

Sustitución de los apoyos y refuerzo de las pilas intermedias del puente atirantado de Sancho el Mayor.

Bearings replacement and strengthen of the intermediate piers of the Sancho el Mayor cable-stayed bridge.*

Leonardo Fernández Troyano^a, Lucía Fernández Muñoz^{*, b}, Alberto Muñoz Tarilonte^c, Guillermo Ayuso Calle^d, Carlos Pérez Domínguez^e

^a Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Consejero delegado. ltroyano@cfcsl.com
^b Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Ingeniero. luciafm@cfcsl.com
^c Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Ingeniero. amt@cfcsl.com
^d Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado, S.L. Ingeniero. gayuso@cfcsl.com

eIngeniero de Caminos Canales y Puertos, AUDENASA carlos.perez@audenasa.es

RESUMEN

El puente de Sancho el Mayor es un puente atirantado de 146 m de luz con una sola torre situada en la margen derecha del río Ebro en Castejón, Navarra. Es un puente construido hace unos 40 años. Tras una inspección del puente se observó que los apoyos pot sobre las pilas intermedias del puente atirantado se encontraban en malas condiciones. Ello obligó a su sustitución. El mal funcionamiento de estos apoyos supuso una fisuración en las base pilas, por lo que se decidió reforzarlas tras el cambio de apoyos.

ABSTRACT

The Sancho el Mayor Bridge is a 146 m span cable stayed bridge with a single tower on the right bank of the Ebro river, in Castejon, Navarra. It is a bridge built about 40 years ago. Following an inspection of the bridge, it was found that the pot bearings over the intermediate piers were in poor condition. This forced their replacement. The malfunctioning of these bearings caused a cracking at the piers, so it was decided to strengthen them after the replacement of the bearings.

PALABRAS CLAVE: Puente atirantado, sustitución aparatos de apoyo, refuerzo de pilas **KEYWORDS:** Cable-stayed bridge, bearings replacement, pile strengthen

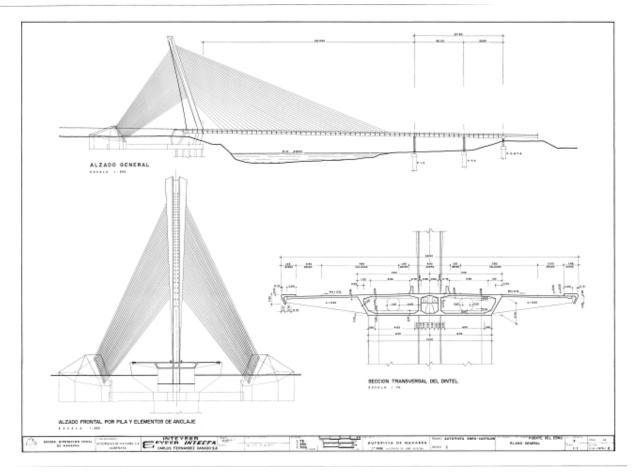
1. Descripción general del puente

El puente de Sancho el Mayor es un puente atirantado de 146 m de luz con una sola torre situada en la margen derecha del río. El vano principal del puente salva el río en aguas

normales y se prolonga con dos vanos más, de 32,0+25,6 m, para salvar el cauce principal en época de avenidas, terminándose esta zona del puente sobre una defensa artificial en la margen

izquierda, que posteriormente fue suprimida. El puente se prolonga mediante un acceso de tramos de vigas de 21 m para salvar la zona inundable al otro lado de la defensa. Las

características principales se muestran en la Figura 1, que es el plano general del proyecto original. [1][2].



El atirantamiento del puente es central, con dos cables paralelos por sección. La anchura del tablero es de 28 m, y está formado por un cajón tricelular.

La torre es maciza de hormigón con una sección variable. En ella se anclan tres familias de cables: la que va al tablero, formado por dos planos paralelos de cables, y las que van a los contrapesos que salen oblicuos.

Los tirantes están formados por cables cerrados de diámetros 60, 72, 80 y 88 mm del tipo OZZZ y OVZZ. Las dos capas exteriores están galvanizadas; los cables se pintaron una vez terminada la obra. El anclaje de los cables se realiza mediante mazarotas en las que se deslía el cable y se rellenan de una aleación de estaño. Esta mazarota se rosca exteriormente a

un anillo que se apoya en la placa de anclaje sobre hormigón.

El tablero se apoya sobre dos pilas independientes separadas 7.56 m entre sí, en cada sección. Están cimentadas sobre dos pantallas rectangulares de 2.5 m por 0.8 m, bajo un encepado

Las vinculaciones del tablero son las siguientes:

- El tramo atirantado está empotrado en la torre.
- La primera línea de pilas, las 1 y 2, tiene apoyos pot y sobre ella en el tablero hay una media madera, en la que se permiten los giros y los desplazamientos del vano principal del puente y de los dos vanos laterales.

- En la línea intermedia de pilas, las 3 y 4, existen unos apoyos de neopreno.
- En la pila-estribo el puente está fijo mediante unas barras verticales. Los apoyos existentes en este estribo son de neopreno.

Por tanto el tablero del puente está fijo en sus dos extremos, en la torre y en la pilaestribo. Los desplazamientos debidos a la retracción, fluencia y temperatura se producen en la junta de la media madera y en los apoyos sobre las pilas. Actualmente, los únicos desplazamientos que se producen son los de temperatura, ya que han transcurrido casi cuarenta años desde su construcción, por lo que los fenómenos de retracción y fluencia ya se han producido en su totalidad.

En la Figura 2 se muestra el alzado general del puente y los apoyos existentes.

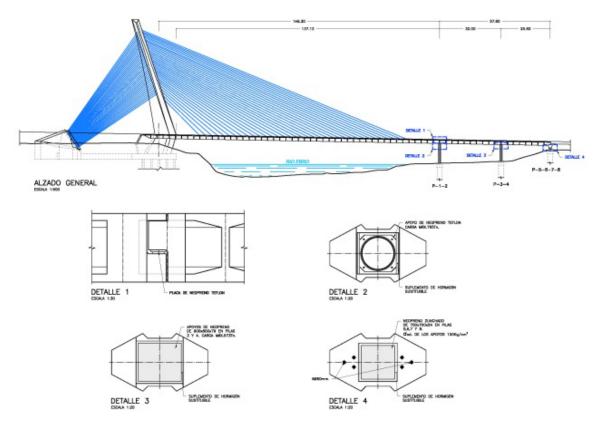


Figura 2. Vinculaciones del puente.

2. Trabajos de mantenimiento

A raíz de las visitas y los estudios realizados se llegó a las siguientes conclusiones:

La fisuración existente en los diafragmas de las dovelas es aceptable, pero se debe hacer un seguimiento de la misma, que se realiza anualmente.

Aunque el estado de conservación de los apoyos pot de la articulación a media madera no es bueno, debido a la presencia de corrosión siguen comportándose mismos. correctamente y cumpliendo su misión, ya que los movimientos en la junta siguen siendo los movimientos llevan esperados. Estos midiéndose desde hace años de forma manual, actualmente se ha implantado instrumentación que los recoge.

Por todo ello se decidió dejar las vinculaciones del puente tal y como están actualmente, aunque haciendo un seguimiento del estado de los apoyos de esta media madera.

Al inspeccionarse el resto de los apoyos se observó que los apoyos sobre las pilas intermedias 1 y 2 estaban en mal estado, ya que la parte inferior del apoyo sobresalía de la parte superior sobre la que debía deslizar. Por otro lado, la lámina de teflón de una parte del apoyo se encontraba fuera de éste, lo que indicaba que el teflón estaba funcionando mal, como se puede ver en las fotos de la Figura 3.





Figura 3. Estado de los apoyos pot. Tras este informe AUDENASA encargó a CFC el proyecto de la sustitución de estos apoyos [2].



Figura 4. Apoyo pot.

- 4. Sustitución de los apoyos
- 4.1 Trabajos previos.



Figura 5. Apeos provisionales

Las pilas 1 y 2 se encuentran en la zona inundable del río Ebro y teniendo en cuenta que los apeos provisionales debían apoyarse en los encepados de dichas pilas, fue necesario hacer una barrera que sirviese de sistema de protección, que consistió en un pedraplen y un material granular. Para colocar los apeos provisionales fue necesario que los encepados de las pilas se quedasen sin enterrar, por lo que se hizo un talud hasta la coronación de la plataforma alrededor de los mismos.

4.2 Maniobra de apeo.

capacidad de 500 toneladas y equipados con tuerca de seguridad y apoyo esférico con capacidad de giro de 2 grados. El gato tenía una chapa de reparto superior, que se apoyaba sobre un mortero de nivelación que aseguraba el perfecto contacto entre el tablero y la chapa. Además para permitir los desplazamientos debido a los cambios de temperatura entre el tablero y los apeos, se colocó una lámina de acero inoxidable y una lámina de teflón como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Gatos de izado

Los gatos se conectaron a un sistema hidráulico para la maniobra de izado. Cada pareja de gatos estaba alimentada por una electroválvula diferente y estaban sincronizados entre sí de forma que la diferencia de elevación entre los gatos de cada pila no fuese mayor de 1.5mm.

El control de la elevación del tablero se hacía desde dos puntos situados en los voladizos del tablero mediante un extensómetro, que se muestra en la Figura 8.



Además del sistema de control de elevación llevado por ORION, la empresa TEKNÉS instaló la siguiente instrumentación para controlar la maniobra:

- Extensómetros entre las pilas y el tablero.
- Clinómetros en cada cabeza de pila.

Con esta instrumentación se pretendía tener conocimiento a tiempo real del

movimiento de las pilas, así como controlar el buen funcionamiento de las torres de apeo. La lectura de los extensómetros se hacía cada 10 segundos, mientras que el de las galgas se hacía cada 15 minutos.

La maniobra de izado del puente se realizó la noche, para minimizar la afección al tráfico, del 6 noviembre de 2018 en ausencia de tráfico y con unas condiciones meteorológicas favorables.

El izado se realizó elevando la carga por etapas, y controlando el desplazamiento que indicaban los extensómetros. Se elevó el tablero los 15 mm máximos que estaban previstos, con inspecciones intermedias. Se comprobó que todo estaba bien, no se veía ninguna fisuración, tanto los gatos como las chapas sobre ellos estaban en buen estado y los apoyos estaban totalmente descargados, quedando el tablero sobre los gatos.

Se decidió entonces bajar el tablero hasta dejarlo 5 mm elevado respecto a la posición de origen. Con esta posición, se aseguraba que el puente estaba apoyado totalmente en los gatos, y se podían retirar los apoyos existentes. Una vez descendido el tablero se procedió a bloquear mecánicamente los gatos y a retirar la presión de los mismos.

En la operación de izado se comprobó que la carga de los apoyos era de 648 t, algo mayor a la que esperábamos.

4.3 Extracción de los apoyos pot y preparación de superficies.

Para la extracción de los apoyos pot existentes se procedió a la hidrodemolición de los tacos de hormigón inferiores, los cuales armados, pero eran independientes de las pilas. mismo tiempo se procedió hidrodemolición de una franja de 200 mm de alto en las caras frontales de la pila hasta descubrir la armadura para alojar los anclajes del nuevo apoyo, y del fondo del cajón en la zona del apoyo donde no existía chapa superior.

Una vez terminados estos trabajos se extrajeron los apoyos antiguos.

Durante la ejecución los trabajos, se produjo una crecida importante del río Ebro en la que se rebasó en casi 3 m la cota de la península de acceso, lo que obligó a interrumpir los trabajos temporalmente, Figura 8. Durante la avenida se revisó con especial atención los datos tomados por la instrumentación instalada en el puente y en las torres de apeo, sin que se registrara ninguna anomalía. Posteriormente, una vez que se pudo acceder a la base de las pilas se comprobó que los apeos no sufrieron ningún daño debido a la riada.



Figura 8. Crecida del rio Ebro

Ante esta situación, en previsión de que el acceso al cauce pudiera estar limitado en las semanas siguientes, y con el objetivo de no demorar los trabajos, se buscó un acceso a las pilas alternativo, que consistió en un camión colocado en el arcén equipado con una plataforma de acceso, desde donde se empezaron los trabajos de preparación de superficies.

Se procedió a la hidrodemolición de la cara de coronación de las pilas hasta la parte superior de las armaduras horizontales existentes y al tratamiento de la chapa superior del tablero mediante limpieza con agua a presión y posterior aplicación de tratamiento anticorrosivo basado en resinas epoxi con espolvoreo de árido silíceo en el área sobre el apoyo esférico y tratamiento del área que quedaba visible mediante una imprimación epoxi.

4.4 Colocación de la plantilla.

Las plantillas del apoyo no se pudieron orientar con topografía in situ por la crecida del río. Se orientaron en base a un levantamiento topográfico anterior en el que se tenían replanteadas las pilas y el eje longitudinal del tablero. Los apoyos se orientaron según el eje longitudinal del puente tomando unas referencias relativas a la pila.



Figura 9. Superficies hidrodemolidas, plantilla y armadura del taco de anclaje colocado.

La cota de la plantilla se fijó de forma que los espesores de las mesetas superior e inferior fueran adecuados y el espacio entre la chapa embebida y el apoyo fuera de al menos 30 mm para poder soldar con garantías. Los espesores de relleno bajo el apoyo se fijaron entre 30 y 70 mm.

Una vez replanteada la plantilla se procedió a anclar la armadura del recrecido superior de la pila y a continuación a hormigonar este recrecido y la meseta inferior, con un mortero de alta resistencia.

4.5 Colocación de los apoyos esféricos.

Se procedió entonces a la retirada de la plantilla y la colocación de los nuevos apoyos. Los nuevos apoyos son tipo pot guiados longitudinalmente como los anteriores. Son apoyos esféricos (Figura 10).



Figura 10. Apoyos esféricos colocados

Previamente la Dirección de Obra decidió mantener la cota del tablero como quedó tras el izado, 5 mm por encima de la cota original en una pila y 4 mm en la otra. La repercusión sobre el tablero y sobre la junta de este incremento se consideró irrelevante a partir de los cálculos realizados, y de esta forma se evitó realizar la maniobra de descenso.

4.6 Puesta en carga de los apoyos.

La operación de puesta en carga se realizó la noche del 28 de febrero de 2019. En esta operación el tráfico no se cortó ya que no era premisa fundamental controlar la carga con exactitud. La maniobra se dividió en dos fases:

En primer lugar se pusieron en carga los gatos hasta poder liberar la tuerca de bloqueo mecánico con la que estaban funcionando hasta ese momento. La presión en cada pareja de gatos se controló electrónicamente desde la central con un manómetro por cada pareja. Se aplicaron escalones de presión de forma simultánea en las dos parejas de gatos y se controló la elevación del puente mediante un extensómetro en cada pila. Las cuatro tuercas pudieron liberarse con una elevación del tablero inferior a 2 mm.

entraron en contacto y la presión en los gatos desapareció.

El acoplamiento de las dos partes del apoyo fue perfecto y el estado en que quedaron los apoyos con sus chapas de reparto resultó inalterado. La deformación de los apoyos al entrar en carga fue muy baja, en torno a 0.40 mm.

Tampoco en las mesetas de mortero y en las propias pilas se registraron alteraciones.

Durante la maniobra, personal de TEKNES desplazado a la obra controló los movimientos del puente y de los apeos provisionales mediante la instrumentación instalada.

Los finalmente apoyos quedaron instalados con una preconfiguración en la que la parte superior del apoyo se situó 2.5 cm desfasado en sentido Tudela, para permitir unos desplazamientos de 2.5 cm hacia Tudela y 7.5 cm hacia Pamplona. Esta preconfiguración se propuso en base a que los apoyos se instalarían en invierno, con tiempo frío. Sin embargo en el momento de puesta en carga la temperatura ambiente resultó muy suave para la época del año, con una media de 13°C el día 28 de febrero en la estación cercana de Tudela. Se comprobó que esta configuración podía asumir los desplazamientos máximos de temperatura.

Tras la puesta en carga de las pilas se procedió a la retirada de las torres de apeo provisionales.

5. Refuerzo de las pilas

Tras el cambio de los apoyos se decidió reforzar las pilas por problemas de durabilidad, que vienen agravados por la fisuración de las mismas, producida por el mal funcionamiento de los apoyos.

5.1. Reparación de los paramentos.

Previamente a la ejecución del refuerzo se realizó la reparación de los paramentos de hormigón saneando las partes afectadas donde existían desconchones con armaduras oxidadas (Figura 11). El saneo se realizó desde plataformas elevadoras con martillos de baja cadencia de goleo, sin afectar a las armaduras. Se realizó un cepillado hasta la eliminación del óxido a las armaduras afectadas. Posteriormente se aplicó un pasivado cementoso para terminar se aplicó un mortero previa humectación del soporte a saturación tipo clase R4.



Figura 11. Desconchones existentes en las pilas. Las fisuras de tamaño superior a 0.20 mm se inyectaron con resinas y el resto se sellaron.

5.2. Refuerzo de las pilas

El refuerzo de las pilas, consiste en la ejecución de un recrecido de hormigón en todo el perímetro de la sección original, dispuesto a lo largo de todo el fuste de las pilas.

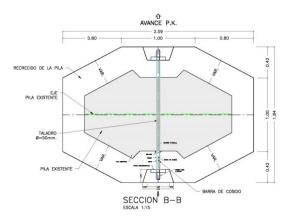
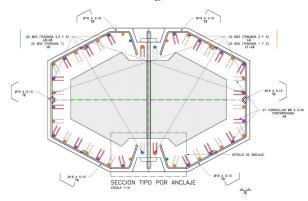


Figura 12. Sección del refuerzo de la pila.

El hormigón nuevo y el original se conectaron por medio de parejas de barras pretensadas longitudinales, y también por barras corrugadas ancladas a lo largo del fuste de las pilas, para conseguir el funcionamiento conjunto de las dos partes.

Adicionalmente, para mejorar la conexión entre los dos hormigones se ejecutó el tratamiento superficial de la pila original con chorreado de arena para limpiar la superficie y alcanzar una rugosidad que incrementase el rozamiento entre hormigones.



Verticalmente se dispusieron barras corrugadas que se anclaron en el encepado existente por medio de taladros rellenos de resina epoxi. El refuerzo del recrecido de hormigón se completó con armaduras transversales, formando cercos.



Figura 14. Armadura de refuerzo colocado



Figura 15. Primera tongada de la pila hormigonada.

En el momento de la redacción del artículo solo se había realizado el hormigonado de las dos tongadas inferiores.

Referencias

- [1]Carlos Fernández Casado, Javier Manterola A., Leonardo Fernández Troyano "Ponte strallato sul fiume Ebro presso Castejom per l'autostrada di Navarra (Spagna)". Revista L'Industria Italiana del Cemento nº 3 (1981).
- [2] Carlos Fernández Casado, Javier Manterola A., Leonardo Fernández Troyano. Puente atirantado sobre el río Ebro cerca de Castejón para la autovía de Navarra. Revista Hormigón y Acero nº 130-131-132 (1979).
- [3]Monografía 18. Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes. ATC ACHE