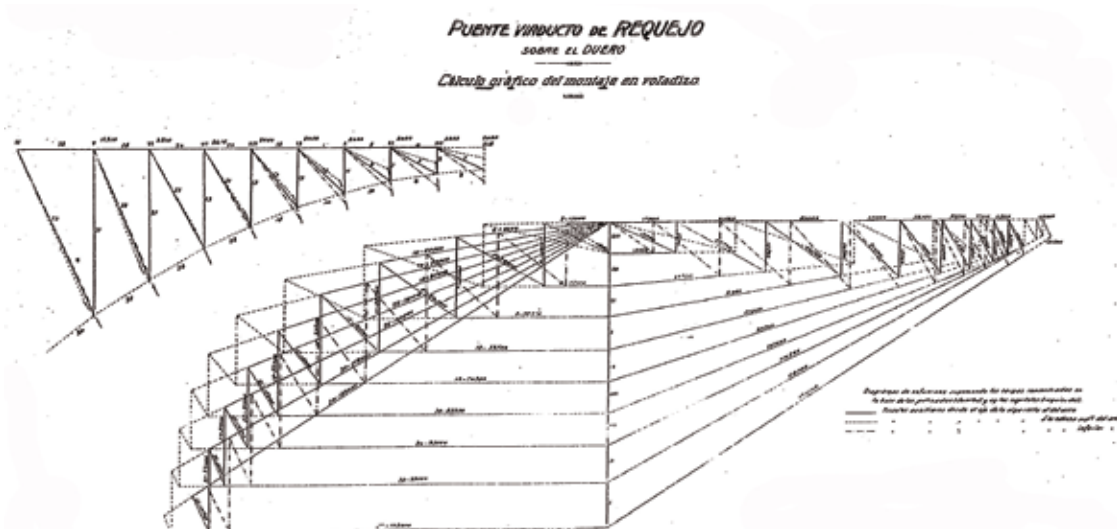


Fig. 4. Cálculo gráfico del montaje en voladizo

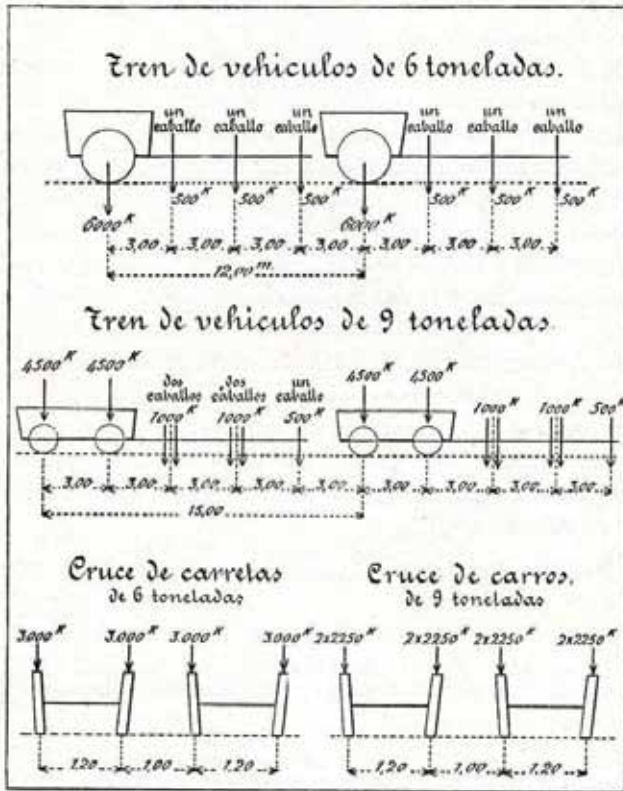


Fig. 5. Sobrecargas móviles



Fig. 7. Firme existente



Fig. 8. Puente de Pino, en fase de construcción (fotografía tomada el 1 de julio de 1913)

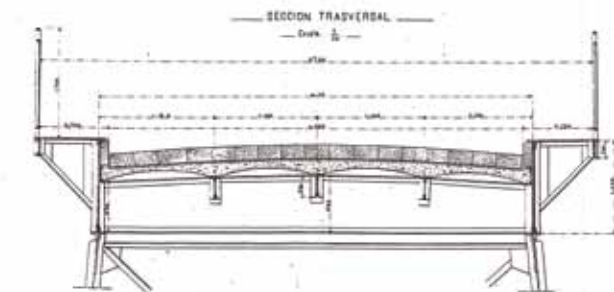


Fig. 6. Sección del tablero inicialmente proyectado por Ribera

En un artículo publicado en la Revista de Obras Públicas, el 24 de septiembre de 1914, el propio Ribera comentaba que “su proyecto suponía que el pavimento de la calzada sería entarugado de madera, pero la Superioridad había impuesto que se pusiera firme de piedra, y así se había ejecutado”. Una de las consecuencias de dicha modificación fue un considerable aumento del peso muerto del tablero.

El pavimento existente, en el momento de la reciente actuación llevada a cabo, estaba formado por un relleno de macadam con un espesor comprendido entre 31 y 42 cm, más un riego asfáltico superficial (fig. 7).

El peso medio estimado era del orden de 754 kg/m². Resultaba un tanto paradójica la existencia de una gruesa capa



Fig. 9. Corrosión en almas de vigas principales con pérdida de sección

de macadam cuyo considerable peso gravitaba sobre el tablero y su contraste con la ligereza y esbeltez de la estructura que servía de soporte. Ante tal consideración, uno de los objetivos de la rehabilitación consistió en disminuir significativamente la magnitud de la carga muerta existente.

El montaje de la estructura del puente se realizó actuando conjuntamente por los dos lados, siguiendo un método mediante avance en voladizo y triangulación provisional mediante tirantes inclinados formados con perfiles metálicos (fig. 8).

3. Rehabilitación de las vigas principales y del sistema de drenaje

3.1. Problemática existente

Existía un problema generalizado de corrosión en la práctica totalidad de las vigas principales (fig. 9). En la parte superior, que aflora sobre el tablero, la oxidación había sido importante habiendo desaparecido gran parte de la zona superior del alma, por debajo del ala.

La considerable pérdida de sección constituía una seria anomalía que se consideró importante corregir con carácter urgente por motivos de seguridad, ya que quedaba debilitada parte de la estructura del tablero.

El tablero disponía de 14 sumideros como el que puede verse en la figura 10. Existían signos evidentes de haberse producido una sistemática acumulación de agua en los tramos entre sumideros y ello había originado la progresiva corrosión de las vigas principales.



Fig. 10. Zona dañada por la corrosión

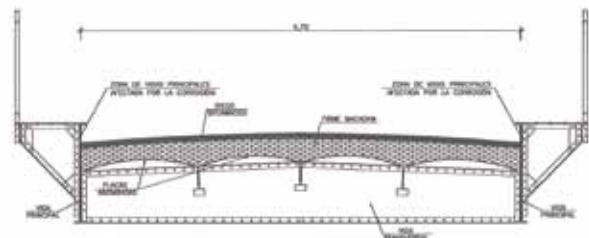


Fig. 11. Sección tipo del tablero del puente de Pino

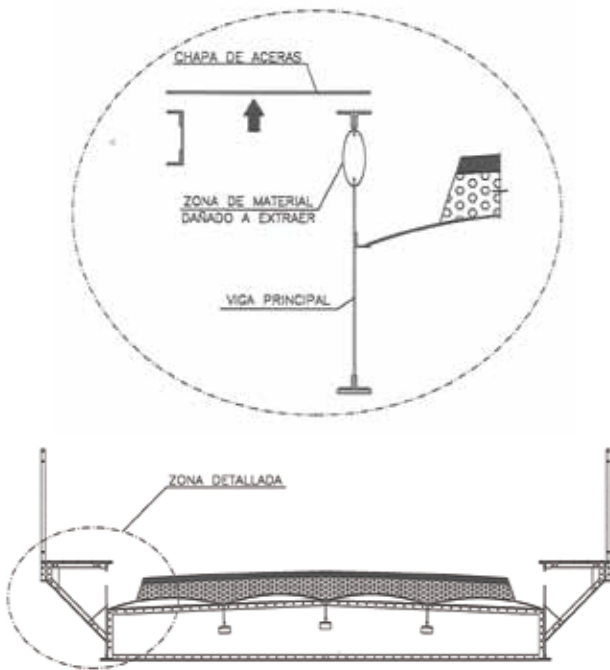


Fig. 12. Fase 1: limpieza de zonas afectadas

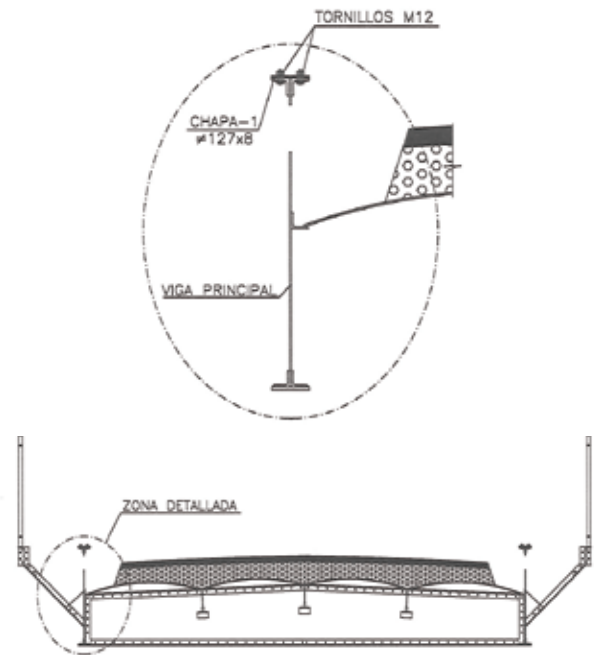


Fig. 13. Fase 2: colocación de la chapa de refuerzo sobre la viga principal

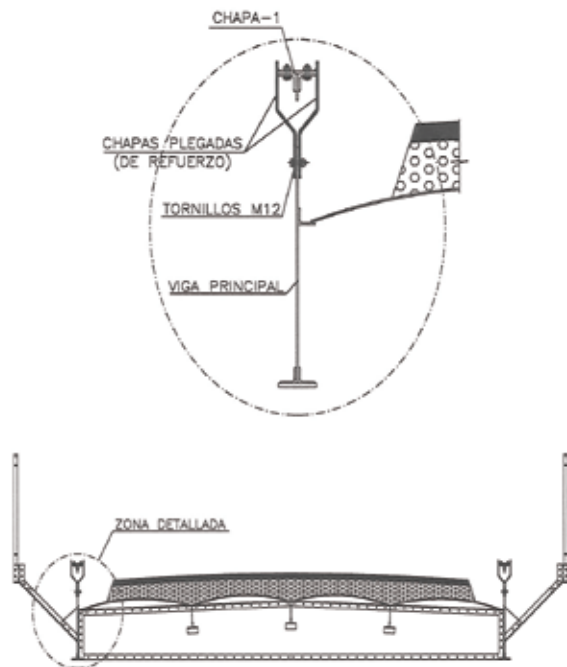


Fig. 14. Fase 3: colocación de las chapas de refuerzo laterales

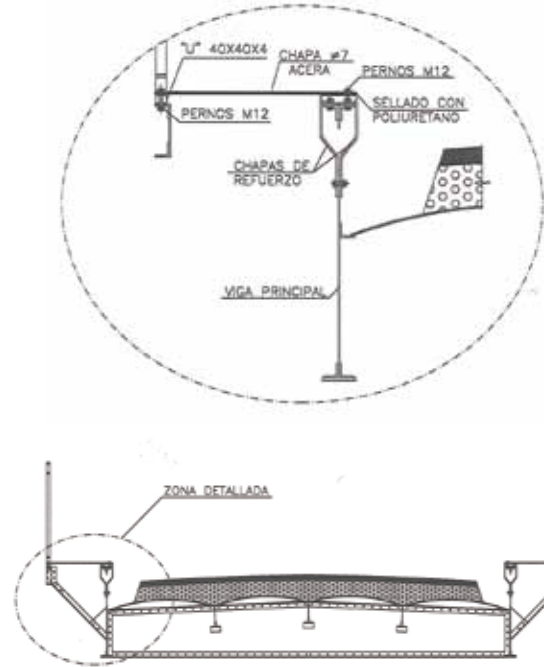


Fig. 15. Fase 4: restitución de las chapas de las aceras

3.2. Trabajos previos

Para conocer las características más relevantes del acero que constituye la estructura del puente se extrajeron muestras que fueron ensayadas en laboratorio, dando como resultado valores de tensión de rotura a tracción comprendidos entre 377 MPa y 455 MPa.

La soldabilidad metalúrgica del acero de las muestras ensayadas resultaba ser “baja” para los procesos habituales de soldadura por fusión al arco eléctrico, debido básicamente a la alta susceptibilidad del mismo al agrietamiento en caliente. Para el refuerzo de la estructura se utilizaron exclusivamente uniones atornilladas y solamente se practicó soldadura para la unión entre sí de los nuevos elementos de acero incorporados.

3.3. Descripción de los trabajos

En la figura 11 correspondiente a la sección tipo del tablero pueden verse dos vigas longitudinales principales (que son las que presentaban los problemas de corrosión reflejados en las figuras 9 y 10) y tres vigas longitudinales secundarias que sustentan unas placas abombadas sobre las que se apoya el firme.

La reparación y refuerzo de las vigas se realizó de acuerdo con el siguiente proceso:

- Fase 1. Cajeadado del firme. Retirada de las chapas que forman las aceras. Limpieza de las zonas afectadas por la corrosión y retirada de los sumideros (fig. 12).
- Fase 2. Colocación de la chapa de refuerzo (127x8 cm) sobre el ala superior de la viga principal. Unión mediante tornillos M12 (fig. 13).
- Fase 3. Colocación de chapas laterales de refuerzo con unión al alma de la viga mediante tornillos y mediante soldadura a la chapa de la fase 2 (fig. 14).
- Fase 4. Colocación de perfiles para elevar la altura de las aceras y reposición de las mismas chapas de acera que fueron retiradas en la FASE-1. Unión mediante tornillos M12 (fig. 15).

3.4. Ejecución de los trabajos

Se comenzó con la retirada de los roblones que sujetaban las chapas de las aceras. El sistema que resultó más eficaz consistió en cortar la cabeza del roblón con un pico y extraer el cuerpo con un puntero.

Una vez que la chapa de la acera había sido retirada, se procedió a la limpieza de las zonas afectadas por la corrosión y a la colocación de la chapa sobre el ala superior de la viga principal (fig. 16).

Fase siguiente: colocación de las dos chapas laterales de refuerzo (fig. 17)

La última fase correspondía a la colocación de los perfiles con sección en ‘C’, necesarios para apoyar las chapas que forman las aceras, y que queden elevadas 40 mm con res-



Fig. 16. Limpieza de la corrosión y colocación de la chapa de refuerzo sobre la cabeza de la viga



Fig. 17. Colocación de las chapas laterales de refuerzo



Fig. 18. Colocación de los perfiles con sección en C para atornillado de las chapas de las aceras



Fig. 19. Aspecto del tablero una vez concluida la rehabilitación de las vigas principales



Fig. 20. Retirada de la totalidad del material de relleno



Fig. 21. Lámina de resina de poliuretano (2 Capas).
Imprimación + revestimiento

pecto a su posición original, debido al espacio necesario para poder apretar los tornillos (figura 18).

4. Sustitución del firme del tablero

El tablero del puente estaba formado por una matriz de chapas abombadas de 4 x 96 elementos sobre la que se apoyaba el firme de macadam de espesor variable entre 31 y 42 cm. El macadam tenía un volumen total de 350 m³ aproximadamente y un peso de unas 665 toneladas.

Con el objeto de reducir espesor y peso, se desarrolló una solución consistente en retirar la totalidad del material de relleno (figura 20) y construir en su lugar un firme monolítico

de hormigón armado con bombeo del 2 % y juntas serradas cada 5 metros.

Para asegurar la impermeabilidad, se proyectó una lámina de resina de poliuretano en dos capas (imprimación y revestimiento), previa limpieza de las chapas con chorro de arena (fig. 21).

En la parte de la chapa expuesta a la intemperie se proyectó una resina acrílica. El volumen de hormigón empleado fue de 127,5 m³, con un peso de 299 toneladas, lo que supone una reducción de más del 50 % con respecto al peso del firme original.



Fig. 22. Colocación de geotextil



Fig. 23. Hormigonado del tablero (Espesor medio: 14 cm)



Fig. 24. Ranurado de superficie

Previamente a la construcción del nuevo firme se dispuso un geotextil en toda la superficie del tablero para evitar la adherencia entre el hormigón y las bóvedas existentes de chapa metálica (fig. 22).

El hormigonado (fig. 23) se realizó desde el centro hacia los extremos, transportando el hormigón desde los estribos hasta el tajo con un dumper, de forma que la adición de cargas sobre el tablero se realizara siempre con cierta simetría. Para limitar las fisuras de retracción se dispuso un mallazo de 15 x 15 cm y 5 mm de diámetro. Para conseguir buenas condiciones de adherencia en la rodadura de vehículos se efectuó un ranurado de la superficie. Se

utilizó un cepillo de barrendero (figura 24). Las juntas se serraban al día siguiente con una separación de cinco (5) metros.

En la figura 25 se muestra el aspecto general del puente durante el hormigonado. Se aprecia, en la parte inferior izquierda donde no se ha hormigonado, el aspecto del tablero tras la retirada del macadam y que dejaba a la vista las chapas abombadas.

Finalmente, se trataron las juntas serradas de retracción y se colocaron las dos juntas de calzada, con una anchura de 612 mm, que permiten movimientos de hasta 80 mm. El máximo movimiento calculado en el puente de Pino es de 30 mm en cada estribo.

5. Prueba de carga dinámica

Una vez finalizadas las obras de rehabilitación en el tablero se realizó una prueba de carga dinámica. Aunque habitualmente el comportamiento dinámico de un puente se estudia sólo en grandes luces o en aquellos puentes que van a estar sometidos a problemas de tipo vibratorio por la acción de cargas exteriores, en el puente de Pino se consideró útil conocer su respuesta dinámica habida cuenta de la ligereza y esbeltez de algunas de sus partes. La información experimental obtenida en la prueba de carga dinámica se conservará por si en el futuro interesase realizar una nueva prueba y comparar resultados en el caso de que se presentasen signos de alguna patología oculta, o si se apreciases de vibraciones mayores de las habituales.



Fig. 25. Vista general del puente durante el hormigonado del tablero

6. Resumen y conclusiones

En la reciente rehabilitación de puente de Pino, efectuada en 2013, se ha mantenido respetuosamente el aspecto exterior inicial, dado su carácter de obra excepcional por su valor histórico y estético.

Con la reparación de los desperfectos observados en las vigas principales se ha restituido e incrementado la capacidad resistente. En cuanto a los aspectos funcionales relativos al tráfico, se ha mejorado la eficiencia del sistema de drenaje y se ha dotado de un firme con una superficie de aspecto impecable (fig. 26), provisto de las apropiadas juntas de calzada en los extremos del tablero.

La disminución del peso del pavimento ha representado una notable mejora de la capacidad resistente global del puente frente a las acciones de tráfico.

Durante la fase de diseño de la rehabilitación a realizar se contempló la posibilidad de sustituir la totalidad del firme por una chapa ortótropa apoyada en las vigas transversales, con el objeto de conseguir una reducción de peso todavía mayor. Tal solución no se utilizó, por el momento, debido a su alto costo económico previsible. Se consideró que la reducción de peso efectivamente conseguida con la disposición del firme de hormigón resultaba suficiente y equilibrada con su costo, considerablemente menor.



Fig. 26. Aspecto final de la calzada sobre el puente

Los trabajos efectuados recientemente para la rehabilitación del puente de Pino se resumen en los siguientes puntos:

- Reparación y refuerzo de vigas principales de tablero
- Dotación de un nuevo sistema de drenaje del tablero y su impermeabilización
- Sustitución del firme existente de macadam por firme de hormigón. Esta operación ha representado una reducción del peso muerto en 406 kg/m^2 .
- Nuevas juntas de calzada.

Una vez finalizados los trabajos descritos, el puente de Pino cuya construcción finalizó hace 100 años, se encuentra nuevamente en servicio. La escasa demanda de tráfico de la carretera ZA-321, cuya calzada discurre sobre el tablero del puente, constituirá una circunstancia favorable en cuanto a las condiciones de conservación de la obra en el futuro. Las previsiones de escaso tráfico se deben, por una parte, al sinuoso trazado de los tramos de acceso

al puente y fundamentalmente, por la existencia de una reciente ruta alternativa para cruce del río Duero que utiliza la coronación de la presa del Embalse de Villalcampo. Gracias a ello, las condiciones ambientales serán óptimas para los visitantes que deseen admirar esta magnífica obra de la Ingeniería de principios siglo pasado, que se mantiene en su original aspecto y disfrutar al mismo tiempo de la contemplación del paisaje de los Arribes del Duero.

7. Realización

Propiedad: Junta de Castilla y León.

Dirección de Obra: Consejería de Fomento y Medio Ambiente (Junta de Castilla y León).

Proyecto y asistencia técnica: Eipsa.

Empresa Constructora: Collosa.

Finalización de la obra y nueva puesta en servicio: mayo de 2013. **ROP**