

# Reparación del sistema de tirantes del viaducto de La Arena, Muskiz, Vizcaya

*Rehabilitation of La Arena Bridge stay cable system, Muskiz, Biscay*

Zigor Gómez Gómez<sup>a</sup>, Nicolas Trotin<sup>b</sup>, Txomin Echeveste<sup>c</sup>, Pedro Sancho González<sup>d</sup>, Pablo Vílchez Motino<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Ingeniero de camminos, canales y puertos, departamento técnico, Freyssinet SAU

<sup>b</sup>Ingeniero industrial, departamento técnico, Freyssinet SAU

<sup>c</sup>Ingeniero civil, jefe de obra, Freyssinet SAU

<sup>d</sup>Ingeniero técnico de obras públicas, delegado zona norte, Freyssinet SAU

<sup>e</sup>Ingeniero industrial, director departamento técnico, Freyssinet SAU

## RESUMEN

El viaducto de La Arena, inaugurado en 1992, con tecnología de tirantes de cordones paralelos (PSS), con cordones con triple barrera de protección y sin vaina global, dispone de 72 tirantes de 37 cordones de 0,62” de diámetro, con los anclajes activos en el tablero y los pasivos en los mástiles. Freyssinet, como especialista en el sistema de tirantes, participó en la inspección con boroscopio de la zona interna de los anclajes y restitución de la protección, reparación de los desviadores, sustitución completa del tirante P5-2A, sustitución de 208 cordones en otros tirantes, ajuste de fuerzas de tirantes y la instalación de una vaina global en semi cáscaras continua y sus elementos de conexión en todos los tirantes.

## ABSTRACT

*La Arena Bridge* was opened to traffic in 1992. Its stay cable technology is parallel strand system (PSS). The bridge has 72 stay cables, each with 37 autoprotected strands and no outer duct, with the active anchorage located at the deck and the passive anchorage at the pylon. Freyssinet, as a specialized company, has participated in the wax removal and inspection of the lower anchorages, the repair of the deviators, the replacement of the P5-2A stay cable, the replacement of 208 strands as a partial replacement on several cables, cables forces adjustments and the installation of a half shell outer duct, developed specifically for this project, that would prevent the water from reaching the lower anchorage zone

**PALABRAS CLAVE:** sustitución de cordones, tirantes, vaciado de anclajes, vaina global

**KEYWORDS:** strand replacement, stay cables, wax removal, global duct

## 1. Descripción de la estructura

El viaducto de La Arena, ubicado en la desembocadura del río Barbadún en la autovía que une Bilbao y Santander, fue puesto en servicio en 1992. Se trata de una estructura continua de 666,90 m de longitud dividida en 7

vanos. Los 2 vanos de acceso tienen una longitud entre apoyos de 70,20 metros y los 5 vanos centrales tienen una longitud de 105,30 metros, siendo todos atirantados. Los 6 mástiles cuentan con 12 tirantes dispuestos simétricamente de

forma que hay 6 tirantes a cada lado, en un solo haz centrado sobre el tablero.



**Figura 1. Vista general**

La tecnología de tirantes existente es del tipo sistema de cordones paralelos (PSS). Cada tirante está formado por 37 cordones de 0.62” de diámetro, con los anclajes activos en el tablero y los pasivos en los mástiles. El sistema de tirantes consta de cordones paralelos con triple barrera de protección como son el galvanizado, la cera de relleno de intersticios y la vaina individual. Los tirantes originales no tienen vaina global.

El proyecto de rehabilitación se realizó a raíz de las campañas de inspección previas llevadas a cabo por Freyssinet, donde se detectaron las patologías en el sistema de tirantes que fueron objeto de reparación.

## **2. Trabajos realizados y patologías observadas**

### ***2.1 Vaciado de anclajes inferiores***

Los capots de los anclajes del viaducto de La Arena están rellenos de cera petrolífera que protege la sobrelongitud de cordones y las cuñas de anclaje. La sobrelongitud de los cordones sobre el bloque no está protegida por polietileno de alta densidad (PEAD), ya que éste se retira en una cierta longitud para que el cordón pueda pasar a través del bloque y anclarse mediante cuña, pero debe entrar al menos a la zona interna del anclaje, llamada prensa estopa, que también se rellena mediante la inyección de cera.

El vaciado de la cera de los anclajes es un método patentado por Freyssinet. La cera a temperatura ambiente se muestra en estado sólido, por lo que para evacuarla se funde mediante cinturones calentadores abrazando el capot. Una vez fundida la cera, basta con abrir la purga inferior del capot para retirarla del interior del capot y del anclaje.

Al estar a menos de 1 km del mar cantábrico y de una refinería, y teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas de la zona, el ambiente al que están sometidos los distintos elementos de los tirantes se considera muy agresivo. Durante las primeras inspecciones realizadas mediante boroscopio, se constató que, si bien se conseguía evacuar la cera mediante ese método, en algunos anclajes se quedaba adherido a los cordones suciedad, herrumbre y óxido impidiendo la correcta visualización de los cordones. La existencia de estos restos es debido a que no existía ninguna barrera que evitara la entrada de agua y suciedad al tubo de encofrado a través de los cordones. Los desviadores existentes en el tubo guía son un elemento de desgaste debido al continuo movimiento de los tirantes. Su desgaste implica que no puedan realizar correctamente su función y que al prensa estopa del anclaje lleguen mayores vibraciones provocando paulatinamente su deterioro. La cantidad de restos remanentes encontrado sobre los cordones fue función del grado de afectación de los desviadores, el grado de corrosión del tubo de encofrado y el grado de deterioro del prensa estopa de cada anclaje.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el objetivo de poder inspeccionar mejor los cordones, se decidió acometer una variante al procedimiento, consistiendo en la realización de recirculaciones de cera, es decir, con el capot instalado y la cera fundida, se evacuaba la cera y se reinyectaba durante varios ciclos. Este método resultó ser muy efectivo logrando retirar en muchos casos los restos adheridos a los cordones y posibilitando una inspección del

estado de conservación de forma global en el interior del prensa estopa.



Figura 2. Cámara del prensa estopa tras vaciado de cera

## 2.2 Inspección del anclaje inferior

La inspección del anclaje inferior se dividió en dos fases. En la primera, al retirar el capot se inspeccionó visualmente la sobrelongitud de cordones y las cuñas, registrando las eventuales patologías como hilos centrales desplazados, cordones sin tensión, cuñas desplazadas y cualquier evidencia de corrosión.

En la segunda fase, de cara a tener una inspección más detallada, se procedió a la inspección del interior de la cámara del prensa estopa de los anclajes mediante la introducción de la sonda de un boroscopio por los orificios de inyección del anclaje. Esta inspección permitió obtener una visión global del estado de los cordones registrando las eventuales pérdidas de la protección de zinc en los cordones, pérdidas de sección importantes y rotura de hilos.

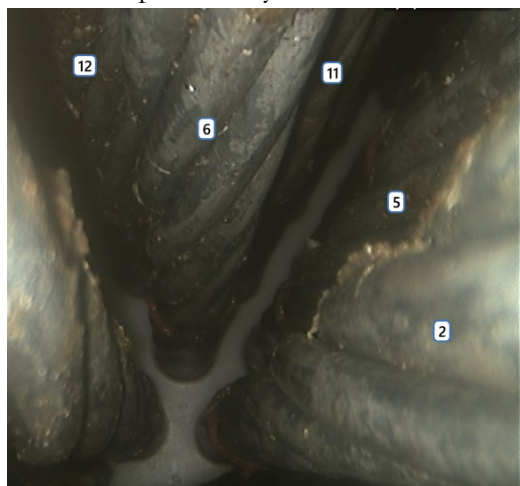


Figura 3. Inspección mediante boroscopio

La Dirección de Obra tras analizar las inspecciones y visualizar el estado de algunos cordones, decidió ampliar la cantidad de cordones a sustituir prevista en proyecto.

De cara a aumentar el grado de inspección y obtener información adicional sobre el estado de conservación de la zona del anclaje inferior para las inspecciones futuras, se realizó una ventana en el tubo de encofrado o cajón de anclaje (distinta tipología de zona de anclaje en función de si el tirante es par o impar) para visualizar los cordones a la salida del prensa estopa y en toda la longitud del tubo de encofrado. Además, esta ventana sirve como punto de purga adicional en caso de que llegue agua al interior del tubo de encofrado o cajón de anclaje.

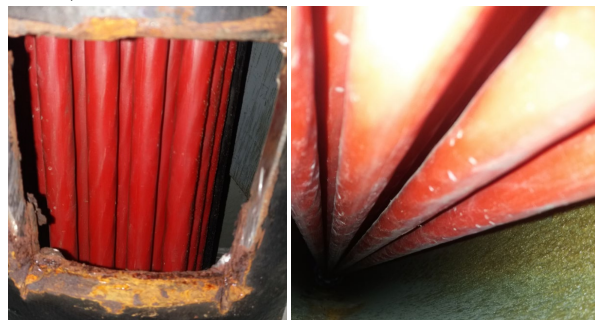


Figura 4. Detalle de ventana de inspección

## 2.3 Sustitución de cordones

La tecnología de tirantes de Freyssinet instalada en el viaducto de La Arena, permite la sustitución de cordones de forma individual, lo que supone una gran ventaja tanto a nivel productivo como económico. Debido al procedimiento de sustitución, no es necesario el uso de maquinaria pesada ni la realización de cortes de tráfico.

Inicialmente el proyecto contemplaba la sustitución completa del tirante P5-2A y la reposición de los cordones deteriorados o rotos detectados en las campañas de inspección previas, en los tirantes P2-1B (1), P4-4A (1), P4-3B (1) y P3-2A (1). Es decir, estaba prevista la sustitución de 41 cordones. En el pliego se incluyó la posibilidad de cambiar 10 cordones

más en función de las patologías detectadas en los cordones tras la inspección con boroscopio.

Tal y como se ha comentado anteriormente, tras las inspecciones realizadas, la Dirección de Obra determinó que los 10 cordones adicionales previstos en proyecto no eran suficientes y decidió sustituir todos los cordones en los cuales se encontraran patologías como, por ejemplo, los hilos centrales desplazados, hilos rotos y pérdidas de sección importantes. Finalmente, se sustituyeron 42 cordones en el mástil 1, 29 cordones en el mástil 2, 32 cordones en el mástil 3, 43 cordones en el mástil 4 y 99 cordones en el mástil 5, para un total de 245 cordones.

Las sustituciones parciales en los tirantes se realizaron retirando bloques de máximo 6-7 cordones al mismo tiempo, para que una vez retirados estos y antes de instalar los nuevos, los cordones que permanecían instalados no superaran la carga máxima previamente establecida por la dirección de obra.

En la sustitución completa del tirante P5-2A, se realizaron dos operaciones a la vez: sustitución de cordones y destesado parcial del tirante ya que previo al inicio de la operación la fuerza existente en el tirante era superior al límite normativo del 45% GUTS [1]. Esta novedosa operación, cambio de cordón con isotensión® y destesado simultáneo, se llevó a cabo por bloques de cordones al igual que en las sustituciones parciales. Salvo en el bloque final que se retiraron 7 cordones, y en dos bloques intermedios que se retiraron 6, la sustitución se realizó en bloques de máximo 5 cordones. Previo a la retirada del primer bloque de 6 se sustituyeron todos los bloques de 5 posibles para reforzar el tirante con nuevos cordones.

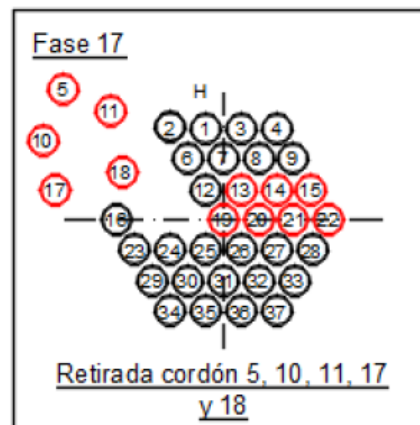


Figura 5. Fase 17 de sustitución de cordones. En negro cordones ya sustituidos y en rojo cordones pendientes de sustituir.

El primer cordón que se sustituyó fue el número 2, cordón en el cual se instaló una célula de carga que sirvió de referencia para todo el proceso de sustitución fijando la fuerza final de todos los cordones. Para poder realizar el destesado a la vez que el cambio de cordones, la fuerza de tesado del cordón 2 fue inferior a la que tenía previamente. El procedimiento de tesado de los cordones nuevos fue la isotensión®, ya que este no es sensible a la variación de las cargas durante el proceso de tesado. De esta forma, al instalar el resto de los cordones por isotensión®, la fuerza de instalación de estos se iguala con la marcada por la célula de carga del cordón 2 en cada momento, logrando en una sola operación la sustitución de cordones y el destesado parcial del tirante. A continuación, se adjunta una tabla resumen de las fuerzas de referencia durante el proceso.

Tabla 1. Fuerzas en cordones durante la sustitución de anclaje P5-2A

Fuerza	Fuerza (kN) cordones existentes	% GUTS cordones existentes	Fuerza (kN) cordones nuevos	% GUTS cordones nuevos
Inicial	148	53	107	0
Máxima	157	56	116	42
Mínima	148	53	107	38
Final	0	0	112	40

Todas las operaciones de sustitución de los cordones ya fueran parciales o totales como en el caso del tirante P5-2A, fueron realizadas sin



afectación al tráfico. No se realizaron cortes de carril para realizar estas operaciones. Debido a ello, se extremaron las precauciones mediante la instalación de una barrera de seguridad en forma de anillas en toda la longitud del tirante, de forma que, ante cualquier imprevisto durante las operaciones, los cordones no se precipitaran a la calzada.



**Figura 6. Detalle malla de seguridad**

Una vez realizadas las sustituciones de cordones y tras llevar a cabo mediciones de fuerza en los tirantes mediante el método de la cuerda vibrante y gato anular, se realizó un ajuste de carga en los tirantes que la Dirección de Obra consideró que presentaban diferencias considerables de fuerza respecto a los valores teóricos. De esta forma se estableció un reparto de carga más equilibrado entre los tirantes. Los ajustes se realizaron mediante un gato anular que se conecta al bloque y reacciona sobre la placa de apoyo del tirante.

#### ***2.4 Aplicación de inhibidor de corrosión e inyección de cera***

Una vez finalizada la sustitución de cordones en cada tirante y como una medida adicional de protección frente a la corrosión, se aplicó un producto inhibidor de corrosión en la sobrelongitud de cordón sobre el bloque y en el tramo de cordón desnudo que se encuentra en el interior de la cámara del prensa estopa. La inyección del producto se realizó por el orificio de purga superior del anclaje mediante una aguja

con taladros radiales, para impregnar con el producto el mayor número de cordones posibles, por si durante la inyección el llenado del anclaje no fuera completo. El producto se adhiere al instante al acero al entrar en contacto con él, pero es necesario esperar al secado de este para proceder a la inyección de cera. Pasado el periodo de secado del producto, se procedió a la inyección de cera. Mediante estas dos operaciones se consiguió restablecer la protección de los elementos en el interior del capot y del anclaje.

#### ***2.4 Reparación de desviadores***

Los desviadores son un elemento del sistema de tirantes ubicado en el interior de los tubos guía mediante el cual se consigue evitar que las vibraciones del tirante lleguen al anclaje inferior. Al estar continuamente sometidos al movimiento de los tirantes, son un elemento de desgaste. En las campañas de inspección realizadas previamente al proyecto de rehabilitación, se detectaron de forma generalizada patologías en estos, por lo que se decidió proceder a la reparación de todos los desviadores.

Los desviadores son los elementos que compactan el haz de cordones. Además, contienen 6 tacos de neopreno confinado que están en contacto con el tubo guía para evitar que las vibraciones lleguen al anclaje. El desgaste de estos elementos consiste en su endurecimiento, fisuración, deformación etc. La reparación de los desviadores consistió en la sustitución de los tacos de neopreno, saneado de las zonas con oxidación y sustitución de tornillería.

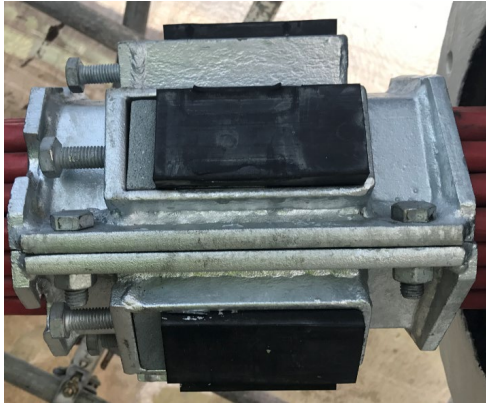


Figura 7. Desviador reparado

## 2.5 Vaina global continua

La vaina global en dos semi cáscaras se instala en puentes atirantados en servicio que no cuentan con vaina global en origen. Consta de dos semi cáscaras de 3 metros de longitud. La instalación de las vainas se realiza exclusivamente desde el tablero, siendo necesaria la instalación de un sistema de poleas para el izado de la vaina, pero sin necesidad de cortes de carril. Cada tramo de media vaina se une con la otra mitad rodeando el haz de cordones y ambas mitades se encajan mediante un clip de sujeción. A continuación, el tramo se conecta al cable de izado y se levanta hasta una altura igual a su longitud. Después, se monta otro tramo de vaina, se conecta al cable y se levanta, y así sucesivamente. Cada tramo de vaina se solapa unos centímetros sobre el tramo inferior (empalme tipo tulipán).



Figura 8. Vaina en semi cáscaras estándar de Freyssinet

La función principal de la vaina estándar es proteger a los cordones frente a radiaciones ultravioleta, dotar de estabilidad aerodinámica al tirante mediante la reducción de vibraciones y evitar la entrada masiva de agua en el tubo de

encofrado. Debido al estado de conservación del tubo de encofrado y a que las purgas ubicadas en estos no eran eficaces, la Dirección de Obra solicitó que se evitara la entrada de agua en la zona de anclaje inferior. Tras semanas de desarrollo, se consiguió una vaina global continua mediante la soldadura a espejo de los distintos módulos de 3 metros, hasta conseguir la longitud total del tirante. Se suprimió la campana que posibilitaba el empalme de un módulo de tres metros con el otro y se diseñaron piezas de conexión de la vaina con el tubo antivandálico y del tubo antivandálico con el tubo guía y el dado de hormigón. De esta forma se evitó cualquier mínima entrada de agua en el tubo de encofrado a través de la vaina y se obtuvo una vaina continua como la que se instala en los puentes atirantados de nueva construcción. De la misma forma, fue necesaria la instalación de un tubo telescópico que se conectó al tubo guía superior en el mástil para permitir la dilatación de la vaina.

Las dos mitades se extendieron a lo largo de la mediana apoyándose en los dados de hormigón para evitar daños durante la instalación. Las dos mitades de la vaina se conectan por encima del tubo antivandálico por tramos de dos metros aproximadamente. Se aproximan con la ayuda de eslingas ajustables hasta que se consiguen machihembrar ambas mitades. El tramo conectado se eleva y se conectan los sucesivos tramos. Una vez conectada toda la vaina se instala la pieza de conexión con el tubo antivandálico y se desciende la vaina hasta que encaja en la citada pieza. Con la instalación del tubo telescópico anclado al tubo guía superior, la vaina continua, la pieza de transición de vaina con el tubo antivandálico y la pieza de transición del tubo antivandálico y el tubo guía inferior, se consigue el efecto teja evitando que el agua penetre en el interior del tubo de encofrado y llegue a la zona de anclaje.



**Figura 9. Instalación de vaina global**

En el diseño estándar, los distintos módulos son sustituibles posibilitando la inspección de los cordones en altura o sustitución de los módulos en caso de deterioro. En este diseño, en cambio, no lo son. No obstante, la inspección de cordones se realiza como en los puentes de nueva construcción: levantando el tubo antivandálico creando una ventana de trabajo para visualizar los cordones a nivel del tablero.



**Figura 10. Vaina en semi cáscaras continua**

### 3. Conclusiones

La tecnología de tirantes original del viaducto de La Arena no es la vigente. No obstante, esta tecnología de tirantes de Freyssinet permite su inspección, mantenimiento, actualización y sustitución parcial o total sin afectaciones importantes al tráfico.

Tras las actuaciones llevadas a cabo en el Viaducto de La Arena, se han paliado las patologías detectadas en la estructura debido al paso del tiempo y las condiciones atmosféricas desfavorables a las que está sometida.

La instalación de la vaina global continua en toda la longitud y todos sus elementos de conexión ha logrado la eliminación de la entrada de agua (con sustancias químicas procedentes del mar e industria cercana) en la zona de anclaje evitando la principal causa de inicio de procesos de corrosión. Además, se han reducido las vibraciones en los tirantes por el efecto viento-lluvia, por lo que los nuevos desviadores recibirán menores solicitaciones y así mismo los prensa estopa sufrirán menores vibraciones. Adicionalmente, con la sustitución de cordones dañados, la aplicación del inhibidor de corrosión sobre los cordones en el anclaje inferior y la inyección de cera petrolífera nueva, se renuevan las protecciones colectivas en la zona de anclaje, se ralentizan los procesos de corrosión ya iniciados y se impiden nuevos.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el objetivo de alargar la vida útil de los tirantes de la estructura, se recomendó la continuación de las campañas de inspección periódicas iniciadas años atrás, para detectar prematuramente las eventuales patologías y proceder a un mantenimiento con el menor impacto estructural y económico posible.

## ***Referencias***

- [1] fib bulletin 30 - Recommendations for the Acceptance of Stay Cable Systems, using Prestressing Steels, fib, Switzerland, 2005
- [2] Manual de Tirantes, ACHE, España, 2007.
- [3] PTI DC45.1-12, Recommendations for stay cable design, testing and installation, 2012
- [4] Recommendations of French interministerial commission on Prestressing, 2002