

Sustitución de apoyos de las pilas P1, P3 y P7 en el Viaducto del Istmo, L.A.V. Madrid-Valencia.

Bearings substitution on piers P1, P3 and P7 of Viaducto del Istmo, Madrid-Valencia HSR

Pablo Vilchez Motino^a, Abel Medel Ramírez^b, Laura Benito Gutiérrez^c, Rafael Echevarría González de Echávarri^d

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

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Freyssinet S.A.U. Ingeniero Departamento Técnico. abel_m@freysinet-es.com

^c Ingeniero Industrial y Civil. Freyssinet S.A.U. Jefa de obra. laura_b@freysinet-es.com

^d Ingeniero Industrial. Freyssinet S.A.U. Delegado zona centro. Rafael_e@freysinet-es.com

RESUMEN

El viaducto del Istmo está situado en el P.K. 294+970 de la Línea de Alta Velocidad Madrid Valencia y cruza el embalse de Contreras en el término municipal de Villargordo del Cabriel en la Comunidad Valenciana (España).

Durante las inspecciones realizadas se detectaron en los apoyos de las pilas P1, P3 y P7 giros superiores a los de diseño que comprometían su funcionalidad haciendo necesaria su sustitución.

Debido a la importancia de la línea de la que forma parte el puente, las operaciones se diseñaron para mantener la línea en servicio, realizándose las tareas de elevación y descenso del tablero únicamente durante la franja horaria de mantenimiento.

ABSTRACT

The Isthmus Viaduct is located at P.K. 294+970 of the Madrid-Valencia High-Speed Line and crosses the Contreras Reservoir in the municipal area of Villargordo del Cabriel, in the Valencian Community (Spain).

During inspections, rotations greater than the design specifications were detected at the bearings of the piers P1, P3, and P7, compromising their functionality and making their replacement necessary.

Due to the importance of the line to which the bridge belongs, the operations were designed to keep the line in service, with lifting and lowering of the deck carried out only during the scheduled maintenance windows.

PALABRAS CLAVE: Puente, tren de Alta Velocidad, apoyos, mantenimiento.

KEYWORDS: Bridge, High Speed train, bearings, maintenance.

1. Introducción

El viaducto del Istmo, situado en el P.K. 294+970, está incluido en el proyecto de construcción del nuevo acceso ferroviario a Levante: Madrid-Castilla la Mancha-Comunidad Valenciana-Región de Murcia, perteneciente al tramo Motilla del Palancar-Valencia, y dentro del subtramo Embalse de Contreras-Villargordo del Cabriel.

Las obras de construcción se iniciaron en 2006 y finalizaron en 2009, entrando la estructura en servicio durante 2010.

La ejecución de los trabajos de sustitución de los apoyos fue adjudicada a Freyssinet S.A.U que inició los mismos durante el verano de 2023.

2. Descripción de la estructura

El viaducto del Istmo tiene una longitud total de 830 m. dividido en 13 vanos con una distribución de luces de 52,00 m. + 11 x 66,00 m. + 52,00 m. Presenta una curva en planta con un radio de 3.500 m.

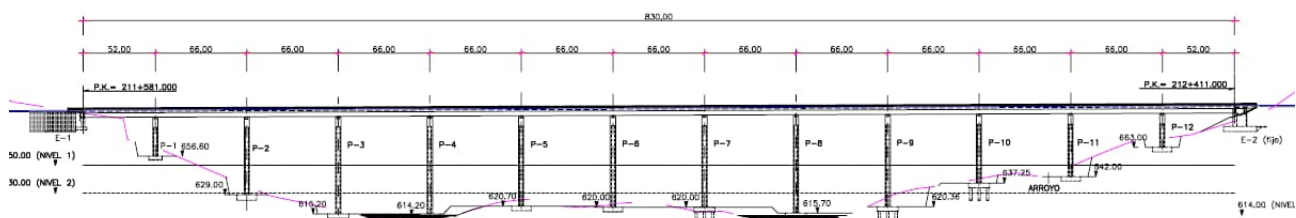


Figura 1. Alzado de la estructura. Fuente: Proyecto constructivo.

Durante la Inspección Básica realizada en 2016 se detectó en el apoyo derecho de la pila 1, lado Madrid, que la cazoleta estaba en contacto con la placa superior, llegando incluso a abollar ésta debido a la presión existente entre ambos elementos. El informe de dicha inspección proponía la sustitución de este apoyo y una nueva inspección en donde se pudiera comprobar el correcto funcionamiento del resto de apoyos.

La inspección realizada durante noviembre de 2016 detectó que en tres de los apoyos (apoyos derechos de las pilas 1 y 3 y el apoyo izquierdo de la pila 7) existía una desnivelación teórica que superaba la limitación de la rotación de 0,01 rad.

En inspecciones posteriores y finalmente durante las realizadas para la redacción del proyecto de sustitución de apoyos, en 2021, se pudieron corroborar los excesos de giro detectados con anterioridad y se decidió llevar a cabo la sustitución de ambos apoyos en las pilas 1, 3 y 7.

El tablero está formado por una viga cajón pretensada de 4,40 m. de canto, una losa inferior de 5,50 m. de ancho y una losa superior que junto con los voladizos alcanza los 14,00m.

Las pilas tienen una altura variable entre 21,40 m. y 70,25 m. La medida longitudinal es constante de 3,50 m. y en transversal se parte de 5,50m. en cabeza cerrándose hasta los 3,65 m. a 7,00 m. de distancia y a partir de ahí se abren de nuevo hasta cimentación con una pendiente 1:25.

El punto fijo de la estructura se encuentra en el estribo 2

En cada eje de apoyos se dispone de un apoyo libre y otro guiado. La capacidad de estos en SLS es de 26.000 kN para cargas verticales y de 2.600 kN para cargas horizontales en el caso del guiado. Los desplazamientos máximos en P1 estaban definidos en -644/ +308 (952 mm.)

3. Descripción de la patología

La patología que se detectó en los apoyos derechos de las pilas 1 y 3 y el izquierdo de pila 7 fue un exceso de giro, superior al giro de diseño de 10mrad. El apoyo más afectado fue el apoyo de pila 1 donde el giro había provocado el contacto entre la cazoleta y la bandeja de deslizamiento dando lugar a la abolladura de la placa de inoxidable de ésta.



Figura 2. Apoyo derecho de P1 con exceso de giro.

El origen de la patología puede deberse a varios factores, pero entre los principales caben destacar: problemas en la ejecución de las mesetas superiores que inducen un giro de instalación elevado y la falta de rigidez de las bandejas de deslizamiento que provocan una flexión de las bandejas. En este caso se detectaron ambas patologías con espesores de meseta variables y espesores de bandeja de deslizamiento muy inferiores a los normativos pedidos según 6.9.3 de UNE-EN 1337-2.



Figura 3. Abolladura en placa de deslizamiento de apoyo derecho de pila 1.

El exceso de giro de los apoyos tiene consecuencias directas en los mismos como distribuciones irregulares de tensiones y desgastes prematuros, pero también tienen impacto en las estructuras ya que su pérdida de funcionalidad traducida en pérdida de capacidad de desplazamiento o aumento de rozamiento introduce esfuerzos no previstos que pueden sobretensionar las estructuras, cambiar puntos fijos y provocar flexiones de pilas entre otros.

4. Condicionantes de diseño

La maniobra de cambio de apoyos en este viaducto tenía una serie de condicionantes de partida que obligaron a adoptar soluciones técnicas y métodos constructivos particulares. Los principales condicionantes fueron:

4.1 Puente en servicio durante la operación

El corredor de Alta Velocidad Madrid – Valencia es el segundo en cuanto a número de viajeros dentro del país por lo que mantener su funcionalidad durante la operación era un requisito indispensable.

Esto implicaba:

- Disponer un número de cilindros capaz de soportar el paso de trenes.
- Permitir desplazamientos longitudinales durante el tiempo que el tablero descansase sobre cilindros.
- Tener capacidad para resistir la carga horizontal tras la retirada de los apoyos existentes y antes de la instalación de los nuevos.

4.2 Situación del diafragma del tablero

Los replanteos previos mostraron que el diafragma del tablero no se encontraba centrado sobre la pila y además no era posible estructuralmente colocar los cilindros hidráulicos fuera de este.

En el caso de la pila 1, para situación más favorable, donde el tablero tenía la máxima

dilatación posible, el eje del diafragma no llegaba en ningún caso a la proyección del eje de la pila dejando un espacio muy inferior y reducido para la colocación de los cilindros hidráulicos.

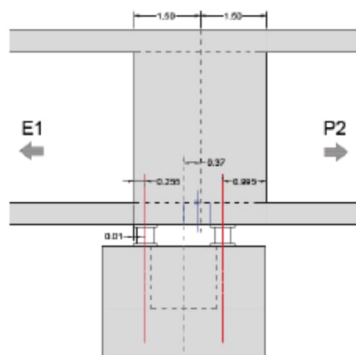


Figura 4. Esquema de la situación del diafragma sobre la pila.

4.3 Altura y situación de pilas

Las pilas P3 y P7 tienen una altura de fuste de 63,3 m. y 65,7m. respectivamente y se encuentran situadas en el medio del embalse de Contreras con una altura sumergida media de unos 25m.



Figura 5. Imágenes de las pilas P3 (izq.) y P7.

4.4 Equipos y dispositivos a utilizar

Otro de los condicionantes importantes fue el peso de los equipos y dispositivos a utilizar, a modo de ejemplo:

- Apoyos originales POT aprox. 1.100kg.
- TETRON SB GL 3700.600.20 1.361 kg.
- TETRON SK 1800.600 519 kg.
- Cilindros 400VER 50 135 kg.

5. Solución propuesta

5.1 Dispositivos

Con los condicionantes expuestos en el apartado anterior se optó por cambiar los apoyos dispuestos, uno libre y otro guiado por:

- 2 apoyos TETRON SB GL 37000.600.20
- 2 Shear keys TETRON SK 1800.600

Es decir, se diseñaron dos apoyos esféricos libres con 37.000 kN de capacidad en Estado Límite Último y 600 mm. de capacidad de desplazamiento y 2 llaves de cortante (shear keys) de 1.800 kN de capacidad de carga horizontal en ELU y 600 mm. de desplazamiento.

De este modo se independizan los sistemas resistentes frente a cargas horizontales y verticales permitiéndose resistir las fuerzas de viento, centrífuga y lazo con las shear keys, mientras el tablero descansa sobre cilindros.

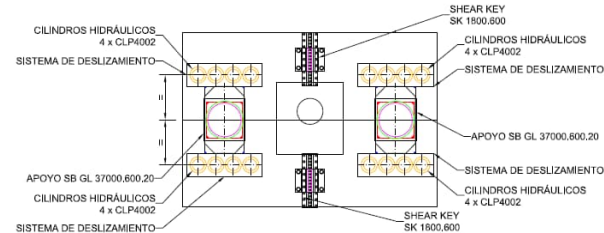


Figura 6. Esquema de la posición de dispositivos y equipos de la solución proyectada.

Las shear keys se fijan a la pila mediante casquillos $\varnothing 75 \times 300$ y para su fijación al tablero se dispuso de una masonry plate anclada al mismo con 8 Freyssibar B40-1030 a la que se atornillaba el cuerpo superior de la shear key.

Las llaves de cortante fueron especialmente diseñadas para admitir los desplazamientos verticales del tablero necesarios para el cambio de apoyos.

Dado el espacio disponible los apoyos esféricos también fueron específicamente diseñados para esta estructura buscando la mayor compacidad posible pero aumentado la difusión para mantener las presiones de contacto.

5.2 Adaptaciones de procedimiento

En la ejecución de esta obra fue necesaria la ejecución de algunas operaciones adicionales a las que podrían considerarse operaciones habituales en este tipo de trabajos.

En primer lugar, como se ha comentado hubo que realizar taladros en tablero y pila para la instalación de las shear keys. Los taladros se hicieron desde el interior del tablero pasando hasta la pila.

Para permitir la instalación de los cilindros hidráulicos bajo el mamparo, que se encontraba descentrado, fue necesario realizar el corte de las bandejas de deslizamientos de los apoyos existentes para situarlos lo más centrados posible, con el espacio necesario para instalar la nueva bandeja de deslizamiento.

Además, la diferencia de altura entre los apoyos existentes y los nuevos obligó a realizar corte con hilo de diamante en las mesetas existentes tras la extracción del apoyo.

5.3 Medios auxiliares

La situación de las pilas P3 y P7 en medio del pantano y la imposibilidad de introducir materiales desde el tablero obligó a realizar el transporte de materiales y personas con embarcación con la consiguiente necesidad de instalar plataformas flotantes tanto en la base de la pila como en la zona del embarcadero.

Además, se instalaron andamios colgados, un montacargas y dos polipastos de alta capacidad para subir los materiales desde la plataforma flotante hasta la pila.



Figura 7. Plataformas de trabajo flotantes en la base de la pila.



Figura 8. Infografía de plano de diseño de solución de shear key

6. Proceso de ejecución

6.1 Montaje de accesos

Como se ha comentado la particularidad de la situación de las pilas en medio del embalse de Contreras hizo necesario el uso de la embarcación para trasladar las plataformas flotantes hasta la base de la pila, en ella se acopiaron los materiales para el montaje de los andamios, montacargas y equipos de izado.



Figura 9. Vista general de la pila con andamios, accesos y plataformas (izq.) y medios de elevación.

6.2 Corte de bandejas de deslizamiento

Para permitir la instalación de los cilindros hidráulicos en posición bajo el mamparo hubo que realizar el corte con soplete de las bandejas de deslizamiento, pero dejando una capacidad de desplazamiento suficiente para el tiempo de ejecución de la sustitución de apoyos.



Figura 10. Bandeja de deslizamiento tras corte.

6.3 Instalación de llaves de cortante

Para la instalación de las shear keys se realizaron 8 taladros que atravesaban el tablero, 4 de los cuales penetraban también en la pila. Además de dos más para el vertido la meseta superior.



Figura 11. Taladros para instalación de shear keys.

Previamente a la ejecución de los taladros se realizaba un replanteo en las pilas para asegurar que no se cortaba la armadura encargada de resistir la fuerza horizontal.

En los taladros de la pila se introducían los casquillos inferiores y se realizaba el vertido de la meseta inferior de baja altura. En los taladros del tablero se introducían las Freyssibar B40-1030 para la sujeción de la masonry plate a la que se anclaba la shear key.

Una vez las mesetas tanto de la masonry plate, como de las barras alcanzaban la resistencia requerida se procedía al tesado de las barras Freyssibar B40-1030 al 50% de su carga de rotura.



Figura 12. Llaves de cortante en instalación.

La instalación se completaba con la colocación de los capots de protección rellenos de grasa. Se diseñaron capots especiales para el anclaje pasivo en la masonry plate de la shear key ya que debido al poco espacio disponible los capots estándar no se podían instalar.



Figura 13. Llaves de cortante instaladas.

6.4 Instalación de cilindros

Con el espacio disponible creado por el corte de la bandeja se instalaban 8 cilindros tipo 400VER50 (400 toneladas de capacidad, 50 mm de carrera con rótula y tuerca de seguridad) con un sistema de deslizamientos PTFE – Inox sobre ellos para permitir los movimientos longitudinales durante el tiempo que el tablero descansaba sobre cilindros.



Figura 14. Cilindros hidráulicos con sistema de deslizamiento.

La instalación se realizó de manera que los 8 cilindros hidráulicos de cada apoyo formaban un único punto hidráulico o rótula hidráulica para evitar introducir esfuerzos de flexión sobre el tablero.

6.5 Extracción de apoyos existentes

Para la extracción de apoyos se realizó un izado de la estructura. La operación se realizaba de noche durante la banda de mantenimiento sin tráfico de trenes.

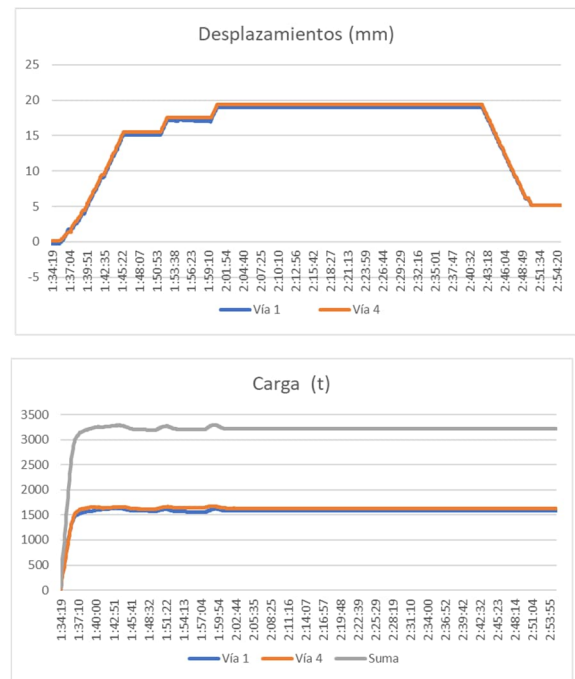


Figura 15. Detalle de fuerza y desplazamientos operación con L.A.O.

La operación se realizó con un montaje de circuito hidráulico que formaba una rótula hidráulica por apoyo y se realizó en isodesplazamiento, desplazando el tablero como solido rígido y evitando sobreesfuerzos al tablero. El levantamiento fue de 20 mm, compatible con la carrea de la shear key, usando el sistema de levantamiento sincronizado (L.A.O.). Las cargas de izado fueron de unas 1600 t por cada apoyo

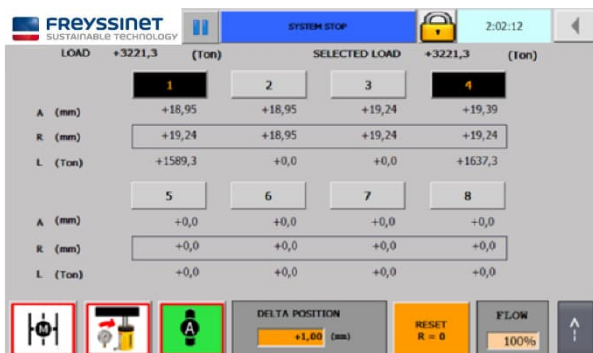


Figura 16. Detalle del L.A.O durante la operación.

Una vez se alcanzaba la cota de izado se realizaba la extracción de los apoyos con ayudas de mesas de extracción y su retirada con las cestas y polipastos.



Figura 17. Extracción de apoyo

Tras la extracción se realizaba de nuevo el descenso del tablero a su posición original. Para asegurar la posición se realizaba un control topográfico antes y después de la operación de manera que se aseguraba la idoneidad de la vía para la circulación.



Figura 18. Tren circulando por el tablero soportado por los cilindros hidráulicos.

6.6 Corte de mesetas existentes

Para poder realizar la instalación de los nuevos apoyos era necesario tener un espacio disponible mayor al existente para lo cual se cortaba la meseta inferior con hilo de diamante.



Figura 19. Corte de mesetas existentes.

6.7 Instalación de nuevos apoyos

La decisión de instalar llaves de cortante supone que los apoyos esféricos no tienen responsabilidad frente a cargas horizontales por lo que se simplifica su instalación al no ser necesario disponer de fijaciones mecánicas de importancia.

La instalación de los apoyos se realizó en tres fases: primero se nivelaba la masonry plate inferior y se vertía el mortero autonivelante bajo ella.

Una vez el mortero endurecía se instalaba el nuevo apoyo sobre la masonry plate y se vertía la meseta superior.



Figura 20. Ejecución de meseta inferior con masonry plate.

Cuando el mortero de la meseta superior alcanzaba la resistencia requerida se realizaba su puesta en carga mediante la descarga de los cilindros hidráulicos.



Figura 21. Apoyo nuevo instalado.

La operación completa de cambio de apoyos en las tres pilas, 1, 3 y 7 se llevó a cabo en un plazo de aproximadamente 4 meses.

7. Conclusiones

Tras la ejecución del cambio de apoyos detallada en este artículo se pueden destacar algunos puntos relevantes que, a pesar de ser ampliamente conocidos, no queremos dejar pasar la oportunidad de remarcar.

En primer lugar, constatar la importancia de las inspecciones periódicas sobre las estructuras y sus elementos constitutivos que permiten detectar patologías en fases tempranas de evolución permitiendo actuar antes de que estas progresen, lo que hace que no se comprometan ni la seguridad ni la funcionalidad y que el alcance de la actuación sea más reducido.

Por otro lado, se quiere resaltar la importancia de introducir en fases de diseño consideraciones relativas al mantenimiento y conservación de la estructura. En este caso concreto, la consideración en proyecto de la posible sustitución de los apoyos hubiese reducido el número de operaciones a realizar.

También se quiere destacar la importancia de la colaboración entre proyectistas y empresas especialistas como Freyssinet S.A.U. lo que permite desarrollar soluciones tecnificadas y a medida, lo que simplifica la ejecución de los trabajos.

Por último, presentar la obra en cuestión para que se pueda analizar como un cambio de apoyos en un entorno particular, dentro de un embalse, con pilas altas, un puente en curva y en servicio y con apoyos de grandes cargas puede volverse un proyecto de cambio de apoyo singular y muy diferente a los usuales, incluso en puente de AVE.

8. Agradecimientos

Los autores del artículo queremos mostrar nuestro agradecimiento a los diferentes agentes implicados en el proyecto que han mostrado su confianza en Freyssinet S.A.U. para ejecutar este complejo proyecto: ADIF Alta Velocidad como gestor de la estructura, INECO autores del proyecto de reparación y dirección de obra y FHECOR Ingenieros Consultores como autores del proyecto modificado.



Figura 22. Vista general del puente después del cambio de apoyos o estado final

7. Referencias

- [1] UNE-EN 1337-2:2006. Apoyos estructurales. Parte 2: Elementos de deslizamiento
- [2] UNE-EN 1337-5:2006. Apoyos estructurales. Parte 5: apoyos “pot”
- [3] UNE-EN 1337-7:2006. Apoyos estructurales. Parte 7: Apoyos de PTFE cilíndricos y esféricos
- [4] IAP-10 (2010). Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril
- [5] EHE-08 (2008). Instrucción de hormigón estructural
- [6] Eurocódigos 2 Parte 2 (2005). Proyecto de estructuras de hormigón - Puentes de Hormigón