

# Obras de sustitución de aparatos de apoyo en el Viaducto de Requejo en P.K. 92+800 de la A-52, Zamora

*Bearings replacement works in the Requejo Viaduct in P.K. 92+800 of A-52, Zamora*

Ignacio Pulido Sánchez<sup>a</sup>, Samuel Cerdeira López<sup>b</sup>, Carlos Jiménez Solanas<sup>c</sup>, y Jesús Martín Suárez<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Desarrollo de Negocio. [ignacio.pulido@tylin.com](mailto:ignacio.pulido@tylin.com)

<sup>b</sup> Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Jefe de Proyectos. [samuel.cerdeira@tylin.com](mailto:samuel.cerdeira@tylin.com)

<sup>c</sup> Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Jefe de Proyectos. [carlos.jimenez@tylin.com](mailto:carlos.jimenez@tylin.com)

<sup>d</sup> Máster Ingeniero de Caminos, C. y P. TYLin. Director de la División de Inspección, Mantenimiento y A.T. [jesus.martin@tylin.com](mailto:jesus.martin@tylin.com)

## RESUMEN

El viaducto de Requejo de la A-52 salva el valle del Carill, en la provincia de Zamora, mediante dos tableros gemelos de vigas prefabricadas doble T. Las estructuras tienen una longitud total de 194 m distribuidos en seis vanos, y su pila central alcanza los 60 m de altura debido al pronunciado perfil del valle. En la junta de dilatación sobre esta pila central se detectó un escalón de 8-10 cm entre vanos. La inspección especial de apoyos puso de manifiesto una anomalía generalizada en su comportamiento, que requirió su sustitución completa, junto con una serie de actuaciones complementarias para posibilitar la operación a 60 m de altura en una estructura que no la había previsto.

## ABSTRACT

The Requejo Viaduct in the A-52 spans the valley of the river Carril, in Zamora, by means of two twin decks of precasted double T beams. The total length of the structures is 194 m, distributed in six spans, and its central pier is 60 m high. The discovery of a step measuring 8-10 cm in the expansion joint over the central pier prompted a comprehensive inspection of the bearings, which revealed a general anomaly in their behaviour. The complete replacement of the bearings required a series of complementary works to enable the operation at 60 m height in a structure which had not been planned for it.

**PALABRAS CLAVE:** reparación y refuerzo, apoyos, reptación, sustitución, levantamiento tablero.

**KEYWORDS:** repair and strengthen, bearings, “walking”, replacement, jacking.

## 1. Introducción

Los viaductos de Requejo se encuentran ubicados en el P.K. 92+800 de la autovía A-52, en las proximidades de la población homónima, en la provincia de Zamora. Se trata de dos estructuras gemelas de 194 m de longitud que salvan el valle del arroyo del Carril, afluente del río Requejo, cuya orografía es muy escarpada,

con unas laderas muy inclinadas en forma de “V”, llegando a alcanzar la pila central de los viaductos una altura de más de 60 m.

Fue precisamente sobre esta pila central, en la junta de dilatación de la calzada sentido Benavente, en la que se detectó un escalón de unos 8-10 cm, circunstancia que obligó al corte

parcial del carril derecho y dio lugar a una inspección de urgencia para verificar el estado de los aparatos de apoyo del viaducto.



**Figura 1. Vista general de los viaductos de Requejo.**

Como consecuencia de dicha incidencia, se realizó una inspección completa de los viaductos, centrada especialmente en el estado de los aparatos de apoyo. Esta inspección permitió constatar la reptación y pérdida del aparato de apoyo exterior de la pila central, que habían derivado en la aparición del citado escalón. Asimismo, durante la inspección se detectaron otra serie de apoyos en una situación precaria por reptación, siendo previsible su completa pérdida en un futuro próximo.



**Figura 2. Situación del aparato de apoyo que dio lugar al escalón en la calzada.**

## 2. Descripción de la estructura

Las estructuras tienen una longitud total de 194 m, distribuidos en seis vanos isostáticos de luces  $25+4\times 36+25$  m, materializados en tableros de cuatro vigas prefabricadas doble “T” de hormigón preteso, con una losa de compresión de hormigón armado. Los viaductos fueron contruidos en los años 1997-1998.

Las vigas se apoyan en cinco pilas tipo martillo, con un fuste de sección constante hueca, con un

dintel de geometría variable en cabeza, en donde apoyan las vigas. Todos los aparatos de apoyo de las estructuras son de neopreno zunchado.



**Figura 3. Vista inferior del viaducto, sentido Orense.**

Las estructuras disponen de juntas de dilatación sobre estribos y en la pila central (P-3), contando por lo tanto con continuidad de la losa superior en las pilas P-1, P-2, P-4 y P-5.



**Figura 4. Plataforma desde el estribo E-2 (Orense).**

Cabe señalar también, dado su relevancia en el comportamiento de la estructura, que ambos viaductos presentan una pendiente longitudinal del 5%, siendo el lado Orense los de mayor cota.

## 3. Descripción de los daños

### 3.1. Subestructura

Entre los daños existentes en los estribos y las pilas, destacaban las lajaciones y signos de corrosión en las superficies de hormigón debidos a la acción del agua proveniente de la plataforma, especialmente bajo las juntas de dilatación de los dos estribos y de la pila central.



Figura 5. Humedades, eflorescencias, lajaciones y signos de corrosión en las armaduras de la pila P-3.

### 3.2. Aparatos de apoyo

Para la caracterización del estado de todos los aparatos de apoyo de las dos estructuras se realizó una inspección visual directa gracias al empleo de un camión con plataforma en cota negativa. La inspección permitió comprobar que existían un total de 20 aparatos de apoyo que habían sufrido reptación de distinta gravedad, en algunos casos porque el neopreno había sido total o parcialmente escupido, como en el que dio origen a esta inspección, y en otros casos porque era **la viga la que había reptado sobre el apoyo**, que se había mantenido en su sitio.



Figura 6. Camión con plataforma negativa empleado para la inspección de los aparatos de apoyo.



Figura 7. Apoyo parcialmente escupido.



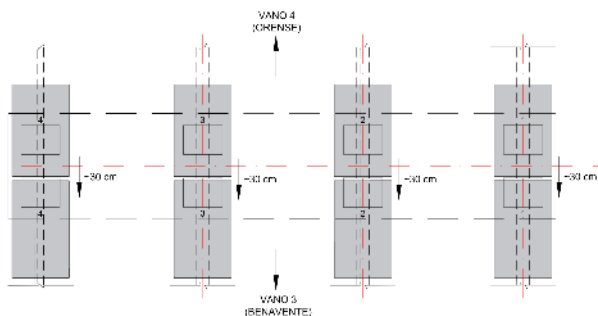
Figura 8. Viga reptada sobre el apoyo, sin longitud de entrega efectiva (Pila P-3, lado Benavente).

Mientras que los casos de apoyos reptados no se distribuían de forma clara en las distintas líneas de apoyo, sí llamaba la atención que **la reptación de las vigas se presentaba sobre todo en las pilas centrales y en dirección descendente** (sentido Benavente). En la línea del lado Benavente, esta reptación se había traducido en el precario apoyo de la imagen anterior, mientras que, en la línea del lado Orense, la reptación era también evidente por la existencia de una “sombra” en la viga de la posición original del neopreno.



Figura 9. Apoyo sin desplazamiento, pero viga reptada como indica la sombra de la posición original (Pila P-3, lado Orense).

Como se observa en la imagen anterior, la reptación de la viga es significativa, alcanzado los 30 cm, lo cual explica la precaria situación de las vigas del vano anterior, que **carecían de longitud de entrega efectiva**. En la siguiente imagen se representa la situación de los apoyos en las pilas centrales (P-3).



**Figura 10. Desplazamiento relativo de las vigas hacia Benavente (descendente) en las pilas centrales.**

Si bien hasta ahora se ha hablado de “reptación de las vigas sobre los neoprenos en dirección descendente”, la realidad es que, una vez conocido que dicha reptación alcanza los 30 cm, difícilmente podía haber tenido lugar simplemente por reptación del tablero, pues no existe espacio en las juntas de dilatación para absorber dicho movimiento.

En este sentido, sí se observaba que en los estribos inferiores (E-1, Benavente) el tablero se encontraba topando con el cargadero, mientras que en los estribos superiores (E-2, Orense), existía mayor espacio en la junta. Sin embargo, estos desplazamientos no podían explicar los 30 cm existentes en la pila central.



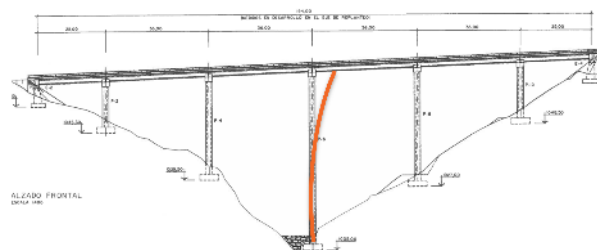
**Figura 11. Situación del tablero topando en el estribo E-1 (estribo aguas abajo, Benavente).**

Por lo tanto, si existía un desplazamiento relativo de 30 cm del tablero hacia Benavente con respecto a los apoyos, pero los apoyos no se habían desplazado con respecto a la pila y los movimientos en las juntas no podían haber absorbido los movimientos del tablero, el origen de la reptación debía de estar en el **movimiento de la propia pila hacia el lado Orense**.



**Figura 12. Vigas sobre pila central. La diferencia en las entregas de las vigas denota el desplazamiento relativo entre tablero y pila.**

Esta hipótesis fue analizada mediante un levantamiento geométrico de las pilas P-3 de ambas estructuras, **confirmando la existencia de una flecha en coronación de pila, de magnitud 0,30 m hacia Orense**.



**Figura 13. Croquis del desplazamiento observado en la pila central, sobre el alzado de los planos.**

Una explicación a este comportamiento está en la asimetría que introduce la pendiente longitudinal de la estructura, unida a la existencia de la junta de dilatación en la pila central (P-3) y a una posible deficiencia en la nivelación de los aparatos de apoyo.

Con estas condiciones, en cada fase de contracción/dilatación del tablero, puede darse la situación de que el semi-tablero que “empuje a” o “tire de” la pila central en la dirección descendente (Benavente) deslice sobre los neoprenos, debido a la reducción en la reacción vertical que supone la pendiente longitudinal. En esta situación, este semi-tablero no transmitiría fuerza longitudinal alguna a la pila.

Por su parte, el semi-tablero que “empuje a” o “tire de” la pila central en la dirección ascendente sí transmitiría su carga de forma correcta a los neoprenos, ya que la reacción en este caso sería mayor. La resultante es, en cualquier caso, una

fuerza sobre la pila en la dirección ascendente, que desplaza el dintel en dirección Orense, tal y como se ha observado.

Este desplazamiento en cabeza de la pila P-3, además de haber dado lugar a la conocida situación de precariedad en la longitud de entrega de las vigas, podía suponer un problema para la propia pila, ya que introduce una excentricidad significativa a las acciones verticales. Con objeto de conocer su nivel de seguridad respecto a la situación nominal, se llevó a cabo su verificación, considerando las “no linealidades” geométricas y materiales, obteniendo unos esfuerzos compatibles con el dimensionamiento de la pila. No obstante, como medida redundante, se planteó la ejecución de unos topes en cabeza de pila con suficiente holgura para permitir los movimientos ordinarios del tablero, térmico y frenado/arranque, pero que, ante un eventual fallo de los apoyos, el tablero quede coaccionado con dichos topes, evitando de esta forma el pandeo de la pila en ménsula.



Figura 14. Nuevo tope longitudinal en pila central para limitar el desplazamiento relativo del tablero.

### 3.3. Tablero

La inspección especial bajo el tablero no se limitó a los aparatos de apoyo, sino que se realizó también una inspección visual del tablero y, en particular, del **estado de conservación de las culatas de viga**.

En vigas como las existentes en los viaductos de Requejo, prácticamente sin armadura pasiva en la sección de apoyos, los cables de pretensado cumplen la función adicional de anclar la biela de

cortante en el apoyo (tracción  $T$  en el siguiente esquema de bielas y tirantes).

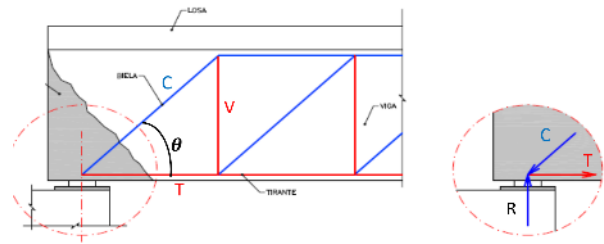


Figura 15. Esquema de bielas y tirantes en apoyo.

Para materializar este anclaje de la biela por tanto, se ha de contar, fundamentalmente con la capacidad de anclaje del pretensado desde la culata de la viga al eje de apoyo, denominada “longitud de entrega”. No obstante, si a pesar de contar con longitud de entrega suficiente, el hormigón de esa zona sufre un deterioro tal que afecta a la adherencia de los cables y, con ello, a su longitud efectiva de anclaje, podría llegar a producirse el fallo a cortante de la viga por incapacidad de anclar la biela de cortante.

En la inspección realizada se observó un deterioro generalizado de las culatas de las vigas de borde, especialmente las situadas aguas abajo de la sección transversal. Además, los deterioros eran más importantes en las culatas de la pila central (P-3) que en el resto.



Figura 16. Culata de viga 4 (viga de borde), vano 6 en pila P-5. Sentido Benavente.

Esta distribución de los daños en las culatas puede relacionarse con la facilidad de acceso del agua de la plataforma a la parte inferior del tablero, que se produce por los laterales del tablero, y en especial por el de aguas debajo de la

sección transversal, así como por las juntas de dilatación, en el caso de no ser estancas.

Además, en una zona con vialidad invernal como es el emplazamiento de la estructura, el agua proveniente de plataforma arrastra las sales fundentes empleadas, las cuales aceleran el proceso de corrosión de las armaduras, y con ello la formación de lajaciones en el hormigón.



Figura 17. Culata de viga 2, vano 3 en pila P-3 (pila central, bajo junta de dilatación). Sentido Orense.

Además de los daños en las culatas, la inspección del tablero permitió detectar la **fisuración diagonal en las almas**, observada en más de la mitad de los extremos de vigas. Esta patología se presentaba con una extensión similar en las dos estructuras, de forma prácticamente sistemática en las vigas interiores de los vanos no extremos, aunque no exclusivamente en ellas.



Figura 18. Fisuración diagonal en alma marcada por humedades. Viga 3, E-1. Sentido Benavente.

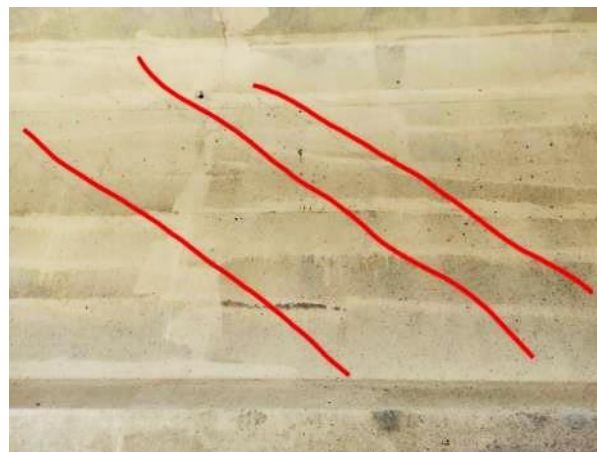


Figura 19. Fisuración diagonal en alma de viga 3 sobre pila P-2, vano 3. Sentido Orense.

La fisuración diagonal de las almas arrojaba dudas acerca de la capacidad de las vigas a cortante, por lo que se llevó a cabo una comprobación de las mismas tanto de acuerdo a la normativa vigente en el momento del Proyecto Original (IAP-72 y EH-91), como a la actual (Eurocódigos EC-1 y EC-2).



Figura 20. Ejecución de calas en alma de viga para identificación de la armadura transversal.

Los cálculos realizados concluyeron que las vigas existentes cumplían las comprobaciones de compresión y tracción en el alma según la normativa del Proyecto Original. Sin embargo, debido que el EC-2 no considera la contribución del hormigón a cortante, la comprobación según la normativa vigente no era satisfactoria, como suele ser habitual en este tipo de tipología estructural.

La verificación de la estructura se realizó conforme a criterios y metodología determinista, partiendo de los datos y conocimiento certero de

la estructura realmente ejecutada, como, por ejemplo, el conocimiento preciso del tablero como resultado del pesaje realizado durante las operaciones de cambio de apoyos.

Con este enfoque, y apoyados en documentación técnica de referencia como el Bulletin 80 fib “Partial factor methods for existing concrete structures” [1], además de la norma americana AASHTO, se concluyó que la comprobación de la biela de cortante era satisfactoria **siempre que se pudiera garantizar una entrega mínima.**

Esta entrega mínima se incumplía, de forma general, en todos los apoyos situados en el lado Benavente de cada pila, debido a la reptación que había sufrido el tablero en dirección descendente. Sin embargo, era posible recuperar una entrega suficiente sustituyendo dichos aparatos de apoyo y desplazando el nuevo apoyo lo más posible al borde del cargadero. Como consecuencia, se planteó la **sustitución de todos los aparatos de apoyo de la estructura.** A pesar de esta medida, en los apoyos de las pilas centrales (P-3) el desplazamiento de los apoyos no era suficiente para garantizar una longitud de entrega suficiente, por lo que en estos casos se planteó un **refuerzo a cortante de las vigas** en la zona de apoyos sobre la pila P-3, en el lado Benavente.

## 4. Actuaciones

Como es habitual en las estructuras de su época, los viaductos de Requejo no habían sido concebidos con la previsión de una futura sustitución de aparatos de apoyo. Ello, unido a la anómala situación del tablero en cuanto a las entregas de vigas existentes, dio lugar a la necesidad de implementar una variedad de soluciones diferentes para acometer la sustitución de los apoyos, en función de la situación y espacio en que se encontraba cada apoyo, habiendo realizado una valoración y decisión particularizada para cada uno de los casi 100 apoyos entre ambos tableros.

### 4.1. Ejecución de ménsulas cortas de hormigón para apoyo de gatos

En los casos en los que no existía espacio por delante ni por detrás del apoyo para situar los gatos de izado, era necesario ejecutar algún tipo de ménsula corta para poder realizar la sustitución de los aparatos de apoyo.

Una posible solución, que puede ser más interesante económicamente cuando se deben realizar múltiples sustituciones de apoyos en la misma estructura, es emplear ménsulas cortas metálicas reutilizables. Sin embargo, esta alternativa conlleva una serie de inconvenientes que eran relevantes en los viaductos de Requejo. En primer lugar, se condiciona el plazo de ejecución, ya que es necesario primero fabricar la ménsula corta, y además la sustitución de apoyos se debe realizar línea a línea. En caso de querer levantar varias líneas al mismo tiempo, esta alternativa no resultaría económicamente interesante al tener que multiplicar las ménsulas metálicas fabricadas.

En segundo lugar, el empleo de un elemento provisional para el levantamiento del tablero deja la estructura en la misma situación en la que estaba, esto es, sin posibilidad de realizar una nueva sustitución de apoyos en el futuro.

Por último, estaba la necesidad de adelantar cierto número de apoyos para mejorar su condición de entrega, lo cual no es posible si el espacio del futuro apoyo queda ocupado por los gatos. En estos casos, las ménsulas de hormigón permiten no solo el apoyo de los gatos, sino que aportan también un cosido a la posible superficie de rotura en la nueva posición del apoyo.



Figura 21. Alzado de las ménsulas cortas para apoyo de gatos de izado. Geometría

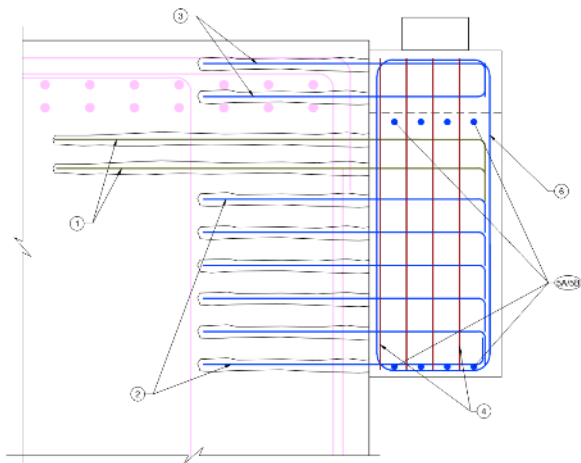
Probablemente llame la atención, en la imagen anterior, la geometría de la ménsula situada en el exterior del dintel. La razón de esta geometría es la necesidad de “colgar” la ménsula en una posición en la que el dintel no contaba con armadura de flexión transversal.

Esta situación era debida a que prácticamente la totalidad de la armadura transversal del dintel se situaba en la zona superior, tal y como se observa en la siguiente imagen.



**Figura 22.** Calas en el dintel para determinar la posición de la armadura transversal y vertical.

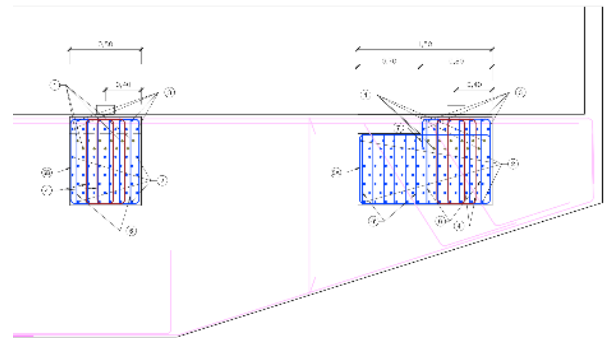
En la siguiente sección transversal se representa el armado de las ménsulas cortas, observándose que los anclajes principales se sitúan por debajo de la armadura transversal del dintel.



**Figura 23.** Sección transversal de las ménsulas cortas para apoyo de gatos de izado. Armado.

En las ménsulas interiores (vigas 2 y 3), el hecho de que los anclajes de la ménsula se sitúen por debajo de la armadura transversal no resultaba un problema, ya que la carga puede bajar

directamente al fuste. Sin embargo, en las exteriores (vigas 1 y 4), era necesario “buscar” la armadura a flexión transversal del dintel, representada en rosa en la figura siguiente.



**Figura 24.** Alzado de las ménsulas cortas para apoyo de gatos de izado. Geometría.



**Figura 25.** Ejecución de ménsulas cortas.

#### 4.2. Refuerzos provisionales

En algunas vigas existía espacio suficiente sobre el dintel para situar los gatos de izado, pero estos quedarían excesivamente próximos al borde el cargadero, dando lugar a un riesgo de descantillado durante el levantamiento.

Para estos casos, se planteó una solución de refuerzo provisional mediante pretiles metálicos HEB-200 anclados al dintel por barras GEWI.



**Figura 26.** Refuerzo provisional de descantillado.



Cabe señalar además que en esta segunda fase de las obras se emplearon andamios colgados para el acceso a las pilas y el montaje de los encofrados necesarios para su refuerzo.



Figura 31. Andamio sobre la pila central P-3.



Figura 32. Vista general de los trabajos.

## 5. Principales participantes

|                                   |                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Propiedad:                        | <b>MITMS. Demarcación de Carreteras en Zamora</b>                                                                                                       |
| Dirección de obra:                | <i>D. Guillermo Vicente Robledo</i><br><i>D. Adolfo Fidel Güell Cancela</i><br><i>D. Raúl García Heras</i>                                              |
| Empresa Constructora:             | <b>VSL</b><br><i>D. Abraham Hidalgo Olea</i><br><i>D. Alejandro Litago Viñerta</i>                                                                      |
| Diseño de solución de reparación: | <b>TYLin</b><br><i>D. Ignacio Pulido Sánchez</i><br><i>D. Samuel Cerdeira López</i><br><i>D. Carlos Jiménez Solanas</i>                                 |
| Asistencia Técnica especializada  | <b>TYLin</b><br><i>D. Jesús Martín Suárez</i><br><i>D. Ignacio Pulido Sánchez</i><br><i>D. Samuel Cerdeira López</i><br><i>D. Alberto Marino Tostón</i> |

## Referencias

- [1] Partial factor methods for existing concrete structures, Bulletin No. 80 fib (dic. 2016).