

Sustitución de Tirantes Puente Edgar Cardoso en Figueira da Foz (Portugal)

Stay cable replacement at Edgar Cardoso Bridge in Figueira da Foz (Portugal)

Fernando Martínez Pérez-Beato^a, Duarte Abecasis^b y Jhonny Brito^c

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. DYWIDAG. Director de Proyectos. fernando.martinez@dywidag.com

^b Ingeniero Civil, MSc.. DYWIDAG. Gerente de Proyectos. duarte.abecasis@dywidag.com

^c Ingeniero Civil, MSc.. DYWIDAG. Gerente de Proyectos. jhonny.brito@dywidag.com

RESUMEN

El puente Edgar Cardoso en Figueira da Foz, Portugal, está siendo rehabilitado con la sustitución de sus tirantes. Este proyecto, iniciado en 2023, incluye la instalación de tirantes provisionales y definitivos, garantizando la estabilidad estructural durante todo el proceso. La transferencia de carga se realiza en múltiples etapas para evitar deformaciones significativas. Además, se implementa un sistema de monitorización para controlar las fuerzas en los tirantes y asegurar la integridad del puente.

ABSTRACT

The Edgar Cardoso Bridge in Figueira da Foz, Portugal, is undergoing rehabilitation with the replacement of its stay cables. This project, started in 2023, includes the installation of provisional and final stay cables, ensuring structural stability throughout the process. Load transfer is carried out in multiple stages to prevent significant deformations. Additionally, a monitoring system is implemented to control the forces in the stay cables and ensure the bridge's integrity.

PALABRAS CLAVE: Puente, tirantes, sustitución tirantes, monitorización, rehabilitación, transferencia.

KEYWORDS: Bridge, stay-cables, stay-cable replacement, monitoring, rehabilitation, load-transfer

1. Introducción

El puente Edgar Cardoso está situado en la ciudad portuguesa de Figueira da Foz y cruza el Río Mondego. Es un puente diseñado por el Ingeniero Edgar Cardoso y construido durante los años 1978 a 1982. El puente tiene una longitud total de 1421 m y una anchura de 20.6 m, con un tramo atirantado de tres vanos que cruza el río. El tramo atirantado tiene luces de 90 + 225 + 90 m.

En el año 2023 se iniciaron los trabajos de refuerzo y rehabilitación del puente. Estos trabajos incluyen la sustitución integral de los tirantes actuales, retenida vertical en vanos laterales y reparación del hormigón de los pilonos y pilas del puente.

Los trabajos de refuerzo y rehabilitación del puente fueron adjudicados por *Infraestruturas de Portugal* a la constructora portuguesa *Mota-Engil Engenharia e Construção*. El diseño ingenieril ha sido elaborado por *Armando Rito Engenharia*.



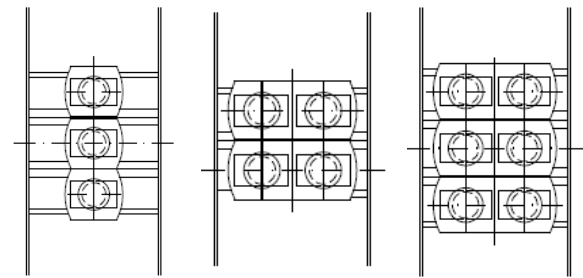
Figura 1. Vista general del puente atirantado [1]

2. Sistema de tirantes original

El sistema de tirantes de suspensión del tablero está formado por 12 pares de tirantes, en configuración de abanico, que tienen continuidad en sillas ubicadas en lo alto de las torres norte y sur. La sección de los tirantes está formada por alambres de acero galvanizado clase 1600-1860 MPa, de 5 mm de diámetro, dispuestos en paralelo. Cada tirante está confinado por un enrolamiento de alambre de acero galvanizado y pintado. Los 12 pares se pueden agrupar en tres conjuntos de cuatro pares, que tienen la misma longitud, sección, silla y anclaje:

- Tirantes largos, formados por 900 alambres;
- Tirantes medios, formados por 540 alambres;
- Tirantes cortos, formados por 390 alambres.

Al nivel del tablero los tirantes se subdividen en varios haces más pequeños (entre 3 y 6), estando cada uno de ellos anclados individualmente con anclaje fijo.



Tirante corto Tirante medio Tirante largo
Figura 2. Disposición de los anclajes de los tirantes originales.

En esta ponencia nos centraremos en los trabajos de sustitución integral de los 24 tirantes originales.

2. Sustitución del sistema de tirantes

La sustitución del sistema de tirantes se realiza teniendo en cuenta que no es posible desde un punto de vista estructural destesar un tirante original y luego instalar uno nuevo. “Perder” el soporte estructural de un solo tirante supone el

colapso completo del puente. Además, el tablero debido a sus características mecánicas no permite grandes deformaciones de este, con lo que la transferencia de cargas entre los tirantes originales y los nuevos debe ser en escalones de carga muy pequeños. Por otro lado, es muy importante garantizar pequeñas deformaciones del tablero al final de cada escalón de transferencia de carga, pues el puente se mantiene en servicio durante toda la intervención, cerrando solo durante el periodo nocturno.

De esta forma, la sustitución de los tirantes originales por tirantes definitivos de cordones paralelos se materializa con la instalación previa de parejas de tirantes provisionales de cordones paralelos. Con eso, para la sustitución de cada tirante hay primero que hacer una transferencia de carga del tirante original a una pareja de tirantes provisionales, y posteriormente de la pareja de tirantes provisionales al tirante definitivo.

La cantidad de escalones de carga por transferencia depende de la cantidad de alambres de los tirantes originales, así que para los tirantes cortos hay 10 escalones, para los medios 12 escalones y para los largos 20 escalones. Se lleva un día/noche para cada escalón de carga.

Entre las dos transferencias de carga (original → provisionales y provisionales → definitivo), hay que hacer ajustes profundos en la zona de anclaje del tablero, para acomodar los anclajes regulables de los tirantes definitivos, y, en lo alto de las torres, cambiar las sillas originales por cajas metálicas que acomoden los anclajes fijos de los tirantes definitivos.

En cada transferencia de carga se trabaja en cuatro tirantes en simultaneo, por lo que hay 12 fases de transferencia de carga: seis de tirantes originales a provisionales y seis de tirantes provisionales a definitivos. Cada una de estas seis fases se divide en dos para tirantes cortos, dos para tirantes medio y dos para tirantes largos.

En paralelo con las transferencias de carga en los tirantes largos, hay que primero tesar

(con la instalación de los tirantes provisionales), e después destesar (con la instalación de los tirantes definitivos), tirantes verticales de retenida (cuatro por cada estribo). Al final de la obra estos tirantes quedarán con una carga de 15% GUTS.

2.1 Transferencia de carga entre tirantes originales y tirantes provisionales

Los tirantes provisionales, de cordones paralelos, tienen igualmente continuidad en sillas instaladas en lo alto de las torres. En el tablero se utilizan anclajes tipo DYNA Grip® de Dywidag modificadas, sin incluir unidad de sellado y protección anticorrosiva, debido a su utilización ser solo durante algunas semanas/meses.



Figura 3. Sillas de los tirantes provisionales.



Figura 4. Anclajes de los tirantes provisionales en el tablero.

La cantidad de cordones en los tirantes provisionales varía entre 2x19 para los tirantes cortos y 2x45 para los tirantes largos, pasando por 2x27 para los tirantes medios.

Antes de empezar la transferencia de carga hay que remover el enrolamiento de confinamiento de los tirantes originales con ayuda de especialistas en trabajos verticales.



Figura 5. Remoción del enrolamiento de confinamiento de los tirantes originales.

Tras la remoción del enrolamiento y la instalación de los anclajes del tablero, se empieza con los escalones de transferencia de carga. La primera actividad es la instalación de los cordones provisionales, 6 unidades por cada escalón de carga, independientemente del tipo de tirante. Esto es un trabajo que se hace durante el día, con cada cordón instalado individualmente, y directamente a partir de la devanadora. El cordón sube por un lado del pilono, pasa por la silla y baja del otro lado del pilono. En esta operación se utilizan dos cabrestantes eléctricos y una enfiladora hidráulica. Durante su instalación se dejan los cordones con una carga de 10 kN.

El tesado de los cordones provisionales a su carga final ocurre por la noche durante el corte de tráfico. Tras el tesado se inicia el corte y la remoción de los alambres de los tirantes originales. El corte de los alambres se hace en la torre junto a la silla, con el objetivo que cada alambre cortado se suelte de ambos lados de la silla del haz de alambres y caiga al tablero. Ya en el tablero los alambres cortados son removidos de la zona de trabajo y enrollados. Por cada escalón se remueven aproximadamente 39 alambres por tirantes en los tirantes cortos y 45 alambres por tirantes en los tirantes medios y largos.



Figura 6. Instalación de los cordones provisionales.

En los últimos escalones de transferencia de carga no se ha previsto la instalación de cordones provisionales, pero conseguir el incremento de carga a través de un retesado de todos los tirantes en simultaneo.



Figura 7. Remoción de alambres cortados.



Figura 8. Tesado de tirante de retenida.

2.2 Transferencia de carga entre tirantes provisionales y tirantes definitivos

Los tirantes definitivos son del tipo DYNA Grip[®], con anclaje regulable en el tablero y anclaje fijo en las torres. El tamaño de los anclajes es de 37 para los tirantes cortos, 61 para los tirantes medios y 109 para los tirantes largos. Se instalan 200 toneladas de cordón de 15.7 mm de diámetro, 150 mm² de sección grado 1860 MPa. El cordón está protegido mediante cera y el enfundado individual con PE extruido (especificación estándar del *fib* Bul. 89).

El sistema de tirantes está diseñado para alcanzar una vida útil de 100 años, lo que presupone seguir el plan de mantenimiento respectivo.

La transferencia de carga empieza con la instalación y tesado de los cordones definitivos uno a uno, en ambos lados de la torre, utilizando una enfiladora hidráulica. Por cada escalón se instalan entre 4 y 7 cordones definitivos y se destesan entre 4 y 6 cordones provisionales. Las cantidades de cordones a instalar y remover pueden ser ajustadas en obra función del comportamiento real del tablero. Igual a las transferencias entre tirantes originales y provisionales, en este caso también no se instalan cordones definitivos en los últimos escalones de transferencia de carga, siendo el incremento de carga hecho a través de un retesado de todos los tirantes en simultaneo

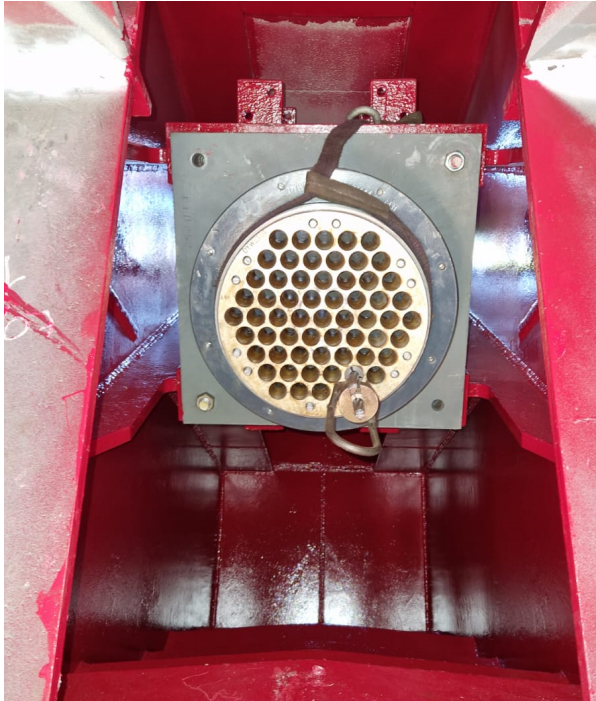


Figura 9. Anclaje regulable del tablero.



Figura 10. Anclajes fijos en la torre.

El proceso de instalación de los tirantes definitivos se inicia con la soldadura sobre el tablero de la vaina global. Una vez soldada la vaina a la longitud prevista y la colocación de resto de piezas que conforman el conjunto vaina global, tubo telescópico y demás elementos de protección, se enfilaba el primer cordón (cordón de referencia)

Con el primer cordón enfilado, la vaina y demás elementos ya premontados se eleva por el extremo del pilono con la ayuda de una grúa móvil.

El cordón de referencia se introduce por el bloque de anclaje de la torre y se ancla en el anclaje fijo con su cuña. En ese momento, los operarios en el tablero pueden acercar el otro extremo de la vaina al anclaje del tablero. Cuando se ha acercado una distancia adecuada el extremo inferior del cordón de referencia al anclaje regulable, este se asegura con otra cuña de acero. Una vez que ambos extremos del cordón de referencia se han asegurado mediante cuñas, se repite el proceso con el resto de los cordones.

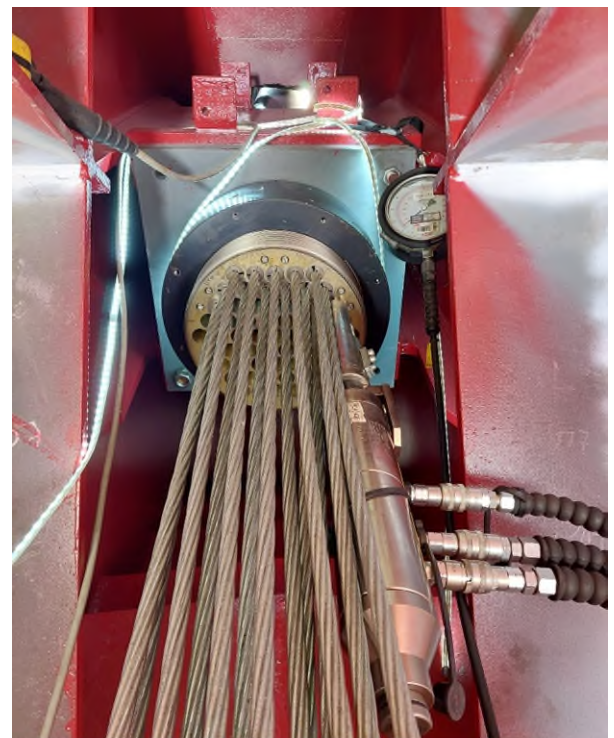


Figura 11. Operación de tesado utilizando el sistema ConTen.

Debido al corte de alambres en los tirantes originales, y el riesgo de dañar la vaina global de tirantes ya instalados, es necesario protegerla. Para eso se utilizan unas mangueras de fibra de vidrio reforzadas con una espiral en acero. Estas mangueras son removidas al final de todas las transferencias de carga durante el cierre de los tirantes.

Para mitigar el riesgo de vibración, en los tirantes definitivos medios y largos se instalan amortiguadores viscosos externos.



Figura 12. Tirante definitivo con la manguera de protección.

2.3 Monitorización de fuerzas en los tirantes durante las transferencias de cargas

Durante las transferencias de carga es necesario no solo controlar diariamente las deformaciones del tablero y de las torres a través de topografía, pero también las fuerzas en la totalidad de los tirantes provisionales y definitivos. Para esa monitorización se utiliza el sistema DYNA Force®, que mide las fuerzas en cordones

individuales gracias a la variación de la permeabilidad magnética del acero del cordón debida a los cambios en las tensiones en este. El sistema tiene una precisión en la medida de hasta el 2% del fondo de escala y no necesita de contacto directo con el acero del cordón, permitiendo mantener el sistema protección del acero sin necesidad de ser retirado.

En cada pareja de tirantes provisionales se instalan dos sensores (uno por cada sub-tirante) junto al anclaje del tablero. Las lecturas de fuerza en esos sensores se hacen utilizando una unidad de lectura portátil.



Figura 13. Medición de fuerza en los tirantes provisionales.

En cada tirante definitivo se instalan tres sensores junto al anclaje de la torre. Todos los sensores de cada una de las dos torres están conectados a un armario que incluye una unidad de lectura, *multiplexers*, modem, antena y batería de *backup*. Esto permite tener un sistema automático de lectura de fuerzas con envío de información a un servidor y la utilización de una plataforma de visualización de datos. De esa forma se garantiza una redundancia en el sistema tanto respecto al suministro de energía, como a la medición de fuerzas en caso de fallo de energía o avería de algún sensor individual.



Figura 14. Sensores DYNA Force® instalados en un anclaje.

Agradecimientos

IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.

Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

Armando Rito Engenharia, S.A.