

Sustitución de los tirantes del Puente Internacional del Guadiana*

*Replacing stay cables at Guadina International Bridge***

Sierra Ruiz Rabadán^a, Jhonny Brito^b, Fernando Martínez Pérez-Beato^c, Damián Yerone Neustadt^d y Duarte Abecasis^e

^aIngeniera de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyecto. Dywidag Systems International

^bMsc. Civil Engineer. Director comercial. Dywidag Systems International

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director técnico. Dywidag Systems International

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Responsable Obras. Dywidag Systems International

^eMsc. Civil Engineer. Jefe de Proyecto. Dywidag Systems International

RESUMEN

El Puente Internacional de Guadiana presentaba una patología en los tirantes que hizo necesario el planteamiento de un proyecto de inspección y rehabilitación. El resultado de los primeros ensayos e inspecciones evidenciaron el mal estado de los anclajes y condujo a la decisión final de sustitución de los 128 tirantes con una intervención integral con la que la estructura disponga de la última tecnología de tirantes y las más altas prestaciones en durabilidad y seguridad mediante un sistema de monitorización de todos los tirantes.

ABSTRACT

Guadiana International Bridge had registered a pathology in the stays that made it necessary to consider an inspection and rehabilitation project. First tests and inspections results evidenced the poor condition of the anchorages and led to the final decision to replace the 128 stays with an integral retrofitting intervention. The aim of this procedure is positioning the structure with the latest stay technology and the highest durability performance and security through a monitoring system installed on each stay.

PALABRAS CLAVE: sustitución de tirantes, monitorización, rehabilitación

KEYWORDS: stay cables replacement, monitoring, rehabilitation

1. Antecedentes

El Puente Internacional sobre el Guadiana se localiza en la frontera entre España y Portugal entre la localidad de Ayamonte (Huelva) y Castro Marim (Faro). Se trata de uno de los puentes atirantados más emblemáticos de la Península Ibérica cuya construcción finalizó en 1991. El proyecto fue desarrollado por el ingeniero

portugués José Luis Cancio Martins, implicado también en el actual proyecto de rehabilitación. Esta estructura de 666 metros se configuró con dos pilonos con forma triangular conectados con el tablero mediante 128 tirantes salvando un vano central de 324m. Los tirantes están compuestos por cordones engrasados y

enfundados con una magnitud que va desde los 22 hasta los 55 cordones de acero 0.62”, siendo una característica singular el que no dispongan de vaina global de protección del conjunto de cordones.



Figura 1. Vista global del puente antes del inicio de los trabajos de rehabilitación.

En los últimos años se planteó la necesidad de rehabilitación de los tirantes y ciertas reparaciones puntuales fueron realizadas para solventar provisionalmente problemas puntuales. La necesidad de un proyecto de rehabilitación integral se hizo más evidente con la rotura de dos de los cordones que forman los tirantes. Este proyecto contemplaba la reposición únicamente de los cordones dañados, la instalación de vaina de media caña y la colocación de amortiguadores en los tirantes más largos. No obstante, los primeros resultados de las inspecciones llevadas a cabo confirmaron el mal estado de los tirantes y sus anclajes y condujeron a la decisión final de sustitución integral del sistema de tirantes.

2. Inspección y ensayos en los tirantes existentes

Entre los meses de Junio y Agosto de 2018 se realizó una campaña de inspecciones y ensayos en los tirantes dentro del proyecto de rehabilitación cuyo objeto fue el determinar el estado de conservación de los anclajes y los cordones existentes para plantear la forma más efectiva de reparación.

En este proceso se retiraron los tubos antivandálicos, fueron realizadas observaciones endoscópicas dentro de los tubos de encofrado del tablero sin presencia de agua y se quitaron por muestreo alguna de las caperuzas del tablero.



Figura 2. Detalle de inspección de los tubos de encofrado

En el desarrollo de las actividades de inspección se observaron diversas anomalías, esencialmente en los anclajes, cuya reposición no estaba contemplada en el proyecto inicial. Principalmente, en el interior de los anclajes se detectó agua que comprometía la estanqueidad del sistema y era causa de la corrosión detectada en este punto del tirante.

La compilación de todos los resultados obtenidos tanto de las inspecciones como de los ensayos realizados se empleó para determinar con detalle el estado actual de los tirantes y condujo a la decisión final de sustitución integral de todos los tirantes del puente en un proyecto de mayor envergadura que el inicialmente previsto.

3. Sustitución de los tirantes

Se plantea la sustitución de los tirantes en varias fases, comenzando por el lado Norte de la pila 2 y terminando en el lado Sur de la misma Pila. Con la única excepción de los dos tirantes más cortos, los tirantes se sustituyen en parejas (uno en el lado de España y otro en el lado de Portugal) (ver Figura 3).

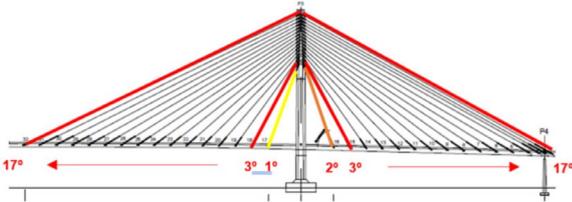


Figura 3. Esquema fases sustitución por pilono

En el desarrollo de los trabajos se busca la mínima afección al tráfico, por lo que se cortan los dos carriles del sentido más próximo a los trabajos, permitiendo el tráfico en los otros dos carriles.

El programa de trabajos se divide en 3 procesos fundamentalmente:

1. Retirada de los tirantes actuales
2. Intervenciones en los elementos a mantener
3. Instalación de los tirantes nuevos DYNA Grip®

La última fase se corresponde con la metodología habitual en la instalación de nuevos puentes atirantados, siendo la retirada de los tirantes en carga y con el puente en funcionamiento el mayor reto de este proyecto. Relativamente al sistema de tirantes instalado actualmente, la principal diferencia con los nuevos tirantes será la colocación de anclajes de nueva generación, la instalación de una vaina de protección global y la instalación de amortiguadores.

3.1 Retirada de los tirantes existentes

El procedimiento para la retirada de los tirantes existentes consiste básicamente en el destesado

de los cordones y posterior retirada de los anclajes de tablero y pila.

El destesado de los cordones se realiza utilizando un puente de destesado metálico fijo en el anclaje activo (ver Figura 4), un gato monocordón (ver Figura 5) y un tramo de cordón.



Figura 4. Puente destesado

La fuerza actual de cada cordón que se retira queda registrada mediante el ensayo de levantamiento de cuña puesto que estos datos serán necesarios para la instalación de los nuevos cordones.



Figura 5. Gato destesado monocordón

Después de cada destesado, el cordón se retira de forma controlada del anclaje inferior utilizando un cabrestante de cadena y una abrazadera, dejando el extremo superior del cordón en el anclaje de la pila y el tramo inferior apoyado sobre el tablero.



Figura 6. Desmontaje cordón destesado

Los cordones que cuelgan del anclaje del pilono se cortan en grupos a la salida del tubo de encofrado y se bajan al tablero utilizando un cabrestante y una abrazadera. La cantidad máxima de cordones que pueden ser bajados en una misma operación depende de la longitud del tirante y la capacidad del cabrestante utilizado.

Antes de destesar el último cordón, el anclaje del tablero se fija a la parte superior del tubo de encofrado mediante un polipasto de cadenas. Después de la retirada del último cordón, se bajará también controladamente el anclaje hasta la plataforma de trabajo.

El anclaje superior, junto con las cuñas y los tramos de cordón remanentes en estos anclajes, son izados hacia fuera de la placa de reparto utilizando un cabrestante ubicado en la parte superior de la pila, y bajado hasta la plataforma de trabajo o sobre el tablero.

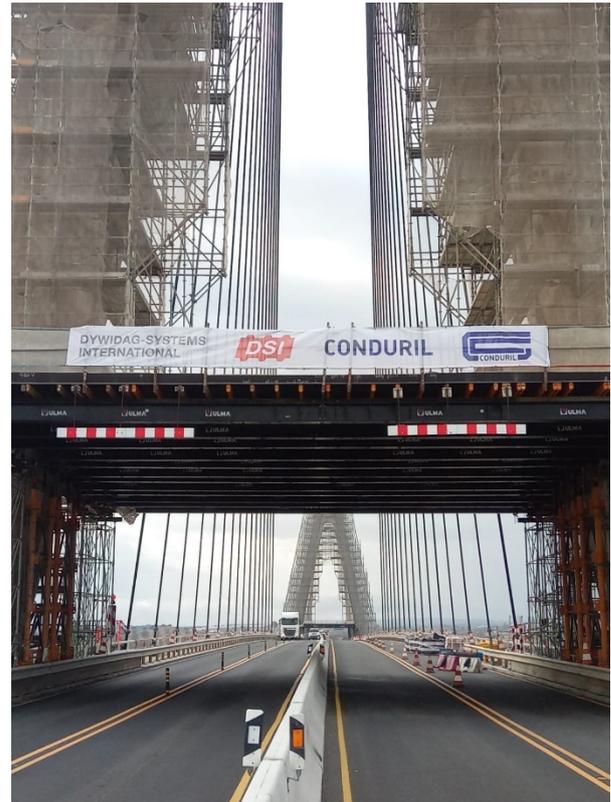


Figura 7. Detalle de las plataformas en las pilas y la mínima afectación al tráfico

Todas las operaciones de destesado y retirada de cordones son realizadas prestando especial atención en la seguridad del personal y los equipos.

3.2 Intervenciones en los elementos a mantener

A diferencia de una estructura de nueva construcción, la instalación de los nuevos tirantes acorde a la más alta tecnología y a los requerimientos de durabilidad actuales exige la realización de una serie de procedimientos en elementos existentes en el puente que garanticen que la actuación integral implica una actualización total de la tecnología de tirantes.

Los únicos elementos a mantener del sistema de tirantes existente son las placas de apoyo y los tubos de encofrado puesto que se encuentran embebidos en la estructura de hormigón del tablero y las pilas.

En primer lugar, con objeto de permitir la instalación de los anclajes activos del sistema de tirantes DYNA Grip®, resulta necesario

proceder al aumento del agujero existente en las placas de apoyo del tablero.

Tabla 1. Modificación diámetro del taladro de la placa de reparto en los anclajes del tablero

Tirante DG-P	Diámetro actual (mm)	Diámetro necesario (mm)
31	221	267
37	238	293
55	305	341

Para garantizar el correcto apoyo de la tuerca de tesado del anclaje activo después de la modificación del diámetro del taladro de la placa, se instala una placa complementaria en todos los anclajes del tablero. Esta placa adicional es apta para permitir el empleo del gato de pesaje en el caso de ser necesario realizar una futura intervención en los tirantes para ajustar su fuerza final.

En el caso de los anclajes de 55 cordones en las pilas, el diámetro del agujero de la placa de reparto es superior al necesario para la instalación de un anclaje pasivo DG-P55. Este inconveniente se resuelve nuevamente con la colocación de una placa complementaria que permite la reducción del diámetro del taladro de 375mm a 341mm.

Otra de las operaciones a realizar es la instalación de un suplemento formado por 3 sectores de 120° en la parte superior de todos los tramos superiores de los tubos de encofrado del tablero con el objeto de permitir el correcto apoyo del tubo antivandálico.

Cabe destacar que en todos los elementos se debe garantizar la durabilidad del sistema integral de tirantes, por lo que otra de las operaciones a realizar es la protección anticorrosiva mediante pintura compatible con un ambiente C5-M de los elementos existentes: tubos de encofrado y placas de apoyo.

Además, el interior de los tubos de encofrado del tablero es inyectado completamente con un gel tixotrópico anticorrosivo que desempeña una doble función: evita la entrada de agua en el tubo

de encofrado y protege de la corrosión la cara interior de esta pieza tan expuesta a las inclemencias meteorológicas.

Otra de los procesos a realizar consiste en la corrección angular de los anclajes mediante la colocación de una cuña metálica entre la placa de reparto y el propio anclaje.

Por último, es preciso realizar 4 taladros en los extremos de los tubos de encofrado de las pilas que permitan la fijación de los tubos telescópicos de la vaina.

Para todas estas operaciones, ha sido imprescindible un análisis pormenorizado de la geometría de todos los elementos a mantener y la implementación de procesos novedosos para la adaptación de los nuevos sistemas a las características de los elementos existentes.

3.3 Instalación de tirantes DYNA Grip

La instalación de los nuevos tirantes consiste esencialmente en los siguientes pasos: colocación de los anclajes, instalación de la vaina de protección global, instalación y tesado de los cordones, clavado de cuñas, protección anticorrosiva de los anclajes, sellado del sistema y colocación de amortiguadores.

Los anclajes activos y pasivos son premontados en fábrica previamente para un control total de los accesorios instalados y colocados posteriormente sobre la placa de reparto con los conos de las cuñas alineados correctamente.

La vaina de protección global está formada por tramos de tubo soldados entre sí por termofusión hasta conseguir la longitud final deseada (ver Figura 8).

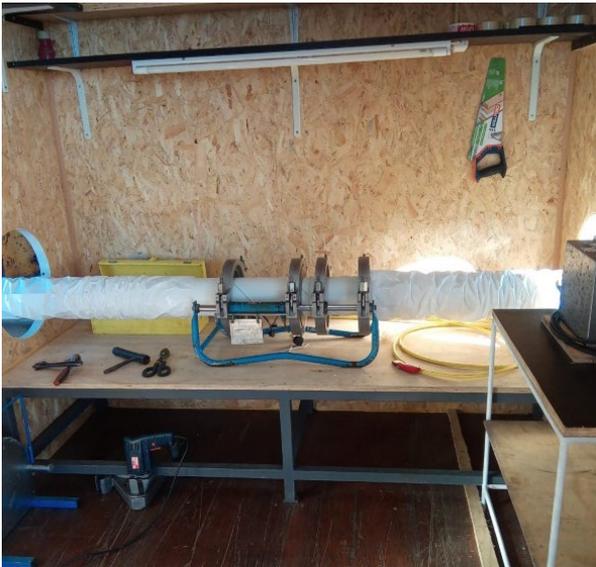


Figura 8. Detalle soldadura de vaina

Durante este proceso la vaina se coloca sobre carros especiales que permiten su movimiento por el tablero sin ser dañada.

La soldadura se realiza en una caseta especial puesto que esta operación se debe realizar sin afección del viento o la lluvia (ver Figura 9).



Figura 9. Caseta soldadura de vaina

Después de la finalización de los trabajos de soldadura se colocan los tubos antivandálicos y el telescópico en los extremos superior e inferior de la vaina respectivamente, y se enfila el primer cordón dentro de la misma.

El extremo superior de la vaina es izado en dirección al tubo de encofrado de la pila y se fija en el andamio. Posteriormente, el extremo superior del cordón se introduce en el anclaje de la pila a través del agujero correcto y se coloca la

cuña. Con la vaina y el cordón fijados en la pila, se inserta el extremo inferior del cordón en el anclaje del tablero y se aplica la primera fase de tesado.

Los cordones se enfilan uno a uno en la vaina global desde el tablero, empleando una enfiladora de cordones en el caso de los tirantes más cortos y con dos cabrestantes sincronizados en los tirantes largos.

Simultáneamente a la instalación de los cordones se aplica la primera fase de tesado empleando el sistema ConTen® (ver Figura 10). Este sistema permite que todos los cordones converjan en un mismo estado de carga equivalente siendo el sumatorio de las fuerzas individuales de los cordones equivalente a la fuerza total necesaria para cada tirante. La segunda fase de tesado se aplica una vez finalizada la instalación de todos los cordones de un tirante, empleando el mismo sistema.



Figura 10. Sistema de tesado ConTen®

Después de la sustitución de todos los tirantes se procede al retesado global de los tirantes con objeto de que se produzca el levantamiento del tablero 0,5m en la mitad del vano central, y una reducción asociada de los momentos flectores de +45.000 kNm a +20.000 kNm, en la misma sección.

Tras finalizar la operación de tesado se realiza el clavado de cuñas y la protección anticorrosiva de los anclajes.

El cierre del sistema de tirantes es precedido de la colocación de las abrazaderas de compactación en ambos extremos de la longitud libre y en los tirantes donde sea necesario colocar amortiguador, con la abrazadera del amortiguador.

En los tirantes con longitud superior a 130 m serán instalados amortiguadores externos, mejorando de forma decisiva el comportamiento dinámico de estos tirantes.

4. Sistema de monitorización

Aprovechando la sustitución de los tirantes se coloca un sistema de monitorización que permite controlar la fuerza de los tirantes mediante la instalación de sensores elastomagnéticos DYNA Force® colocados directamente sobre los cordones, el cableado del sistema y la unidad central de lectura. Esta solución de monitorización permitirá cuantificar en cualquier momento de la vida útil de la estructura la fuerza instalada en cada tirante.

Teniendo como base que en un mismo tirante todos los cordones tienen la misma fuerza (dado que el tesado ha sido ejecutado con el sistema de equitensión ConTen®), la fuerza total del tirante se determina multiplicando la fuerza medida en uno de los cordones a través del sensor elastomagnético debidamente calibrado, por el número total de cordones.

La solución prevista en este proyecto contempla la colocación de dos sensores en cada tirante, colocados en la parte trasera del anclaje pasivo (ver Figura 11), sumando un total de 256 sensores (128 unidades por pila). Con esta inversión se consigue la posibilidad de conocer a tiempo real el comportamiento de los tirantes.

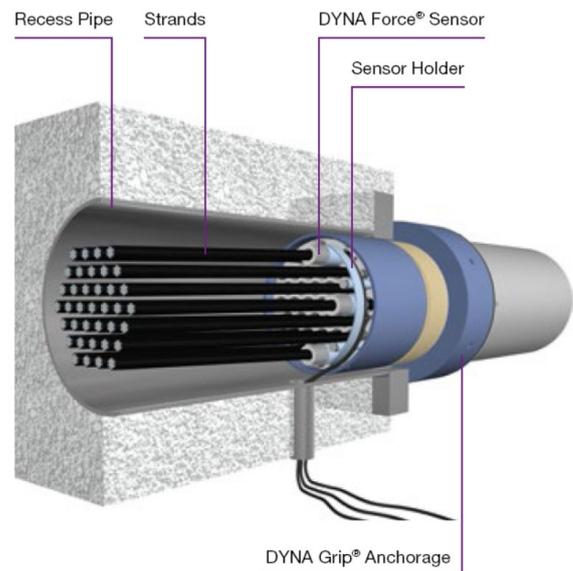


Figura 11. Sistema de monitorización mediante sensores elastomagnéticos DYNA Force®

5. Conclusión

En los últimos 50 años el desarrollo de las infraestructuras ha dado lugar a un gran patrimonio de estructuras que es necesario conservar como es el caso del Puente Internacional sobre el río Gadiana. Los trabajos de rehabilitación son muy importantes puesto que suponen una inversión destacable para poder alargar la vida útil de las estructuras. Para ello es primordial realizar un análisis detallado del estado del puente, un trabajo previo de auscultación del puente y definición de niveles de daño con los que se fije el procedimiento más adecuado para una reparación eficiente.

En este documento se presentan además de métodos de reparación avanzados, la posibilidad de sustituir todos los tirantes del puente con la adaptación a la geometría y el sistema de tirantes anterior.

Agradecimientos

A Conduril, Infraestructuras Portugal y el Ministerio de Fomento del Gobierno de España por apostar por la calidad de los trabajos y confiar en Dywidag para la realización de la sustitución de los tirantes.

Referencias

- [1] FIB, Acceptance of stay cable systems using prestressing steels. Bulletin No. 89, 2019.