

Trabajos de reparación de las pilas Norte y Sur del Puente de Rande. Redondela y Moaña, provincia de Pontevedra (España)

*Repair works on North and South piles of Rande's Bridge. Redondela and Moaña,
Pontevedra (Spain)*

Laura BENITO GUTIÉRREZ

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Jefe de Obra

laura_b@freyssinet-es.com

Rafael ECHEVARRÍA GONZÁLEZ DE ECHÁVARRI

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Delegado Reparaciones Zona Centro

rafael_e@freyssinet-es.com

Luis COSANO LÓPEZ-FANDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Freyssinet S.A.

Responsable Explotación y Marketing

luis_c@freyssinet-es.com

Patrick LADRET

Ingeniero Civil

Freyssinet S.A.

Director Desarrollo Internacional

pladret@freyssinet-es.com

Pablo VILCHEZ MOTINO

Ingeniero Industrial

Freyssinet S.A.

Director Técnico

pablo_v@freyssinet-es.com

RESUMEN

El puente atirantado de Rande, de 1604 m de longitud total, fue en su día (a principios de los 80) récord mundial de luz en su tipología. Está siendo objeto de ampliación desde febrero de 2015. Freyssinet recibió el encargo de realizar la reparación parcial de los paramentos exteriores de las pilas Sur y Norte, situadas en la ría. Primero se llevó a cabo una campaña de inspección y ensayos, cuyo resultado se plasmó en la definición de unos trabajos concretos de reparación por bataches, que consistieron principalmente en limpieza y saneo mediante hidrodemolición, reposición de armaduras y regeneración de hormigón, y aplicación de un revestimiento.

ABSTRACT

The cable-stayed bridge of Rande, 1604 m length, set a world record for cable-stayed span length in the early eighties. Since February 2015, the structure is being adapted for allowing an increase of activity. Freyssinet was asked to perform the repair of the faces in both South and North bridge piles, both located in the estuary. First of all, a set of inspection works and laboratory tests was carried out, whose results were reflected in a set of repair works, carried out by phasing of patches, which basically consisted of cleaning and removing the deteriorated concrete by means of hydro-demolition, replacing of reinforcement and regenerating of concrete, and applying a coating.

PALABRAS CLAVE: reparación, hidrodemolición, hormigón proyectado, puente atirantado

KEYWORDS: repair works, hydro-demolition, shotcrete, cable-stayed bridge

1. Descripción de la estructura

El puente de Rande, ubicado en la provincia de Pontevedra, permite el cruce de la ría de Vigo por la autopista AP-9, uniendo las localidades de Moaña y Redondela. Su tramo central de 695 m es de tipología atirantada, longitud que se descompone en un vano principal de 401 m y dos vanos de compensación de 147 m cada uno. Abierto al tráfico en 1981, su sistema de 4 haces de 20 tirantes cada uno en abanico constituye la primera referencia de esta tipología estructural de Freyssinet en España.



Figura 1. Vista general del puente de Rande.

El tablero mixto, situado a unos 48 m por encima del nivel del mar, tiene un ancho de 23.46 m (4 carriles de circulación) y un canto de 2.46 m, y constituye una estructura de gran esbeltez y ligereza [1].

Las pilas centrales de hormigón armado, de 118.60 m de altura, están formadas por dos fustes verticales de sección en cajón con dos travesaños postesados [1] (uno de ellos bajo el tablero y otro casi en la coronación).

Debido al progresivo aumento del tráfico, cuya intensidad se encuentra al límite de la capacidad de la infraestructura, ha sido necesario llevar a cabo la ampliación de la estructura que se está desarrollando desde febrero de 2015, que consiste en la creación de dos nuevos carriles. La solución estructural escogida para la ampliación, además de presentar un coste moderado, es ejecutable sin requerir la interrupción del tráfico, y además no altera la apariencia estética del puente actual [2].

2. Daños observados

Se habían observado degradaciones importantes en los paramentos de la pila Sur, y en menor medida, también en los de la pila Norte.

La cara más dañada de la pila Sur pertenecía a su fuste Este, que era el más expuesto al efecto de los vientos de dirección suroeste, característicos en invierno por su intensidad y continuidad, y presentaba grandes zonas de hormigón despegadas, en las que se podía ver que la armadura

estaba severamente corroída. Sin desaparecer del todo, aparentemente la densidad de la patología vista disminuía a partir de los 30 m de altura aproximadamente.

En otras caras la extensión de zonas degradadas era aparentemente menor, pero en una primera inspección visual se constató por golpeo que existían zonas huecas de extensión importante, en las que se estaba desarrollando un proceso de delaminación del hormigón en forma de lajas de unos 20 mm de espesor, que alcanzaba hasta 80 mm de profundidad. Como para el otro paramento, a partir de 30 m de altura parece, al menos visualmente, que las patologías se atenúan.



Figura 2. Daños en fuste de pila Sur.

En el resto de paramentos también se detectaron zonas huecas, aunque de menor extensión, además de daños poco significativos como corrosión localizada de armaduras vistas por falta de recubrimiento en esquinas y proximidades de la base de la pila.

También se observaron daños en la cara inferior del travesaño bajo tablero, en particular armaduras vistas en aproximadamente el 10% de la superficie, y con mayor presencia en las esquinas y proximidades de los desagües (ver Figura 3).



Figura 3. Daños en cara inferior de travesaño de pila Sur.

La pila Norte presentaba muestras de degradación similares a las de la pila Sur, con una cara mucho más degradada que el resto, aunque en apariencia el desarrollo de las patologías era menor.

3. Campaña de inspección y ensayos de laboratorio

En primer lugar se llevó a cabo una campaña de inspección y ensayos con objeto de obtener una evaluación completa del estado de la pila, identificar el origen de la patología presente, valorar posibles estrategias de intervención, y determinar la actuación óptima, que sería a la postre plasmada en la definición de unos trabajos concretos de reparación.

3.1. Inspección visual

El objetivo de estas actuaciones fue el de localizar todos los puntos con armaduras vistas y corroídas, y ubicar las zonas desconchadas, así como detectar aquellas otras zonas huecas en las que todavía no se había producido el despegue total del recubrimiento. Esto último se hizo mediante golpeteo con martillo.

Además se realizó un escaneado en horizontal con pachómetro en toda la altura de la pila con objeto de determinar el recubrimiento de las armaduras verticales, así como otros tres escaneados de 2.5 m de longitud en el centro y los extremos de cada una de las caras, para hacer lo propio con el recubrimiento de las armaduras horizontales.

3.2. Ensayos in situ

La definición de los puntos de ensayo se hizo con el fin de poder comparar el desarrollo de la degradación en los fustes a diferentes alturas, así como de obtener por tanto un perfil de degradación en función de la altura.

Las operaciones llevadas a cabo fueron las siguientes:

- Medida del potencial de corrosión de las armaduras.
- Medida de la resistividad del hormigón.
- Extracción de testigos para analizar en laboratorio.

3.3. Ensayos de laboratorio

Los testigos con forma cilíndrica extraídos (100 mm de diámetro y longitud mayor o igual a 160 mm) fueron objeto de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Medida de la porosidad y densidad del hormigón.
- Determinación del espesor de carbonatación.
- Contenido de cloruros y sulfatos libres.
- Medida del pH.

Adicionalmente, una muestra de acero corrugado que se extrajo ($\varnothing 16$ mm) fue sometida a un ensayo de soldabilidad en previsión de las posibles medidas a tomar en fase de reparación para reposición de cuantías de armaduras perdidas.

3.4. Resultados y conclusiones

De manera resumida, de las diferentes pruebas, ensayos y análisis realizados sobre el hormigón constitutivo de los fustes Este y Oeste de las pilas del puente de Rande se pudieron extraer las siguientes conclusiones:

- El hormigón de las pilas revelaba una calidad aceptable, aunque quizás se antojaba inferior a la que le correspondería considerando la entidad de la estructura. La calidad era menor en los fustes orientados al Este que en los del Oeste, y además disminuía con la altura, contrariamente a lo que parecía inicialmente.
- De igual manera, la contaminación del hormigón más importante aparecía en los paramentos más al Este y aumentaba con la altura, lo cual evidenciaba la importancia de la calidad del hormigón con respecto a la resistencia a la penetración de agentes patógenos.
- Las mayores concentraciones de cloruros se encontraban en los testigos de los fustes del Este.
- Las concentraciones en sulfatos eran localmente elevadas.
- El perfil de contaminación del hormigón decrecía hacia el interior del mismo, por lo que se podía considerar de naturaleza exógena, asociado con un fenómeno de lixiviación de la superficie del hormigón (paramentos expuestos a lluvia, viento, salpicaduras y nieblas en ambientes marinos).
- Los niveles de agentes patógenos generalmente descendían por debajo de los umbrales aceptables a partir de 50 - 60 mm de profundidad.
- Las profundidades de carbonatación medidas fueron heterogéneas y aleatorias.
- Las armaduras verticales se encontraban en general pasivadas y protegidas contra la corrosión a excepción de aquellas que afloraban por falta de recubrimiento y presentan corrosión.
- Los valores de resistividad evidenciaban que el riesgo de corrosión era moderado en el conjunto de las áreas de ensayo de la cara Norte de los fustes al Este, y a partir de los 27 m de altura para los fustes al Oeste.
- De la misma manera, los potenciales de corrosión medidos hacían suponer que existía corrosión de las armaduras en todas las áreas o zonas de ensayo de la cara Norte de los fustes Este, y a partir de los 27 m de altura para los fustes al Oeste.
- Finalmente, alguna muestra tomada presentaba resultados dispares sin coherencia con otros ensayos y observaciones en los que se constataba ausencia de degradación, por lo que posiblemente el fenómeno era asimilable con un problema local (fisura, defecto de encofrado) y no era necesario tomar ninguna medida especial en este sentido.

4. Reparación

4.1. Concepción de las actuaciones

Dados los resultados obtenidos, se estableció la siguiente metodología de reparación de la estructura:

- Identificación de todas las zonas con oquedades.
- Saneamiento del hormigón deteriorado o debilitado hasta llegar a material sano, con descubrimiento (en todo su perímetro) de las armaduras que afloran en la operación.
- Cepillado y pasivación de las armaduras, con reposición de las barras con pérdida importante de sección.
- Regeneración de recubrimientos y volúmenes de hormigón originales mediante aplicación de un mortero de reparación.
- Protección de los paramentos con un revestimiento.

Era importante asegurarse de que el umbral de contenido máximo en cloruros recomendado por el suministrador del inhibidor de la corrosión fuera claramente superior a todos los contenidos medidos en las muestras extraídas. De lo contrario, sería necesario continuar saneando hasta llegar a una profundidad donde se alcanzase este umbral.

Por otro lado, en la reparación debían garantizarse los medios necesarios para acceder y poder actuar en toda la altura donde hubiera degradación, ya que es importante destacar que la eficacia de estas reparaciones queda seriamente comprometida si no se actúa en toda la altura afectada, para evitar efecto chimenea o infiltraciones de agua.

Finalmente, el saneo de las caras Este (las más degradadas) previsiblemente sería de importante entidad, y además conllevaría la reposición generalizada de sus armaduras, por lo que era necesario estudiar cuidadosamente tanto el faseado de operaciones para evitar dejar siquiera temporalmente la pila en una situación comprometida, como el mecanismo de conexión entre la sección saneada remanente y la cobertura regenerada con mortero, a fin de garantizar el comportamiento solidario entre ambos materiales.

4.2. Desarrollo de la reparación

El ámbito de actuación contemplado en las reparaciones llevadas a cabo por Freyssinet comprendía los 37 m bajo tablero de los fustes, así como el travesaño de unión bajo tablero. La actuación en la parte superior se integraría en los posteriores trabajos de ampliación del puente, que en dicha fecha (2013) aún no habían empezado.

Los trabajos se iniciaron por una limpieza generalizada mediante chorro de agua a presión (200 bar).

Para la eliminación del hormigón deteriorado se empleó hidrodemolición a muy alta presión (hasta 2500 bar). Para ello fue necesario preparar previamente el soporte, mediante picado con martillo neumático. La hidrodemolición, que alcanzaba una profundidad de unos 100 mm, se realizó por bataches alternos de 1.60 metros de altura para evitar dejar armaduras totalmente descubiertas con longitud excesiva. En general el estado de la armadura vertical era aceptable, siendo necesario en algún caso reponer armaduras horizontales que presentaban corrosión.

Seguidamente a la hidrodemolición de un batache se procedía a la aplicación del mortero de reparación mediante proyección en capas sucesivas de 3 cm, hasta la reconstrucción total de la sección original de hormigón.



Figura 4. Reparación por bataches.

El producto elegido para la regeneración de los recubrimientos y volúmenes de hormigón fue un mortero fibrorreforzado de la casa Mapei, apto para la proyección, con características tixotrópicas, resistente a los sulfatos, y con cierto contenido en inhibidores orgánicos de la corrosión. Además resultaba especialmente adecuado para las condiciones ambientales en las que se iban a desarrollar los trabajos, ya que en su dosificación se incluía un aditivo a fin de reducir en la medida de lo posible la retracción hidráulica y la formación de microfisuras. Esta característica resultaba muy apreciable en vista de la exposición a la que iba a estar sometido el mortero durante su proceso de fraguado, y de las dificultades que entrañaba un curado tradicional en un proceso de ejecución por bataches en unas condiciones de accesibilidad tan especiales.

El producto aplicado sobre el soporte fue ensayado para determinar su resistencia real a compresión.

Para el caso particular de la cara inferior de travesaño bajo el tablero, se optó por la aplicación previa sobre la armadura pasiva de un mortero cementoso anticorrosivo, monocomponente y por tanto de fácil aplicación.

Finalizada la reparación de un batache, se procedía a hidrodemoler el siguiente en el orden establecido, y a la reconstrucción con mortero.

Una vez terminada la regeneración de los volúmenes originales de las secciones de hormigón, los trabajos de reparación concluyeron con la aplicación de un revestimiento cementoso con un producto, también de Mapei, y tipificado como Clase I según norma EN 1504-2 [3], que presentaba unas excelentes propiedades elásticas. A la vez que ser impermeable a la acción del agua (capaz de soportar una presión positiva de hasta 1.5 atm) y a la penetración de sustancias nocivas tales como cloruros y sulfatos, presentaba permeabilidad al vapor de agua, por lo que permitía la salida de la humedad interna del soporte. Este mortero cementoso bicomponente fue aplicado con unos consumos aproximados de 3,00 kg/m², o espesores de 2 mm.



Figura 5. Aspecto final tras reparación.

5. Medios auxiliares

Esta parte de la obra cobró una importancia especial debido a las limitadas condiciones de accesibilidad a los distintos tajos.

Los trabajos se realizaron con la ayuda de andamios motorizados monomástil de 37 m de altura y 9 ó 4 metros de plataforma de trabajo, según las dimensiones de la cara del fuste en la que se dispusieron.

Las limitaciones de operatividad de estos equipos condicionaba fuertemente la planificación de los trabajos, puesto que las condiciones meteorológicas, en particular los fuertes vientos presentes, eran en ocasiones causa de interrupciones.

Para la reparación de los paramentos de los travesaños bajo tablero se emplearon entramados de andamios convencionales, en soluciones distintas para cada pila:

- En la pila Sur se trataba de un andamio colgado del propio travesaño mediante elementos longitudinales tipo celosía dispuestos sobre su cara superior, anclado adicionalmente a los paramentos laterales e inferior, para controlar los desplazamientos provocados por la acción del viento.
- En la pila Norte el andamio arrancaba de la base de la pila y tenía una altura de unos 37 m. Iba provisto de anclajes a distintas alturas a los fustes entre los que se encontraba (ver Figura 6).



Figura 6. Andamio pila Norte.

Se prestó especial atención al diseño de estos entramados de andamios ya que las condiciones de altura situaban la acción del viento que debía considerarse fuera de los valores de aplicación en los casos de andamios habituales contemplados en la norma de referencia [4].

El otro reto del diseño de estos elementos fue el de minimizar tanto el número de anclajes a unos paramentos que debían ser reparados, como el valor de las reacciones que habrían de soportar.

6. Ficha técnica

6.1. Datos principales

Superficie tratada con chorro de agua a presión: 4700 m².

Volumen de hormigón retirado mediante hidrodemolición: 67 m³.

Volumen de mortero de reparación aplicado por proyección: 67 m³.

Acero pasivo corrugado repuesto: 2800 kg.

Superficie tratada con revestimiento impermeable: 4700 m².

Plazo de ejecución pila Sur: 6 meses.

Plazo de ejecución pila Norte: 3 meses.

6.2. Relación de participantes

Propiedad: AUDASA, Empresa Concesionaria de la Autopista del Atlántico.

Campaña de toma de muestras y ensayos: CONCRETE.

Reparación de la estructura: Freyssinet S.A.

Suministro de morteros de reparación: MAPEI.

Andamios y plataformas motorizadas: CPA, RESA.

Agradecimientos

A AUDASA, especialmente a Constantino Castro y Ana Fernández, por la confianza depositada en Freyssinet S.A..

A Ricardo Masson Leal, Ingeniero Civil, por su contribución como parte activa en la concepción y elaboración del proyecto de reparación, así como en el seguimiento de la ejecución.

Referencias

- [1] F. del Pozo Frutos, Cimentación del Puente de Rande, Revista de Obras Públicas nº 3162, Octubre de 1978.
- [2] J. Martínez Calzón, Widening of the Cable-Stayed Bridge over the Rande Strait, Spain, Structural Engineering Internationa, Volume 18, Number 4, November 2008.
- [3] UNE UNE-EN 1504-2:2005, Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 2: Sistemas de protección superficial para el hormigón, Octubre 2005.
- [4] UNE UNE-EN 12811-1:2005, Equipamiento para trabajos temporales de obra. Parte 1: Andamios. Requisitos de comportamiento y diseño general, Junio 2005.