

Actuación de emergencia en el viaducto de Río Blanco, situado en el pk 156/500 de la LAV Madrid-Barcelona-Figueres

Emergency intervention on the Río Blanco viaduct, located at CH 156/500 of the Madrid-Barcelona-Figueres high-speed railway line.

Javier García Hernando^a, Francisco Javier León González^b, Julio Sánchez Delgado^c,
David de Julián Andrés^d, Ignacio Meana Martínez^e, Carlos Sarabia Vives^f,

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Jefe de Proyecto. jgh@fhcor.es

^b Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Presidente Fundación FHECOR. jlg@fhcor.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. FHECOR. Director técnico. jsd@fhcor.es

^d Ingeniero Civil. INECO. Subdirección de Infraestructura y vía. D.G. de Conservación y Mantenimiento. Director de obra. david.dejulian@ineco.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ADIF. Subdirección de Infraestructura y vía. D.G. de Conservación y Mantenimiento. Subdirector de Infraestructura y Vía. imeana@adif.es

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ADIF. Subdirección de Infraestructura y vía. D.G. de Conservación y Mantenimiento. Jefe de Área de Proyectos y Obras. csarabia@adif.es

RESUMEN

En agosto de 2021, durante el trascurso de una inspección básica se detectó la rotura de uno de los tendones del pretensado exterior de continuidad del viaducto de Río Blanco, que afectaba a los vanos 9 a 11, representando una pérdida del 17% de la capacidad estructural aportada por dicho pretensado. En una evaluación preliminar FHECOR señaló como causa más probable del colapso un proceso progresivo de corrosión bajo tensión y constató deficiencias en el estado de gran parte de los tendones. Inmediatamente, ADIF tramitó la declaración de obra de emergencia de las actuaciones necesarias para restaurar el tendón colapsado y realizar una auscultación exhaustiva de los restantes.

ABSTRACT

In August 2021, during a regular inspection, the failure of one of the external PT tendons of the Río Blanco viaduct was detected, affecting spans 9 to 11 and causing a loss of 17% of the structural capacity provided by the prestressing.

A preliminary assessment, carried out by FHECOR, identified progressive stress corrosion cracking as the most likely cause of the collapse and found deficiencies in most of the remaining tendons. ADIF immediately declared an emergency action to restore the collapsed tendon and to carry out an exhaustive auscultation of the remaining tendons.

PALABRAS CLAVE: pretensado exterior, corrosión bajo tensión, colapso tendón.

KEYWORDS: external prestressing, stress corrosion cracking, PT tendon failure

1. Antecedentes

El 17 de agosto de 2021, durante el transcurso de una inspección básica correspondiente a la campaña anual, se detectó la rotura de uno de los seis tendones del pretensado exterior intradosado de continuidad a lo largo de los vanos 9,10 y 11 del viaducto de Río Blanco.

Como medida preventiva inicial se estableció una limitación temporal de velocidad a 80 km/h a las circulaciones ferroviarias en la vía soportada por el viaducto, con la intención de minimizar los efectos dinámicos de las cargas ferroviarias.

El 23 de agosto se realizó una visita preliminar al viaducto, incluyendo el interior del cajón, pudiéndose constatar deficiencias en gran parte de los tendones del pretensado exterior.

A instancias de ADIF, FHECOR realizó un informe preliminar evaluando la seguridad en diferentes escenarios de rotura de tendones. Dicho informe ponía de manifiesto la necesidad de restituir el tendón dañado para alcanzar el nivel de seguridad reglamentario y señalaba como causa más probable de la rotura del tendón, la pérdida de sección de los cordones por un proceso progresivo de corrosión bajo tensión.

Apoyándose en las conclusiones del informe, ADIF tramitó la declaración de obra de emergencia de las actuaciones necesarias para restaurar el tendón colapsado y realizar una auscultación exhaustiva de los restantes. Asimismo, de forma inmediata, se emprendieron acciones dirigidas a mitigar los riesgos provocados por el eventual fallo de otros tendones, con afección tanto al tráfico como a los operarios encargados de sustituir el tendón seccionado. Entre ellas: restricciones de velocidad de las circulaciones, arriostamiento preventivo de los tendones y prohibición de entrar en el interior del cajón a temperaturas por debajo de cero grados.

Los resultados de la auscultación indujeron a plantear la necesidad de sustituir la totalidad de los tendones. Sin embargo, tras los análisis de seguridad realizados empleando tanto trenes reglamentarios como trenes reales, se concluyó que bastaba con la presencia de al menos dos tendones sanos a lo largo de todo el viaducto para asegurar un nivel de seguridad suficiente al paso de trenes reales. Sobre esta base se solicitó una ampliación de la emergencia, para incluir el reemplazo de dos alineaciones de tendones completas. La ampliación fue aprobada en febrero de 2022. Los trabajos concluyeron exitosamente en noviembre de 2022.

2. Descripción del puente

El viaducto tiene una longitud total de 558 m entre ejes de estribos, y está formado por diez vanos de 48 m de luz y dos vanos de compensación en los extremos de 38 m.

El punto fijo del tablero frente a las acciones horizontales longitudinales está situado en el estribo 1, existiendo un aparato de dilatación de vía en el estribo 2.



Figura 1. Alzado del viaducto de Río Blanco

La sección transversal del tablero está conformada por un cajón de hormigón postesado, con canto constante de 4.00 m en el eje de la estructura y un bombeo del 2% hacia los extremos del cajón. La anchura inferior del cajón es de 6.00 m, con almas laterales

verticales de 0.45 m de espesor. El cajón se completa con dos voladizos laterales de 4.00 m de longitud y espesor variable entre 0.15 m y 0.50 m, que completan una anchura de total de 14.0 m.

La subestructura está formada por pilas rectangulares de sección hueca con una anchura constante de 6 m y un canto variable según una pendiente de 2/100, a partir de una dimensión mínima de 2 m en la unión con el tablero. La altura de las pilas es variable entre 28 y 59 m. La mayor parte de las cimentaciones son profundas.

El viaducto se construyó en tramos de 22.5 m de longitud principalmente, en la zona situada detrás del estribo 1 y luego se lanzó progresivamente hasta la posición final.

El viaducto se diseñó con dos sistemas de pretensado diferentes: un sistema postesado interno con tendones rectos dispuestos dentro de la sección transversal del tablero para mejorar la eficiencia estructural durante el proceso de lanzamiento, y un sistema de postesado externo dispuesto en el interior del cajón, diseñado para soportar las fuerzas externas durante en situación de servicio.

El pretensado longitudinal del viaducto se descompone en cuatro familias o subsistemas:

- 8 tendones interiores rectos, de 18 torones, situados en la losa superior.
- 8 tendones interiores rectos, de 14 torones, situados en la parte inferior de las almas laterales.
- 2 tendones rectos, de 6 torones, situados en la losa inferior, entre los desviadores situados en los vanos 1 a 8.
- 6 tendones exteriores poligonales de 25 torones, anclados de forma contrapeada cada tres vanos, en el interior de un conducto de polietileno de alta densidad de 125 mm de diámetro exterior. El espesor del conducto es de 7 mm en las alineaciones rectas entre desviadores y de 11 mm al atravesarlos. La inyección del conducto se realizó con lechada de cemento,

probablemente de la misma naturaleza que la utilizada en el pretensado interior adherido.



Figura 2. *Tendones de pretensado exterior discurrendo entre desviadores en el interior del cajón.*

3. Reconocimiento de la estructura y medidas preventivas.

Cuando un tendón pretensado externo se rompe, ya sea por un fallo en el propio tendón o por una sobrecarga en la estructura, la energía acumulada en el tendón se libera repentinamente, generando un efecto dinámico que puede inducir una compresión en el tendón similar a la fuerza de tracción de servicio. Esto puede generar un fallo por inestabilidad acompañado de una deformación repentina, rápida y violenta, equivalente a un latigazo, lo que supone un peligro para la seguridad de las personas y la integridad de la propia estructura.



Figura 3. *Deformación remanente encontrada en el tendón colapsado a su paso por del desviador.*

Las actuaciones preliminares realizadas en el viaducto de Río Blanco se dirigieron fundamentalmente a mitigar los riesgos

ocasionados por el potencial fallo de un nuevo tendón, que podría afectar tanto al tráfico ferroviario, como a los operarios encargados de sustituir el tendón seccionado.

Inicialmente, se identificaron dos factores de riesgo: las vibraciones provocadas por el flujo de tráfico y las bajas temperaturas (inferiores a cero grados centígrados). Este último criterio se adoptó de acuerdo con experiencias previas documentadas de fallos similares y recogidas en los criterios franceses de inspección de puentes con sistemas de pretensado exterior, que desaconsejan la inspección a temperaturas inferiores a 0°C, señalando que la probabilidad de fallo a bajas temperaturas es mayor [1].

Se adoptaron, entre otras, las siguientes medidas de prevención/mitigación:

- Aplicar una restricción de velocidad a los trenes que circulan por el puente para reducir las vibraciones del tablero.
- Instalar un arriostramiento preventivo de los tendones, disponiendo eslingas abrazando los tendones y uniéndolos entre sí; solución similar a la adoptada en otros viaductos con problemas similares, por ejemplo, el puente de la Île de Ré en Francia.
- Prohibir la entrada en el interior del tablero a temperaturas inferiores a cero grados centígrados.



Figura 4. Arrostramiento preventivo tendones.

En paralelo a la adopción de estas medidas y de los trabajos iniciales para el desmantelamiento del tendón colapsado, se emprendió una campaña de investigación para esclarecer los motivos del colapso y determinar

la magnitud y extensión de los daños en el resto de tendones.

La autopsia del tendón colapsado se realizó en los laboratorios de Química y Ciencias de Materiales de la ETSI de Caminos Canales y Puertos de la UPM de Madrid.

El proceso de auscultación de los tendones existentes incluyó, entre otros, los siguientes procesos:

- Inspección visual del 100% de las juntas de vaina existentes y control exhaustivo de aquéllas en las que se detectaban movimientos.
- Golpeo de vaina con martillo de nailon en toda la longitud de los tendones, con el fin de determinar las zonas donde podían existir oquedades.
- Ensayo con sonda capacitiva en aquellos puntos donde el golpeo con martillo detectó posibles oquedades.
- Drenaje interior de las vainas mediante pequeños taladros en aquellos puntos en que podía haber agua acumulada en su interior
- Apertura de “ventanas” en las zonas con presencia de oquedades o agua y también en la proximidad de las juntas de vaina donde se habían observado concreciones calcáreas.
- Inspección del interior de los tendones mediante endoscopio, aprovechando las “ventanas” y las perforaciones de drenaje.
- Determinación del punto de entrada de agua en las vainas mediante pruebas hídricas realizadas con trazadores (agua tintada con trazador ultravioleta) desde la plataforma ferroviaria.
- Caracterización dinámica del viaducto, atendiendo a lo indicado en la NAP 2-4-2.1 Inspección Especial para la Caracterización Dinámica de Puentes.

4. Diagnóstico

4.1 Autopsia del tendón colapsado

El daño principal era la rotura completa del tendón central de la sección derecha del pretensado de continuidad.

La rotura no fue brusca, simultánea en todos los cordones, sino progresiva. Algunos de los alambres presentaban roturas aún “frescas” (figura 5), y otros tenían superficies de fractura ya con pátina de óxido. Se observaron alambres con estricción y roturas en pico de flauta (figura 6), típicas de corrosión bajo tensión.



Figura 5. Vista frontal del tendón roto, con algunas roturas ‘frescas’ en los alambres



Figura 6. Vista lateral del tendón roto, con algunas roturas en ‘pico de flauta’ en los alambres.

El estado de corrosión superficial de los alambres parecía indicar que éstos habían estado sometidos a un proceso de daño ambiental continuado en una extensión importante, puesto que se encontró acero erosionado por la corrosión incluso en zonas lejanas a la rotura.

Análisis posteriores sobre muestras del tendón colapsado [2], demostraron que en la zona de colapso había un predominio claro de roturas frágiles de alambres, con una antigüedad mucho mayor que la de las roturas dúctiles, que se habrían producido casi en su totalidad en el momento del colapso del tendón. Adicionalmente, señalaron que el proceso de degradación en la zona de colapso no se había limitado a la descomposición progresiva del acero, reduciendo su capacidad en proporción a la pérdida de sección resistente alcanzada, sino que también propició procesos de fisuración subcrítica propios de aleaciones metálicas sometidas a sollicitaciones estáticas de tracción en ambientes corrosivos, en este caso particular, asistidos por la presencia de hidrógeno.

4.2 Auscultación del resto de tendones

La campaña de auscultación reveló un amplio catálogo de patologías que afectaban de forma generalizada a la mayor parte de los tendones. Entre ellas destacan:

- Juntas de vainas abiertas. Algunas con precipitaciones calcáreas sintomáticas de la presencia de filtraciones de agua e incluso herrumbre en los torones.



Figura 7. Presencia de estalactitas en un tendón, en el entorno del empalme de la vaina

- Ausencia total o parcial de lechada en algunos tramos de tendón. Es importante mencionar que la ausencia, o la mala calidad de la lechada, es suficiente para que se genere una diferencia de PH entre dos secciones del mismo tendón, que a su vez

provoque diferencias de potencial que desencadenen un proceso de corrosión, incluso tratándose de un medio alcalino.

- Presencia de agua en el interior de los tendones.
- Oxidación y herrumbre sintomática de procesos de corrosión en diferentes estados de desarrollo.



Figura 8. Presencia de oxidación en los cordones

Adicionalmente, como factor agravante se comprobó la existencia de circulación de agua por el interior de las vainas de los tendones. Agua que en algunos casos provenía de aportes externos y que estaba participando activamente en un proceso paulatino de degradación de la lechada, como así lo demuestran las eflorescencias y calcificaciones encontradas en numerosas juntas de vaina y que constituía en sí misma, una fuente adicional de aporte de hidrógeno.

5. Análisis estructural

El objetivo del análisis estructural realizado por FHECOR en calidad de Asistencia Técnica a la Dirección de obra, era evaluar el nivel de seguridad en referencia a la pérdida de capacidad de los tendones del pretensado exterior.

De acuerdo con el fenómeno denominado como auto-anclaje, por el cual la

adherencia del cordón a su entorno asegura que, incluso roto, el cordón sigue transmitiendo fuerza de pretensado, se consideró que la pérdida de fuerza en un tendón es despreciable hasta el momento de su colapso. Por tanto, únicamente se consideraron dos posibles estados del tendón: en servicio (lo cual no implica necesariamente la ausencia de daños) o fuera de servicio (colapsado).

Con la finalidad de poder extraer conclusiones válidas para la gestión de riesgos asociada a la fase de intervención, la evaluación se realizó considerando dos niveles de seguridad diferentes en función del valor de las acciones ferroviarias.

En fase de explotación (nivel de seguridad bajo la acción de trenes normativos) se concluyó que era necesaria la presencia de todos los tendones del pretensado exterior para cumplir con los requerimientos de ELU.

En fase de intervención (nivel de seguridad bajo la acción de trenes reales) se concluyó que:

- Era necesaria la presencia de al menos 1 tendón del pretensado exterior para cumplir los requerimientos de ELU, siendo en este caso limitante la capacidad a cortante.
- Era necesaria la presencia de al menos 2 tendones del pretensado exterior para que el tablero no fisurase bajo la combinación de acciones característica. Esta imposición, que es más restrictiva que las exigidas por la normativa, fue fijada como umbral de validez de las hipótesis realizadas en el proceso de verificación.

En la siguiente figura se muestran la evolución del grado de aprovechamiento en ELU y de las tensiones de tracción en la fibra inferior de la sección pésima de centro de vano, en función del número de tendones del pretensado exterior colapsados. La zona de intervención segura se establece para el tráfico de trenes reales y limita el ámbito de la actuación de emergencia.

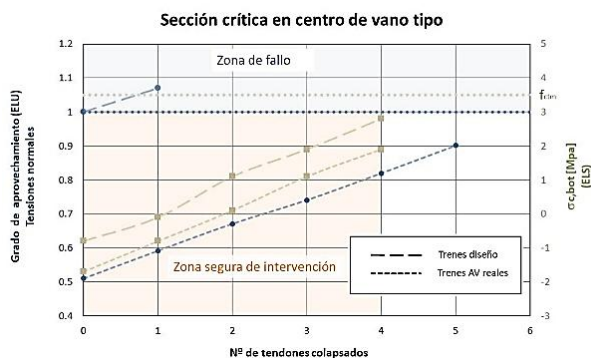


Figura 9. Comprobación sección crítica centro de vano en tensiones normales

De acuerdo con los resultados de la investigación desarrollada, se concluyó que los problemas detectados, fundamentalmente por déficits de inyección y herrumbre, eran lo suficientemente generalizados como para plantear la sustitución de la totalidad de los tendones del pretensado exterior. No obstante, el análisis estructural permitió acotar el alcance de la emergencia, evidenciando que solo era necesaria la sustitución, con urgencia, de dos tendones a lo largo de toda la longitud del viaducto.

Se planteó reemplazar un tendón a cada lado del pasillo central, para garantizar de ese modo la presencia de al menos un tendón sano en cada conjunto de tendones arriostrados entre sí.

6. Proceso de sustitución de tendones

Se repuso el tendón colapsado y se sustituyeron aquellos otros más dañados hasta completar como mínimo dos alineaciones completas, empleando un nuevo sistema de pretensado que permitiera la posibilidad de reemplazar los torones de forma individual dentro del tendón.

Le ejecución de las obras estuvo a cargo de Retineo, en colaboración con VSL, que propuso soluciones comerciales adaptadas a los requisitos específicos de este proyecto.

Se optó por un sistema de torones protegidos con grasa y recubiertos con una vaina individual de polietileno de alta densidad,

colocada en un conducto inyectado con lechada de cemento antes del tensado del tendón. Esta disposición tiene la ventaja de aumentar la vida útil del pretensado gracias a varias barreras de protección contra la corrosión y permite la sustitución de torones individuales. Además, impide la propagación de la corrosión en todos los torones y, en caso de fallo de un torón, la carga de este torón no se transfiere a los demás, evitando que se sobrecarguen, lo que podría provocar un fallo en cascada.

Debido a la limitación geométrica existente, el diámetro exterior máximo del conducto de polietileno a instalar era de Ø140 mm y el uso de torones enfundados individualmente limitaba la configuración del nuevo tendón a un máximo de 22 torones, en lugar de los 25 inicialmente existentes. Manteniendo la fuerza de tesado, esta modificación suponía una reducción del 12% respecto a la fuerza inicial del tendón original. Sin embargo, se comprobó que la reducción de la fuerza inicial podía compensarse con las pérdidas debidas a la retracción y la fluencia ya consumidas. De este modo, la fuerza final conseguida era similar a la original, y el nivel de seguridad del diseño original se mantenía invariante.

La sustitución de un tendón comporta entre otras las siguientes operaciones:

- Corte del tendón (salvo en el caso de un tendón ya colapsado).
- Extracción del tendón seccionado.
- Tratamiento y adecuación de las zonas de anclaje.

Colocación y tensado del nuevo tendón.

6.1 Corte del tendón

El corte se realizó en la zona de centro de vano, donde los cables transcurren horizontales muy próximos a la losa inferior, mediante un equipo de corte con hilo de diamante refrigerado por agua y accionado por control remoto.

El movimiento longitudinal de los tendones a través de los desviadores inferiores

no estaba restringido, pero al existir cierta adherencia en el paso de los tendones por el diafragma de pilas, en el momento del corte se estableció que podrían producirse fuerzas desequilibradas.



Figura 10. Máquinas de corte con hilo de diamante en posición

Inicialmente, estaba prevista la colocación de una máquina de corte en cada uno de los centros de vano del tendón, con un doble objetivo, la redundancia de sistemas de corte para tener una alternativa en caso de que se produjera el atasco de alguna de las máquinas y para ejecutar cortes adicionales en caso de que el tendón quedara con fuerza residual en los vanos adyacentes. Posteriormente, se observó que era suficiente con un único corte y se decidió instalar únicamente dos máquinas, una de ellas de reserva, en el centro de uno de los vanos.

6.2 Extracción del tendón seccionado

El tendón seccionado se troceó en tramos manejables de longitud inferior a 3 metros empleando una sierra radial. Posteriormente, se retiraba la vaina para realizar una separación selectiva de los residuos (lechada, acero y vaina) para su posterior gestión.

La extracción de los tendones a su paso por los desviadores requirió de un procedimiento específico, puesto que el diafragma se había hormigonado directamente contra los tubos de polietileno generando una superficie de contacto adherente.

En función del grado de adherencia de los cordones a la lechada y de la proporción de vacíos en el interior de las vainas, la retirada de los anclajes se realizó directamente mediante el empleo de un dispositivo de extracción hidráulico, que reaccionaba contra una estructura previamente soldada sobre la placa de anclaje del sistema antiguo, o combinando esta técnica con la retirada previa de algunos cordones, mediante el empleo de un gato unifilar.

6.3 Tratamiento y adecuación de las zonas de anclaje.

Una vez retirado completamente el tendón, se realizó una inspección detallada de las zonas de anclaje y de desvío para decidir qué tipo de reparaciones o adecuaciones previas eran necesarias y que, como mínimo, abarcaban la limpieza de la zona y el abocinado de los bordes.

Previendo que la dimensión de la nueva trompeta sería algo mayor, y para evitar la demolición de la zona, se propuso la colocación de distanciadores apoyados sobre la placa de reparto existente. Estos elementos permiten que la nueva trompeta se aloje parcialmente en el interior de la trompeta existente sin contacto. Posteriormente, es necesario rellenar con lechada el espacio entre la nueva trompeta el interior del anclaje existente.

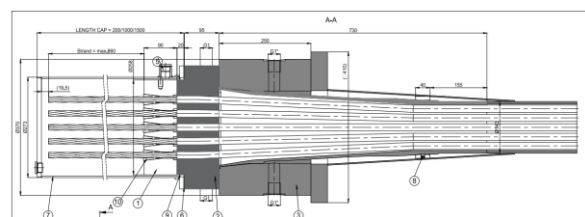


Figura 11. Sistema de anclaje del nuevo tendón

6.4 Colocación y tesado del nuevo tendón.

El nuevo sistema de pretensado disponía de manguitos electrosoldables telescópicos de 180 mm de diámetro para permitir el solape de las vainas en la zona inclinada del tendón a la entrada de anclaje y a la salida de uno de los puntos altos.

Para facilitar el enfilado se dejaron algunas aberturas adicionales (provistas con manguitos electrosoldables) para poder intervenir en caso de dificultad.

Una vez instalada la vaina y enfilados los cordones, se realizó un tesado inicial al 10% de la fuerza de tesado total y se inyectó completamente el trazado del tendón a excepción del anclaje, con lechada de cemento. Previamente, se había procedido al cierre de ventanas en las vainas empleando los mencionados manguitos.

El objetivo de la inyección era inmovilizar los tendones en el interior de la vaina durante el tesado final.

Una vez terminado el proceso de tesado, se cortaron los cordones, dejando una sobrelongitud suficiente en al menos uno de los extremos, para permitir que puedan destesarse y reemplazarse en el futuro. Dicho haz de cordones queda embebido junto con el bloque de anclaje en unos capots largos. Cada capot largo está relleno de resina de poliuretano flexible, fácilmente retirable. El acceso al anclaje extrayendo el capot permite hacer una inspección visual del estado del mismo con relativa facilidad.

7. Anclaje nuevos tendones en el diafragma del estribo 1.

Durante los trabajos de corte y reposición de los tendones se propuso un sistema de anclaje especial para los tendones que parten del diafragma del estribo 1 (estribo fijo), puesto que las cabezas de anclaje originales no estaban accesibles. El sistema consistió en situar por

delante del diafragma unos marcos metálicos orientados en la dirección de los nuevos tendones que permitieran alojar en su interior la cabeza de anclaje de los tendones transmitiendo las cargas a través de una pareja de chapas en prolongación hasta las paredes del diafragma.

De esta forma, las cabezas de anclaje de los nuevos tendones quedaban accesibles, posibilitando el reemplazo futuro de cordones en caso de ser necesario. El espacio previsto entre la cabeza de anclaje y el frontal del diafragma se diseñó para permitir el retesado de los cordones con un gato unifilar.



Figura 12. Marco de anclaje en el tendón 4 sustituido.

La colocación de esos marcos obligó a realizar anclajes a posteriori sobre el diafragma existente.

En el proceso de ejecución de catas para localizar la armadura existente en el diafragma, se descubrió un espesor de unos 50-55 cm de diafragma de hormigón en masa, que fue demolido empleando el método menos agresivo para la estructura.

Una vez retirado el espesor de hormigón en masa, se comprobó que el diafragma real tenía un espesor de aproximadamente 135 cm, insuficiente para permitir el anclaje de los marcos con la garantía requerida, si se tiene en cuenta que la transmisión de las cargas a través de los anclajes no permite movilizar el espesor total si no se dispone de una armadura suficiente para colgar las cargas hasta la cara posterior, como era el caso. Por este motivo, para permitir el anclaje de los tendones mediante el sistema previsto fue necesario

reforzar el diafragma, recreciéndolo en unos 85 cm, para permitir la disposición cruzada de armaduras de conexión con todo el perímetro de la sección cajón y con el diafragma actual.

Aprovechando la necesidad de recrecer el diafragma existente, se realizó un diseño de los marcos de anclaje de forma que una parte de los mismo quedase embebida para transmitir las cargas verticales de desvío al diafragma lo más próximas a la alineación de apoyos. La tracción horizontal en cada uno de los marcos es tomada por 12 barras de acero de alto límite elástico pretensadas y ancladas con resina hasta alcanzar casi la cara posterior del diafragma existente.

8. Anclaje nuevos tendones en el diafragma del estribo 2.

En el estribo 2, fue posible acceder a las cabezas de anclaje desde el espacio existente ente el espaldón del estribo y el tablero.

Los tendones reemplazados se tesaron desde el extremo opuesto y se retesaron con gato unifilar desde el espaldón, dejando un capot de anclaje accesible con unas dimensiones mínimas y compatibles con el rango de desplazamientos observado durante el transcurso de la obra, que una vez consumida casi por completo la deformación reológica, tenía una holgura suficiente compatible con la dilatación máxima esperada del tablero por efecto de la temperatura.

Para acomodar el trazado del nuevo tendón fue necesario hacer una pequeña sobreperforación que permitiera colocar la nueva vaina en la dirección correcta.



Figura 12. Detalle de la instalación del sistema de anclaje de unos de los nuevos tendones del E-2

9. Consideraciones finales.

La actuación realizada en el viaducto Rio Blanco fue una operación novedosa en España, que fue realizada de forma satisfactoria y manteniendo la línea en servicio. Se han encontrado referencias de actuaciones similares en otros viaductos con pretensado exterior fuera de España, como por ejemplo: viaducto de Saint-Clod (Paris), MidBay Bridge (Florida), Pont Île de Ré (Charente Marítimo).

Las medidas adoptadas en el viaducto de Rio Blanco y la investigación desarrollada han servido de base para la adopción de medidas preventivas en otros viaductos con tipologías similares.

Referencias

- [1] CEREMA (2018) *Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontraint extérieure*. Note d'information Ouvrages d'art.
- [2] Valiente, A., Iordachescu, M., Moragues, A. (2022) *Análisis mecánico y fractográfico del estado de daño existente en el tendón colapsado del Viaducto Río Blanco*. Departamento de Ciencia de Materiales. Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. ETSI Caminos Canales y Puertos. UPM. Documento no publicado.