

Sustitución de pretensados verticales en viaducto de la A-67 sobre Canal de Castilla, Frómista (Palencia)

Replacement of vertical prestressing in A-67 bridge over Canal de Castilla, Frómista (Palencia)

Ignacio Rueda Sastre^a, Tomás Ripa Alonso^b y Claudia Rodríguez Muñoz^c

^a Ing. de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infraestructures Consulting. Director de Estructuras. nachorueda@lraingenieria.es

^b Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infraestructures Consulting. Socio-Director. tomasripa@lraingenieria.es

^c Ing. de Caminos, Canales y Puertos. LRA Infraestructures Consulting. Jefe de proyecto. claudiarodriguez@lraingenieria.es

RESUMEN

El cruce de la autopista A-67 sobre el Canal de Castilla, a la altura del término municipal de Frómista (Palencia), se resuelve con dos estructuras independientes, de tipología cajón mixto, de 115 m de longitud entre apoyos. La fuerte descompensación de vanos, con un tramo central de 75 m y vanos laterales de 20 m, obliga a la disposición de pretensados verticales en los estribos. La rotura parcial de los cables de uno de los estribos provocó el levantamiento del tablero unos centímetros. En la inspección realizada se constató, además, que el resto de cables presentaban un deterioro avanzado. Estos fueron los detonantes para acometer la sustitución de todos los anclajes verticales por el procedimiento de emergencia.

ABSTRACT

The crossing of the A-67 highway over the Canal de Castilla, near the town of Frómista (Palencia), is resolved with two independent structures. They had a composite (concrete-steel) box section and 115 m total length. The strong imbalance of spans, with 75 m long principal span and laterals that are 20 m wide, requires vertical prestressing cables at the abutments. The inspection carried out also revealed that the remaining cables showed advanced deterioration. These were the triggers for undertaking the replacement of all the vertical anchors through an emergency procedure.

PALABRAS CLAVE: descompensación, anclajes, pretensado, sustituible, estribo, riostra.

KEYWORDS: imbalance, anchors, prestressing, replaceable, abutment, diaphragm.

1. Descripción de la estructura

Las estructuras se localizan en el p.k. 37+600 de la A-67 (autovía Cantabria – Meseta), y permiten el cruce de ambas calzadas sobre el Canal de Castilla, en el término municipal de Frómista (Palencia).

Se trata de dos estructuras mixtas, de planta curva, de 116,50 m de longitud total, distribuidos en 3 vanos de luces 20-75-20 metros.

Su sección transversal está formada por un cajón metálico de canto variable, con 1,60 m en la sección de centro de vano y estribos y llegando a alcanzar los 3,20 m en las secciones de pila; la anchura superior entre almas es constante, de 6,0 m, mientras que la inferior varía con el canto entre 4,0 y 2,0 metros. La losa de compresión se ejecuta sobre prelosas colaborantes, cuenta con un espesor total de 30 cm y canto variable en

voladizos. En los vanos laterales y 15,0 m del vano central se hormigona la parte inferior del interior del cajón, con el objetivo de dotar a las secciones de pila de los beneficios de la doble acción mixta.

Las pilas están formadas por un fuste único de sección circular de 1,80 m de diámetro; el tablero apoya directamente sobre un único apoyo circular tipo POT deslizante, de 1,20 m de diámetro. La cimentación es profunda, con un encepado pilotado con 4 pilotes Φ 1500.



Figura 1. Vista inferior del tablero.

Los estribos son abiertos, con dos fustes rectangulares de 1,50 x 1,40 metros, con un dintel cargadero de 11,30 m de anchura total. El tablero cuenta con una riostra transversal, que permite disponer los apoyos, de tipo neopreno zunchado, con una separación entre ejes de 9,0 m. Existen dos pretensados verticales por apoyo, situados de forma simétrica a ambos lados de este, a una distancia de 50 cm entre ejes. Al igual que en las pilas, la cimentación es profunda mediante 4 pilotes Φ 1500, con un enchapado común para ambos fustes, de 13,0 m de anchura. El relleno de tierras del trasdós del estribo se contiene mediante muros de suelo reforzado, que se prolongan evitando el derrame entre ambas estructuras.



Figura 2. Estríbo E-2 de la calzada izquierda.

2. Pretensados verticales

La reacción vertical de tiro en servicio, según el proyecto original, era de 245,6 ton por apoyo; para evitar el levantamiento, los estribos cuentan con 2 pretensados verticales por apoyo, formados por cables de 15 torones de 15,2 mm de diámetro (Φ 0,6”), de acero Y-1860-S7. La tecnología empleada, a mediados de los años 2000, es la de cordones desnudos protegidos con vaina colectiva Φ 95 inyectada de lechada. Los anclajes activos se sitúan en la cara superior de la riostra del estribo, alineados con el alma del mamparo de apoyos, que se interrumpe con unos tubos de acero que permiten el paso de los cables. El cable se prolonga por el interior de los fustes hasta alcanzar el enchapado del estribo, donde se encuentra embebido su anclaje pasivo.

Para permitir los movimientos del tablero producidos por las deformaciones impuestas, los cables deben contar con cierta longitud libre; En los fustes se emplea como encofrado un tubo de PVC de 200 mm de diámetro, relleno de grasa, de forma que permita la libertad de movimientos de los cables de pretensado.

El encontrarse los pretensados alojados en el interior de los fustes, no es posible realizar la inspección completa de los mismos; del mismo modo, por el sistema empleado, con el anclaje pasivo embebido en el enchapado, no es posible acometer su sustitución.

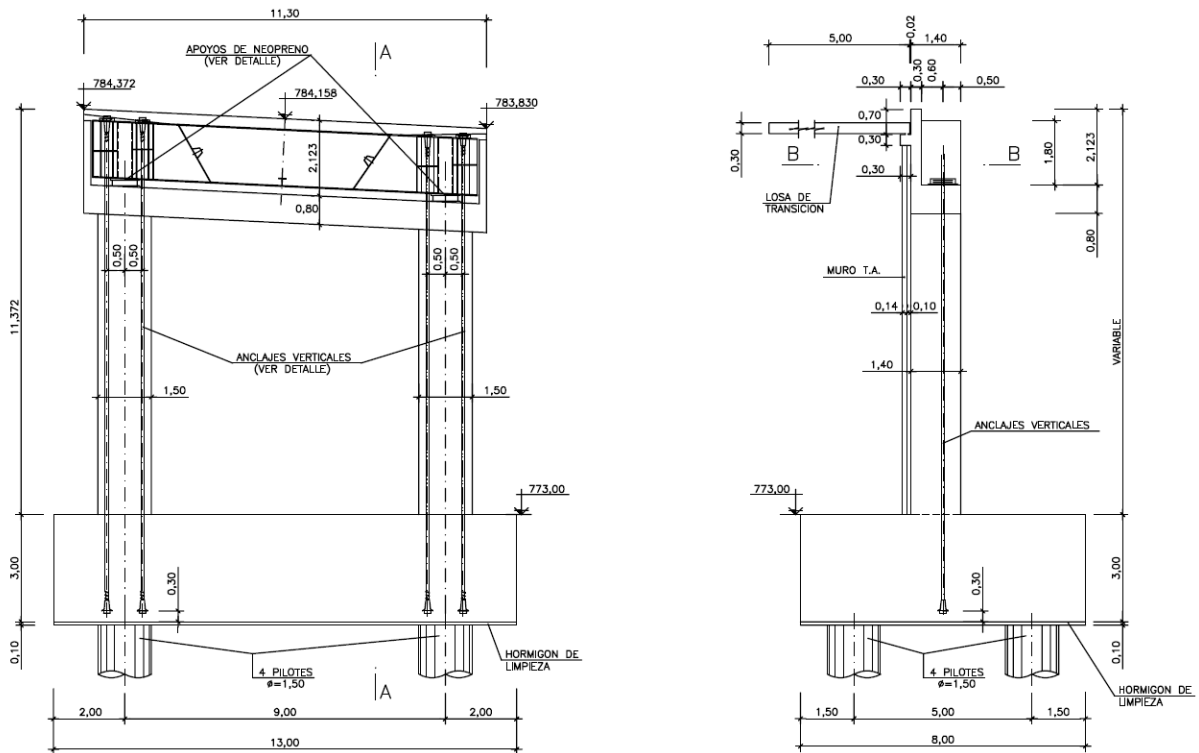


Figura 3. Extracto de los planos de estribos del Proyecto de Construcción de los viaductos.

3. Problemática

Tras la rotura de la junta de calzada y el levantamiento del tablero unos 7 cm centímetros en uno de los estribos, se procedió a cortar el tráfico, desviándolo por la nacional, y llevar a cabo una inspección detallada de la estructura.

Respecto a los pretensados verticales, sólo puede inspeccionarse visualmente la longitud libre entre la cara inferior de la riostra y la cara superior del cargadero del estribo. En esta zona se observó una pérdida completa del sistema de protección; los cordones se encontraban

desnudos, mostrando un grado de corrosión muy avanzado, que llegaba incluso a la rotura de varios alambres.

Los cables de pretensado vertical en estribos son, sin lugar a duda, un elemento sensible a los problemas de durabilidad, al estar sometidos al agua y sales que indefectiblemente se filtran a través de la junta de dilatación y que constituyen un agente agresivo de primer orden que agrava la corrosión bajo tensión de los cables de pretensado.



Figura 4. Estado de los cables de pretensado del apoyo situado en la zona del levantamiento.



Figura 5. Corrosión generalizada y rotura de varios alambres.

En este caso, además, se han observado ciertos detalles de ejecución que no favorecen la durabilidad de estos cables. En efecto, tal y como se puede apreciar en la Figura 6, los cables de pretensado están alojados en una vaina inyectada de lechada, solución usual en cables de pretensado con tecnología previa a la utilización de los torones autoprotegidos o de los cables estancos inyectados con ceras. Ahora bien, también se procedió a inyectar con lechada el tubo de movimiento del cable, en el que se aloja la vaina, y que debería estar totalmente exento para permitir el libre movimiento del cable acompañando las deformaciones impuestas del tablero. El hecho de que la vaina de protección de los cables se dispusiera metálica en lugar de plástica pudo inducir a que, en un intento de protegerla de la corrosión, se inyectara también el tubo exterior.



Figura 6. Parte inferior de la riostra donde se observa la doble inyección existente: en el interior de la vaina y rellenando el hueco exterior.

Esta inyección coacciona el libre movimiento del cable de pretensado vertical, por lo que el tablero se ha acodado contra él, solicitándolo a cizalladura con los movimientos impuestos de los ciclos térmicos de contracción y dilatación. Este es el principal motivo de la rotura de la vaina y la pérdida por completo de la lechada de protección, dejándolo los torones completamente desnudos y acelerando el proceso de corrosión.

Tras el levantamiento del puente por la rotura de dos cables de pretensado y la inspección del estado del resto, se determinó que existía un riesgo cierto de que se produjeran nuevas roturas frágiles en los cables de pretensado vertical restantes, por lo que se extendió la actuación a la totalidad de los cables de pretensado vertical existentes en ambas estructuras.

4. Solución adoptada

Como se ha reflejado anteriormente, la actuación de reparación se llevó a cabo en los dos estribos de ambas estructuras, y ésta se basaba en la sustitución los pretensados verticales existentes por un nuevo sistema, con tecnologías actuales y máxima protección frente a la corrosión, que además sea inspeccionable y totalmente sustituible.

El dimensionamiento de la solución se llevó a cabo adoptando como referencia el marco de los Eurocódigo, con forme a la OC 1/2019. El incremento de los valores característicos de las acciones, respecto a las empleadas en el diseño original (IAP-98), supone un aumento de la fuerza de tiro en los estribos; la reacción en servicio se ha incremento de las 246,5 ton del proyecto original a 3.122 kN, obteniendo una reacción de tiro en ELU de 4.243 kN.

En la inspección no se observaron símbolos de agotamiento en los neoprenos zunchados, debido a su bajo nivel de solicitaciones, por lo que no se planteó su sustitución. La fuerza de tesado inicial se determinó de forma que se garantizara una compresión mínima de 3,5 MPa en los apoyos, de dimensiones en planta 500 x 700 (mm x mm), tras las pérdidas instantáneas y diferidas de pretensado, estimadas en un 10% y 15%, respectivamente. De este modo, se tiene una fuerza de tesado inicial de 5.682 kN por apoyo, ligeramente superior a las 478 ton establecidas en el proyecto inicial.

El nuevo pretensado vertical se diseñó con 2 cables por apoyo de 15 torones de acero Y 1860 S7, con 150 mm² de área por torón (ϕ 0,62"). Los cables se tesarán al 67,9% de la tensión última de rotura del cable, con el fin de proporcionar la fuerza de tesado determinada anteriormente. El tesado de todos los cables de pretensado de cada estribo deberá ejecutarse de forma simultánea, por lo que se dispondrán de cuatro gatos conectados al mismo circuito para que trabajen en isopresión. La protección frente a la corrosión queda garantizada al emplear un sistema de triple capa, con cordones galvanizados autoprotegidos dispuestos en el interior de una vaina de PEAD colectiva inyectada de grasa.

En obra se empleó el sistema Wire EX de Dywidag; en concreto, el Wire EX 66, formado por 66 alambres de 7 mm de acero Y 1770 C. Este sistema de pretensado exterior viene prefabricado, adaptado a la longitud necesaria, y cuenta con anclajes roscados en sus extremos; esto simplifica la instalación y el proceso de tesado, además de que se reducen las pérdidas instantáneas habituales por penetración de cuñas. La protección frente a la corrosión queda garantizada al suministrarse el cable con una vaina colectiva de PEAD de 90 mm de diámetro rellena de ceras; en sus extremos, los anclajes se protegen con capots metálicos de acero galvanizado inyectados.

Puesto que, tal y como se ha comentado, resultaba inviable la sustitución de los pretensados en su posición original, para la colocación de los nuevos cables de pretensado se prolongó la riostra transversal del tablero hacia el exterior 85 cm respecto a su extremo actual. Con ello, el vuelo total respecto al eje de apoyos es de 1,75 m, disponiéndose los nuevos cables con un vuelo de 1,35 m respecto al eje de apoyos. Para la ejecución de la prolongación se demolió previamente la oreja de hormigón armado existente en el estribo y se retiró además la chapa de cierre lateral de la riostra. La sección tipo de la riostra existente se prolonga en la zona de ampliación, es decir, alas de 1000 x 25 mm y alma 1550 x 25 mm.

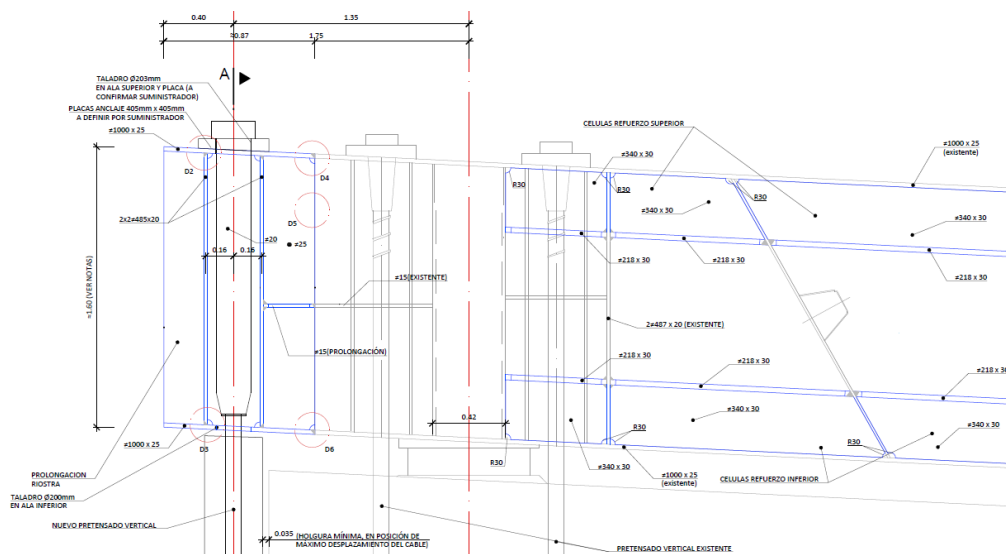


Figura 7. Prolongación de la riostra existente y ubicación de los nuevos pretensados.

Dada la modificación en la ubicación de los pretensados verticales, se comprobó que resultaba necesario disponer de chapas de refuerzo en la riostra existente, a partir de las alas exteriores del cajón de rigidización de apoyos. Este refuerzo se coloca tanto en la parte superior como en la inferior y consiste en chapas de 340 x 30 mm, con alas de cierre de 218 x 30 mm, creando unas células inferior y superior en la cara accesible de la riostra. Para la colocación de este refuerzo resulta necesario cortar el rigidizador longitudinal existente en el interior del cajón metálico y soldarlo posteriormente al alma del refuerzo.

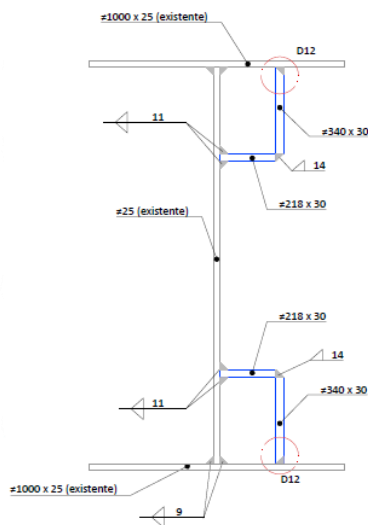


Figura 8. Sección del refuerzo de la riostra.

Los nuevos cables de pretensado vertical se alojan en la prolongación de la riostra, con sus rigidizadores correspondientes y los agujeros para el paso a través de las alas. Como rigidizadores bajo los anclajes del pretensado se disponen dos chapas de 485 x 20 mm a cada lado de cada cable de pretensado, soldadas al alma de la riostra, separadas 275 mm entre sí y cerradas frontalmente con una chapa de 20 mm.

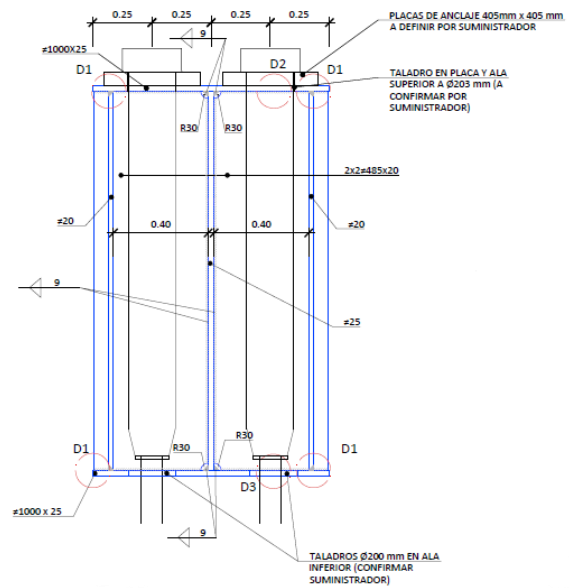


Figura 9. Sección de los rigidizadores bajo los anclajes del pretensado.

El anclaje inferior del pretensado vertical se ejecuta sobre la cimentación del estribo, mediante la disposición de unos dados de anclaje conectados mediante un plinto transversal, según se refleja a la Figura 10.

Tal y como se puede observar en la Figura 12, la solución del anclaje inferior implica la realización de un recrecido frontal del fuste de 30 cm. Así, las dimensiones de los dados de anclaje son 2,20 x 1,70 m; de los 1,70 m, 1,40 m corresponden al fuste existente y los 0,30 m restantes son el recrecido delantero. Estos dados no se anclan a la cimentación, sino que dejan una holgura entre su cara inferior y el encepado de 0,50 m con el fin de permitir que los anclajes sean inspeccionables y sustituibles. El plinto, por su parte, sí está anclado a la cimentación del estribo, por lo que este tendrá una altura total de 2,70 m y una anchura de 1,70 m.

Como se ha comentado anteriormente la solución propuesta deja accesible el anclaje inferior para permitir su destesado y sustitución, gracias a la holgura que queda entre la cimentación y el dado de anclaje y que permite el destesado del anclaje roscado. El anclaje activo es el superior, por lo que no es necesario prever holgura para el gato en el inferior.

su carga última, considerando un 10% de pérdidas instantáneas y un 15% de diferidas. Estas barras se disponen de lado a lado, dispuestas a lo largo del plinto y los dados de anclaje.

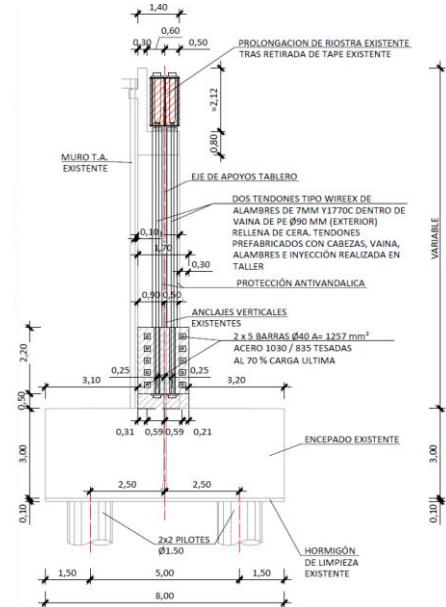


Figura 11. Sección del plinto.



- 14 $\phi 25$ mm en la cara de intradós del pórtico (8 en la anchura del fuste ⑥ y 6 al lado ④).
- 9 $\phi 25$ mm en la cara de trasdós del pórtico (al lado del fuste ③).
- 8 $\phi 25$ mm junto a la cara lateral interior del pórtico ⑤).

A photograph of a large, modern concrete structure, likely a bridge pier or retaining wall. The structure is composed of several vertical concrete panels and a prominent horizontal concrete beam. The concrete is a light gray color. The structure is situated outdoors, with a clear blue sky and some vegetation visible in the background. The structure appears to be part of a larger building or infrastructure project.

Ignacio Rueda Sastre – Tomás Ripa Alonso – Claudia Rodríguez Muñoz / IX CONGRESO ACHE – GRANADA 2025 8