

Obra de emergencia para sustitución del vano n°30 del Puente José Leon de Carranza sobre la Bahía de Cádiz

Emergency works to replace span n°30 from the José León de Carranza Bridge over the Bay of Cádiz

Alejandro Castillo Linares ^a, Carlos Calleja Vidal ^b, Jose María Padilla Jiménez ^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Granada (Granada, España). A.C.L. Diseño y Cálculo de Estructuras S.L. (Cádiz, España).

Director Gerente. acastillo@acl-estructuras.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. A.C.L. Diseño y Cálculo de Estructuras S.L. (Cádiz, España). Director de proyecto s.

ccalleja@acl-estructuras.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Obra. Dirección General de Carreteras Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Unidad de Cádiz. jmpadilla@transportes.gob.es

RESUMEN

Se describen las actuaciones de emergencia realizadas para sustituir el vano n°30 del Puente José Leon de Carranza, motivadas por los daños detectados en varias vigas. Dichas actuaciones se pueden agrupar en las siguientes fases: limitación de tonelaje, corte de tráfico, retirada del tablero existente, reparación de subestructura, construcción de nuevo tablero y restitución de servicios afectados. La duración de las obras fue de tres meses (de marzo a junio de 2014), que constituye un mes menos de lo inicialmente planteado, pese a la incidencia registrada en la obra, con el colapso no previsto de dos vigas del tablero original durante las labores previas para la retirada de las mismas.

ABSTRACT

The emergency actions undertaken to replace span number 30 of the José León de Carranza Bridge are described, following damage detected in several beams. These actions can be grouped into the following phases: load restriction, traffic closure, removal of the existing deck, substructure repairs, construction of a new deck, and restoration of affected services. The duration of the works was three months (from March to June 2014), one month less than initially planned, despite an unforeseen incident during the project, with the collapse of two beams of the original deck during the preliminary removal work.

PALABRAS CLAVE: emergencia, reparación, refuerzo, tablero, demolición

KEYWORDS: emergency, repair, reinforcement, deck, demolition

1. Inspecciones y estudios previos, declaración de emergencia y limitación de tonelaje

1.1 Descripción de la estructura existente

El Puente Jose Leon de Carranza conforma uno de los tres posibles accesos a la ciudad de Cádiz. Se trata de una estructura construida en 1969, formada por 29 tramos isostáticos de hormigón pretensado de 44 metros de longitud, así como un

tramo intermedio metálico basculante de 90 metros de luz libre.

El vano n°30 corresponde al vano extremo que arranca del estribo lado Cádiz. Se trata de un vano formado por 6 vigas doble T de hormigón pretensado de 2.75 metros de canto dispuestas con un interjeje de 2.03 metros. La longitud de las vigas es de 44 metros. La anchura total del tablero es de 12.05 metros, al cual se incrementa hasta 12.85 metros, mediante la disposición de zócalos volados.

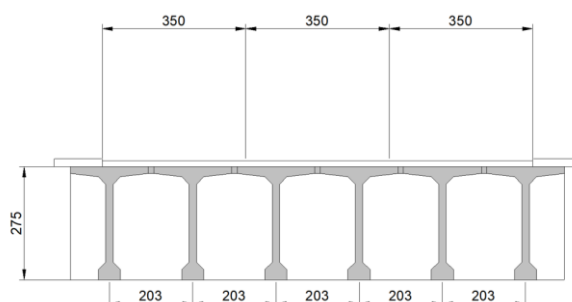
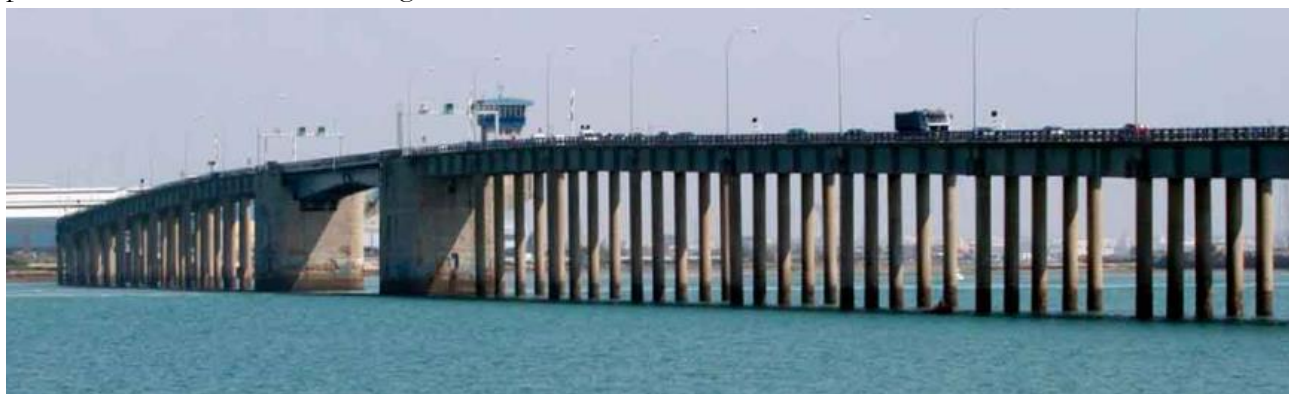


Figura 1. Vista general del puente y sección transversal del tablero de hormigón

La anchura de la plataforma de vehículos es de 10.5 metros, repartida en 3 carriles de 3.5 metros cada uno. El apoyo de las vigas en pilas y estribos se realiza a media madera.

Según los planos del proyecto de puente, el pretensado de cada viga está formado por 6 tendones de 7 cordones de 0.6", con un área de 142.6 mm² cada uno. Estos tendones presentan trazado parabólico. El armado pasivo longitudinal

de las vigas es de montaje, formado por barras de 8 mm de diámetro.

El tablero carece de losa de compresión. Las vigas se conectan entre sí a nivel de las alas superiores y mediante 4 riostras transversales por vano dispuestas cada 8.75 metros. El cosido entre vigas en cada riostra se realiza mediante un pretensado transversal.

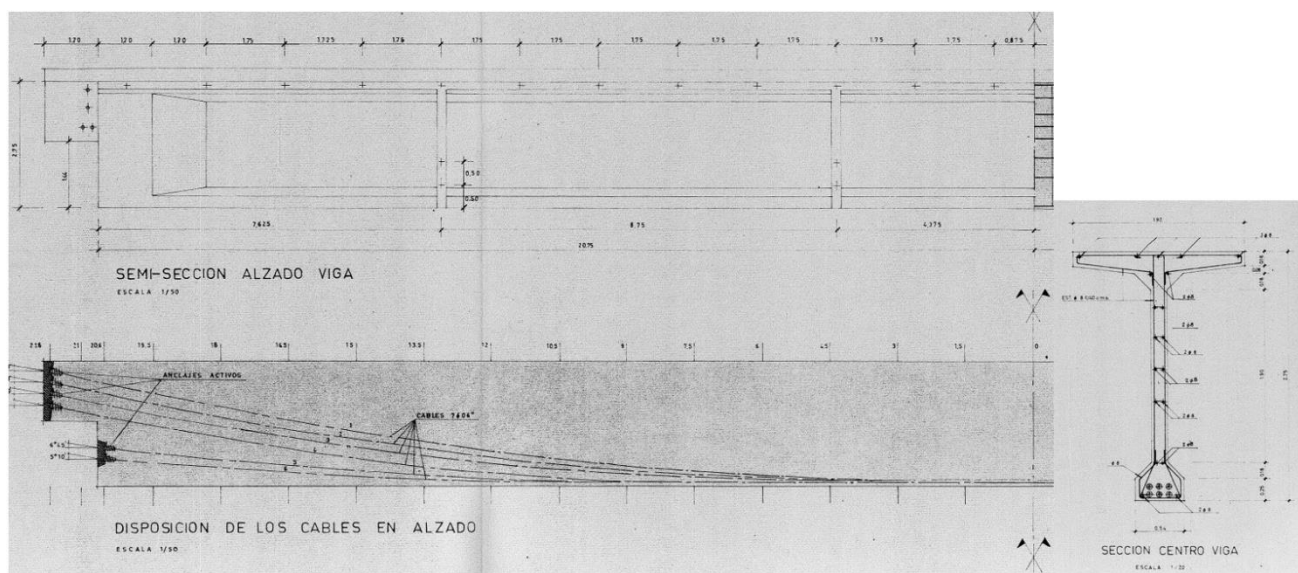


Figura 2. Alzado y sección transversal del armado y pretensado de las vigas originales

1.2 Estado de las vigas previo a la declaración de la emergencia

El vano n°30 contiguo al estribo lado Cádiz, presenta la singularidad de ser el de menor cota de todo el puente y por tanto el más próximo al nivel del mar. Este hecho le genera una exposición directa y persistente al oleaje con marea alta, en una zona sometida a fuertes vientos de levante.

En las inspecciones básicas realizadas desde 2012 ya se identificaron daños en el ala inferior, aunque de menor severidad. Desde entonces, se ha ido controlando su estado en todas las campañas de SGP, manteniéndose actualizado. En la última (finalizada el 19 de junio de 2023) fue cuando se detectó una pérdida importante de recubrimiento, así como la rotura de algunas armaduras activas.

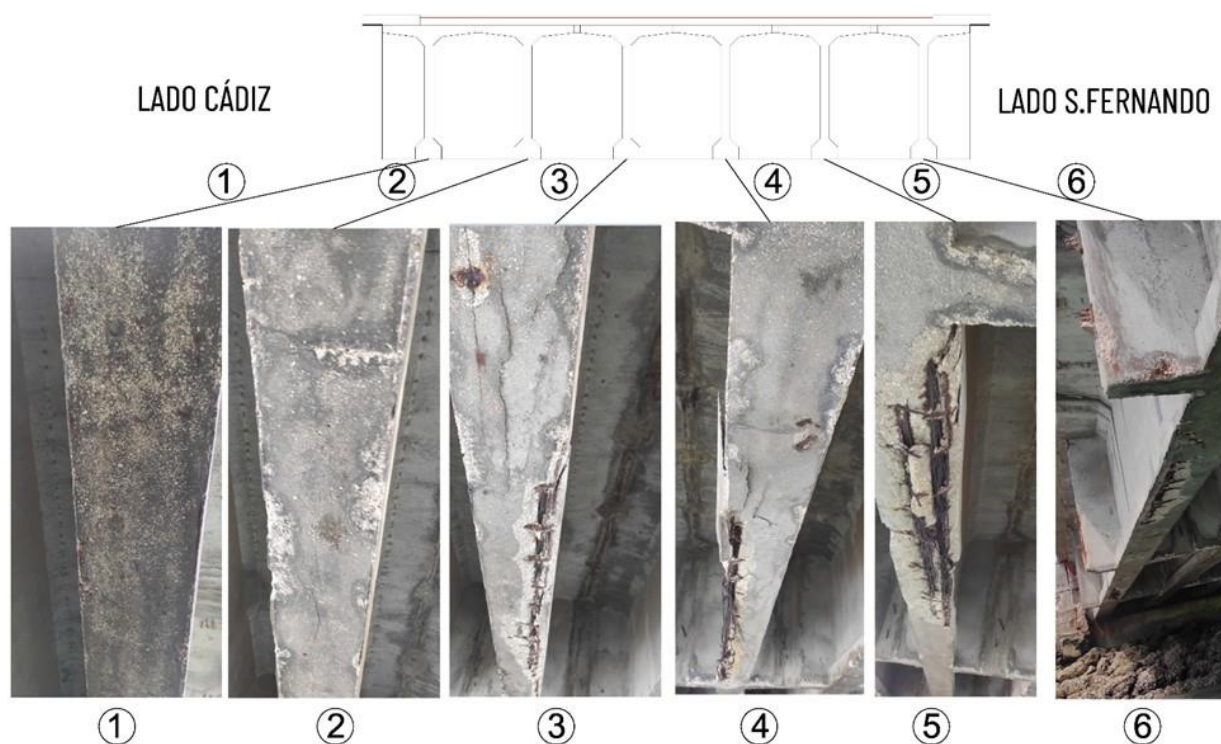


Figura 3. Daños observados en vigas

El estado de conservación observado de las vigas del vano n°30 del Puente José Leon de Carranza era el siguiente:

Viga1: Estado aceptable, sin daños apreciables ni pérdidas de sección.

Viga2: Estado aceptable con erosiones en el hormigón y tendones corroídos cerca de los apoyos.

Viga3: Pérdida de hormigón en el ala inferior, con tendones muy deteriorados o rotos.

Viga4: Pérdida completa de recubrimiento de hormigón en al menos 2 tendones, ambos deteriorados o rotos.

Viga5: Pérdida de hormigón en el entorno de al menos 2 tendones, con la mayoría de los cordones corroídos o rotos.

Viga6: Pérdida de hormigón en el entorno de un tendón en al menos dos zonas, con cordones corroídos o rotos.

El deterioro del vano 30 parece deberse, como ya se ha indicado, a la acción directa del oleaje. El resto de los vanos del puente no presentan estas patologías tan severas. El vano 29 tiene un tendón expuesto, pero sin pérdida de la vaina protectora.

Con respecto a las riostras transversales que constituyen la unión entre vigas en todos los vanos, se observó la existencia de un elevado grado de deterioro por corrosión en los cables de pretensado transversal, con pérdida completa en muchos casos de los elementos de anclaje. Esta es una patología presente con carácter general en todos los vanos del puente, al haberse perdido el revestimiento protector en la mayoría de los elementos de anclaje.



Figura 4. Vista de las riostras transversales y de los elementos de anclaje del pretensado transversal, sin protección y muy deteriorados.

1.3 Estudios realizados, limitación de tonelaje y declaración de emergencia

Una vez observados los daños antes descritos, se procedió a realizar un análisis de la resistencia residual del vano, con objeto de estimar su seguridad frente a diferentes escenarios de carga, incluyendo entre ellos la posibilidad de un corte total del tráfico. Para ello, se hicieron las siguientes hipótesis de trabajo acerca del estado actual de las vigas:

- Vigas 1 y 2 → sin daños considerables
- Vigas 3 y 6 → pérdida completa de 1 de los 6 tendones.
- Vigas 4 y 5 → pérdida completa de 2 de los 6 tendones.

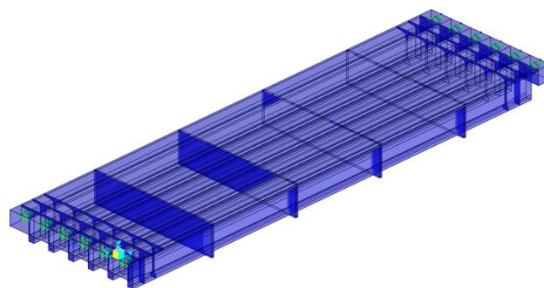


Figura 5. Vista 3D del modelo de cálculo empleado para el análisis resistente

El análisis concluyó que, para mantener un nivel mínimo de seguridad según el estándar normativo de la IAP-98/EHE, era necesario restringir el tránsito en el puente solo a vehículos de menos de 20 toneladas, prohibiendo el paso de camiones.

Este estudio sirvió de base para que, en otoño de 2023, se declarara la emergencia, la cual incluía las siguientes actuaciones, con una duración estimada de 4 meses.

- 1) Limitación de tráfico en el puente a vehículos de menos de 20 toneladas.
- 2) Inspección de todos los vanos del puente y realización de proyecto de demolición
- 3) Desmantelamiento del vano existente empleando grúa de gran capacidad.
- 4) Reparaciones en pilas y estribos y colocación de nuevos neoprenos.
- 5) Construcción y colocación del nuevo tablero en vano 30

2. Descripción de las actuaciones correspondientes a la retirada del tablero actual

Para guiar las operaciones de desmontaje del tablero, se realizó un proyecto completo de demolición. Las operaciones comenzaron el 18 de marzo de 2024, tras el corte completo del tráfico por el puente.

2.1 Condicionantes existentes para la sustitución del tablero

El tablero presentaba en cada uno de sus lados los siguientes condicionantes de accesibilidad:

- Lados izquierdo y derecho: El acceso solo es posible utilizando medios marítimos
- Lado sentido Puerto Real: Corresponde con la continuación del Puente PJLC. Se puede acceder mediante vehículos de pequeño tonelaje.
- Lado sentido Cádiz: Corresponde con uno de los estribos. Este es el único lado donde puede plantearse la colocación de medios de elevación pesados.

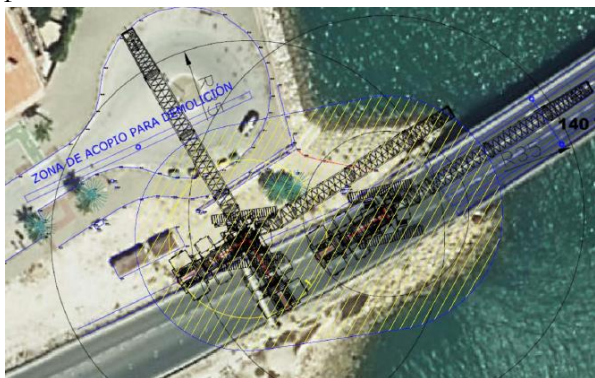


Figura 6. Planta general del tablero y zona de acopio

2.2 Actuaciones previas. Corte de servicios afectados.

Con anterioridad al inicio de las labores de demolición se realizó la desconexión de las líneas eléctricas que discurren por el tablero. Se procedió también al desmontaje de los elementos de señalización e iluminación que interferían con las labores de demolición (farolas y pórtico de señalización).

2.3 Ejecución de plataforma auxiliar para la grúa y delimitación de las zonas de acopio y demolición

Para la colocación de la grúa era necesario ampliar la plataforma de la actual carretera CA-36. Dicha ampliación se realizó con escollera. Su superficie debía abarcar toda la proyección en planta del radio de giro del contrapeso.

La zona de demolición se situó en la margen izquierda junto al estribo, dentro del radio de acción de la grúa.

Se dispusieron elementos auxiliares de reparto de la presión transmitida por las cadenas de la grúa, dado que durante el izado de las vigas se alcanzaban valores máximos de 800 kPa.



Figura 7. Plataforma y elementos de reparto de la carga.

La grúa empleada fue tipo Derrick de cadenas de 600 toneladas, propiedad de la empresa AGUADO, con una capacidad de 180 toneladas en un radio de 35 metros, utilizando para ello una pluma principal de 73.2 metros. Contaba con 350 toneladas de contrapesos aéreos además de los propios en el cuerpo de la grúa.

2.3 Retirada de plataforma: pavimento y aceras

En paralelo a la construcción de la plataforma auxiliar, se retiró la capa de pavimento sobre el tablero. El espesor de dicha capa era importante (en torno a 20 cm), empleándose finalmente medios convencionales de demolición. También

se procedió al corte y retirada de las aceras existentes adosadas a las vigas de borde, a modo de voladizos.



Figura 8. Demolición y retirada del pavimento

2.4 Disposición de elementos de estabilización en vigas

Previamente a la maniobra de corte de las vigas, era necesario garantizar su estabilidad al vuelco. Para ello, se colocó un acúñado de madera en la base de las ménsulas de apoyo de cada viga, tanto en el estribo como en la pila, con una separación transversal de 1,5 metros.

2.4 Corte longitudinal de cabeza de vigas y corte de riostras transversales.

Para retirar las vigas de manera individual, fue necesario cortar las conexiones existentes entre ellas. Inicialmente, se asumió que esta operación no alteraría de manera significativa el esquema resistente del tablero bajo su propio peso, el cual continuaba siendo el de vigas simplemente apoyadas, trabajando a flexión longitudinal. No obstante, tras el colapso de las vigas 4 y 5, se constató que el esquema real de trabajo del vano, producto de los daños en las vigas mencionadas (que eran más graves de lo inicialmente observado), revelaba que las vinculaciones entre vigas desempeñaban un papel esencial en el reparto de esfuerzos entre ellas.

2.4.1. Corte longitudinal del ala superior

Se inició la separación mediante el corte longitudinal del tramo in situ entre alas

superiores. Esta operación se realizó mediante disco de diamante.



Figura 9. Corte longitudinal de la unión entre alas de vigas.

2.4.2. Corte transversal de riostras intermedias y de apoyos

Tras el corte en toda la longitud de la cabeza de las vigas, éstas aún permanecían unidas por las cuatro vigas riostras intermedias, así como las de los dos apoyos. Estas uniones no podían cortarse con sierra circular ya que el canto total en esos puntos es de 2,75 m para las riostras intermedias y de 1,31 para las de apoyos.

Para el corte de dichas vigas se utilizó hilo de diamante, debiendo realizarse de forma previa dos perforaciones Ø132 para el paso del hilo en cada corte a realizar entre viga y viga.



Figura 10. Corte transversal de una riostra intermedia

2.5 Colapso de las vigas 4 y 5

La operación de corte de las vinculaciones entre vigas reveló el deterioro real de las vigas 4 y 5. Completados los cortes longitudinales y el 75% de los cortes transversales, se detectó un descenso diferencial de las vigas 4 y 5 de unos 4-5 cm en el centro del vano. Por esta razón, se

interrumpieron los cortes restantes. La flecha diferencial aumentó gradualmente, llegando a 8 cm en un solo día.



Figura 11. Corte longitudinal entre vigas, en la que se observa la flecha relativa.

Estos valores de flecha no resultaban coherentes con los calculados en base a los daños previos observados. Se barajaba la posibilidad por tanto de que los daños en esas vigas fueran mayores, existiendo un riesgo evidente de su colapso. Para evitar que la posible rotura y caída de las vigas 4 y 5 afectara a las restantes, se decidió continuar con el corte de las vinculaciones que quedaban entre las vigas 4 y 5 y las restantes. Ello generó un aumento de la flecha hasta los 20-25 cm, momento en el que se produjo el colapso de las dos vigas.



Figura 12. Colapso de las vigas 4 y 5

Como se puede observar en la figura, el colapso se produjo por la rotura de la sección de centro luz, que dividió cada viga en dos partes las cuales giraron sobre sus apoyos hasta apoyarse en lecho marino, el cual presenta poca profundidad.

Los acontecimientos sobrevenidos pusieron de manifiesto que: a) El nivel de daños

en las vigas 4 y 5 era bastante superior al que se podía observar directamente. b) Las riostras transversales jugaban un papel fundamental en la resistencia del vano durante el periodo de servicio del tablero, permitiendo la transmisión de las cargas hacia las restantes vigas, las cuales no manifestaron en ningún momento comportamientos anómalos.

Este evento puso de manifiesto que la evaluación del tablero no podía depender solo del examen visual de los paramentos exteriores, acorde al tipo de investigación que se estaba llevando a cabo. Era necesario ampliar la campaña para obtener más información sobre el estado real de las vigas retiradas, así como de una muestra de las que permanecen, con el fin de evaluar las zonas más sensibles y prever la vida útil residual de los demás vanos. Por lo tanto, era necesario llevar a cabo una inspección de alcance especial en la estructura.

2.5 Retirada de vigas mediante grúa de gran tonelaje.

La principal operación del proceso de desmontaje del tablero fue el estrobadado e izado de las vigas hasta la zona de acopio y demolición. Esta operación se estudió con detenimiento, a fin de asegurar la integridad de las vigas restantes durante su elevación. Se diseñó un útil de izado para asegurar la estabilidad de las vigas frente al vuelco durante su elevación, ya que se trataban de elementos con muy poca base pero con una altura considerable que llegaba a los 2,75 metros.



Figura 13. Izado de una de las vigas completas

Para retirar los fragmentos de las vigas 4 y 5, fue necesario realizar varios orificios en el ala superior y en el alma, a través de los cuales se pasaron las cadenas utilizadas para su elevación con la grúa.

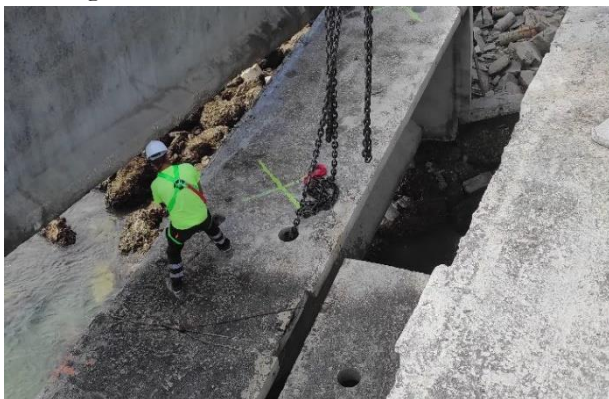


Figura 14. Orificios practicados en vigas

2.6 Demolición de vigas y gestión de residuos

La demolición de vigas se llevó a cabo en un área designada, empleando macizos de hormigón para proporcionar apoyo y estabilización durante el proceso. Se utilizó un martillo neumático, iniciando las labores desde el centro. Los escombros generados fueron trasladados al vertedero, mientras que ciertos fragmentos de hormigón y acero fueron preservados para su posterior análisis químico.



Figura 15. Demolición de una de las vigas

Los resultados de los análisis, así como la restante información obtenida sobre el estado de conservación, son objeto de otra comunicación.

2. Reparación de pila y estribo contiguo al vano nº30. Sustitución de apoyos

Tras retirar todas las vigas, se repararon los desconchones y pérdidas de sección existentes en el estribo y pila. Se quitaron los apoyos originales y se construyeron mesetas de mortero para nivelar y colocar los neoprenos para el nuevo tablero. El diseño del tablero mantiene el mismo número de vigas que el original (6) y posiciona los nuevos apoyos aproximadamente en el mismo lugar que los originales.

Los aparatos de apoyo se dimensionaron a partir de las reacciones verticales obtenidas del cálculo del nuevo tablero, así como las reacciones horizontales establecidas en las normas IAP-11 y NCSP-07.

3. Construcción del nuevo tablero

3.1 Diseño y cálculo del nuevo tablero de vigas

El nuevo diseño del tablero incluye 6 vigas doble T, de 225 cm de canto y 43.65 m de longitud. Tienen un extremo macizado con una nariz de 1.15 m para adaptarse al vano original. El tablero mide 12.85 m de ancho y las vigas se colocan a 2.03 m de intereje, lo que crea voladizos en ambos lados debido a la curvatura del vano. Sobre las vigas hay placas de encofrado de 8 cm de espesor. Entre las vigas interiores se usan placas armadas, mientras que sobre las vigas de borde se emplean placas de celosía para los voladizos. Se hormigona una capa adicional "in-situ" de 20 cm sobre las placas.

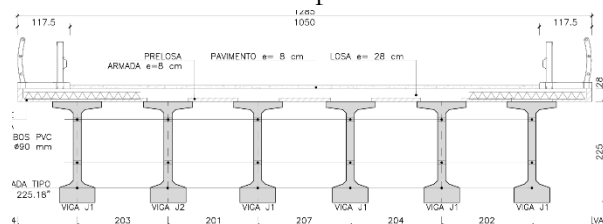


Figura 16. Sección transversal del nuevo tablero (PACADAR)

El nuevo tablero tiene un canto total 30 centímetros menor que el original, lo que permite elevar la cota de la cara inferior de las vigas y aumentar el resguardo respecto al nivel del mar. Esto mejora las condiciones de exposición a las salpicaduras del oleaje.

El cálculo del tablero se realizó según el Código Estructural y la IAP-11. Aunque el Puente Carranza tiene una limitación de tonelaje de 38 toneladas, el tablero fue diseñado para las sobrecargas estándar de la norma, considerando un ancho total de plataforma de 10.5 metros. El cálculo considera la posibilidad de ampliar la plataforma por ambos lados para albergar un acceso peatonal y un carril bici.

Desde el punto de vista de la durabilidad de las vigas, se ha considerado un ambiente XS3 (Zona de carrera de mareas afectadas por el oleaje o salpicaduras). Para cumplir los requisitos de durabilidad para una vida útil de 100 años, se ha determinado el recubrimiento necesario a partir del cumplimiento del Estado Límite de Durabilidad, considerando los siguientes parámetros de dosificación:

- Contenido de cemento: 350 kg/m³
- Relación a/c: 0.45
- Tipo de cemento: CEM I-SR + adición de nanosílice >6%

El diseño de los apoyos a media madera se realizó combinando los posibles esquemas resistentes, cada uno de ellos representado por un modelo de bielas y tirantes.

3.2 Construcción de vigas y prelosas

La construcción de las vigas y prelosas fue realizada por PACADAR, en su factoría de Utrera. En todas las vigas se dispuso el mismo pretensado, dimensionado para la viga pésima.

3.3 Transporte y colocación de vigas y prelosas. Armado y hormigonado de la losa de compresión.

Los camiones accedieron a la obra por el estribo lado Cádiz. La puesta en obra de las vigas se

realizó con la misma grúa de gran capacidad empleada para la retirada de las vigas del tablero antiguo.



Figura 17. Montaje de vigas

El procedimiento de colocación de las prelosas fue exhaustivo, para adaptarse al trazado levemente curvo en planta.

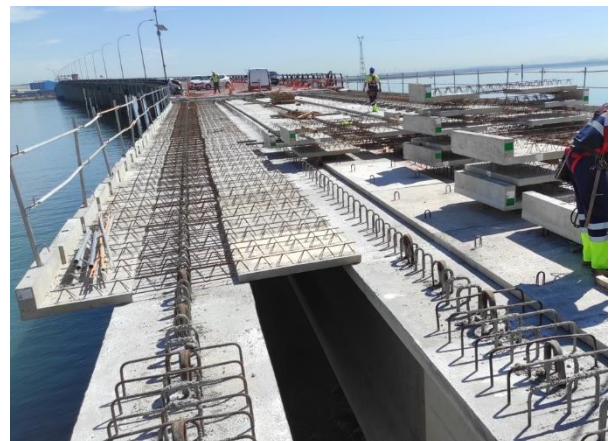


Figura 18. Montaje de prelosas

Una vez colocadas las prelosas, se procedió a la disposición del armado de la losa de compresión. Una vez completado, se realizó el hormigonado in situ de ésta mediante bombeo.

Posteriormente se hormigonaron las aceras, las cuales contaban con los pasatubos necesarios para el paso de los servicios eléctricos y de señalización existentes.



Figura 19. Armado de la losa de compresión

3. Construcción de nueva plataforma y restitución de los servicios afectados

Una vez fraguado el hormigón de la losa, se dispusieron las capas de impermeabilización. Posteriormente se pavimentó con un espesor medio de 8 cm, tras lo cual se realizó la prueba de carga (ver punto siguiente). Se restituyeron las barandillas y barreras de las aceras con un diseño análogo al del resto del puente. En la losa de compresión y aceras se habían dejado embebidos refuerzos de armadura para pretiles conforme a la normativa OC 35/2014, anticipando una futura sustitución de los elementos de contención de vehículos. Se renovó completamente la canalización de las conducciones eléctricas y de señalización, desde la caseta situada en la margen izquierda hasta los pasatubos de las aceras del tablero, ejecutando un prisma de cruce bajo la carretera, ubicado por detrás del espaldón del estribo. y se restituyeron los elementos luminosos de señalización del carril central reversible, así como el pórtico de señalización luminosa y los elementos de señalización horizontal y vertical del puente.

4. Prueba de carga y apertura al tráfico

Se diseñó la prueba de carga acorde a la limitación de tráfico del puente a vehículo de menos de 38 toneladas. Se emplearon finalmente 4 camiones bañera de 30 toneladas de peso y dos

hipótesis de carga. Las mediciones de flechas se realizaron con topografía de precisión.



Figura 20. Prueba de carga

Prevía y posteriormente a la realización de la prueba se inspeccionó el nuevo tablero y la subestructura, no encontrándose daños ni anomalías significativas. Los valores de flechas obtenidos quedaron dentro del rango de aceptación establecido en las recomendaciones. Una vez completada la prueba de carga y finalizada la restitución de los servicios afectados, se procedió a la apertura al tráfico del puente el 18 de junio de 2024, tras sólo tres meses de obra, adelantando por tanto un mes su apertura con respecto a lo previsto.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a las empresas Eiffage Construcción, Geocaminos Obra Civil y PACADAR por su profesionalidad y dedicación frente a los retos planteados en esta obra de emergencia. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento al personal de la Unidad de Carreteras de Cádiz del Ministerio de Transportes por su valiosa colaboración.

Referencias

- [1] BOE-A-2021-13681 (2021). *Código Estructural*. Madrid, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana