

Sustitución de tirantes del puente Fernando Reig en Alcoy, Alicante

Cable replacement of Fernando Reig Bridge in Alcoy, Alicante

Hugo Corres Peiretti^a, Ismael Ferrer Domingo^b, Javier León González^c, Julio Sánchez Delgado^d, Cristina Sanz Manzanedo^e, Gemma Fernández García^f

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Consejero hcp@fhecor.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ministerio de Fomento. Director de Obra.

^c Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Dtor. Técnico. jlg@fhecor.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Dtor. Técnico. jsd@fhecor.es

^e Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Dtora Departamento O.Civil. csm@fhecor.es

^f Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR Ingenieros Consultores. Jefa de Proyecto gfg@fhecor.es

RESUMEN

Este artículo sintetiza las actuaciones realizadas para la sustitución de los tirantes de este puente atirantado construido en la ciudad de Alcoy, en España, que se reabrió al tránsito de vehículos y transeúntes en abril de 2018, 31 años después de su inauguración. Se explican detalladamente el proceso llevado a cabo para la sustitución de los cables y las lecciones aprendidas que, a juicio de los autores, pueden ayudar a la gestión técnica de puentes similares en otros lugares de España y del resto del mundo.

ABSTRACT

This article summarizes the cable replacement works carried out at this cable-stayed bridge constructed in the city of Alcoy (Spain) that was reopened to vehicular and pedestrian traffic in April 2018, 31 years after its inauguration. It has been explained in detail the sequence followed in the cable replacement and the lessons learned that, from the authors point of view, it can help to the technical management of similar bridges not only in Spain but all over the world.

PALABRAS CLAVE: tirantes inyectados, rotura tirante, autopsia, sustitución

KEYWORDS: cable injected with grout, cable break, autopsy, replacement

1. Reseña histórica y descripción del puente

El puente Fernando Reig constituyó, al inaugurarse en 1987, toda una innovación en la ingeniería de puentes en España y en el mundo. Atirantado, de una tipología muy en boga en aquellos años, este puente introdujo la novedad de la prefabricación industrializada en la construcción de puentes de gran luz, al tiempo

que cuidó los aspectos formales y plásticos que merecía una ciudad como Alcoy, que atesora un excepcional patrimonio de puentes de muy diferentes edades, materiales y tipos estructurales. Su carácter periurbano ha conciliado durante todos estos años el uso de vehículos y peatones que, además de utilizarlo

para cruzar de uno a otro lado, pueden disfrutar de la función de mirador privilegiado sobre el río Barxell y su entorno.

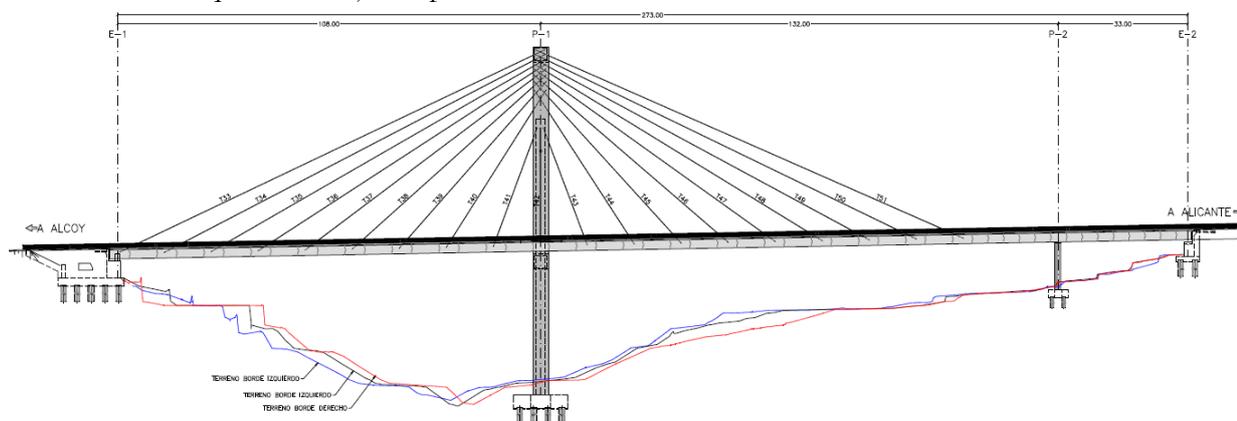
La génesis del puente y su proceso constructivo están muy bien descritos por los autores del proyecto en las referencias [1], [2] y [3]. Dejan clara los autores del proyecto, con las palabras transcritas más abajo, la voluntad de dotar a Alcoy de un puente a la altura de lo que se merecía esta “ciudad de los puentes”:

“En nuestra opinión, hoy no tenía sentido actuar de otro modo del que lo hicieron nuestros antepasados, y por ello nuestra intención fue proyectar un puente que fuera testimonio de nuestra época como aquellos lo fueron de la suya. Un puente atirantado de gran luz, con un tablero totalmente prefabricado en hormigón, representativo de la técnica de construcción de puentes de los años 80”.

Esa declaración de principios, espléndidamente expuesta también en la Memoria del propio proyecto, se sustanció en una estructura que introdujo la prefabricación

industrializada y el sistema constructivo asociado; también en el cuidado por la formas, la textura, el color, el valor simbólico del propio puente, verdadero pórtico triunfal de entrada a la ciudad.

La estructura, proyectada por J.A. Fernández Ordóñez, J. Martínez Calzón, F. Millanes Mato, A. Ortiz Bonet, y J. Marco Ventura ([1], [2] y [3]), y construida por DRAGADOS entre junio de 1985 y octubre de 1986, tiene una longitud total entre estribos de 273 m, con un tramo inicial atirantado, desde el estribo 1, de $108 + 132 = 240$ m de longitud hasta la pila 2 (P-2), con un último salto de 33 m desde esa pila hasta el estribo 2. La pila 1 (P-1) tiene casi 90 m de altura total (casi 40 m desde su base y 50 más desde el tablero). Es la construcción más alta de Alcoy y sirve de elemento del que parten, a modo de abanico, 19 parejas de tirantes de los que pende el tablero. Éste cuelga asimismo del pilono, sin apoyarse en el travesaño inferior de éste.



El tablero tiene una sección transversal, de 2,5 m de canto, que dota al puente de una plataforma de 17,40 m de ancho que se reparte en tres carriles de 3,20 m anchura cada uno, dos arcenes de 0,60 m y dos aceras de 2,75 m de ancho, algo reducidas en coincidencia con la presencia de la parte baja de los tirantes.

Como se ha anticipado, el tablero está formado por dos grandes vigas longitudinales,

en sección cajón, formadas a su vez por dovelas prefabricadas empalmadas longitudinalmente, unas riostras o vigas transversales, también prefabricadas cada 12 m y unos largueros, asimismo prefabricados que dan soporte a la losa superior, vertida in situ. También hormigonados in situ fueron los estribos, el pilono-pórtico y la pila 2.

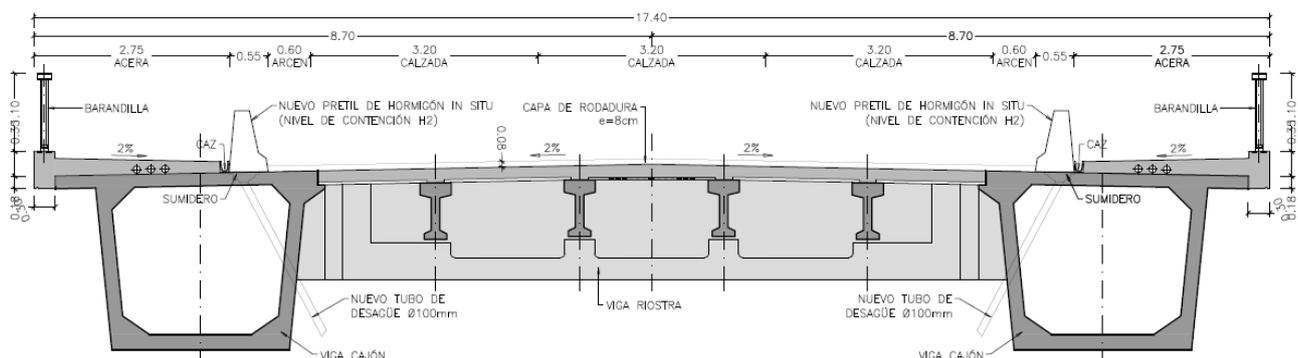


Figura 2. Sección transversal del puente

El puente tiene dos familias de 19 tirantes, esto es, un total de 38 tirantes, con una distancia fija entre anclajes de 12,0m. La configuración de éstos es la de cordones embebidos en una vaina de polietileno inyectada con lechada de cemento, tecnología en desuso desde la década de los 90. Están formados por un número variable de cordones, entre 23 y 55, de 0,60" de diámetro y 140mm² de área.

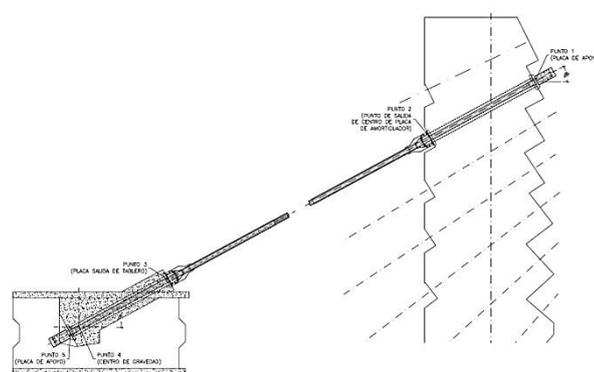


Figura 4. Esquema de anclaje de los tirantes en el tablero y en el pilono



Los anclajes, tanto los activos situados en el pilono, como los pasivos, en el tablero, están inyectados con resina. Estos elementos son accesibles (los superiores desde el exterior del pilono y los inferiores desde el interior del cajón) pero no así el tramo de tirante próximo a los mismos, por encontrarse la vaina de los mismos embebida en el hormigón de torre o tablero.

En 2015 se iniciaron los trabajos de adecuación funcional de la plataforma, sin actuaciones relevantes tras casi 30 años de servicio.

A finales de julio de 2016, cuando estaban ya muy avanzadas las actuaciones, se produjo la rotura de uno de los tirantes (T-41 izquierdo). A principios de septiembre de ese mismo año el tirante fue sustituido por otro de nueva tecnología.

problema, se acometieron dos actuaciones en paralelo: por una parte, un estudio o autopsia del tirante roto; por otra parte, con el apoyo de los medios más avanzados de auscultación de tirantes, una campaña de reconocimiento externo del estado de los restantes tirantes. El primer estudio concluyó que la rotura, debida a la corrosión anódica de los cordones de acero, había sido extraordinariamente singular, aun estando embebidos en lechada de cemento. Este fenómeno no tiene precedentes comparables, hasta donde hemos sabido. El segundo estudio no pudo completarse al 100% porque los dispositivos de auscultación, en el estado actual de la técnica, no permiten reconocer los tramos de tirantes que no están al exterior. Consiguientemente, ante la imposibilidad de asegurar que los tirantes existentes, en toda su longitud, satisficieran los requisitos reglamentarios de seguridad para su reapertura al tráfico, a pesar de haberse sustituido el tirante roto, se decidió acometer la sustitución del 100% de los tirantes. Esa tarea ha resultado ser muy compleja y se presenta a continuación.

Estos estudios no son objeto del presente artículo.

3. Principios rectores de la sustitución de tirantes

Debido a la incertidumbre existente sobre la capacidad de los tirantes del puente, en todo momento se planteó que, durante las fases de reposición, no debía incrementarse la tensión en los tirantes.

Se realizó, durante las fases iniciales de análisis, un estudio pormenorizado del proceso de sustitución a fin de evaluar la máxima longitud del tablero (suponiendo la posible rotura accidental de algún tirante) que podría resistir los esfuerzos producidos por las cargas solicitantes, es decir, las cargas permanentes. El análisis concluyó que podrían faltar dos tirantes consecutivos sin que se afectara a la integridad

del tablero. Por este motivo, se dispusieron torres de apeo cada 3 tirantes, bajo cada uno de los cajones. Además, se consideró imprescindible que el tablero se apoyara en las torres dispuestas durante todas las fases del proceso de reemplazo y reposición de los nuevos tirantes.

Además, resultó imprescindible el control de las deformaciones del tablero durante todo el proceso, a fin de poder prever la geometría final resultante tras la colocación de los nuevos tirantes.

Los nuevos tirantes del puente de Alcoy son de nueva tecnología. Están constituidos por un sistema de cordones paralelos provistos de una triple protección: galvanizado, cera petrolífera y vaina individual de polietileno de alta densidad y envueltos, adicionalmente, por una vaina externa también de polietileno de alta densidad. Este nuevo sistema permite que pueda ser inspeccionado y reemplazado cualquier cordón de manera individual durante la vida de la obra.



Figura 5. Nuevo tirante con cordones autoprottegidos y vaina de polietileno blanca

4. Destesado de tirantes para su sustitución

La sustitución de los tirantes tiene dos fases netamente diferenciadas: el destesado y la retirada del tirante pre-existente y la instalación del nuevo tirante.

La primera fase es de gran complejidad puesto que no hay precedentes equiparables. La segunda fase, la de instalación del nuevo tirante, es relativamente convencional, para la que hay ya tecnología que, mejorando la disponible a mediados de la década de 1980, permite

resolver el problema adecuadamente, con medios ya bien conocidos y acotados.

En lo que sigue se exponen los aspectos más relevantes que se han puesto de manifiesto a lo largo de los trabajos desarrollados.

En las fases previas, antes de la colocación del andamio, no fue posible realizar la inspección de los anclajes de los tirantes por falta de accesibilidad.

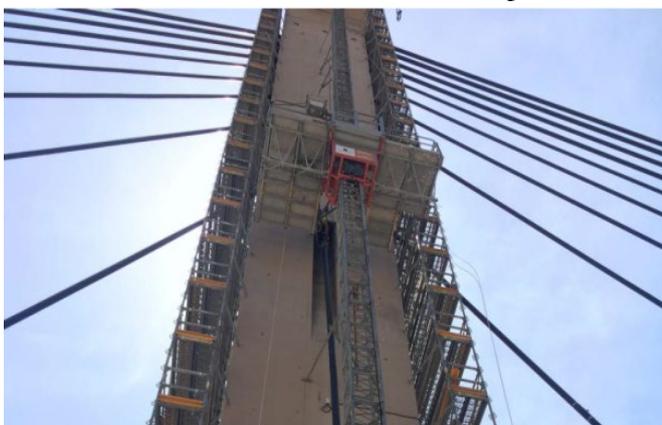


Figura 6. Vista del andamio dispuesto para realizar las tareas de desmontaje de los tirantes

Inicialmente, las dimensiones de las capotas o tapones del anclaje, con una longitud comprendida entre los 500 y 600 mm, hacían previsible pensar que la longitud protuberante de los cordones desde la placa de anclaje sería la suficiente para que, mediante el uso de acopladores, se pudiesen empalmar los

cordones y proceder al destesado con un gato multifilar, que se apoyaría en la placa de anclaje con puente o silla de destesado. Esta hipótesis estaba avalada por el hecho de que cuando se sustituyó el cable T41 izquierdo, éste tenía una longitud protuberante suficiente.

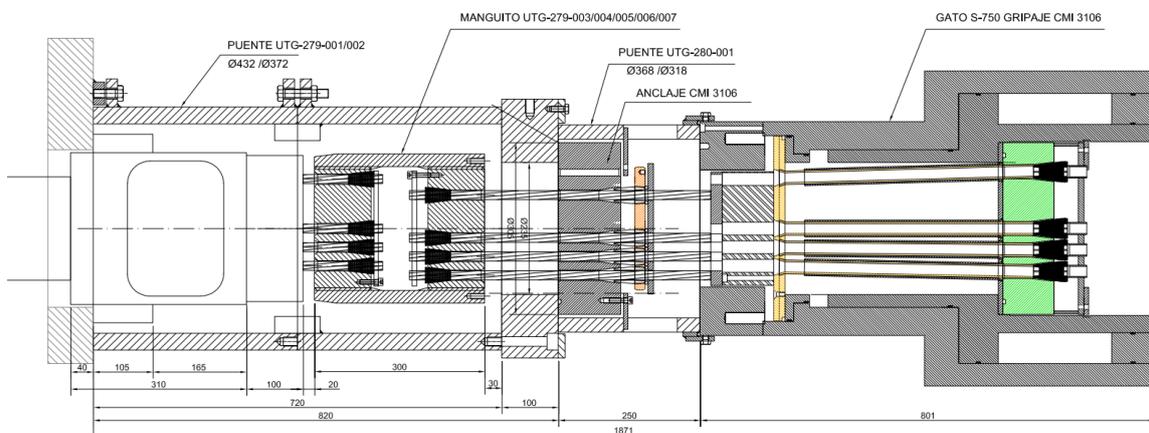


Figura 7. Esquema de destesado con un gato multifilar

En el supuesto de que los cables tuvieran suficiente longitud protuberante, se podría despegar la tuerca del anclaje activo de la placa de apoyo del pilono y, una vez despegada y desenroscada esta tuerca, el tirante se destesaría liberando tensión en el gato multifilar, retirándose el tirante a continuación. Este procedimiento se asemeja al utilizado habitualmente en las operaciones de “pesaje” de los tirantes, para de valoración de la fuerza existente en los tirantes, o de retesado, por ejemplo al final del procedimiento constructivo. No obstante este sistema comporta dificultades e incertidumbres prácticas adicionales por al menos las siguientes razones:

- Espacio físico necesario para situar el puente en la zona del anclaje. En algunos casos las dimensiones y situación de la placa de anclaje, en donde se apoya el puente de

destesado, no son suficientes para garantizar un buen apoyo.

- La longitud protuberante de los cordones, que puede ser muy corta y, consecuentemente, no permitir el acoplamiento necesario para alargar los cables suficientemente para poder proceder al destesado con el gato multifilar. En general para poder realizar esta operación es necesario tener una longitud protuberante no menor de 80 mm.
- Aun teniendo la longitud adecuada para el acoplamiento y el espacio para la instalación de silla de tesado, debido al paso del tiempo y la no inspección de los anclajes, en muchos casos la tuerca de anclaje no se puede desenroscar y, consecuentemente, no se puede destesar con este sistema.
- Adicionalmente es necesario disponer de un cable guía o similar para permitir el descenso del tirante.



Figura 8. Posición de los diferentes elementos para el destesado

El destapado de las capotas de los 38 tirantes del puente ha permitido constatar que únicamente 6 de los 38 tirantes del puente cuentan con una longitud protuberante mínima

de los cordones (80 mm), suficiente para poder proceder al desmontaje de los tirantes mediante el uso de este sistema de destesado de los mismos.



Figura 9. Longitud protuberante. En la foto de la izquierda existe longitud suficiente, mientras que en la foto de la derecha la longitud es insuficiente (menor de 80mm)

Los 32 tirantes del puente que no pueden ser destesados mediante el empleo de este proceso operativo requieren el empleo de un método alternativo. Dicho procedimiento ha de hacer posible la eliminación de la carga soportada por los tirantes antes de proceder al corte de los mismos, y su posterior descenso, con todas las garantías de seguridad para los operarios y de seguridad también para los otros elementos estructurales del puente (los otros tirantes, el tablero, el pilono, etc.).

El proceso operativo diseñado por los servicios técnicos de FCC, y validado por FHECOR, consiste en la disposición de un *bypass* o bastidor de conexión en el tramo libre del tirante, muy cerca del tablero, para facilitar los

trabajos. Dicho bastidor consta, en esencia, de dos piezas o *yugos*, transversales al tirante, enlazados por unas barras paralelas al propio tirante. En el segmento de tirante situado en el interior de dicho bastidor, entre los yugos, se va transfiriendo la carga del tirante a las barras paralelas a medida que éstas se tesan hasta anular la carga del tirante. Llegados a este punto, se puede cortar el tirante en el segmento interior al bastidor para, a continuación, proceder al destesado del bastidor de conexión, lo que se traduce en la pérdida de carga del resto del tirante. Este proceso se produce, en la práctica, sin aumentar la carga del tirante con relación a la existente antes, lo que constituye una garantía de seguridad en el proceso.

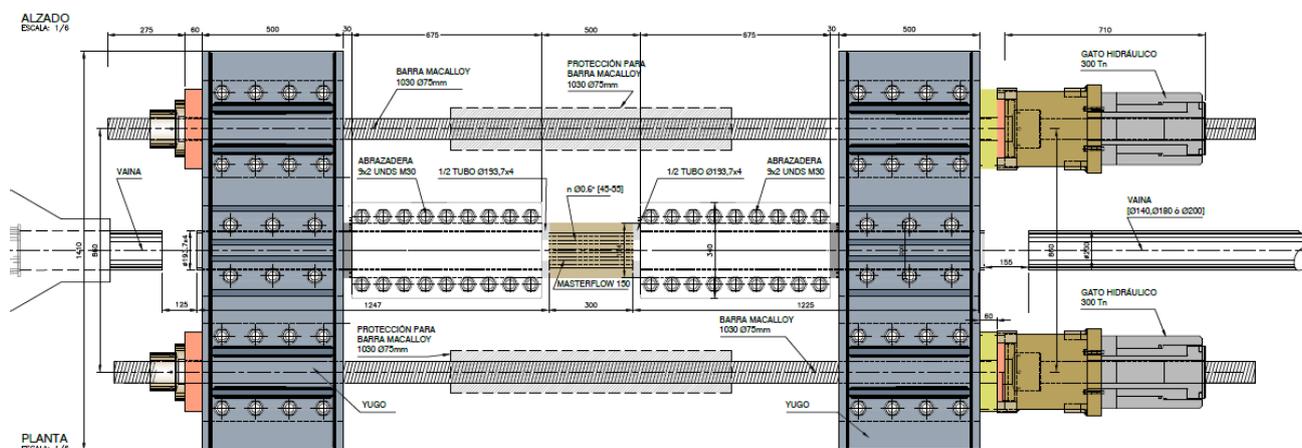


Figura 10. Método alternativo para el destesado mediante puente o bastidor

Este sistema, utilizado antes por FREYSSINET, aunque no de la forma en que se ha aplicado en este puente, ha supuesto desarrollos y contrastes experimentales imprescindibles para poner a punto el procedimiento con garantías suficientes.

En primer lugar, ha sido necesario garantizar el rozamiento entre el tirante y las abrazaderas que se encargan de pasar su carga al yugo. Para ello ha habido que eliminar la vaina de polietileno de alta densidad y la totalidad de la lechada de cemento de protección de los cordones, tanto en la periferia como en el interior de la sección del tirante. Para evitar daños en los cordones de los tirantes y garantizar la completa eliminación de la lechada, se ha optado por usar la técnica de la hidrodemolición.

También ha sido preciso desarrollar un sistema que asegure que se rellenan completamente los espacios entre cordones y crear así unas condiciones de rozamiento adecuadas para que las abrazaderas asuman el paso de toda la carga del tirante, no sólo la de los cordones perimetrales. En este sentido se ha acometido una investigación para determinar el mejor producto existente en el mercado que cumpla estas condiciones. El resultado de esa búsqueda ha sido que, aunque existen en el mercado resinas epoxi que generan el rozamiento necesario, éstas tienen la limitación de que los espesores de resina han de ser muy pequeños para garantizar un rozamiento adecuado. Por ello se procedió a desarrollar un sistema de rellenado de los espacios entre cordones con trozos de cordones, para disminuir el espesor de la resina en cualquier punto de la zona de anclaje de los yugos. Además, ha sido necesario poner a punto un sistema de inyección de la resina instalando dos medias cañas de acero para crear un recinto

estanco que asegure la correcta inyección de la resina en la zona de la operación.

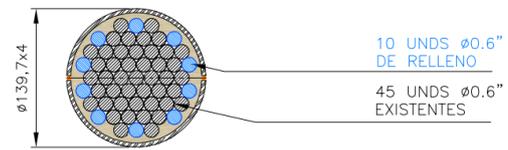


Figura 11. Espacios teóricos a rellenar en el interior de la vaina

Con el sistema planteado se deben dar unas condiciones de rozamiento tales que, para disminuir al mínimo la longitud de las abrazaderas, se garantice que no se va a producir deslizamiento alguno a tres niveles distintos. Primero, entre los cordones y la resina; segundo, entre la resina y las medias cañas utilizadas para la inyección y, finalmente, entre las medias cañas y las abrazaderas. Para mejorar las condiciones de rozamiento acero-acero, en la interfaz entre las medias cañas y las abrazaderas, aumentando la rugosidad, se acudió a un granallado.

Este sistema se sometió a ensayos en los talleres de BBR, a partir del diseño realizado por los servicios técnicos de FCC Construcción.

A partir de esta sólida base experimental se procedió al diseño del sistema. Esto supuso la definición de una longitud de abrazadera que debía ser mínima para garantizar el correcto comportamiento del conjunto en el mínimo espacio. Además, durante la ejecución del corte de los primeros dos tirantes se establecieron unos procedimientos de control que permitieran comprobar *in situ* el comportamiento del sistema proyectado y, consecuentemente, proceder a los cambios oportunos para tener, en todo momento, las garantías necesarias. Después del corte de los dos primeros tirantes, el sistema quedó definido completamente, con la incorporación de los ajustes pertinentes.

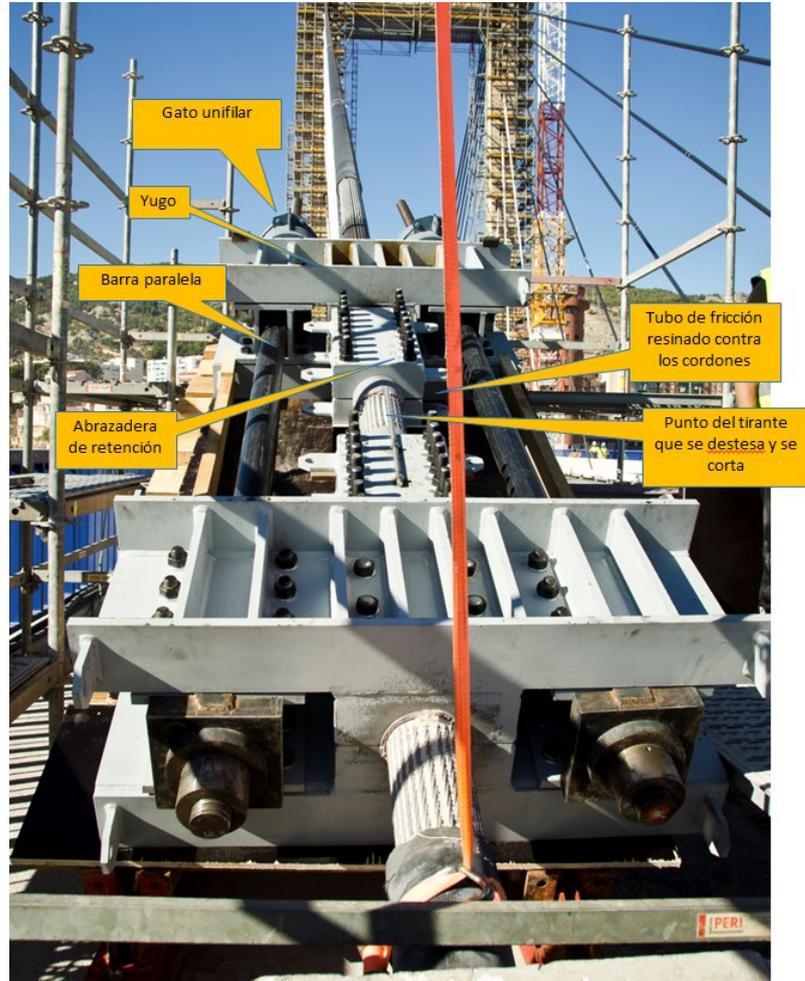


Figura 12. Abrazadera de destesado en posición

Una vez cortado el tirante y destesado parcialmente el bastidor, es necesario retirar el tirante. Es preciso tener en cuenta que el tirante no ve reducida a cero la fuerza a la que está sometido, porque viene a ser una catenaria bajo la acción de su peso propio, que induce inevitablemente un axil de tracción en el tirante que es función de la flecha que adopte y que ésta no puede ser tal que interfiera con los tirantes situados más abajo, por lo que es preciso mantener un equipo sobre el tablero que, además de sujetar el tirante en vertical, sea capaz de tirar en horizontal.

En la parte superior, el tirante ha de cortarse a la salida del tubo encofrado, lo que requiere haber dispuesto otro elemento de

sujeción para la carga vertical y el tiro horizontal correspondiente. De entre todas las posibilidades de sujeción del tirante (grúas automóbiles, cimbras auxiliares, tornos y polipastos dispuestos en el travesaño del pilono, etc.), el uso de una grúa torre es la opción adoptada que ha resultado la más rápida, versátil y segura.

El objetivo, se recuerda, es depositar con suavidad el tirante que se desmonta sobre el tablero del puente. Para eso, la grúa torre sujeta y desciende el extremo superior del tirante, desde la salida del tubo encofrado hasta el tablero, mientras que, acompasadamente, un camión grúa mantiene suspendido y desplaza el extremo inferior del tirante hasta que éste

alcanza la posición horizontal sobre el tablero, de manera controlada y con todas las garantías de seguridad para los operarios y para los restantes elementos del puente.

Tras el desmontaje de los tirantes se procedió al montaje de unos cables de nueva tecnología, con la triple barrera de protección descrita, cuyo procedimiento no difiere del habitual en puentes de nueva construcción.

Es de interés añadir que se han dejado acelerómetros en cuatro tirantes, un anemómetro y un sensor de temperatura en el interior del cajón, con el fin de corroborar que el comportamiento estructural de estas nuevas piezas se ajusta a lo previsto, lo que comporta analizar periódicamente los resultados en el contexto del plan de mantenimiento ordinario y especializado.

5. Conclusiones

- Las actuaciones emprendidas han sido de todo punto necesarias para restablecer y mejorar la funcionalidad de la obra, su durabilidad y, lo que es más importante, la seguridad de los usuarios.
- En la ejecución de los trabajos se ha puesto un énfasis especial en la seguridad y salud, dado que se ha tratado de una intervención pionera en puentes de este tipo.
- Las labores se han desarrollado en un tiempo más reducido que el previsto inicialmente. Los trabajos consiguieron reducirse 3 meses respecto al plan de obra original, habiéndose realizado en un tiempo inferior a 10 meses.
- El equipo técnico destacado, desde el último operario hasta los ingenieros responsables de la Administración, pasando por los ingenieros consultores y los suministradores de materiales y equipos, han llevado a cabo un trabajo de gran precisión y con gran profesionalidad.

- El puente Fernando Reig, merced a esta intervención, vuelve a adquirir la categoría de innovador por las técnicas empleadas y de referencia mundial para otras obras semejantes que, sin duda alguna, habrá que acometer en los puentes españoles o de otros países cuando, al cabo de los períodos de vida útil correspondientes, sea necesario sustituir las piezas necesarias por otras nuevas, como sucede en todos los ámbitos de la ingeniería.

6. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los ingenieros de la Subdirección de Conservación del Ministerio de Fomento, Ángel Sánchez y Álvaro Navareño, al jefe de Área de Conservación y Explotación de la Unidad de Carreteras en Alicante, Emilio Peiró, a los ingenieros de Carreteras del Estado Juan Antonio Moreno y Juan Jiménez, a FCC Construcción y al Ayuntamiento de Alcoy.

7. Referencias bibliográficas

- [1] Fernández Ordóñez, J.A.; Martínez Calzón, J.; Millanes, F.; Ortiz, A.; Marco, J. *Puente Fernando Reig sobre el río Barxell, en Alcoy*. Hormigón y Acero, nº 161, pp. 119 a 147. 4º trimestre de 1986.
- [2] Fernández Ordóñez, J.A.; Martínez Calzón, J.; Millanes Mato, F.; Ortiz Bonet, A.; Marco Ventura, J. *Análisis de la estructuras del puente Fernando Reig sobre el río Barxell, en Alcoy*. Hormigón y Acero, nº 162, pp. 147 a 169. 1º trimestre de 1987.
- [3] Fernández Ordóñez, J.A.; Martínez Calzón, J.; Millanes Mato, F.; Ortiz Bonet, A.; Marco Ventura, J. *Control y seguimiento del montaje del puente atirantado Fernando Reig, sobre el río Barxell, en Alcoy*. Hormigón y Acero, nº 170, pp. 87 a 102. 1º trimestre de 1989.