Grandes operaciones de mantenimiento en puentes móviles. Aplicación al caso de sustitución de cojinetes en Puente de las Delicias (Sevilla)

Large maintenance operations on mobile bridges. Application to the case of bearing replacement in Puente de las Delicias (Seville)

Alejandro Castillo Linares[a], David Trujillo Montes[b] y Raúl Díaz Álvarez[c] y Rodrigo García Orera[d]

[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 proyectos. dtrujillo@acl-estructuras.com

[c] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IMESAPI S.A. (Madrid, España). Coordinador de zona en Andalucía Occidental. rdiaz@imesapi.com

[d] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Autoridad Portuaria de Sevilla. (Sevilla, España). Jefe del Departamento de Infraestructura. rgarcia@apsevilla.com

RESUMEN

Los puentes móviles necesitan de una serie de elementos de accionamiento (cilindros hidráulicos, cojinetes, sistemas de enclavamiento, etc) que les permiten bascular los tableros alrededor de su eje. En el mantenimiento y sustitución de estos elementos se generan diversas complicaciones debido a los reducidos espacios existentes en el interior de las pilas. Para solventar esta problemática se emplean grandes operaciones de mantenimiento que pueden conllevar el dimensionamiento de significativas estructuras auxiliares. En este artículo se describe la gran operación de renovación llevada a cabo para la sustitución de cojinetes en el Puente de las Delicias (Sevilla).

ABSTRACT

Mobile bridges need a series of drive elements (hydraulic cylinders, bearings, locking systems, etc.) that allow them to swing the bridge decks around their axis. In the maintenance and replacement of these elements, various complications are generated due to the reduced spaces inside the piers. To solve this problem, large maintenance operations are used that may lead to the design of significant auxiliary structures. This article describes the large renovation operation carried out for the replacement of bearings in the Puente de las Delicias (Seville).

PALABRAS CLAVE: Puente, móvil, mantenimiento, durabilidad, estructuras, auxiliares
KEYWORDS: Bridge, mobile, maintenance, durability, structures, auxiliary

Figura 1. Puente móvil de las Delicias (Sevilla)

Las grandes operaciones de mantenimiento en los puentes vienen motivadas, generalmente, por los resultados derivados de los trabajos de inspecciones principales o, excepcionalmente, como consecuencia de una situación singular (impactos de vehículos, daños por desastres naturales, etc.).

En el caso concreto de los puentes móviles, las labores de inspección más delicadas se centran en los elementos particulares que permiten bascular los tableros alrededor de su eje y enclavarlos en las posiciones de abertura y cierre. El desgaste al que se ven sometidos estos elementos hace necesario su mantenimiento y eventual sustitución para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura así como para adaptarlos a nuevos requerimientos.

La construcción de puentes móviles no es habitual debido a la mayor complejidad que presentan tanto en su concepción como en su ejecución y mantenimiento. Además, este tipo de puentes presentan la desventaja de que el tráfico rodado o ferroviario debe detenerse para que el puente pueda abrirse y dar paso al tránsito marítimo o fluvial. No obstante, los puentes móviles representan una solución óptima técnica y económicamente cuando las condiciones de los extremos a conectar no permiten elevar la rasante con el gálibo necesario para posibilitar el tráfico inferior.

Puesto que los puentes móviles representan una solución poco convencional, no existe una normativa específica que regule las operaciones de inspección y mantenimiento en este tipo de estructuras. Si bien es cierto que en la época actual las administraciones propietarias, al recibir este tipo de obras suelen exigir un manual de mantenimiento, conservación y explotación de la infraestructura, en los primeros puentes de esta tipología que fueron ejecutados en España no se prestó igual importancia a tal tipo de labores.

Asociados a los trabajos de mantenimiento en estas estructuras se generan diversas complicaciones debido a los reducidos espacios que existen en las pilas o estribos de

apoyo de los tableros móviles, donde a veces no se ha previsto este tipo de operaciones, así como a la necesidad de reducir el tiempo de interrupción del servicio del puente a su mínima expresión.

Las grandes operaciones de mantenimiento vienen precedidas de una fase de detección, para a continuación acometer el proyecto de las actuaciones correctivas necesarias y por último su ejecución.

2. Fase de detección

En la fase de detección es donde se manifiesta la necesidad de acometer un trabajo de mantenimiento de gran envergadura, generalmente debido a la detección de elementos en mal estado y cuya reparación conlleva una importante intervención en la estructura.

El requerimiento de este tipo de intervención debe ser confirmado a partir de una inspección de carácter especial. Este tipo de inspecciones surgen, generalmente, como consecuencia de los daños detectados en una inspección principal o, excepcionalmente, como consecuencia de una situación singular.

Para concluir en la necesidad de una gran operación de mantenimiento se requiere de técnicos y equipos especiales de detección que definan el alcance de los daños detectados. En este tipo de inspecciones, además de la realización de un examen visual, se precisan generalmente ensayos de caracterización y mediciones complementarias. Este nivel de reconocimiento requiere un plan previo a la inspección, señalando y detallando los aspectos a estudiar, así como las técnicas y medios a emplear.

El resultado de las inspecciones especiales suele recogerse en un informe específico de estudio y definición de la problemática concreta de la estructura que, en función del alcance de los daños detectados, puede acabar desencadenando un proyecto de actuación específico.

Figura 2. Cojinete antes de ser sustituido en Puente de las Delicias.

3. Fase de proyecto

3.1 Estudios previos

3.1.1. Geometría de la estructura

Información sobre las dimensiones del tablero móvil, pilas, estribos, cimentación, etc., ubicación y dimensiones de elementos de accionamiento del tablero móvil como cilindros hidráulicos, cojinetes, sistemas de enclavamiento, etc. También se debe recabar información acerca de la planeidad o irregularidades de las superficies en las que se vayan a apoyar los medios auxiliares.

3.1.2. Cargas durante el mantenimiento

Además de las cargas permanentes de la propia estructura, se deben considerar todas las cargas muertas como pueden ser las aceras, pavimento, sistemas de contención, contrapeso, etc. Respecto a las sobrecargas de uso, no es habitual que en los puentes móviles se mantenga el tráfico mientras se acomete una gran operación de mantenimiento. No obstante, se deben considerar aquellas acciones variables que puedan afectar a la estructura durante estos trabajos como puede ser el caso de las acciones climáticas.

3.1.3. Capacidad resistente de los elementos que vayan a ser solicitados durante las operaciones de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento puede ser necesario transmitir importantes cargas en elementos del puente donde no estaban previstas. Para poder verificar si estos elementos poseen una capacidad resistente adecuada es necesario conocer los elementos que lo componen (dimensiones, planos de armado en caso de tratarse de hormigón armado, espesor de chapas en caso de tratarse de acero, calidad de los materiales, etc.) para establecer su capacidad resistente.

Esta información normalmente se obtiene del proyecto de la estructura. En caso de no poder conseguir esta información, se deberá llevar a cabo una campaña de reconocimiento que permita obtener los datos con que conocer la capacidad resistente de los elementos de la estructura sobre los que resulte necesario transmitir cargas extraordinarias durante la operación de mantenimiento.

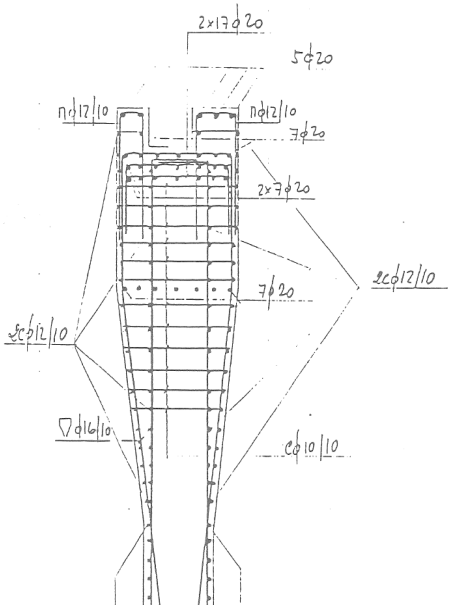


Figura 3. Detalle de armado en coronación de muro que soporta a los cojinetes en Puente de las Delicias.

3.1.4. Medios auxiliares disponibles para llevar a cabo la operación de mantenimiento

3.1.5. Condicionantes externos

Finalmente, se deberán tener en cuenta los condicionantes externos como pueden ser los accesos al lugar de intervención, las afecciones que se generan en el tráfico, etc.

3.2 Elaboración del proyecto para la operación de mantenimiento

A partir de la información obtenida en los estudios previos se está en condiciones de elaborar el proyecto de la intervención, que no tiene por qué llegar a tener la composición genérica de un proyecto construcción, pero en el que deben quedar definidos todos los aspectos necesarios para poder ejecutar con garantías las operaciones que se proyectan.

Se debe tener en cuenta que los condicionantes que aparecen en las grandes operaciones de mantenimiento de los puentes móviles hacen necesario el diseño de estructuras auxiliares singulares cuyo cálculo debe abordarse de forma minuciosa ya que, en algunos casos, de su buen funcionamiento depende la integridad estructural del puente.

Este tipo de proyectos debe recoger, al menos, los siguientes aspectos: definición exhaustiva del procedimiento, definición completa de estructuras y medios auxiliares necesarios, diseño de elementos de fijación y anclaje para los medios auxiliares, descripción de carga máxima que pueden resistir los elementos de la estructura solicitados durante el mantenimiento y definición de refuerzos en la estructura del puente en caso de que resulte necesario.

4. Fase de ejecución

Una vez completada la fase de proyecto se está ya en disposición de comenzar la ejecución de la operación de mantenimiento.

Resulta lógico pensar que la magnitud y el número de problemas que aparecen en la fase de ejecución será inversamente proporcional a la calidad del proyecto de la operación. Sin embargo, los condicionantes particulares de este tipo de puentes siempre pueden generar contratiempos durante los trabajos.

Así, en esta etapa se deberán solventar los problemas que pueden aparecer en el mantenimiento de este tipo de puentes como consecuencia de los espacios reducidos y ante la necesidad de minimizar al máximo el tiempo que se interrumpe el servicio del puente.

Una problemática común en el mantenimiento de puentes móviles, debido al poco tiempo que debe durar la intervención, es la dificultad de disponer de los materiales o medios auxiliares específicos considerados en proyecto. En estos casos será necesario readaptar la solución original según las posibilidades disponibles en el momento de la intervención.

Otra dificultad inherente a este tipo de estructuras es la falta de espacio para el transporte de los medios auxiliares hasta su posición definitiva. En estos casos puede resultar necesario el corte de paramentos para el acceso al interior o la partición de las estructuras auxiliares en elementos modulares de más fácil manipulación por su menor peso y dimensiones.

Asociados a la falta de espacio a veces también surgen problemas de acodalamiento entre paramentos de las estructuras auxiliares instaladas en las cámaras interiores del puente móvil. Para reducir estos riesgos se deben prever las máximas holguras posibles y, además, incorporar las uniones necesarias para poder desmontar las estructuras auxiliares en caso de que sea necesario.

Teniendo en cuenta la importancia de los perjuicios que generan los retrasos durante el mantenimiento de los puentes móviles, en la fase de ejecución resulta de especial importancia disponer de una asistencia técnica en obra que resuelva de forma ágil y efectiva las dificultades que puedan aparecer.

Figura 4. Sustitución de cilindro hidráulico en Puente José León de Carranza (Cádiz) a mediados de los años 80.

5. Caso práctico: Sustitución de cojinetes en Puente de las Delicias (Sevilla).

León de Carranza (Cádiz), que ya fueron sustituidos por primera vez a mediados de los años 80.

En el año 2018 se llevó a cabo la renovación de varios elementos del accionamiento del Puente de las Delicias (Sevilla) dentro del contrato "Adaptación del puente de las Delicias a nuevos requerimientos".

Este contrato fue adjudicado por la Autoridad Portuaria de Sevilla a la empresa IMESAPI S.A., que contó con los servicios de ACL Diseño y Cálculo de Estructuras para la asistencia técnica en materia de estructuras en la operación de sustitución de los cojinetes de los tableros de tráfico de carretera para adaptarlos a los nuevos requerimientos. Para llevar a cabo

esta operación, y como parte de los trabajos adjudicados en el contrato, se precisaba el diseño de una estructura auxiliar que permitiera el gateo de cada uno de los semi-vanos del puente cuyo peso sobre la rótula era de 460 toneladas.

En los siguientes puntos se exponen los condicionantes considerados durante el diseño de esta estructura auxiliar así como las dificultades solventadas durante la fase de ejecución de esta operación.

5.1 Descripción del Puente de las Delicias.

El puente de las Delicias cuenta, en su vano central, con tres tableros basculantes independientes : dos para el paso de vehículos rodados y otro ferroviario; que permiten la conexión para ambos medios de transporte de las márgenes del canal de Alfonso XIII, en la ciudad de Sevilla.

Cada tablero se configura mediante dos semi-vanos en ménsula, compensados mediante ménsulas traseras de menor longitud en cuyos extremos se sitúa un contrapeso. La longitud total de los semi-vanos de los puentes es de 31,63 metros (incluyendo la parte trasera de los contrapesos), siendo la luz del voladizo principal de 26 metros. El ancho de cada tablero es de 13,6 m. para los tableros del puente de carretera y de 6,4 m. para el puente del ferrocarril. Los tableros del puente para el tráfico de carretera cuentan con dos cajones estructurales de 2,10 m de ancho y canto variable, separados 6,50 m entre sí. Los tableros están construidos íntegramente en acero, discurriendo los vehículos directamente sobre una losa ortótropa metálica.

El puente ferroviario, por su parte, está formado por una viga cajón metálica de sección variable construida mediante chapas y costillas de refuerzos en acero. Esta viga principal lleva también adosados pasarelas de servicio con barandillas laterales de protección. El puente ferroviario no fue objeto de la renovación descrita en este documento.

Los tres puentes basculantes utilizan en cada extremo una pila común de grandes dimensiones, idénticas entre sí salvo por la cabina de control que solamente existe en la Pila Este. Las grandes pilas del puente de las Delicias están condicionadas fundamentalmente por el carácter de puente móvil del vano central. Al tratarse de un puente basculante es necesario alojar dentro de ellas la compensación (y contrapeso) del vano móvil. También se aloja dentro de las pilas toda la maquinaria necesaria para el accionamiento del puente y en su interior se dispone del espacio libre suficiente para el giro de la compensación. Todo ello exige que las dimensiones exteriores de la pila en el sentido longitudinal de los tableros alcancen hasta los 14 m.

Cada pila consiste en un cajón hueco formado por paredes exteriores de hormigón de 0,40 m de espesor y doce tabiques que rigidizan el conjunto y sirven de apoyo a los cojinetes de giro de los puentes. La losa superior de cierre del cajón tiene 0,50 m de espesor y sirve de plataforma para el tráfico viario y ferroviario. Esta losa queda abierta en el frente del puente móvil para permitir el movimiento del tablero.

El movimiento de los tableros se realiza sobre unos cojinetes que permiten el giro a cada uno de los semi-vanos, existiendo dos cojinetes independientes por cada viga cajón, lo que hace un total de cuatro cojinetes por cada uno de los cuatro semi-vanos.

El movimiento de los tableros se acciona mediante cilindros hidráulicos, dos en paralelo por cada unidad de semi-vano que se mueve independientemente (uno por cada viga cajón).

Además de los cojinetes de apoyo y los cilindros hidráulicos, que constituyen la maquinaria de movimiento del puente, existen enclavamientos tanto en la parte trasera para fijar el puente (tanto en posición abierta como cerrada) como en la clave para dar continuidad a la plataforma que forman los dos semi-vanos móviles.

5.2 Descripción del procedimiento empleado para la sustitución de los cojinetes en el tramo viario

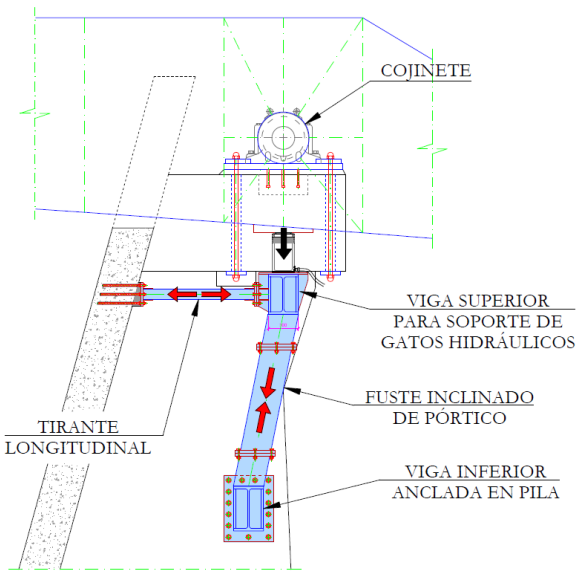
Para proceder a la sustitución de los cojinetes del tramo viario del Puente de las Delicias fue necesario el gateo de cada uno de los semi-vanos que forman los tableros para liberar a los cojinetes existentes de su carga y poder sustituirlos por los nuevos cojinetes. Esta operación requirió de un análisis exhaustivo de la estructura, dada la importante magnitud de las cargas a soportar en elementos auxiliares y a transmitir a partes de la pila no diseñadas originalmente a tal efecto.

El procedimiento empleado se resume en los siguientes pasos:

1. Instalación mediante soldadura de cuñas de acero mecanizadas en la cara inferior de las vigas cajón que forman el tablero. Estas cuñas cumplieron la doble función de, por una parte, proporcionar una superficie plana para el gateo del tablero y, por otra parte, permitir un correcto reparto de los esfuerzos que los cilindros hidráulicos encargados del gateo ejercen sobre la cara inferior del cajón del tablero, donde no se había previsto este tipo esta carga.
2. Instalación de estructura auxiliar, formada por dos pórticos independientes, que proporciona una superficie de apoyo para los cilindros hidráulicos bajo las vigas cajón del tablero. Esta estructura auxiliar, además, también permite fijar transversalmente el tablero durante las operaciones de gateo y sustitución de los cojinetes.
3. Instalación de topes longitudinales en el tablero. Concretamente dispuestos entre la compensación del vano y la losa superior de la pila.
4. Gateo de semi-vano del tablero disponiendo cilindros hidráulicos bajo cada uno de los ejes de los cojinetes (4 cilindros hidráulicos en total). En este momento todo el peso del tablero queda sustentado por la estructura auxiliar.
5. Sustitución de cojinetes del Puente mientras el tablero se encuentra gateado por los cilindros hidráulicos.
6. Descarga de cilindros hidráulicos, transfiriendo el peso del tablero a los nuevos cojinetes instalados.
7. Retirada de medios auxiliares e instalación en el resto de semi-vanos (tres más), repitiendo el proceso descrito

Desde el momento en que se instala la estructura auxiliar no resulta ya posible el basculamiento del tablero, dado que constituye un obstáculo geométrico para esta operación y, además, también se impidió el tráfico viario sobre el puente para limitar las acciones que solicitaban a la estructura auxiliar durante los trabajos, así como por razones de seguridad para la circulación.

Consecuentemente, durante la sustitución de los cojinetes, el puente quedó fuera de servicio tanto para el tráfico fluvial como para el tráfico de carretera, siendo por tanto primordial proceder a esta intervención en el menor tiempo posible.



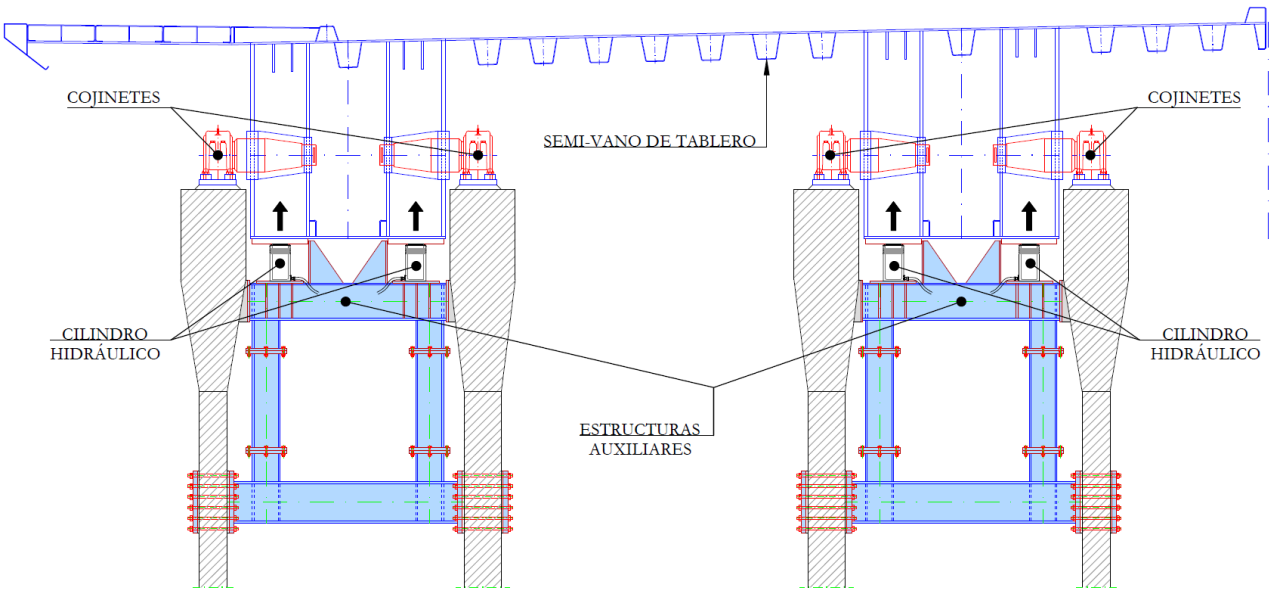


Figura 6. Sección transversal de tablero por zona de cojinetes. Fase constructiva de gateo mediante cilindros hidráulicos para liberar a los cojinetes existentes de carga

El diseño de la estructura auxiliar necesaria para la sustitución de los cojinetes requirió de un análisis muy preciso debido a la particular geometría que presenta la pila del puente. Esta estructura se dimensionó para soportar el total del peso de cada uno de los semi-vanos viarios, estimado en 460 toneladas.

En un primer momento se pensó en disponer una viga entre los muros que soportan los cojinetes, justo por debajo del tablero, pero esta opción fue descartada porque los anclajes de esta viga hubiesen entrado en interferencia con los anclajes de los cojinetes.

Como segunda opción se consideró la construcción de un pórtico apoyado en la base de la pila, pero esta opción también fue desestimada al resultar necesario un importante refuerzo en la base de la pila, la cual no disponía de capacidad resistente suficiente para soportar las cargas transmitidas.

Finalmente, la solución adoptada fue la construcción de un pórtico apoyado sobre una viga anclada en los muros de soporte de los cojinetes del tablero, pero a una distancia de 3.73 metros por debajo de ellos. Con esta disposición se consiguió una buena posición para transmitir las cargas desde la estructura auxiliar a las pilas del puente sin entrar además en interferencia con ninguno de los elementos del puente, refuerzo o anclaje de estos.

La principal desventaja de la solución empleada fue que, a la altura elegida para el anclaje de la viga de soporte de los pórticos, la misma no quedaba en la vertical de los cojinetes, sino que presentaba un retranqueo de 35 cm hacia el voladizo de la hoja del tablero. Esta situación obligó al diseño de los pórticos con una inclinación longitudinal para que, en su parte superior, donde se colocaban los cilindros hidráulicos, quedaran en la proyección vertical de los cojinetes, ubicación que coincidía además con el centro de gravedad de los semi-vanos.

Asimismo, teniendo en cuenta que debido a la inclinación del pórtico aparece una reacción horizontal durante el gateo del tablero, fue necesaria la disposición de unos tirantes que resistieran la fuerza horizontal generada.

Debido a la geometría particular existente en el interior de la pila, estos tirantes se dispusieron trabajando a tracción anclados mediante pasadores con resina en el muro frontal de la pila.

Con estos condicionantes de cálculo se procedió al dimensionamiento de la estructura auxiliar, analizando de forma detallada todas las uniones y elementos estructurales intervinientes en la operación. Este trabajo fue resultado de una estrecha colaboración entre los calculistas de la estructura auxiliar y los encargados de la obra, convergiendo en una solución que fuese correcta desde el punto de vista estructural, así como eficaz y posibilista desde el punto de vista de la ejecución de la obra.

Para asegurar el correcto encaje geométrico de la estructura auxiliar en el interior de las pilas fue necesario el desarrollo de un modelo geométrico de 3D donde se representó la geometría exacta de la pila existente así como la de la estructura auxiliar propuesta.

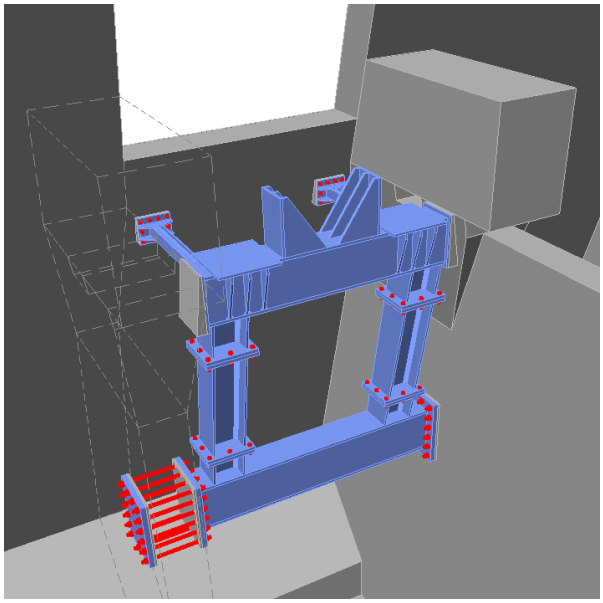


Figura 7. Modelo 3D de estructura auxiliar encajada en pila (se desactiva la vista de uno de los muros de la pila para mejor comprensión)

Como apoyo de la estructura auxiliar, y para asegurar la estabilidad de los semi-vanos durante el gateo de la estructura, se emplearon algunos de los enclavamientos del tablero, además de topes longitudinales y transversales diseñados ad hoc.

Figura 8. Estructura auxiliar instalada.

Figura 9. Cilindros hidráulico sobre estructura auxiliar.

5.4 Modificaciones de diseño en obra.

de retirada del mortero de las placas de anclaje para desencajar esta viga era laborioso.

Ante esta situación, para facilitar el desmontaje de esta viga, se proyectó una unión intermedia que en el momento del desmontaje permitiese desvincular la viga en su parte central y desencajarla con mayor facilidad.

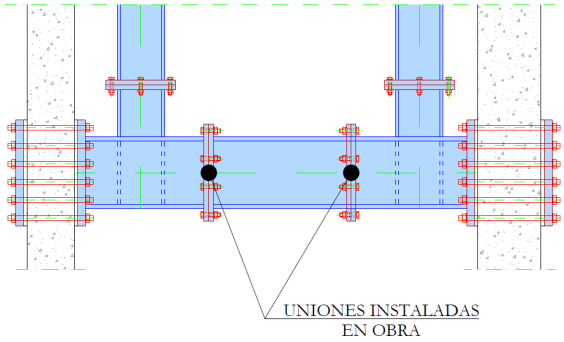


Figura 10. Uniones adicionales incorporadas en fase de ejecución.

Figura 11. Nuevos cojinetes en Puente de las Delicias.

[1]ACHE Comisión 4, Grupo de Trabajo 4/3, Conservación de Aparatos de Apoyo, Juntas y Drenaje en Puentes, ACHE-ATC

[2]ACHE Comisión 4, Grupo de Trabajo 4/4, Guía para la Redacción del Plan de Mantenimiento en Puentes, ACHE-ATC

[3] Comisión Permanente del Hormigón, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008, Ministerio de Fomento, Madrid, 2008.

[4] Comisión Permanente de Estructuras de Acero, Instrucción de Acero Estructural EAE-2011, Ministerio de Fomento, Madrid, 2011.

[5] Dirección General de Carreteras, Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado, Ministerio de Fomento, Madrid, 2012.

[6] Dirección General de Carreteras, Guía de inspecciones básicas de obras de paso, Ministerio de Fomento, Madrid, 2009.