

Diseño conceptual y proceso constructivo del refuerzo dispuesto en el tablero del Viaducto del Guiniguada, en Las Palmas de Gran Canaria

Conceptual design and construction process of the reinforcement arranged in the deck of the Guiniguada Viaduct in Las Palmas de Gran Canaria

José Antonio Llombart Jaques^a, Orlando Manuel Hernández García^b, Néstor López Luján^c, Nuria Fernández Vázquez^d, Pablo Vílchez Motino^e, Antonio Resta^f, Carlos Falcón Rodríguez^g

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniería Civil - Consultoría y Proyectos. ja@jallombart.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cabildo de Gran Canaria. Jefe de Servicio Técnico. omhernandezg@grancanaria.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cabildo de Gran Canaria. Adjunto Jefe de Servicio Técnico. nlopezl@grancanaria.com

^d Ingeniera Técnica Industrial. Freyssinet. S.A.U. Directora Área Nueva Construcción. nuria_f@freysinet-es.com

^e Ingeniero Industrial. Freyssinet. S.A.U. Director Técnico. pablo_v@freysinet-es.com

^f Ingeniero Civil. Freyssinet. S.A.U. Ingeniero Departamento Técnico. antonio_r@freysinet-es.com

^g Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Freyssinet. S.A.U. Jefe de Proyectos. carlos_f@freysinet-es.com

RESUMEN

El Viaducto del Guiniguada, puesto en servicio en el año 2003, ha precisado la realización de una obra de reparación y refuerzo del tablero para compensar los efectos derivados de una patología debida al deterioro del acero del pretensado exterior que discurre por dentro del tablero y parte del pretensado interior de la sección de hormigón. Se describe la solución adoptada, consistente en la disposición de un pretensado exterior adicional, que sobresale de uno de los tableros por la parte inferior y adopta un esquema extradadosado, que constituye una singularidad dentro del tipo de obra ejecutado, consistente en un refuerzo estructural.

ABSTRACT

The Guiniguada Viaduct, put into service in 2003, has required a repair and reinforcement of the deck to compensate for the effects of a pathology due to the deterioration of the steel of the external prestressing that runs inside the deck and part of the internal prestressing of the concrete section. The solution adopted is described, consisting in the arrangement of an additional external prestressing, which protrudes from one of the decks at the bottom and adopts an extradosed scheme, which constitutes a singularity within the type of work carried out, consisting in a structural reinforcement.

PALABRAS CLAVE: pretensado exterior, corrosión, vainas, extradadosado, puntal metálico.

KEYWORDS: external prestressing, corrosion, ducts, extradosed, steel strut.

1. Introducción

El Viaducto del Guiniguada está constituido por un conjunto de estructuras pertenecientes a la Autovía de Circunvalación de Las Palmas de Gran Canaria, que soporta un tráfico intenso con una IMD de 130.000 vehículos/día.



Figura 1. Viaducto del Guiniguada. Vista general

La fracción del Viaducto, destinada al cruce sobre el Barranco del Guiniguada, consta de dos estructuras gemelas, separadas del resto por juntas de dilatación.



Figura 2. Fracción del viaducto, destinada al cruce sobre el Barranco.

El tablero está formado por unas vigas-cajón de canto variable, de hormigón postesado, que forman un tramo continuo de tres vanos, con una sucesión de luces de 78 – 140 – 70 metros. La construcción del tablero se realizó

mediante el procedimiento clásico de avance en voladizo desde las pilas principales, de 100 metros de altura, con cierre posterior en clave para conseguir la continuidad estructural.



Figura 3. Tramo principal, en fase de ejecución

Tras la finalización de la obra, el Viaducto del Guiniguada fue puesto en servicio en el año 2003.

2. Constitución del tablero existente

2.1 Características generales. Pretensado

El tablero tiene un ancho total de 18.30 m y un canto vertical variable, de 3.10 a 8.00 m. Es visitable en su interior y dispone de un acceso para el personal, desde el estribo.

La estructura del tablero dispone de 4 sistemas distintos de pretensado:

- Pretensado longitudinal, en el interior de la tabla superior, en la disposición clásica de los puentes contruados por voladizos sucesivos.
- Pretensado transversal, dispuesto en el interior de la tabla superior.
- Pretensado exterior, dispuesto en el interior de la viga-cajón del tablero.

- Pretensado longitudinal de continuidad, dispuesto en el interior de la tabla inferior del tablero.

A continuación, se muestran algunas de las características más relevantes de los 2 últimos sistemas de pretensado citados, ya que han sido objeto del estudio y análisis de una importante patología detectada que ha motivado la realización de la obra, consistente en la reparación y refuerzo de la estructura.

2.2 Pretensado exterior

Se trata de un conjunto formado por 16 tendones dispuestos en el interior de cada una de las 2 estructuras que constituyen el tramo principal del Viaducto, compuesto por 3 Vanos.

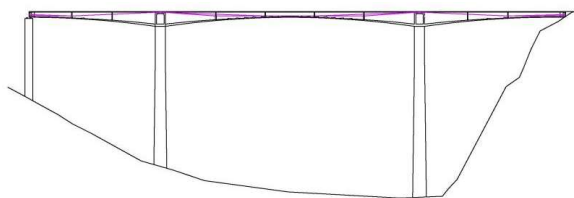


Figura 4. Pretensado exterior. Esquema

Cada uno de los tendones está constituido por un tubo de polietileno, que contiene 24 cordones de acero de alta resistencia, de 140 mm^2 de sección unitaria, envueltos por una lechada de cemento. En fase de construcción, cada tendón se tesó con una fuerza de 478 toneladas.

2.3 Pretensado de la tabla inferior del tablero

Está situado en 3 zonas de la tabla inferior del tablero: En los 2 vanos laterales (Compensación) y en el vano central (Continuidad). Este último, está constituido por 30 tendones, cada uno, de $12 \text{ cordones de } 140 \text{ mm}^2$ de sección unitaria.

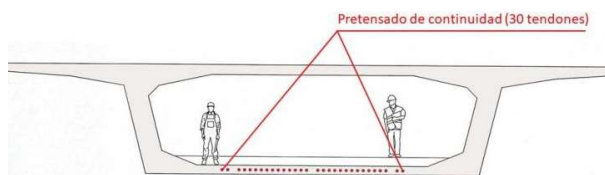


Figura 5. Pretensado de continuidad

3. Patología

3.1 Pretensado exterior

Durante una inspección llevada a cabo, a mediados de 2022, se detectó una patología, consistente en el deterioro del pretensado exterior existente en el interior del tablero de las estructuras que constituyen los tramos del Viaducto, construidos por avance en voladizo.



Figura 6. Interior del tablero de una de las estructuras

Había un gran número de tendones rotos (80% en la estructura situada aguas abajo del Barranco). Los restantes tendones que permanecían en su posición y en tensión aparente, presentaban signos de deterioro y riesgo de rotura.

El aspecto más notable de la patología se centraba en la corrosión del acero de alta resistencia existente en el interior de los tubos, asociado a defectos de la inyección de lechada, con signos de inexistencia en algunas zonas localizadas, combinadas con entrada de agua procedente de filtraciones de la losa superior.

Tras la constatación del deterioro generalizado del pretensado exterior y el evidente debilitamiento de la estructura que constituía el Viaducto, se tomaron medidas inmediatas de limitación del tráfico de vehículos y se inició una obra de emergencia, consistente en la restitución de la capacidad resistente de la estructura.

Una vez detectada la patología existente y tras el análisis de la información, se comprobó que la disminución de la capacidad resistente de

la estructura del viaducto, motivada por el deterioro apreciado del pretensado exterior, no comprometía la seguridad global del conjunto y era compatible con el tráfico de vehículos, parcialmente restringido en lo referente a la intensidad de cargas. Se determinó que la reparación, consistente en desmontar el pretensado exterior existente y sustituirlo por uno equivalente, era viable bajo dichas condiciones. Para garantizar la seguridad, se implementó un sistema de monitorización que ha permitido verificar de forma continua el comportamiento estructural.

3.2 Pretensado de la tabla inferior

Una vez iniciados los trabajos de sustitución del pretensado exterior, durante una inspección realizada en obra, se detectaron indicios de falta de inyección en parte de los tendones pertenecientes al pretensado interior de continuidad.

En consecuencia, se realizó una inspección previa o preliminar y se utilizó un boroscopio, accediendo a los tendones en ambos anclajes por las purgas de inyección de éstos.

A la vista de los resultados de estas inspecciones preliminares, se llevó a cabo una inspección complementaria, más profunda, con la finalidad de obtener mayor información sobre el estado de los cordones, mediante su inspección visual directa a través de la apertura de ventanas longitudinales y transversales ejecutadas en la masa de hormigón.

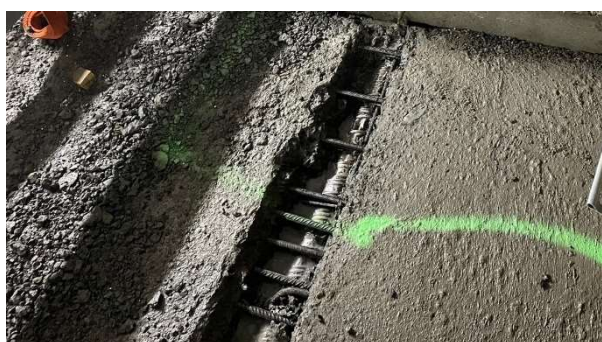


Figura 7. Ventana longitudinal, abierta mediante hidrodemolición, para inspeccionar un tendón

En ese momento, se puso de manifiesto la ausencia de inyección en gran parte de los tendones observados, existencia de restos de lechada en algunos casos, signos de oxidación, agua en el interior de los conductos y rotura de hilos de los cordones.

4. Análisis de la situación

Tras la iniciación de los trabajos correspondientes a la corrección de los efectos causados por la rotura parcial del pretensado exterior, hubo que asumir el hecho de que la patología del pretensado interior de continuidad constituía un problema añadido, de gran importancia, debido a su entidad como pieza fundamental de la estructura resistente del tablero

La rotura parcial de los cordones del pretensado de continuidad había provocado un evidente debilitamiento de la capacidad resistente y por añadidura, la situación de degradación irreversible y progresiva del acero constituía una amenaza a medio y largo plazo de la integridad, vida útil y seguridad del conjunto del Viaducto. Por tal motivo, se estimó imprescindible la adopción de medidas urgentes para normalizar la situación provocada por el deterioro de tendones, tanto en lo referente a la restitución de la capacidad resistente del tablero debilitado por el deterioro de los dos sistemas de pretensado citados -exterior e interior de continuidad-, como para recuperar las expectativas iniciales de durabilidad a largo plazo, que habían quedado notablemente disminuidas.

Debido a la existencia de inyección parcial en el interior de las vainas del pretensado de continuidad, la extracción del acero existente y su sustitución era inviable, a diferencia del pretensado exterior, reemplazable en su totalidad. Por tal motivo, para compensar la pérdida parcial de la capacidad resistente debida al acero deteriorado, se consideró imprescindible la adición de un sistema de refuerzo, que se

proyectó simultáneamente y a lo largo de los trabajos de reposición del pretensado exterior.

Durante los citados trabajos se realizaron verificaciones del grado de seguridad global de forma sistemática, teniendo en cuenta todas las circunstancias de la obra, estado parcial del pretensado exterior útil y estimación del deterioro del pretensado de continuidad, difícilmente cuantificable con precisión, a partir de los resultados de las inspecciones en las que solo había sido posible acceder parcialmente al interior de algunos de los conductos de los tendones para verificar su estado real.

La carencia de datos exactos acerca del número de cordones dañados, pertenecientes al pretensado de continuidad, constituía un obstáculo para la determinación del grado de seguridad existente, de una forma precisa, en la consideración de los Estados Límites establecidos por la Norma.

No obstante, teniendo en cuenta el comportamiento real de la estructura fue posible deducir que, a pesar de la patología detectada, el estado de las dos estructuras que constituyen el Viaducto había permanecido en una situación que seguía cumpliendo con las condiciones exigibles de servicio, debido a la inexistencia de fisuración, gracias al buen estado del hormigón y su elevada resistencia a compresión y tracción. Aunque el margen de seguridad existente desde un principio realmente había disminuido considerablemente como consecuencia del debilitamiento de la capacidad resistente producido por la rotura parcial del acero del pretensado exterior y pretensado de continuidad, las estructuras se encontraban en condiciones admisibles de seguridad para cumplir su cometido en el estado de servicio con el tráfico restringido a vehículos ligeros, si bien no era cuantificable el margen de seguridad adicional existente.

5. Actuaciones propias de la obra de reparación

- Sustitución de la totalidad del pretensado exterior inicial. Incremento de la sección del acero y adopción de una tecnología más avanzada, en beneficio de las condiciones de durabilidad.
- Obra de inspección, encaminada a conocer el deterioro del pretensado interior de la tabla inferior en el orden cualitativo y cuantitativo.
- Reinyección de los conductos de pretensado existentes en la tabla inferior.
- Proyecto y Construcción de refuerzos estructurales, destinados a compensar la pérdida de la capacidad resistente del pretensado interior, producida por el deterioro detectado.
- Colmatación de huecos existentes para garantizar la estanqueidad del tablero e impedir la entrada de agua procedente del exterior.

6. Solución adoptada. Descripción general

6.1 Estructura situada aguas abajo del Barranco

El porcentaje estimado de daños representa el 18 % del total del pretensado de continuidad en su estado original, con un posible alcance de hasta el 20%. La sustitución del pretensado exterior existente por uno de mayor sección de acero ha permitido compensar parcialmente el deterioro en un 12,5%, siendo necesario un refuerzo adicional para superar el daño restante.

La solución adoptada ha consistido en aplicar un sistema de refuerzo que incluye un pretensado exterior adicional a lo largo de toda la viga-cajón del tablero, comprendido entre las dos juntas de dilatación. La ganancia del pretensado exterior adicional es del 11,9 %, lo que, sumado al incremento logrado con el pretensado exterior sustituido por uno de mayor

sección, da un total del 24,1 %, superior al valor máximo del deterioro estimado (20%).

El pretensado exterior complementario del refuerzo está formado por 2 tendones con 26 cordones de 150 mm² de sección unitaria en cada uno de los vanos laterales, y 4 tendones con 13 cordones en el vano central.

6.2 Estructura situada aguas arriba del Barranco

El porcentaje estimado de daños en el pretensado de continuidad supera el 52%, pudiendo alcanzar hasta el 60%. Además, se prevé que el proceso de deterioro, que ya ha comenzado, podría intensificarse a medio plazo, a pesar de las medidas protectoras implementadas, que incluyen la reinyección en los conductos donde la inyección inicial fue defectuosa.

La sustitución del pretensado exterior por uno de mayor sección de acero ha logrado compensar únicamente el 17,3% del total del pretensado de continuidad en su estado original, sin deterioro.

Se evaluó la posibilidad de compensar el deterioro restante mediante la instalación de un pretensado exterior adicional, similar al de la estructura gemela, pero de mayor capacidad. No obstante, se concluyó en que esta solución era insuficiente, incluso considerando la máxima potencia de pretensado que técnicamente puede instalarse en el interior del tablero, debido a la limitación geométrica del canto vertical de 3,10 metros en la sección de la clave del vano principal.

El aumento de la resistencia a flexión requerida no puede lograrse mediante un mecanismo ubicado dentro del tablero del viaducto de Guiniguada, cuyo canto vertical es de 3,10 m en el centro del vano. Sin embargo, es posible incrementar la eficacia del canto vertical mediante un sistema estructural que disponga los tendones de pretensado fuera de la estructura, desviados a una distancia adecuada para alcanzar los resultados deseados.

La solución no convencional desarrollada ha consistido en adoptar un esquema de pretensado extradosado, que sobresale por debajo del tablero existente. Este procedimiento, aunque utilizado en algunos puentes de nueva construcción a nivel mundial, no tiene precedentes en el refuerzo de estructuras de características similares.

En el viaducto de Guiniguada, el montaje del sistema de pretensado extradosado, a 100 metros de altura sobre el fondo del barranco, ha requerido la aplicación de procedimientos especiales, propios de la construcción de grandes puentes. En este caso, se ha justificado su uso para lograr la restitución de la capacidad resistente del tablero con un amplio margen de seguridad.

El incremento de la capacidad resistente logrado con el sistema instalado representa el 70,9 % del total del pretensado de continuidad en su estado original. Sumado a la ganancia del nuevo pretensado exterior (17,3%), el total resultante alcanza el 88,2%.



Figura 8. Esquema del pretensado adicional

El sistema de refuerzo está constituido por 4 tendones de 26 cordones en cada uno de los vanos laterales, que se solapan en las zonas situadas en la cabeza de las pilas principales con 4 tendones de 26 cordones del vano central, que parcialmente discurren por el exterior del tablero.



Figura 9. Sistema extradosado

Debido a la fuerza de tesado del conjunto de los 4 tendones (1924 t), la fuerza ascensional inducida al tablero por el puntal desviador es de 574 toneladas, que provocará un movimiento ascendente instantáneo de 6,1 centímetros en el centro del vano principal.

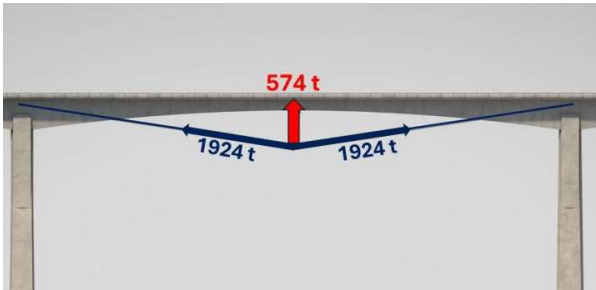


Figura 10. Esquema general de fuerzas del pretensado extradosado

Debido a la gran rigidez del tablero existente, la variación de tensión en el acero del pretensado por la acción de las sobrecargas es irrelevante. La magnitud de la variación de tensión en el acero debida al paso de un vehículo virtual de 60 toneladas es de 3,7 Mpa.

El tesado del pretensado extradosado se aplicará con una tensión resultante equivalente al 65% de la carga de rotura. La medida adoptada no está asociada a una limitación por motivos de fatiga del material, sino simplemente para tener una reserva de fuerza complementaria para aplicar en el futuro mediante retesado, si fuese necesario.

7. Puntal desviador

Está constituido por una pieza metálica de 25 toneladas de peso y 10 m de altura, construida en taller, que se ha incorporado al conjunto estructural mediante izado desde el interior del tablero con 4 cables, accionados por gatos tipo “heavy lifting”.



Figura 11. Izado del puntal

El contacto del puntal desviador al tablero se efectúa directamente a través de 4 bloques de neopreno zunchado.

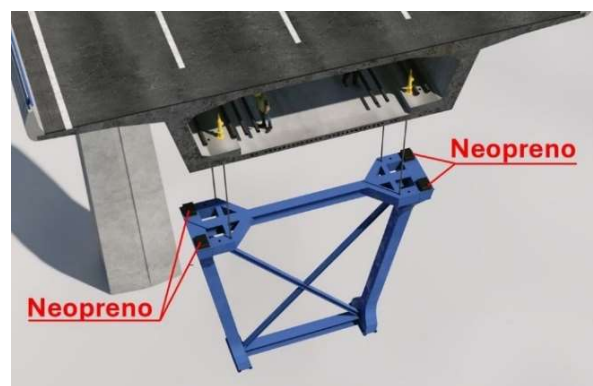


Figura 12. Bloques de neopreno en cabeza del puntal

Una vez el puntal alcanza su posición definitiva, la carga de suspensión del sistema “heavy lifting” es transferida a 4 barras de 36 mm de diámetro, cada una de ellas tesada con una fuerza inicial de 32 toneladas.

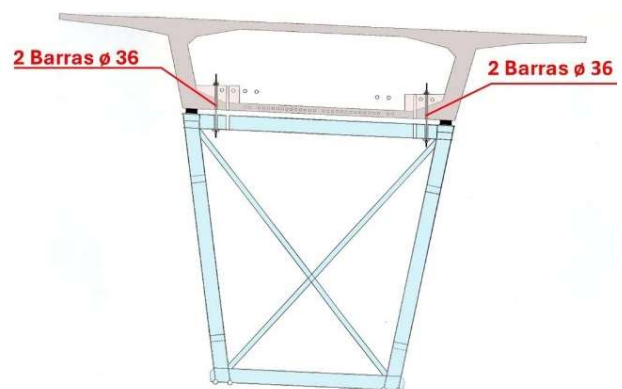


Figura 13. Barras de cuelgue del puntal

Posteriormente, se monta una fijación horizontal adicional, consistente en 4 topes axiales, cada uno de ellos constituido por una barra de acero inoxidable de 45 mm de diámetro, que ejerce su función trabajando a cortadura simple. Cada barra está envuelta en una pieza circular hueca de teflón, que queda confinada por la estructura metálica.

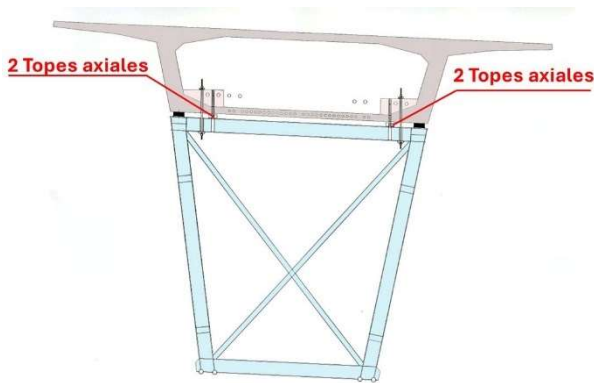


Figura 14. Topes de retención horizontal

Con ello, el tope de retención horizontal es deslizante verticalmente y permite los pequeños movimientos debidos a la variación de altura de los bloques de neopreno producidos por la progresiva carga del puntal transmitida durante la fase de tesado de los tendones.

Contando con los sistemas descritos, la vinculación del tablero al puntal responde a un esquema estructural de empotramiento con fijación horizontal.

8. Proceso constructivo

8.1 Trabajos en el interior del tablero

Se ha procedido al desmontaje y retirada del pretensado exterior existente y la sustitución por otro pretensado exterior. El trabajo se ha realizado de forma gradual y controlada, a fin de mantener en todo momento un grado de seguridad global admisible.

El montaje de los nuevos tendones en el interior de la estructura ha exigido la ejecución de una gran cantidad de refuerzos locales, construcción de piezas de hormigón en zonas de

desvío, bloques de anclaje en zonas de difícil acceso y de forma compatible con los elementos estructurales existentes, tales como el pretensado exterior existente y el propio pretensado interior. Existe una gran cantidad de taladros en el hormigón, algunos de ellos de magnitud notable, como los que sirven de paso de los nuevos tendones por la tabla inferior del tablero, con una longitud de 4 metros y un diámetro de 280 mm.

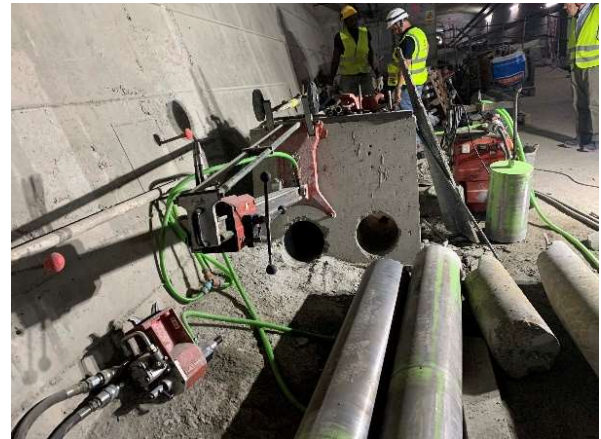


Figura 15. Ejecución de taladros en hormigón

8.2 Fabricación y colocación del puntal desviador

El puntal desviador se ha elaborado en taller, con una exigencia de gran precisión, habida cuenta de las condiciones de encaje geométrico en un tablero existente con trazado en planta con curva y contracurva, peralte variable, agujeros para paso de elementos de cuelgue y el desvío de tendones en el interior de tubos metálicos, que forman parte de la propia estructura.



Figura 16. Montaje en blanco del puntal, en taller

El puntal desviador se ha expedido desmontado en piezas independientes y el ensamblaje final se ha realizado a pie de obra, en las proximidades del viaducto.

Finalizado el ensamblaje, el puntal se ha transportado hasta el centro del vano principal del tablero de la estructura gemela, situada aguas abajo, donde una grúa de gran tonelaje ha ejecutado una maniobra de descenso de 100 metros de la pieza, hasta el fondo del Barranco, que pasa en el pequeño espacio existente entre los tableros de las dos estructuras.



Figura 17. Descenso del puntal

Tras la llegada al fondo del Barranco, se han montado los andamios de trabajo, junto con los elementos auxiliares de los tubos de desvío y se ha efectuado un ripado, con la pieza suspendida de los propios cables de izado hasta que ha quedado situado en coincidencia con la vertical de la posición definitiva.



Figura 18. Puntal, en el fondo del Barranco

Una vez finalizada la maniobra de ripado, se ha iniciado el izado del puntal desviador, provisto de los andamios de trabajo

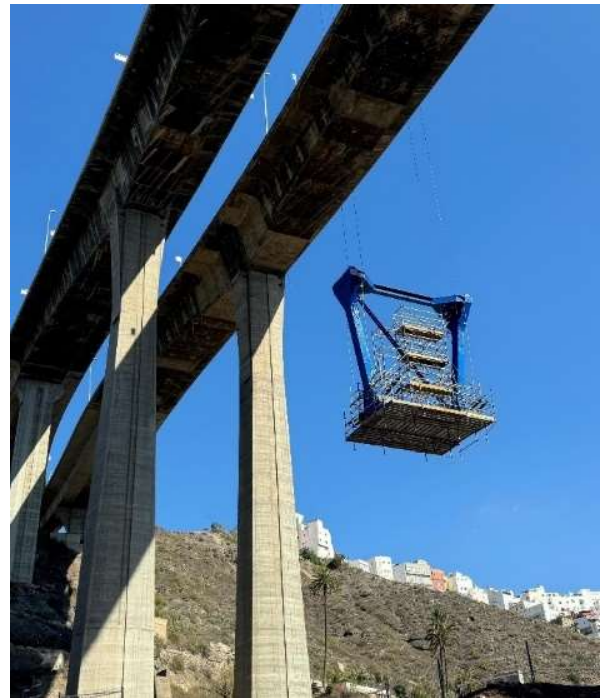


Figura 19. Izado del puntal



Figura 20. Puntal, en su posición definitiva

Finalizado el izado se ha procedido a la colocación y tesado de las barras de cuelgue. El puntal ha quedado suspendido y anclado al tablero a través de las barras de cuelgue y permanece en contacto con el tablero mediante los 4 bloques de neopreno.

8.3 Montaje y tesado de tendones

El proceso se inicia con el montaje de unos cables-guía auxiliares que unen el extremo inferior del puntal y el tablero, en una zona próxima a los orificios de salida de los tendones.

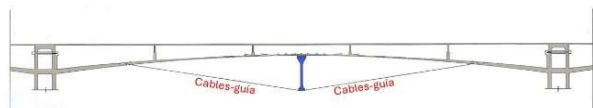


Figura 21. Puntal y cables guía en posición definitiva

Los cables guía tienen un doble cometido: sirven de soporte a las vainas de los nuevos tendones, que se colocan desde el interior del tablero y además, ejercen una función de arriostramiento del puntal, que queda unido al tablero mediante un atirantamiento eventual que disminuye el efecto sobre el puntal debido a la asimetría de cargas de tesado de tendones, producida por las pérdidas de rozamiento en la zona de desvío.



Figura 22. Montaje de tendones extradados

Para efectuar el tesado de tendones se ha establecido un plan destinado a conseguir que las fuerzas remanentes en ambos lados del puntal sean prácticamente idénticas. Además de los controles habituales del tesado de tendones, se ha instalado un sistema de instrumentación provisto de extensómetros colocados en las caras opuestas de las jambas del puntal, para conocer las deformaciones en la estructura metálica y unos comparadores situados en el extremo superior para verificar los desplazamientos verticales en la zona de apoyos de neopreno.

9. Consideraciones finales

La importancia de la patología detectada en el Viaducto debida a la gran cantidad de acero de pretensado deteriorado y la consecuente pérdida de capacidad resistente ha motivado la adopción de una solución singular de refuerzo, consistente en la disposición de un pretensado extradado adicional que sobresale del tablero por la parte inferior, en la estructura situada aguas arriba del Barranco.

Desde el punto de vista estructural, cabe destacar la gran eficiencia del sistema adoptado, debido a la magnitud del brazo mecánico existente entre la zona de desvío de tendones en la base del puntal y la resultante de la fuerza de compresión situada en el interior de la sección existente del tablero de hormigón.

En el caso particular del Viaducto del Guinguada, la obra necesaria ha precisado resolver unas dificultades especiales, propias de las condiciones de trabajo en el espacio confinado en el interior de los tableros, con acceso limitado por las exiguas dimensiones del hueco de entrada y por otra parte, por las peculiaridades propias del montaje de los elementos estructurales del pretensado extradado en el espacio existente por debajo del tablero, situado a 100 metros de altura sobre el fondo del Barranco.

10. Realización

Tras la detección de la patología, el Cabildo de Gran Canaria ha asumido la realización y financiación de la Obra de Emergencia, que consiste en la reparación del viaducto de Guinguada, con el objetivo de restituir su capacidad resistente inicial y garantizar las condiciones de durabilidad.

El Contratista de la obra de emergencia ha sido la empresa Freyssinet, que ha contado con la colaboración de las empresas Horta-Coslada y Perfox para la ejecución de los trabajos propios de su especialidad.