

Análisis de patologías, propuesta de soluciones y ejecución de obras de refuerzo de los viaductos de Silvela y Noceda I en la autovía A-6

Analysis of pathologies, solution proposal and execution of the reinforcement works of the Silvela and Noceda I viaducts on the A-6 highway

Beatriz González del Riego ^a, Diego Vázquez Novo ^b, Luis Matute Rubio ^c, Ignacio Pulido Sánchez ^d, Santiago Salas Fernández Polanco ^e

^a Máster Ingeniero de Caminos, C y P. Jefe de Unidad de Carreteras del Estado en Lugo. Mº Fomento

^b Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Unidad de Carreteras del Estado en Lugo. Mº Fomento

^c Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Director de General. IDEAM, S.A.

^d Máster Ingeniero de Caminos, C y P. Director Dpto. de Mantenimiento, Inspección y Rehabilitación. IDEAM, S.A.

^e Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. IDEAM, S.A.

RESUMEN

Los viaductos de Noceda y Silvela son dos importantes estructuras situadas en la autovía A-6 de 300 m y 400 m respectivamente. Como consecuencia del asiento en el tiempo de los muros de suelo reforzado y acentuado por el propio efecto pórtico del tablero, tanto por los movimientos derivados de los efectos térmicos y de la acción de las sobrecargas, se había llegado a producir el total despegue del tablero y el cargadero, lo cual resultaba un comportamiento totalmente anómalo y en contra del diseño de proyecto. Como solución de reparación se ha previsto el micropilotaje de los cargaderos y la disposición de un tope antilevantamiento.

ABSTRACT

The Noceda I and Silvela viaducts are two important structures located on the A-6 highway with a total length of 300 m and 400 m respectively. Due to the ground settlement of the reinforcement soil walls and increased by the portico effect of the bridge, motivated by the movements derived of the thermic effects and the action of the overloads, it would have come to produce the complete separation between the deck and the abutment. This separation causes an anomalous behavior of the bridge against the original project design. The solution to repair that problem consist of the execution of a deep foundation with micropiles and the construction of a structure to avoid the uplift of the bridge.

PALABRAS CLAVE: Patología, refuerzo, suelo reforzado, micropilotes, levantamiento.

KEYWORDS: Pathology, reinforcement, reinforcement soil, micropiles, uplift.

1. Descripción de las estructuras

Los viaductos de Noceda I y Silvela están enclavados en las laderas de acceso al puerto de Piedrafita del Cebrero, en los P.K. 436+600 y

437+900 respectivamente, de la carretera A-6, en la provincia de Lugo. Ambas estructuras permitieron la duplicación de la calzada de la

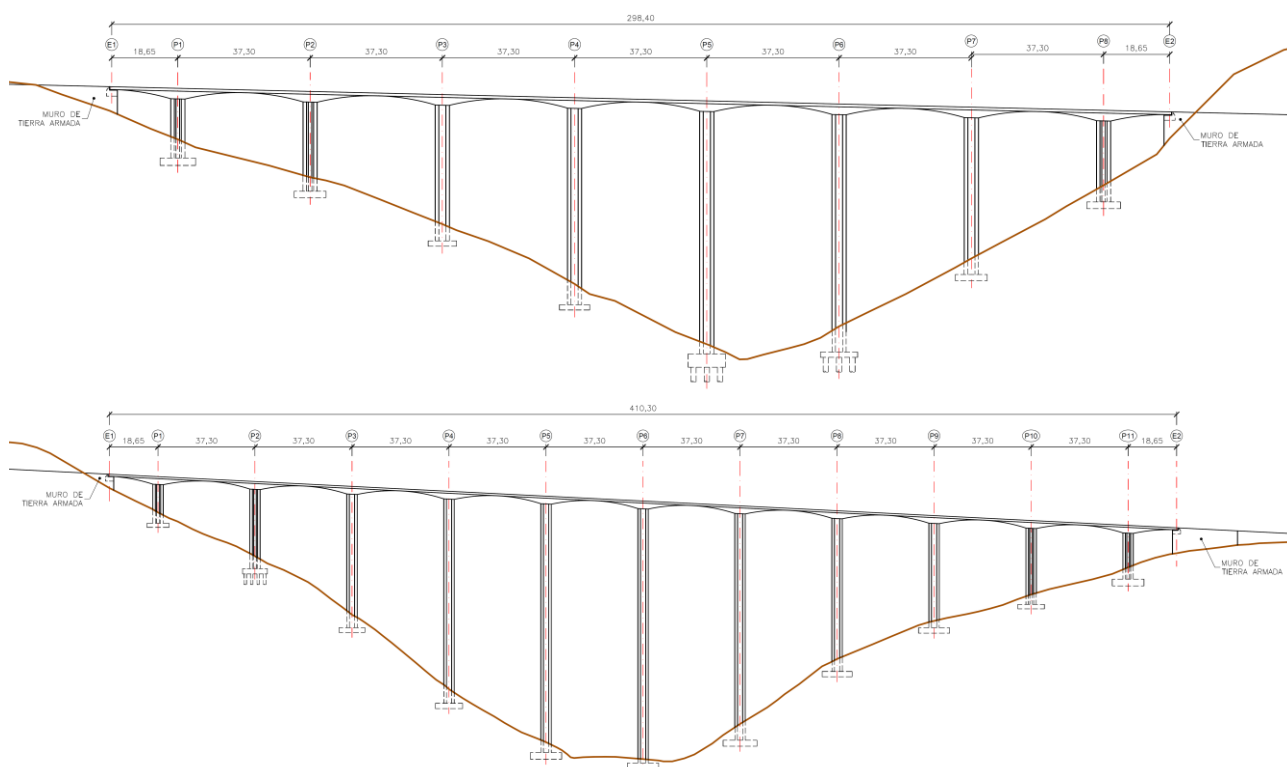


Figura 1. Alzado de las estructuras. Arriba, viaducto de Noceda I. Abajo, viaducto de Silvela.

carretera N-VI, de forma que un único tablero alberga ambas calzadas de la A-6 (figura 1).

El viaducto de Noceda I, de aproximadamente 298,40 m de longitud, está formado por un total de 9 vanos, siendo los 2 vanos extremos de unos 18,65 m de luz y los 7 centrales de 37,30 m.

En cuanto al viaducto de Silvela, éste tiene una longitud aproximada de 410,30 m y está formado por un total de 12 vanos, siendo los 2 vanos laterales de unos 18,65 m de luz y los 10 centrales de 37,30 m.

Ambos tableros tienen un ancho aproximado de 26,50 m. En sentido ascendente, sentido decreciente de PKs, la calzada cuenta con 3 carriles de 3,50 m cada uno y 2 arcenes de 1,00 m. La calzada descendente, cuenta con 2 carriles con un ancho total de 7,00 m, un arcén de 3,00 m y un arcén exterior de 2,50 m.

Los estribos se resolvieron mediante un cargadero sobre un terraplén de tierra reforzada (figura 2).

Las estructuras cuentan con pilas verticales de hormigón armado empotradas en el tablero. Las pilas centrales cuentan con una sección transversal en cajón monocelular octogonal uniforme en toda su altura, mientras que las pilas laterales, de menor longitud, han sido resueltas mediante dos tabiques paralelos con el mismo contorno exterior que el de las pilas centrales.



Figura 2. Estribo E-1 del viaducto de Noceda I.

Respecto al tablero, se trata de un tablero de tipo fungiforme, de hormigón armado. La sección transversal está formada por un cajón multicelular de canto variable, tanto en sentido longitudinal como transversal. En el entronque

con la pila el canto del tablero es de 3,00 m, reduciéndose de forma parabólica hasta 0,80 m en las secciones de centro de vano y en los bordes del tablero. De esta forma, el trasdós del

tablero queda formado por cuatro superficies cilíndricas de directriz parabólica y cuatro superficies curvas de en las diagonales de las “setas” centradas en las pilas (figuras 3 y 4).

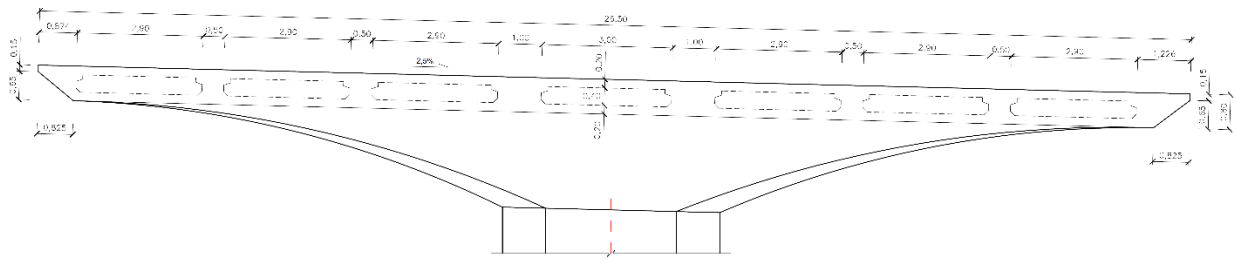


Figura 3. Sección transversal por eje de pila.

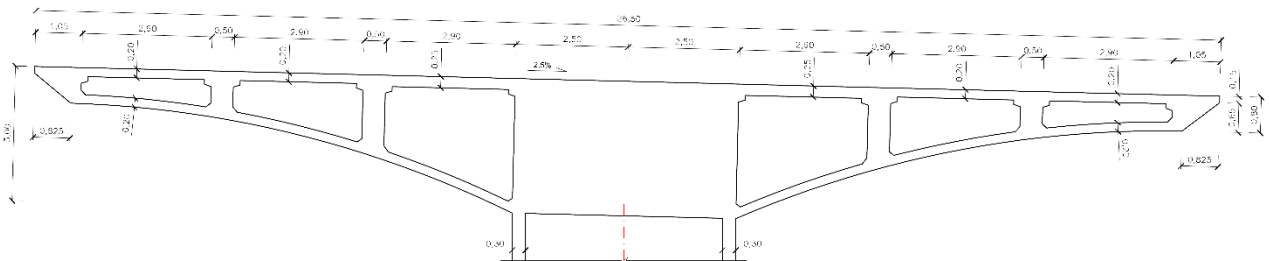


Figura 4. Sección transversal en centro de vano.

2. Principales patologías detectadas

Los principales daños detectados en las estructuras se corresponden con la falta de contacto de los aparatos de apoyo de estribos en ambos viaductos, incluso con las roturas/cortes de las retenidas de pretensado originales. Este hecho se traduce en que los vanos extremos de los tableros están trabajando en ménsula, en vez de apoyados con un esquema de viga continua, como fue proyectado, lo que se considera supone una importante disfunción estructural y funcional, al modificar el comportamiento estructural del tablero (figura 5).

El origen de estos desplazamientos reside, muy probablemente, en los asientos diferenciales producidos en los terraplenes de acceso de tierra armada. Dichos terraplenes habrían experimentado asientos diferenciales que, automáticamente, se traducen en el descenso del cargadero y, con ello, la pérdida de la condición de apoyo tablero-estribo.



Figura 5. Falta de contacto en los aparatos de apoyo.

A su vez, estos asientos diferenciales, unido a la corrosión, se habrían traducido en la rotura de los cables de retenida que vinculan tablero y estribo, precisamente, para evitar el levantamiento del tablero (figura 6).



Figura 6. Rotura de los cables de retenida.

3. Descripción conceptual de la solución de reparación propuesta

Ante la disfunción detectada en el tablero, especialmente en los vanos extremos, se consideró conveniente proceder a la restitución de su condición de estructura apoyada en estribo, de forma que se redujeran las sobresolicitaciones del tablero por su comportamiento en ménsula. En este sentido, y si bien los terraplenes deberían haber finalizado sus asentamientos dado el tiempo transcurrido

desde su construcción, se decidió realizar el recalce de los cargaderos mediante micropilotes, independizando de esta forma el comportamiento del terraplén del estructural (figura 7). El cálculo de los mismos se realizó en base a lo establecido en la *Guía para el Proyecto y la Ejecución de Micropilotes en Obras de Carreteras* [1].

Evidentemente, unido al recalce del cargadero se planteó la colocación de unos nuevos aparatos de apoyo que garantizaran la transferencia de cargas entre el tablero y el cargadero evitando de esta manera que los vanos extremos funcionaran en voladizo, al mismo tiempo que se aseguraba que el viaducto se comporte conforme a su diseño original. Adicionalmente, el apoyo del tablero en el cargadero reduciría significativamente las vibraciones apreciadas en los vanos extremos y mejorará el comportamiento de las juntas de dilatación.

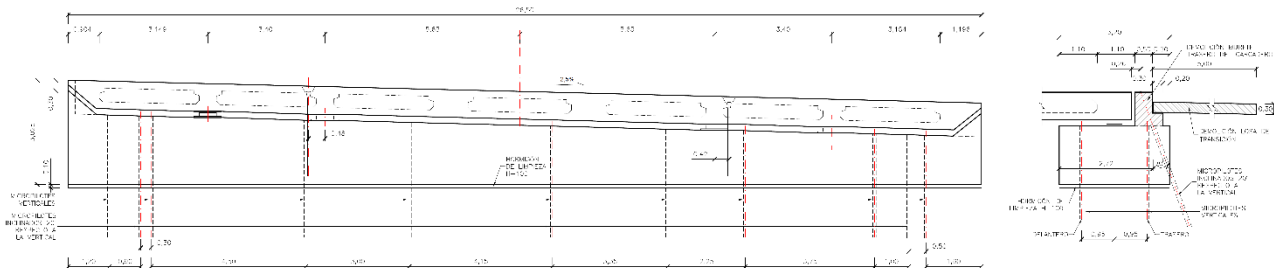


Figura 7. Alzado y sección transversal tipo del cargadero micropilotado

Junto a lo anterior, uno de los problemas latentes se encontraba en la rotura del pretensado de retenida y la presencia de levantamientos del tablero en estribo tanto por la acción térmica (estructura tipo pórtico) y por la propia acción de las sobrecargas. En este sentido se planteó la realización de un sistema de anclaje mediante la disposición de unas estructuras metálicas auxiliares en forma de “U” dispuestas en la cara inferior del tablero y unas ménsulas cortas de hormigón armado vinculadas a los propios cargaderos del estribo (figura 8).

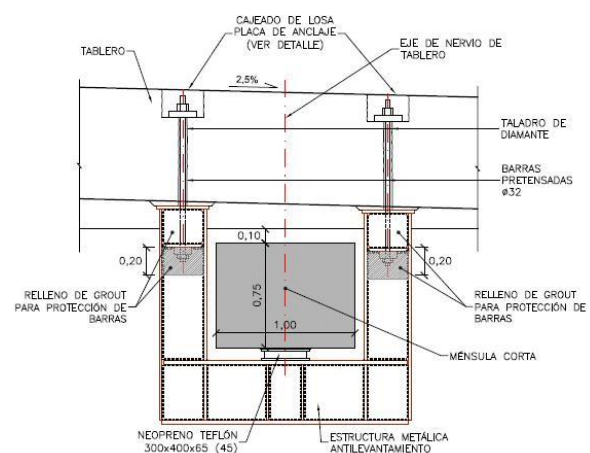


Figura 8. Detalle del sistema de retenida.

Los diferentes elementos que configuran el tope antilevantamiento han sido proyectados

en base a lo establecido en el *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón* [2] y *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero* [3].

4. Ejecución de las obras de reparación

Las principales actuaciones de reparación llevadas a cabo son las siguientes:

1. Recalce los cargaderos
2. Ejecución de topes antilevantamiento
3. Disposición de nuevos aparatos de apoyo
4. Actuaciones complementarias

4.1. Recalce de los cargaderos

Para independizar los cargaderos de los estribos del muro de suelo reforzado, se ejecutó una cimentación profunda a base de micropilotes. En función de los sondeos y del correspondiente estudio geotécnico se diseñaron dos tipologías de micropilotes. Los primeros, donde la roca sana se encontraba a una profundidad reducida, se empotraron en dicha roca, mientras que en aquellas zonas donde no se detectó un substrato competente se recurrió a micropilotes de tipo flotante.

En cuanto a la inclinación de los mismos existían igualmente dos tipologías, los primeros y más numerosos eran los micropilotes verticales encargados de recoger las acciones verticales, mientras que para soportar las acciones horizontales se dispusieron en cada estribo 3 micropilotes inclinados.

Todos los micropilotes cuentan con una armadura tubular de 139 mm de diámetro y 9 mm de espesor dotada de manguitos cada 0,50m. En los micropilotes flotantes se optó por realizar una inyección de tipo IRS. En los micropilotes en roca se planteó una inyección similar, si bien el objeto fundamental de estas inyecciones era la mejora del terreno a modo de tratamiento de tubo-manguito (figura 9).



Figura 9. Ejecución de micropilotes inclinados.

En cuanto a los micropilotes verticales, se ejecutaron 8 por estribo, agrupados en dos alineaciones. La primera de ellas se encuentra en la parte frontal del estribo, por lo que resultó necesario ejecutar taladros pasantes en el tablero y cargadero para poder liberar espacio para la perforación. La conexión de dichos micropilotes con el cargadero se realiza por adherencia para lo cual, en la zona del micropilote correspondiente con el cargadero se soldaron barras corrugadas que permitían transmitir la carga a la lechada con la que se rellenaba la perforación. A su vez, desde el frente del cargadero se ejecutaron taladros para alojar la armadura de conexión que, sin afectar a la armadura de los micropilotes, atravesaban el relleno de lechada y se anclaban en el cargadero (figura 10).



Figura 10. Detalle de conexión de los micropilotes delanteros.

La conexión de la línea trasera de micropilotes verticales y de los micropilotes inclinados resultó más sencilla. En este caso dado que resultaba necesario demoler el murete de guarda del estribo para la propia ejecución de los micropilotes, se aprovechó para disponer la parte superior de los micropilotes en la sombra del murete de forma que quedaran embebidos en el propio muro cargadero. De esta manera, la conexión se garantiza por adherencia, sin más que soldando barras de acero corrugado a la parte exterior de la tubería de acero (figura 11).



Figura 11. Detalle de conexión de micropilotes traseros.

4.2. Ejecución de topes antilevantamiento.

En cada uno de los estribos se dispusieron dos topes antilevantamiento para retener el tiro que experimenta el tablero ante el efecto de las

sobrecargas alternas y excéntricas, así como por las variaciones térmicas del tablero como consecuencia del efecto pórtico.

El tope consiste en una ménsula corta de hormigón armado anclada al frente del cargadero y una estructura metálica en forma de “U” que reacciona contra la cara inferior de la ménsula de hormigón (figura 12).



Figura 12. Vista estructura metálica y armado de la mensula corta.

La estructura metálica se ancla al tablero mediante barras de pretensado pasantes a lo largo del canto del tablero y ancladas en un cajeado realizado en la cara superior de la losa. Dada la tipología aligerada del tablero, fue necesario proceder al relleno del alveolo coincidente con la posición de la estructura metálica para dotar al tablero de mayor capacidad resistente. Asimismo, en esta zona se dispuso una chapa metálica anclada a la cara inferior de la losa a modo de refuerzo a flexión.

En el contacto entre la ménsula corta y los perfiles metálicos se disponen aparatos de apoyo de neopreno-teflón que además de garantizar la adecuada transmisión de carga entre elementos, permite los movimientos longitudinales del tablero. El diseño de todos los aparatos de apoyo se ha realizado de tal forma que resulten sustituibles y cuentan con un sistema de bloqueo consistente en unos casquillos perimetrales atornillados a la estructura que evitan su posible reptación (figura 13 y 14).



Figura 13. *Apoyo deslizante en contacto ménsula-estructura metálica*



Figura 14. *Vista final*

4.3. Disposición de nuevos aparatos de apoyo.

En cuanto a los nuevos aparatos de apoyo de estribos, se planteó la disposición de apoyos de neopreno-teflón frente a los apoyos tipo POT originales, al resultar elementos más sencillos de manipular cuando se trabaja “a techo”, es decir, con el tablero ya ejecutado.

Los nuevos apoyos descansan sobre mesetas de hormigón armado y se encuentran pegadas a las mismas con resina para evitar la posible reptación.

Se ha de resaltar que, tal y como se ha comentado con anterioridad, el estribo antes de la actuación presentaba un comportamiento completamente en ménsula, lo que suponía vibraciones y movimientos permanentes del mismo. Si bien en este tipo de operaciones suele resultar conveniente la utilización de gatos

hidráulicos para levantar el tablero, en este caso concreto, dada la morfología del tablero de viga continua con canto variable muy acusado, la reacción teórica en estribo de las cargas permanentes resultaba casi nula, lo que permitió realizar la operación simplemente mediante el bloqueo del tablero mediante cuñas y contra cuñas metálicas, las cuales se retiraron tras la ejecución de los topes y la instalación de los aparatos de apoyo de estribo.

4.4 Actuaciones complementarias

Junto a las actuaciones anteriores se ha procedido a la mejora del sistema de drenaje de la autovía y al enchachado de las zonas sensibles evitando que el agua llegue a los macizos de suelo reforzado, evitando de esta forma posibles lavados de finos futuros y, con ello, posibles asentamientos diferenciales adicionales (figura 15).

En lo que respecta al tablero, durante la extracción de testigos en la inspección se observó que bastantes alveolos tenían importantes volúmenes de agua en su interior. En este sentido, se procedió a la ejecución de desagües en cada uno de los alveolos para permitir la salida de esta agua y evitar acumulaciones futuras.

Finalmente, a nivel de plataforma, se instalaron nuevas juntas de dilatación dotadas de un faldón de neopreno que permite recoger y canalizar las aguas evitando su filtración hacia cotas inferiores (figura 16).



Figura 15. *Desagües en cara inferior del tablero*



Figura 16. Vista del faldón instalado en la junta para la recogida de aguas.

5. Principales participantes en el proyecto y obra

Propiedad:	M. Fomento. Demarcación de Carreteras en Lugo
Dirección de obra:	<i>D. Beatriz González del Riego</i> <i>D. Diego Vázquez Novo</i>
Empresa Constructora:	DRAGADOS <i>D. Gregorio Saavedra Carballido</i>
	FERROVIAL
	COPASA <i>D. Luciano A. Salgado Fornos</i>
Diseño de solución de reparación:	IDEAM <i>D. Ignacio Pulido Sánchez</i> <i>D. Enrique Bordó Bujalance</i> <i>D^a. Reyes García Orduña</i> <i>D. Santiago Salas Fdez Polanco</i>
Asistencia Técnica especializada	IDEAM <i>D. Ignacio Pulido Sánchez</i> <i>D. Santiago Salas Fdez Polanco</i> <i>D. Jaime Quereda Martínez</i>

Referencias

- [1] Guía para el Proyecto y la Ejecución de Micropilotes en Obras de Carretera, Ministerio de Fomento, 2005.
- [2] Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón, Comité Européen de Normalisation (CEN).
- [3] Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero, Comité Européen de Normalisation (CEN).