

Refuerzo del puente de la ronda de Pamplona, PA-30, P.K. 0+300, sobre la AP-15, Autopista de Navarra, en Pamplona

Retrofitting of the bridge of the Pamplona ring road, PA-30, chainage 0+300, over the AP-15, Navarra Highway, in Pamplona

Javier León González^a, Alberto Martín Galán^b, Francisco Prieto Aguilera^c, Pedro Luis Soto Valcarce^d, Luis Miguel Martín Gómez^e, Carlos Manso Manrique^f

^a Doctor Ingeniero de Caminos. FHECOR Ingenieros Consultores. Co-Director Técnico. jle@fhcor.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Director de Departamento. amg@fhcor.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Director de Departamento. fpa@fhcor.es

^d Ingeniero de Obras Públicas. Gobierno de Navarra. Jefe de Sección Conservación de Carreteras. pedro.soto.valcarce@navarra.es

^e Ingeniero de Obras Públicas. Gobierno de Navarra. lm.martin.gomez@navarra.es

^f Ingeniero de Obras Públicas. Construcciones Mariezcurrena S.L. Jefe de Obra. cmanso@mariezcurrana.com

RESUMEN

El puente de la PA-30 en el P.K. 0+300 sobre la AP-15 en Pamplona consiste en una estructura de 3 vanos isostático de 16,00 + 38,75 + 16,00 m construido en 1990 con un tablero de hormigón pretensado de vigas doble T de 2,00 m de canto, con 6 vigas en el vano principal y 2,10 m de entreje, que presentaba un grave déficit de capacidad resistente por la rotura de hasta 6 tendones de pretensado en centro de vano de ambas vigas de borde debido a la corrosión producida por las sales del agua procedentes de un sistema de drenaje ineficiente, junto con graves fisuras de cortante y corrosión en dinteles de pilas. La solución consistió en una nueva viga in situ pretensada en cada lado ejecutada entre las 2 vigas de borde.

ABSTRACT

The PA-30 bridge at P.K. 0+300 over the AP-15 in Pamplona consists of a 3-span isostatic structure of 16.00 + 38.75 + 16.00 m built in 1990 with a prestressed concrete deck of double T beams of 2.00 m depth, with 6 beams in the main span and 2.10 m between beams, which had a serious lack of strength due to the breakage of up to 6 prestressing tendons in the center of the span of both edge beams due to corrosion caused by water salts from an inefficient drainage system, together with serious shear cracks and corrosion in pier lintels. The solution consisted of a new in-situ prestressed beam on each side between the 2 edge beams

PALABRAS CLAVE: puente, reparación, refuerzo, viga, pretensado, corrosión, drenaje, encofrado.

KEYWORDS: bridge, repair, retrofitting, beam, prestressing, corrosion, drainage, formwork

1. Introducción

El puente de referencia fue objeto de inspecciones principales por parte de la Agrupación Temporal SERTECNA-FHECOR

INGENIEROS CONSULTORES en los años 2008, 2010, 2015 y 2020, dentro del contrato que ambas empresas han venido teniendo con el

Gobierno de Navarra de forma ininterrumpida desde el 2006 hasta la actualidad para el inventario e inspección principal de las estructuras del territorio foral de Navarra, empleando para ello el sistema de gestión de puentes AURA, propiedad de FHECOR y CivilNova.

En las inspecciones anteriores se puso de manifiesto el mal estado de la estructura, especialmente las vigas de borde y los dinteles de pilas, con claras repercusiones estructurales y de durabilidad. Como consecuencia de ello, en 2021 el Gobierno de Navarra encargó una nueva inspección principal detallada a FHECOR, con ayuda de medios de acceso, para determinar la gravedad de los daños y evaluar la necesidad de reparaciones y refuerzos en vigas y pilas, cuyas conclusiones fundamentales indicaban que los daños afectaban gravemente a la capacidad resistente de las vigas de borde y que preventivamente era necesario cortar al tráfico los arcones para reducir al máximo las solicitaciones sobre las vigas de borde y los voladizos de los dinteles de las pilas.

Así, ante la gravedad de los daños el Gobierno de Navarra decidió acometer las obras de reparación por la vía de emergencia para poder iniciar las tareas de refuerzo y reparación en el menor plazo de tiempo posible.

De esta forma, las obras de reparación y refuerzo fueron encargadas a la empresa encargada de la conservación del distrito en el que se ubica la estructura (distrito 1 Pamplona), CONSTRUCCIONES MARIEZCURRENA, mientras que FHECOR fue la empresa encargada de la redacción del documento de definición de actuaciones con las actividades para la realización del refuerzo de la estructura, así como el desarrollo posterior de las actividades de asistencia técnica, con vistas periódicas a la obra.

Los trabajos comenzaron en junio de 2021 y finalizaron en noviembre del mismo año.

2. Descripción de la estructura

La estructura, construida en 1990, permite albergar la calzada derecha de la PA-30, mientras que la calzada izquierda está materializada por otra estructura paralela, pero no gemela, de ejecución posterior, de forma que la estructura derecha está constituida por un tablero de vigas doble T mientras que la izquierda está formada por vigas artesas, con las mismas luces, aunque con una anchura inferior, de valor 8,90 m frente a los 11,60 m de la calzada derecha. No existe conexión entre las losas de ambos tableros, con lo que están completamente desvinculados por la apertura existente.

Un aspecto muy importante, que condicionó sensiblemente las posibilidades de refuerzo, fue la inexistencia de planos del puente, ni del proyecto de construcción ni as built. Además, la información con la que se contaba en forma de croquis desarrollados durante las obras no mostraba la realidad construida por existir diferencias con lo indicado en los croquis, con lo que fue necesario realizar un levantamiento topográfico completo de toda la estructura, aunque no se pudo contar con información sobre características mecánicas de los materiales ni sobre número y disposición de armaduras activas y pasivas.

La estructura consta de 3 vanos isostáticos con continuidad superior de la losa de compresión sobre pilas. El puente es sensiblemente horizontal en alzado, con pendiente longitudinal aproximadamente nula, mientras que la pendiente transversal era del 2% correspondiente al bombeo.

La calzada está constituida por dos carriles de circulación de 3,50 m cada uno, con sendos arcones de 1,50 m aproximadamente. La plataforma superior se completa con los sistemas de contención de 0,80 m de ancho, formados por un pretil mixto con cuerpo de hormigón y baranda superior metálica.



Figura 1. Alzado general derecho de la estructura

El tablero está formado por 3 vanos de luces $16,00 + 38,75 + 16,00$ m, con una longitud total de 70,75 m. Cada uno de los 3 vanos está formado por vigas doble T de hormigón pretensado de 2,00 m de canto, aunque en los vanos de borde se disponen 4 vigas, con un intereje de 3,50 m, mientras que el vano central, debido a su mayor luz, presenta 6 vigas y un intereje de 2,10 m. En todos los casos, las vigas de borde están alineadas con el borde exterior de la losa, con lo que no existen voladizos laterales. En todos los casos, las vigas descansan sobre apoyos de neopreno zunchado.

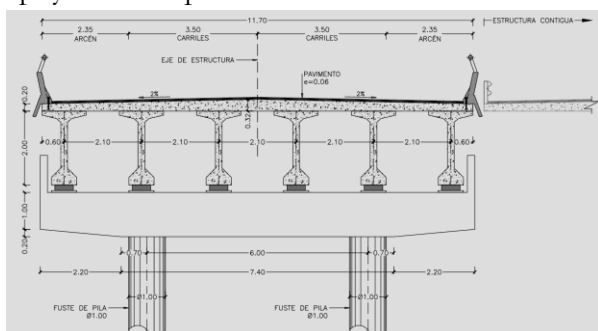


Figura 2. Sección transversal del vano principal

La losa superior de hormigón armado presenta en cada uno de los 3 vanos un canto constante de 0,20 m.



Figura 3. Calzada superior

Cada una de las 2 alineaciones de pilas está formada por parejas de fustes circulares de 1,00 m de diámetro, separados 6,00 m entre ejes y con dintel-cargadero superior, ejecutados todos ellos en hormigón armado. El dintel superior es de canto ligeramente variable, con el valor mínimo en el borde exterior y el máximo en el encuentro con el fuste circular, de valor 1,20 m. La anchura del dintel es constante, de valor 1,80 m, y presenta tapes laterales en todos los casos. Las cimentaciones de las pilas están resueltas con zapatas de hormigón armado de 1,75 m de canto.



Figura 4. Vista inferior de la estructura de vigas doble T y el ensanche de artesas (derecha en la foto)

Los estribos están formados por muros cargadero con muros laterales en vuelta, todos ellos de hormigón armado. Las juntas sobre los estribos son de betún modificado.

Se destaca que la estructura se ubica en uno de los puntos con mayor intensidad diaria de vehículos de Pamplona en las horas punta, con hasta 44.000 vehículos/día, por lo que no

era posible el crote al tráfico durante las tareas de refuerzo.

3. Descripción de daños

El daño más grave que presentaba la estructura se localizaba en las vigas de borde, especialmente en el vano central, con corrosiones muy severas que habían llegado a producir la rotura de hasta 6 tendones de pretensado y de armaduras pasivas. También es necesario destacar el grave estado que presentaban los dinteles de las pilas, aquejados de los mismos problemas de corrosión, aunque no se habían registrados roturas de armaduras pasivas.



Figura 5. Humedades activas en las vigas de borde derecho

Estos fuertes deterioros estaban desencadenados por el agua que se filtraba desde la calzada de la plataforma, debido a la inexistencia de un sistema de drenaje eficiente, con lo que el agua de lluvia escurría hacia los elementos inferiores en la junta entre pavimento y pretil.



Figura 6. Arcén derecho de la plataforma sin sumideros de drenaje

Es especialmente importante tener en cuenta que en la zona de ubicación de la estructura se vierten sales de deshielo durante la

vialidad invernal, con lo que al efecto pernicioso del agua se sumaban la acción de las sales fundentes, que constituye el elemento decisivo en la formación de las graves corrosiones existentes, tanto en la armadura activa como en la pasiva, que se concentraban en las vigas de borde, mientras que las interiores estaban en muy buen estado.



Figura 7. Detalle de corrosión con picaduras de óxido característico del ataque por cloruros

Las roturas más importantes en la armadura activa se concentraban en el centro de vano, con lo que la pérdida de capacidad resistente se producía en las secciones con mayor demanda resistente.



Figura 8. Corrosiones y rotura de tendones de pretensado en el centro de vano del vano central

Adicionalmente, las zonas de entrega de las vigas sobre las pilas estaban también gravemente afectadas por la corrosión. La extensión de estas zonas era también significativa, superando una distancia de la pila

igual a un canto útil, donde el cortante es máximo.



Figura 9. Corrosión y rotura de armaduras pasivas en la zona de máximo cortante

Por tanto, las vigas de borde presentaban también una pérdida de capacidad resistente a cortante muy importante por la reducción del axil pretensado que experimenta la viga debido a la corrosión de la armadura activa y, sobre todo, por la rotura de los cercos de cortante.



Figura 10. Rotura de cercos de cortante en la zona de máximo cortante junto a apoyos de pila

También en la zona de entrega de las vigas sobre los dinteles de las pilas y cargaderos de estribos existían daños por corrosión y desprendimientos del recubrimiento, aunque en este caso estos deterioros afectaban más a la durabilidad que a la capacidad resistente.



Figura 11. Desprendimientos del recubrimiento y corrosión en la zona de entrega de vigas sobre pilas

Los dinteles de las pilas también presentan daños importantes, aunque su nivel de deterioro era inferior al de las vigas de borde. En este caso, el mecanismo de funcionamiento estaba gobernado por la flexión negativa y el cortante, máximos ambos en el encuentro con el fuste, por lo que resultaba especialmente crítica la corrosión de las armaduras horizontales en la cara superior del dintel y de los cercos de cortante.

Junto con las armaduras corroídas, era preciso destacar las fisuras de trazado diagonal observadas en algunos de los dinteles, debidas inequívocamente al esfuerzo cortante. A pesar de que la abertura de fisura estaba dentro de los valores admitidos por la instrucción vigente, hasta 0,2 mm, las fisuras suponen vías de entrada preferente para los agentes agresivos, en especial el agua con sales fundentes.



Figura 12. Fisuración, corrosión y desprendimiento del recubrimiento en los dinteles de pilas

4. Estudio de alternativas

Las comprobaciones resistentes efectuadas estuvieron condicionadas por la falta de información sobre el número de tendones de pretensado de las vigas del vano principal. A pesar de la búsqueda realizada en los archivos del Gobierno de Navarra y las consultas a los prefabricadores de vigas involucrados en la construcción del tramo de vía en el que se encontraba la estructura, no fue posible obtener información relevante.

A pesar de ello, teniendo en cuenta el canto de las vigas, su número y la luz del vano principal, se pudo estimar que la pérdida de capacidad resistente a flexión en el centro de vano podría ser del orden del 20%, lo que obligaba a llevar a cabo refuerzos.

A pesar de que se planteó la posibilidad de ejecutar una campaña de reconocimientos de campo para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, no sería posible conocer el número de tendones de pretensado de forma fidedigna sin producir graves daños a las vigas, con lo que se descartó esta posibilidad.

Así, en la fase de definición de actuaciones se plantearon las siguientes alternativas para el refuerzo del tablero:

- Macizado del hueco entre la viga de borde y la primera interior, disponiendo en esta nueva viga in situ la armadura, tanto de flexión como cortante, necesaria para compensar la pérdida de capacidad resistente de la viga de borde original. Esta opción se descartó por el elevado peso adicional que suponía y la gran cantidad de armadura necesaria para compensar el elevado incremento de carga permanente.
- Disponer un pretensado exterior extradado y simétrico a las vigas extremas, generando una losa más volada para mejorar la durabilidad y la apariencia (lado sur). Tal pretensado se aplicaría sólo para compensar las pérdidas detectadas, no para sustituir el pretensado en su totalidad. Esta alternativa

se desechó porque la falta de información sobre las vigas y su capacidad resistente limitaba la posibilidad de reforzarlas.

- Dar continuidad a las vigas para las sobrecargas, generando una zona comprimida sobre los cabeceros actuales. Eso permite mejorar las condiciones de durabilidad al eliminar esa junta y libera parte de la necesidad de flectores positivos en vano. Requiere de una obra muy completa y no es fácil de ejecutar porque las vigas de los vanos adyacentes no están enfrentadas, así como graves afecciones al tráfico superior.
- Disponer unas nuevas vigas entre las extremas y primeras interiores, manteniendo el esquema estático del tramo central de más luz. Esas vigas serían metálicas o mixtas con montaje nocturno por fases y con apeo en mediana. Esta solución tenía la desventaja de que sería difícil conseguir que las nuevas vigas colaboraran frente a las cargas permanentes.
- La solución finalmente seleccionada, en coordinación con el Gobierno de Navarra y Construcciones Marizcurrena, fue la de disponer nuevas vigas de hormigón pretensado entre las extremas y primeras interiores, con una sección similar a las de las vigas prefabricadas y del mismo canto. Esta opción tenían la ventaja de un peso adicional controlado y que el pretensado de las nuevas vigas serviría para que éstas soportaran también parte de las cargas permanentes, con lo que se trataba de un diseño eficiente. Esta opción además se podría ejecutar por la parte inferior sin afectar apenas al tráfico, manteniendo los 2 carriles originales.

5. Ejecución de las actuaciones de refuerzo más relevantes

5.1 Refuerzo de pilas y dinteles

El primer paso del refuerzo consistió en la ejecución de unos cartabones en las pilas actuales

que dotaran de mayor capacidad a las pilas y, sobre todo, permitieran descargar los voladizos de los dinteles de las pilas transmitiendo las cargas directamente a las zapatas de cimentación, que estaban preparadas para absorber el incremento de carga.

Esta solución pasaba por empotrar las armaduras longitudinales de los cartabones en las zapatas con taladros rellenos de resina epoxi.



Figura 13. Barras alojadas en taladros en las zapatas de cimentación con resina epoxi

Tras las esperas verticales empotradas en las cimentaciones, se realizó el montaje del resto de las armaduras de los cartabones.



Figura 14. Parrilla de armado de cartabones de pilas

El hormigonado de los cartabones se realizó en una sola puesta, sin juntas de construcción y con hormigón autocompactante que eliminaba la necesidad de vibrado. Para el vertido del hormigón se diseñó un babero que aseguraba el relleno completo del encofrado hasta la cota superior del dintel de las pilas. Los encofrados iban dotados de berenjenos verticales para resaltar la esbeltez del refuerzo.



Figura 15. Barras alojadas en taladros en las zapatas de cimentación con resina epoxi

5.2 Plataforma de trabajos entre vigas de borde

Para poder ejecutar la nueva viga colindante a la viga de borde fue necesario la ejecución de una plataforma de trabajo que, colgada de los patines inferiores de las vigas adyacentes, permitía la colocación de encofrados y armados. La definición y fabricación de esta plataforma fue realizada por ULMA.

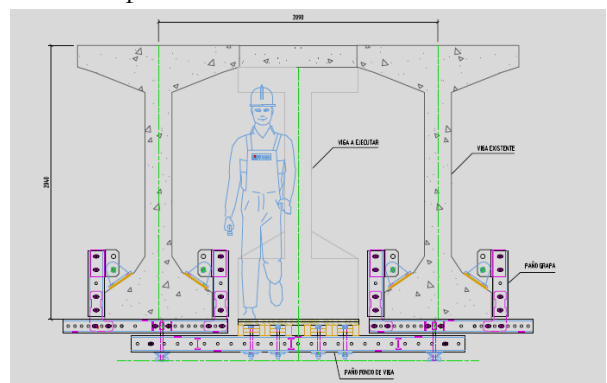


Figura 16. Plataforma entre las vigas de borde



Figura 17. Vista interior de la plataforma entre las vigas de borde

Dado que la estructura auxiliar suponía la reducción del gálibo vertical en la vía inferior, fue necesario montar pórticos pregálibo en todos los accesos.



Figura 18. Pórticos pregálibo en los accesos a la estructura

5.3 Puntales en centro de vano

Los cálculos estructurales mostraban que el peso del hormigón fresco junto con el de la plataforma no podía ser soportado por las vigas existentes, con lo que fue preciso diseñar y ejecutar un apuntalamiento que se dispuso en el centro de vano, en la mediana de la AP-15, que serían retirados tras el tesado de las nuevas vigas.



Figura 19. Puntales en centro de vano, en coincidencia con la media de la AP-15 inferior

5.4 Ejecución de las nuevas vigas

La nueva viga se definió conjuntamente con la constructora para minimizar el peso, maximizar la inercia y con sección transversal constante para un encofrado sencillo y reutilizable.

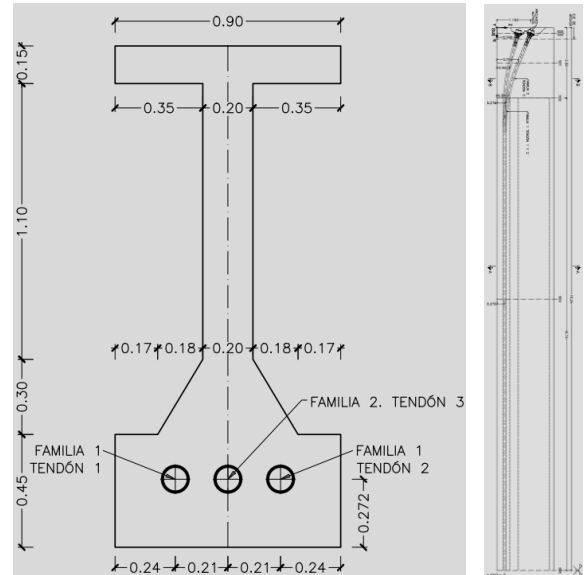


Figura 20. Sección transversal y alzado de la nueva viga

El trazado de pretensado de la nueva viga se definió de forma similar al de las vigas prefabricadas existentes, es decir, horizontal en el patín inferior, que se abría en alzado para dotar de espacio suficiente a los gatos de pretensado, con armadura pasiva configurable en trepas.



Figura 21. Módulo de armadura pasiva de la nueva viga

El encofrado se ejecutó con chapa metálica para que fuera reutilizable y se pudiera

desplazar longitudinalmente dentro de la plataforma de trabajos.



Figura 22. Módulo de encofrado metálico fabricado con la forma de la nueva viga

El sistema se diseñó para maximizar el espacio para los operarios en un hueco angosto.



Figura 23. Trabajo de operarios en la plataforma

Las nuevas vigas se ejecutaron también con hormigón autocompactante HP-45 para evitar el vibrado, vertiendo el hormigón en operaciones nocturnas a través de orificios en la losa superior.



Figura 24. Fases de hormigonado de la nueva viga

El tesado final de los tendones se realizó con gatos lo más pequeño posibles por el reducido espacio sobre los dinteles de pilas. El trabajo finalizó con la aplicación de una pintura anticarbonatación a todo el tablero y pilas.



Figura 25. Sección transversal de la nueva viga

5.6 Mejora del sistema de drenaje

Finalmente, se ejecutó un sistema de drenaje en la plataforma, que llevaba el agua de lluvia hasta las cunetas de la AP-15.



Figura 26. Nuevo sistema de drenaje



Figura 27. Aspecto del puente de la PA-30, P.K. 0+300, sobre la AP-15, en Pamplona con la reparación terminada

Referencias

- [1] Agromán Empresa Constructora S.A., Cubiertas y MZOV S.A. y H.A.S.A. S.A. Solución O.F. 9.8. Enlace de Noain-Tajonar. 9de enero de 1990.
- [2] SERTECNA-FHECOR INGENIEROS CONSULTORES. Ficha de inventario. 31 de enero de 2008.

Agradecimientos

Agradecemos al Gobierno de Navarra la confianza depositada, tanto en la etapa de redacción del documento de definición de actuaciones, como durante la ejecución de los trabajos, así como a todos los involucradas en los trabajos (CONSTRUCCIONES MARIEZCURRENA, ULMA, AUDENASA).

- [3] SERTECNA-FHECOR INGENIEROS CONSULTORES. Ficha de inspección. 14 de diciembre de 2020.