

# Nuevas técnicas de atirantado en la ampliación del Puente de Rande

## *New stay-cable techniques on the widening of Rande Bridge*

Jorge SÁNCHEZ DE PRADO<sup>a</sup>, Nicolas TROTIN<sup>b</sup>, María Espino MONEDERO GARCÍA<sup>c</sup> y Zigor GÓMEZ GÓMEZ<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Ing. de Caminos, C. y P., Freyssinet España, Director de estructuras cableadas, jorge\_s@freyssinet-es.com.

<sup>b</sup> Ing. Industrial, Freyssinet España, Departamento técnico, nicolas\_t@freyssinet-es.com.

<sup>c</sup> Ing. de Caminos, C. y P., Freyssinet España, Jefa de obra, maría\_m@freyssinet-es.com.

<sup>d</sup> Ing. de Caminos, C. y P., Freyssinet España, Departamento técnico, zigor\_g@freyssinet-es.com.

### RESUMEN

En el año 2010, con intensidades de tráfico cercanas a la capacidad efectiva de la estructura se aprueba la ampliación del Puente de Rande colocando un carril adicional a cada lado del puente existente. La ampliación del puente debía aprovechar la capacidad resistente del puente original y realizarse con tráfico, garantizando la consecución de las fechas contractuales para lo que hubo que instalar un total de 918 toneladas de tirantes en 6 meses, de las cuales, 411 toneladas en tan sólo 3 semanas. Freyssinet ha demostrado su capacidad técnica y productiva para adaptarse a los retos que la obra planteaba.

### ABSTRACT

During the year 2010, the widening project of Rande Bridge, where the traffic intensity almost reached the effective capacity of the structure, was approved. The design consisted in attaching two additional metallic decks connected to the existing one. The deck extension needed to comply with the original capacity of the structure and its implementation be done under traffic. In addition, the need to achieve the contractual deadlines required the installation of 918 tonnes of stay cable steel in 6 months, of which, 411 tonnes where installed in only three weeks. Freyssinet has proved its technical and productive technical capacity to adapt to the challenges proposed by this project.

**PALABRAS CLAVE:** ampliación puente atirantado, con tráfico, cargas, giros, diseño de amortiguadores.

**KEYWORDS:** stay cable bridge widening, work under traffic, loads, rotations, damper design.

## 1. Los tirantes del puente de Rande

La ampliación del puente de Rande ha sido un proyecto pionero que ha requerido una alta versatilidad de todas las empresas involucradas para superar con éxito los retos que planteaba su ejecución.

El Puente de Rande, sobre la ría de Vigo, ya fue en su concepción el segundo puente atirantado de mayor luz del mundo (400 metros), convirtiéndose desde su inauguración en una estructura emblemática para la ciudad de Vigo y estratégica, ya que comunica la frontera de Portugal con el norte de Galicia. Por ello, uno de los principales condicionantes de la obra ha sido que no se podía interrumpir el tráfico rodado durante los trabajos de la ampliación.

El proyecto de ampliación ha consistido en adosar dos tableros independientes a cada lado del puente unidos a éste mediante conexiones articuladas, ver Figura 1. Estos tableros se construyeron por medio de dovelas de 80t de peso que se elevaron mediante dos carros de izado, uno superior trasero, convencional en puentes de voladizos sucesivos, y el otro suspendido del tablero existente, para aprovechar la capacidad estructural del puente ya construido. Esta opción permitió repartir el peso de las dovelas entre ambos tableros, emplear equipos más ligeros y un mejor control geométrico.



Figura 1



Además, cada dovela está unida a las torres ampliadas por medio de tirantes HD de Freyssinet. Los nuevos tirantes reproducen la alineación exacta de los existentes de forma que ambos conjuntos sean paralelos y homogéneos, ver Figura 2.

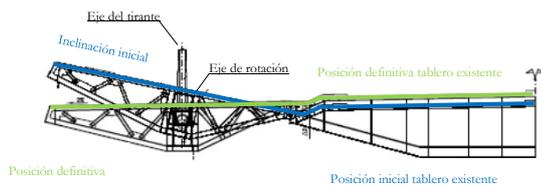
Las unidades de los tirantes varían desde los 44 hasta los 91 cordones por tirante y el acero empleado es tipo Monostrand® de Freyssinet.

## 2. Ventajas e innovaciones en proyecto

Las ventajas de los tirantes descritas a continuación están relacionadas con la redacción del proyecto puesto que acotan los límites superiores e inferiores del sistema, tanto de cargas como de giros, y el posterior comportamiento en servicio de la estructura.

### 2.1 Rango de tensiones y giros

El ciclo tipo de trabajo se desarrolló de manera que la dovela se izaba hasta su posición y se conectaba al tablero existente mediante conexiones rotuladas, posteriormente, se alineaba con la dovela anterior y se soldaba. Una vez completado cierto porcentaje de esa soldadura se instalaba el tirante a una carga mínima, de unos 30kN/cordón, se hormigonaba la losa y se retesaba el tirante.



**Figura 3**

Al estar los tableros transversalmente rotulados, se producían giros en los anclajes de más de 50mrad durante ese ciclo, ver Figura 3. Esas desviaciones angulares añaden tensiones de flexión a los cordones, pero además pueden dañar otros elementos como son la protección de los cordones o la estanqueidad de los anclajes.

Estos giros, debido al filtro de desvío© incorporado al anclaje HD de Freyssinet, se pudieron asumir sin necesidad de colocar elementos auxiliares, ver Figura 4.



El propio anclaje limita la desviación angular guiando individualmente cada cordón con un radio preconcebido, independientemente del ángulo global, y garantizando que el cordón entra ortogonalmente en el bloque de anclaje y no daña ningún otro elemento. En particular, evita que las vibraciones alcancen la zona de cuñas.

En relación con el resto de fuentes de desvío angular convencionales, como son las tolerancias de construcción o las variaciones angulares debidas a las cargas vivas y/o dinámicas en los tirantes, al ser menos restrictivas que la anterior no necesitaron ajustes.

Por otro lado, en el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares del Proyecto se requería un control de los efectos de la flexión en el anclaje para poder alcanzar tensiones en servicio del 50% de la capacidad última del tirante, frente al 45% de otros sistemas, lo cual permitió: un mayor aprovechamiento de los materiales, con el consiguiente ahorro de acero; y una reducción de los tiempos de ejecución, ya que se permitía un amplio rango de fuerzas (30kN/cordón-139.5kN/cordón) concomitante con unos giros elevados; y una reducción de las fases de instalación de cada tirante y del número de ajuste de cargas.

## 2.2 Amortiguadores

Los tirantes HD de Freyssinet, como se ha comentado, no precisan elementos auxiliares durante la construcción, pero tampoco necesitan desviadores durante su puesta en servicio. La colocación de un desviador crea un punto fijo en el tirante mientras que los amortiguadores viscosos, para disipar energía, precisan poder desplazarse y su eficiencia se incrementa con la distancia desde el punto fijo por lo que la colocación de ambos elementos en un mismo punto es incompatible.

Los sistemas de amortiguamiento sirven para reducir las vibraciones de los tirantes limitando su amplitud y reduciendo el número de ciclos a los que se ven expuestos y, por consiguiente, aumentando su vida útil. La eficiencia de cada tipo de amortiguador, su carrera y sus parámetros de viscosidad se ajustan en función del peso, la longitud, el ángulo y la tensión de cada tirante.

En la ampliación del Puente de Rande se colocaron 2 tipos de amortiguadores, los amortiguadores hidráulicos IHD y los amortiguadores radiales IRD.

Los amortiguadores IRD están formados por 3 pistones dispuestos a 120° pero en el caso de este proyecto tuvieron que ser rediseñados

para evitar interferencias con el pretil agrupando los tres pistones en un mismo sector de 120°, ver Figura 5, en una ingeniosa solución que no alteraba el eje de trabajo del pistón desplazado y, por tanto, el funcionamiento del conjunto. Con esta novedosa solución cualquier movimiento del haz de cordones activa los tres pistones.

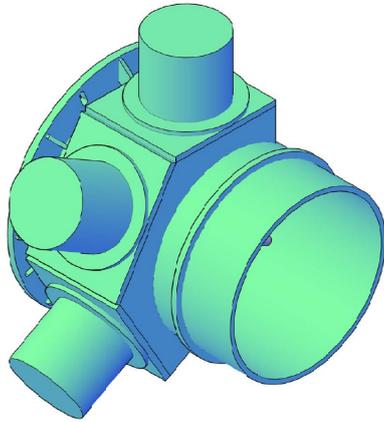


Figura 5

### ***2.3 Instalación de tubos de encofrado y guía para giros de servicio***

Para poder asumir esos giros transversales durante el proceso constructivo el resto de los elementos del tirante en el tablero debía tener unas dimensiones compatibles. Por ello, los diámetros de los tubos de encofrado debían ser amplios de manera que los cordones no llegaran a topar con los mismos.

Sin embargo, puesto que estos giros sólo se producían durante la construcción y que la presencia de equipos y materiales sobre la dovela limitaban el espacio de trabajo, se propuso la instalación de los tubos de encofrado en dos piezas una vez terminados los tableros de ampliación, consiguiendo un centrado óptimo, sin necesidad de tolerancias por alineación o fabricación, y una dimensión suficiente para absorber únicamente los giros en servicio, ver Figura 6.



De igual manera los tubos guía debían ser compatibles con los tubos de encofrado y también se fabricaron en dos piezas, ver Figura 7.



Figura 7

### ***2.4 Barreras de protección***

Los tirantes de la ampliación están dotados de 4 barreras de protección según los últimos estándares de calidad reflejados en las principales recomendaciones internacionales [1,2].

La longitud libre del cable se compone de un haz de cordones paralelos tipo Monostrand® formados por siete hilos galvanizados. Además, los intersticios entre los hilos están rellenos de cera y el conjunto envuelto en una vaina de polietileno de alta densidad (PEAD) semiadherente extruida directamente sobre el cordón. Por último, el haz de cordones está envuelto por una vaina global estanca de PEAD formada por 2 capas coextrusionadas, la interior negra que le confiere sus características

mecánicas, y la exterior de color resistente a las radiaciones UV.

## ***2.5 Inspección y durabilidad***

Se ha aprovechado la ampliación del Puente de Rande para, además, mejorar la gestión del mantenimiento. Se han suministrado carros de inspección y mantenimiento para los anclajes del tablero principal y la longitud libre de los tirantes, se han previsto accesos para los anclajes en cajones y torres y se ha dotado de iluminación y tomas de corriente a las zonas de trabajo.

Además, las placas de los anclajes inferiores tienen ranuras para drenar el agua que se pudiera acumular en los tubos de encofrado. Todos los elementos han sido tratados tanto exterior como interiormente contra la corrosión. Los tubos guía permiten inspeccionar los amortiguadores y tubos de encofrado sin necesidad de ser desmontados y su diseño impide la acumulación de agua.

## ***2.6 Durabilidad de los tirantes originales***

La ampliación del puente lleva aparejada una extensión de la vida útil de la estructura completa. Por tanto, se ha redactado, y dotado presupuestariamente, un plan de inspección y mantenimiento para poder conservarla.

En relación con los tirantes originales, el proyecto de ampliación consigue que la incidencia de las acciones procedentes de este descargue los tirantes del tablero existente, cambiando su amplitud de tensiones y mejorando su comportamiento a fatiga.

Además, desde su puesta en servicio estos tirantes se están inspeccionando periódicamente, registrando la evolución de su degradación para poder realizar una toma de decisiones y reparar las barreras de protección para ralentizar su desgaste.

Por último, se les han instalado amortiguadores externos a los tirantes más verticales y se ha aprobado un proyecto de

monitoreo en continuo para controlar su evolución, ver Figura 8.



**Figura 8**

## **3. Ventajas e innovaciones en construcción**

### ***3.1 Isotension®***

El proceso de isotension® consiste en proporcionar al primer cordón, llamado cordón de referencia, una carga inicial teórica calculada. A continuación del tesado del primer cordón, el tesado de los siguientes consiste en igualar la carga de cada uno de ellos con la del cordón de referencia a medida que vaya bajando por la deformación de la estructura. Así se garantiza que todos los cordones tienen la misma longitud equivalente sin tensión.

Por su definición el proceso de la isotension® es independiente de las variaciones de geometría, temperatura y carga permitiendo no paralizar el resto de los trabajos mientras se instala el tirante. El único instante de parada es el momento de instalación del cordón de referencia que se debe realizar en unas condiciones que reproduzcan las del modelo de cálculo.

En el Puente de Rande se emplearon 2 cordones de referencia para tener una medida redundante de sujeción de las vainas desde su izado hasta su puesta en tensión garantizando la máxima seguridad del tráfico, lo cual implicó una adecuación del software de cálculo.

### ***3.2 Instalación por fases***

En el sistema de tirantes HD de Freyssinet cada cordón se fija individualmente en un bloque de anclaje mediante cuñas con alta resistencia a la fatiga garantizando la total independencia de cada cordón y evitando un efecto de grupo. Este hecho, junto con la isotension®, permitió la instalación de los cordones de los tirantes de las primeras dovelas por fases y permitió realizar algunos retesados con gato unifilares.

### ***3.3 Ajuste geométrico***

Cada tirante de la ampliación consta de un anclaje superior activo regulable para ajustes geométricos o de tensión, con una carrera de 200mm, y un anclaje pasivo fijo en el tablero.

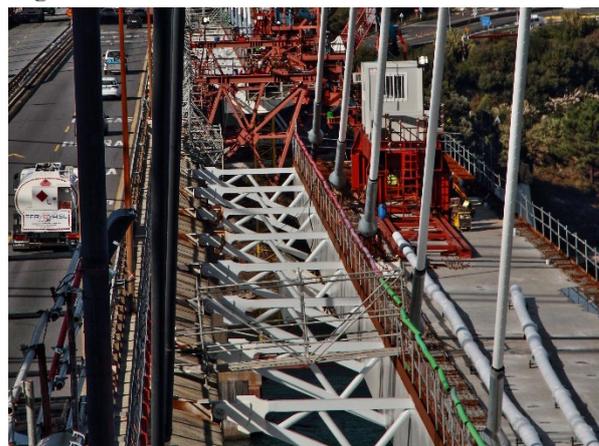
A pesar de que la carrera estándar son 100mm y que fue ampliada hasta los 200mm en algunos casos puntuales hubo que suplementarla excepcionalmente mediante calces.

### ***3.4 Facilidad de instalación y adaptación a espacios reducidos.***

Debido a la anchura de 7.35m de los tableros de la ampliación y a la necesidad, ya comentada, de trabajar manteniendo la capacidad de tráfico del puente principal, el equipo de Freyssinet tuvo que desarrollar procedimientos específicos de trabajo asegurando la seguridad de los usuarios y trabajadores y garantizando la consecución de las fechas contractuales.

La prefabricación de las vainas de PEAD tuvo que realizarse en un momento y lugar planificado, buscando que se adaptaran al espacio disponible el menor tiempo posible. Además, hubo que guiarlas en todo su trazado

para evitar interferencias durante el izado, ver Figura 9.



**Figura 9**

Por lo tanto, los equipos de trabajo debían ser rápidos, potentes y ligeros, ya que, en muchas ocasiones y una vez fuera del alcance de la grúa torre, hubo que desplazarlos manualmente esquivando multitud de elementos, ver Figura 10.



**Figura 10**

Las instalaciones debían ser sencillas y reiterativas. El objetivo era reducir el número de tareas a interpretar in situ, buscando evitar las paradas por toma de decisiones y, por lo tanto, garantizar unos rendimientos elevados y un procedimiento seguro.

## 4. Conclusiones

En los países desarrollados es complicado encontrar nuevos emplazamientos para infraestructuras desde el punto de vista económico, social y medioambiental, pero a su vez se demanda aumentar su capacidad. Por lo anterior, y buscando reutilizar lo existente con la menor afectación medioambiental, se están proyectando soluciones para ampliar la capacidad y la vida útil de puentes atirantados.

Este tipo de proyectos requiere una alta versatilidad de los materiales y equipos involucrados se precisa el uso de tecnologías y dispositivos adaptables para hacer frente a los procesos constructivos, solicitaciones y espacios inherentes a este tipo de obras, ya que, en el caso de los puentes atirantados, suelen ser estructuras estratégicas, por lo que los trabajos deben desarrollarse con tráfico rodado dificultando todavía más su ejecución.

El sistema de anclaje HD de Freyssinet, además de sus altas prestaciones habituales, permite soluciones hechas a medida con han sido:

Filtro de desvío®. Al estar los tableros transversalmente rotulados, se alcanzaron giros en los anclajes de más de 50mrad que se pudieron asumir sin necesidad de colocar elementos auxiliares.

Tensiones. El proceso constructivo requería partir del mínimo recomendable (10% de la capacidad última del tirante) hasta el máximo normativo (50% de la capacidad última) que el sistema Freyssinet pudo asumir minimizando las fases de instalación y de ajuste de carga.

Desviadores. Los tirantes HD de Freyssinet no requieren desviadores permitiendo la colocación de los amortiguadores y simplificando la conexión del tirante en la torre.

Amortiguadores multidireccionales. Los amortiguadores IRD están formados por 3 pistones dispuestos a 120° para amortiguar todas las vibraciones independientemente del plano en

el que se produzcan, pero en el caso de la Ampliación del Puente de Rande tuvieron que ser rediseñados agrupando todos los pistones en un mismo sector sin alterar el funcionamiento del conjunto.

Tubos de encofrado y guía. Los giros durante el proceso constructivo de los tableros de la ampliación obligaban a que los diámetros de los tubos de encofrado fueran desmedidos en comparación con las dimensiones de la dovela. Por ello se instalaron en dos medias cañas, posteriormente, para absorber únicamente los giros en servicio.

Tesado. El proceso de la isotension® es independiente de las variaciones de geometría, temperatura y carga por lo que es de obligada utilización para tesar tirantes con tráfico.

Carrera de regulación. Cada tirante de la ampliación disponía de un anclaje regulable con una carrera ampliada de 200mm. A pesar de ello, en algunos casos hubo que suplementarla, hecho que nos muestra la importancia de dotar a los tirantes de una capacidad de regulación holgada.

Espacio de trabajo. Freyssinet tuvo que desarrollar procedimientos específicos de trabajo asegurando la seguridad de los usuarios. Los equipos de instalación de cordones debían estar guiados en todo momento mediante cabrestantes de alta capacidad sincronizados, uno de tiro y el otro de retorno, evitándose el empleo de enfiladoras o cualquier otro método no dirigido en todo el proceso.

### Referencias

- [1] Manual de Tirantes, ACHE, España, 2007.
- [2] Cable Stays, Recommendations of French Interministerial Commission on Prestressing, CIP, France, 2002.
- [3] Recommendations for the Acceptance of Stay Cable Systems, using Prestressing Steels, fib, Switzerland, 2005.
- [3] Recommendations for stay cable design, testing and installation, PTI, Usa, 2001.
- [4] Álvaro Serrano Corral, Puente atirantado de Rande: Aumento de capacidad,

Conferencia Internacional: Gestión de la conservación de los Puentes, España, Mayo 2019.