

Reparación Puente de Mondariz (Pontevedra)

Mondariz Viaduct repair (Pontevedra)

Sergio Couto Wörner^a, Jorge Cascales Fernández^b, Ricardo Rico Rubio^c, Tania

Cancelo Rey^d y Javier Lendoiro Santos^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director General. scouto@k2ingenieria.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director Técnico. jcascales@k2ingenieria.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Director de Ingeniería. rrico@k2ingenieria.es

^d Ingeniero Técnico de Obras Públicas. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyectos. tcancelo@k2ingenieria.es

^e Ingeniero Técnico de Obras Públicas. k2 Estudio de Ingeniería S.L. Ingeniero de Proyectos. jlendoiro@k2ingenieria.es

RESUMEN

Se detalla la actuación realizada sobre el Puente de Mondariz, situado en la carretera PO-254 (T.M. Mondariz – Mondariz Balneario, Pontevedra) sobre el río Xabriña. Durante la Inspección Principal se detectaron diversas patologías en la estructura que obligaron a cortar el tráfico sobre la misma. Tras una exhaustiva campaña de ensayos y la pertinente caracterización estructural se diseñó la reparación y el refuerzo de aquellos elementos que así lo requerían. Se eliminaron todos los puntos que presentaban corrosión y se mejoró el drenaje de la estructura, alargando la vida del puente.

ABSTRACT

The work carried out on the Mondariz Bridge located on the PO-254 road (T.M. Mondariz - Mondariz Balneario, Pontevedra) over the Xabriña river is detailed. During the Main survey, several pathologies were detected in the structure that forced the traffic to be cut off. After an exhaustive testing campaign and structural modelisation, the repair and reinforcement of those elements that required was designed. All corrosion points were eliminated and the drainage of the structure was improved, extending the life of the bridge.

PALABRAS CLAVE: inspección, patologías, refuerzo, corrosión, ensayos, mantenimiento.

KEYWORDS: survey, pathologies, reinforcement, corrosion, testing, maintenance.

1. Descripción de la estructura

El puente de Mondariz es una estructura metálica de un único vano de 60 m de luz, de tipología arco atirantado (bowstring). Presenta una sección transversal con una anchura total de 13.0 m dentro de la que se ubica una plataforma de 11.0 m compuesta por pretilas metálicas laterales, dos arcones laterales de 1.50 m y dos carriles de 3.50 m cada uno. La estructura fue licitada en el año 1999 e inaugurada en el año 2002.

La estructura principal se materializa en los extremos de la plataforma mediante dos arcos metálicos con tirante inferior. Cada uno de los dos planos de arco está formado por dos cajones armados, arriostrados entre sí y empotrados en los extremos a los cajones metálicos longitudinales. Los cajones longitudinales son secciones cuadradas cerradas, de dimensiones 1.0x1.0 m, rigidizados longitudinalmente en almas y alas mediante ½ IPE y con rigidización

transversal mediante mamparos con pasos de hombre.



Figura 1. Vista general.

Se cuelgan del arco mediante péndolas formadas por tubos metálicos redondos huecos de 273 mm de diámetro y 100 mm de espesor, que parten de los perfiles de arriostramiento entre arcos y se sueldan a la platabanda superior de los cajones inferiores, siguiendo una alineación perpendicular al trazado del arco.



Figura 2. Vista inferior.

2. Inspección Principal

Durante la inspección principal del año 2020, llevada a cabo el día 1 de julio por parte de k2 Ingeniería, se observaron daños severos en los elementos principales de la estructura metálica:

- Soldadura entre el tubo de la péndola y el cajón longitudinal rota. La transmisión de esfuerzos entre cajón y péndola

podiera estarse produciendo únicamente por medio de las cartelas laterales.



Figura 3. Soldadura péndola rota.

- En ambos cajones se documentan fisuras transversales en la platabanda superior que pudieran tener su origen en un problema de fatiga. Destaca la platabanda rota del cajón longitudinal izquierdo, de 400 mm de longitud y abertura 0.40 mm.



Figura 4. Fisura cajón derecho.

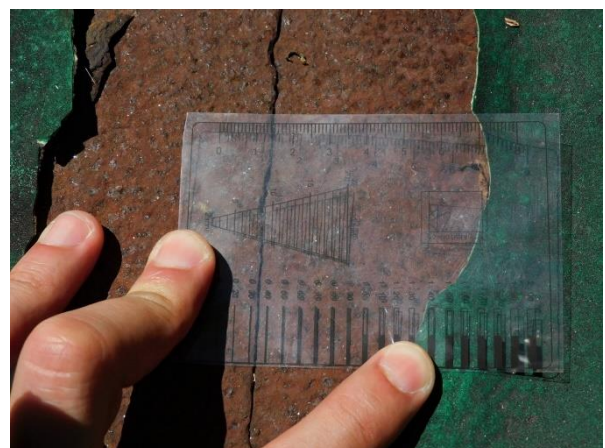


Figura 5. Rotura cajón izquierdo.

Estos daños podrían significar una reducción de la capacidad portante de la estructura.

Además, existen una serie de problemas de durabilidad que están afectando directamente a los cajones inferiores y nudos de unión entre estos y las vigas transversales. La filtración de agua a estas partes de la estructura y la permanencia de esta en interfases entre materiales es muy dañina, observándose picaduras con delaminaciones muy concentradas en los nudos.

Estudiando las inspecciones previas no se describía ningún daño como urgente.

El índice de estado de la estructura es ESTADO 5 (Defectos que se traducen en la proximidad del estado límite de servicio de toda la estructura o parte de ella, necesitando una restricción de uso o su puesta fuera de servicio. Actuación urgente inmediata).

Se consideró urgente realizar:

- Corte de tráfico.
- Inspección especial: evaluación de soldaduras y chapas mediante técnicas destructivas y no destructivas.
- Modelo numérico.
- Proyecto de reparación.
- Obra de reparación.

La Consellería de Infraestructuras e Mobilidade de la Xunta de Galicia declaró la Obra de Emergencia el 31 de julio de 2020 por un valor de 1.373.268€ a las empresas Civisglobal SL y k2 Estudio de Ingeniería SL.

3. Trabajos previos

Se realizan numerosos estudios y ensayos sobre la estructura, entre los que destacan:

- Levantamiento topográfico completo.
- Inspección visual: se detectan defectos de ejecución en las soldaduras en obra, que pueden provocar problemas de fatiga. No parece haberse tenido en cuenta ningún sistema de impermeabilización en la losa superior tras fresado del pavimento.



Figura 6. Ensayo soldadura péndola.

- Ensayos no destructivos: Inspección mediante ultrasonidos (arcos, péndolas y cajones), partículas magnéticas, dureza Brinell in situ, ensayos macrográficos y videocopias.



Figura 7. Ensayo soldadura arco.

- Extracción de cupones para certificar la calidad y espesor de chapas.
 - Ensayos de laboratorio: ensayos de tracción, ensayos de flexión por impacto, análisis químico.
- El resumen de los daños más importantes encontrados fue:
- Fallos de ejecución de soldaduras en los cajones.
 - Falta de penetración en la raíz de las soldaduras en arcos, péndolas y cajones.
 - Falta de fusión, poros y desfondamiento en arcos.
 - Fisuras importantes en la práctica totalidad de las uniones de péndolas-arco y cartelas.

- Grietas, falta de fusión, poros, desfundamiento y mordedura discontinua en cajones.
- Grietas, falta de fusión, poros y desfundamiento en vigas transversales.

El material base correspondía con un acero S355 y 275 según el caso.

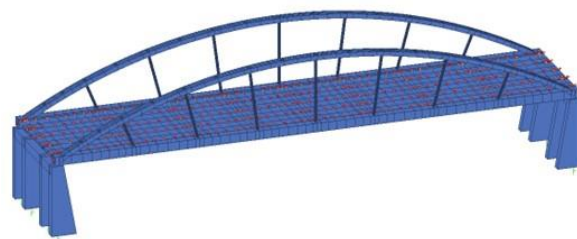


Figura 8. Modelo de cálculo.

4. Cálculo estructural

Con objeto de caracterizar con la mayor precisión posible el estado de la estructura se realiza la revisión del diseño estructural del puente en base a la información reflejada en los documentos del proyecto en base al cual se realizó su construcción. De forma complementaria, se lleva a cabo un modelo de cálculo del puente con los siguientes objetivos principales:

- Servir como modelo de contraste, para comparar los resultados obtenidos con los reflejados en el proyecto de la estructura.
- Evaluar de forma teórica el estado actual del puente, incorporando en el modelo las conclusiones extraídas de la campaña de ensayos en relación con la geometría de los elementos, las características de los materiales y los daños observados.
- Permitir la identificación de posibles fuentes de patologías que puedan apoyar la definición de las propuestas de intervención.
- Servir como base para el estudio de las posibles propuestas de intervención para valorar las posibles reparaciones y refuerzos.
- Analizar la seguridad estructural durante las diferentes etapas de la actuación, evaluando las condiciones más favorables para la incorporación y retirada de elementos auxiliares (apeos) y estructurales.

5. Daños encontrados

Como conclusiones más importantes de todos los estudios realizados, se encontraron problemas de impermeabilización, detalles incorrectos de soldaduras en elementos principales, problemas de fatiga, falta de estanqueidad y problemas de mantenimiento.

5.1. Elementos no metálicos

Los principales daños encontrados son:

- Estribos:
 - o Humedades activas en el frente de ambos estribos, así como en los respectivos muros de perpiaño.
 - o Cárcava en intradós del muro de perpiaño.
- Apoyos de neopreno:
 - o Aterramiento parcial.
 - o Replanteo inadecuado.
 - o Rotura de meseta de hormigón y presencia de corrosión en la cuña metálica de un apoyo.
 - o Presencia de corrosión en la cuña metálica de un apoyo.
- Prelosas:
 - o Rotura de prelosa durante la construcción.
 - o Fisuras generalizadas.
 - o Presencia de humedad activa en ambos lados exteriores de prelosas.
 - o Panel de encofrado puntual en una de las prelosas.

5.2. Elementos metálicos

Los principales daños encontrados son:

- Arcos:
 - o Oxidación/corrosión.
 - o Pátinas de óxido.
 - o Diversas imperfecciones, tales como poros o grietas, durante los ensayos de soldaduras de unión de platabandas de diferentes espesores.
- Péndolas: Los principales daños registrados en péndolas se localizan especialmente en las uniones superiores con el arco y en las uniones inferiores con los cajones. Las soldaduras correspondientes a estas uniones presentan diversas imperfecciones, tales como poros o grietas, generalizadas y extendidas a la práctica totalidad de las cartelas y soldaduras de unión. La péndola 4 del alzado derecho de la estructura destaca por la gravedad del estado de su soldadura de unión con el cajón, soldadura que aparece rota. Los demás daños se corresponden con lo definidos para arcos, oxidación/corrosión en diferentes puntos de la superficie de las péndolas, así como pátinas de óxido presentes en algunas de ellas.
- Cajones longitudinales: se detectaron grietas en la platabanda superior del cajón longitudinal, muy próximas a la péndola 4 de ambos cajones. Sin embargo, los resultados que mostraron los ensayos realizados en estas soldaduras dieron a conocer que se trataba de una tapa en la platabanda superior, soldada a posteriori y ubicada en ambos cajones longitudinales, a la altura de las péndolas 2, 4 y 6. Una vez realizados los ensayos no destructivos pertinentes, se halló la presencia de más

grietas en las soldaduras de las mismas, de mayor gravedad en el caso de las péndolas 4 y 6.

A mayores, una vez realizadas las videoscopías del interior de los cajones, se observó la presencia continua de oxidación y corrosión en el interior del mismo, causado, en buena medida, por la falta de cierre en los extremos del cajón.

El resto de daños se corresponden con presencia de óxido/corrosión en diferentes puntos de la superficie de los cajones, así como pátinas de óxido presentes en la superficie.

- Vigas transversales: Existe una presencia generalizada de óxido/corrosión en todas las vigas transversales, especialmente en la unión de las mismas con los cajones longitudinales. Esto es debido, en su mayor parte, a la ejecución de un detalle incorrecto en la junta longitudinal entre la losa de hormigón y el cajón longitudinal, en ambos márgenes de la estructura. Entre la losa y el cajón se dispuso, en toda la longitud, porexpán, material que filtra agua hacia la parte inferior del tablero, ocasionando la mayoría de las patologías observadas durante la inspección visual. Se realizaron ensayos no destructivos sobre las soldaduras de unión de las vigas transversales, en ambos extremos, al cajón longitudinal, detectándose numerosas imperfecciones en las soldaduras, tales como grietas o poros, especialmente en la unión alma-cajón.

5.3. Elementos no estructurales

Se detectaron las siguientes patologías en elementos funcionales:

- Mortero y perfil de junta dañado en ambos estribos.

- Abundante fisuración longitudinal en el pavimento.
- Vegetación en arcnos.
- Presencia de oxidación en pretilos.

6. Soluciones adoptadas

El proyecto de reparación del viaducto se centró principalmente en los siguientes elementos:

6.1. Elementos no metálicos

- Estribos: se procede a la limpieza con agua a presión de todo el frente de ambos estribos, incluidos los muros de perpiño para, posteriormente, llevar a cabo la aplicación de pintura anticarbonatación sobre la superficie tratada anteriormente. Se reparan las juntas de dilatación, a las que se le instala un babero a modo de recogida de aguas de escorrentía.

Se rellena con escollera el trasdós del Estribo 2, con la finalidad de enmendar la cárcava detectada durante la inspección principal.

- Prelosas: Se retira el panel de encofrado. Se limpia con agua a presión toda la superficie interior del tablero. Se sellan las fisuras cuya abertura sea mayor o igual a 0,30 mm mediante una resina epoxi y, posteriormente a estos dos procesos, se aplica la pintura anticarbonatación sobre la superficie tratada.

6.2. Elementos metálicos

6.2.1. Arcos

El criterio de aceptación/rechazo de la soldadura ensayada se establece de forma que si el daño encontrado al realizar el ensayo, supone un 30% o más de la longitud total de la soldadura, ésta deberá ser tratada. En caso

contrario, no se define ninguna actuación sobre la misma.

Con el fin de intentar reforzar y dañar lo mínimo posible la estructura, se propone soldar platabandas de refuerzo sobre las soldaduras, en lugar de tratar directamente la soldadura, evitando, de esta forma, transmitirle calor innecesario a la misma.



Figura 9. Refuerzo arco y péndolas.

Una vez realizadas las soldaduras de las platabandas de refuerzo, se procede al ensayo de soldaduras realizadas en obra.

6.2.2. Péndolas

Una vez analizados los resultados de los ensayos, se observa que la práctica totalidad de las soldaduras de unión tanto de la péndola-cajón, péndola-arco, como de cartelas-cajón, cartelas-arco se encuentran en un estado generalizado deficiente.

Se plantea un refuerzo en sentido transversal y otro longitudinal en todas las péndolas de ambos alzados de la estructura.

Se sigue el mismo criterio definido en el caso de las soldaduras del apartado anterior.

Se realizan los siguientes refuerzos:

- Refuerzo longitudinal mediante el soldado de nuevas cartelas a las péndolas en sentido longitudinal
- Refuerzo transversal mediante el soldado por penetración completa de un

refuerzo a las cartelas en sentido transversal.

- Amolado/esmerilado y posterior soldado de aquellas soldaduras indicadas en la clasificación de soldaduras que son susceptibles de reparación.
- Realización de ensayos a aquellas soldaduras saneadas/reparadas en obra cuyo objetivo es comprobar la eliminación de las imperfecciones.
- Realización de ensayos a aquellas soldaduras realizadas en obra.



Figura 10. Refuerzo péndolas.

6.2.3. Péndola 4

Dado el pésimo estado del 100% de las soldaduras de la unión inferior de la péndola 4 del lado derecho, se propone una solución diferente.



Figura 11. Corte Péndola 4 con yugos.

Se procede a la sustitución íntegra de la unión inferior de dicha péndola con ayuda de unos yugos que abrazan el cajón inferior y el arco a ambos lados de la péndola, para no comprometer la estructura.



Figura 12. Vista inferior yugos.

En obra se constató que dicha péndola estaba totalmente llena de agua.



Figura 13. Péndola cortada.

6.2.4. Cajones longitudinales

No se detecta ninguna patología importante en los cajones salvo las fisuras transversales próximas a la péndola 4 en ambos alzados que ya se habían registrado durante la inspección principal. Tras el desarrollo de unas macros en dichas fisuras, se llega a la conclusión de que en esa zona se disponen unas tapas soldadas al cajón longitudinal, origen de las fisuras detectadas. De la misma manera, ocurren en la misma zona de ambos cajones, próxima a las péndolas 2 y 6.

Se reparan dichas tapas y se actúa sobre los extremos de los cajones, hasta ahora a la intemperie, causantes en gran medida de la oxidación/corrosión en el interior de los mismos, detectada en las videoscopías de la campaña de ensayos.

Una vez realizadas las soldaduras de las platabandas de refuerzo, se ensayan las soldaduras realizadas y saneadas en obra

6.2.5. Vigas transversales

Se pone de manifiesto, de manera generalizada el mal estado de las uniones viga-cajón, especialmente, de las soldaduras que unen el alma de la viga al alma del cajón longitudinal, en ambos alzados.

A las vigas situadas en las riostras de los estribos se les soldará una extraalma, dividida en las partes necesarias para que sea posible su manejo por parte de los operarios. Entre cada una de las partes de la extraalma, se colocará un rigidizador, que irá soldado perpendicularmente a la viga transversal.

A las vigas restantes se les soldará una torsioneta que irá en ángulo de 45° desde el alma de la viga transversal al alma del cajón longitudinal, en los cuatro extremos de cada viga. Se propone esta solución para evitar el calentamiento innecesario de la estructura, evitando así reparar la soldadura alma-viga directamente.

Una vez realizadas las soldaduras de las extraalmas y rigidizadores se ensayan las soldaduras realizadas y saneadas en obra.

6.3. Elementos no estructurales

6.3.1. Firme

- Fresado del pavimento actual.
- Ejecución del detalle impermeable en junta losa-cajón.
- Impermeabilización de tablero con mortero bituminoso.
- Colocación del pretil.
- Ejecución de capa de rodadura con mezcla bituminosa.

6.3.2. Juntas de dilatación

Dado que el estado de las juntas de dilatación no se considera tan deficiente como para proceder a su sustitución, se ha optado por repararlas y realizar la instalación de un babero, a modo de recogida de aguas de escorrentía en ambas juntas de dilatación, para evitar que se produzcan humedades en el frente de estribos.

6.3.3. Detalle junta losa-cajón

La junta entre la losa y el cajón metálico longitudinal estaba tapada, en su origen, por porexpán, lo que ocasionaba que el porexpán se empapase y dejase filtrar agua que discurría libremente por la unión de las vigas transversales con el cajón, creando un ambiente favorable a la corrosión de las vigas transversales.

Para modificar este detalle y transformarlo en un detalle impermeable que impida el filtrado de aguas de escorrentía a las vigas transversales, se proponen las siguientes fases:

- Retirada del pretil metálico existente
- Retirada del porexpán y limpieza con agua a presión
- Relleno con mortero.
- Aplicación de membrana bicomponente sobre parte del cajón y el mortero anterior, con la finalidad de la impermeabilización del grout.

6.3.4. Drenaje

Se reparan e instalan los sumideros para garantizar un correcto drenaje de la estructura.

6.4. Protección superficial

Se prestó especial atención a no contaminar las aguas del río con la pintura existente y con el tratamiento posterior. Para ello se dispuso un andamio inferior y una lona que cubría totalmente el tablero. El arco quedó envuelto parcialmente pero no se permitían vertidos.

El tratamiento que se siguió fue:

- Preparación de superficies: Se realizará mediante la técnica waterjetting/blasting WJ-2L, con una rugosidad de 30-50 micras.
- Imprimación: Se aplicará una pintura epoxi con fosfato de zinc, con un espesor de 180 micras
- Acabados: Se aplicará un poliuretano alifático con espesor de 60 micras

El espesor total de protección superficial será de 240 micras.



Figura 14. Pintado arco.



Figura 15. Pintado tablero.

5. Conclusiones

Más allá de mostrar la actuación en el puente, nos parece fundamental insistir en la importancia de la ingeniería preventiva. Las inspecciones periódicas son una herramienta fundamental dentro de un correcto sistema de gestión de durabilidad de las infraestructuras, pero tienen que ir acompañadas de un plan de mantenimiento. Los equipos que realicen las inspecciones deben estar acostumbrados a proyectar estructuras, pues su ojo crítico será más eficaz.

Las estructuras necesitan un mantenimiento periódico preventivo, siendo esto mucho más eficaz que el reparar una estructura cuando ya es

demasiado tarde, tanto por su coste como por la alarma social que genera.



Figura 16. Puente terminado.



Figura 17. Puente terminado.

Agradecimientos

La obra fue promovida por la Consellería de Infraestructuras e Mobilidade de la Xunta de Galicia y fue llevada a cabo por Civisglobal.

Se quiere agradecer la oportunidad que se nos ha brindado en todas las etapas de la reparación del viaducto, desde la inspección, diseño de la actuación hasta la asistencia técnica durante ejecución incluido el apoyo al control del proceso.

Gracias y enhorabuena al equipo de la Xunta de Galicia, con Manuel González Juanatey y J. Enrique Pardo como Directores de Obra.

Cabe destacar la labor Civisglobal, Raúl Estévez (Jefe de Obra), J. Carlos Gamallo

(Dirección Técnica) y de todo el equipo de topografía y producción.

La estructura metálica ha sido fabricada y montada sobre apeos por Dizmar, con un resultado final de gran calidad.

Referencias

- [1] Monografía M-18 de ACHE: Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje de puentes. Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural, ATC-ACHE, 2011.
- [2] Guía para la realización del inventario de obras paso. Ministerio de Fomento, 2009.
- [3] Guía para la realización de inspecciones básicas de obras de paso. Ministerio de Fomento, 2009.
- [4] Guía para la realización de inspecciones principales. Ministerio de Fomento, 2012.
- [5] Instrucción sobre las inspecciones técnicas en los puentes de ferrocarril (ITPF-05). Ministerio de Fomento, 2005.