

Obras de Reparación del Viaducto de la M-40 sobre el río Manzanares y la Carretera de el Pardo

Repair work on the M-40 viaduct over the Manzanares river and the Pardo road

Ignacio PULIDO SÁNCHEZ^a, Carlos MOSCOSO GREDILLA^b, Juan Luis MANSILLA DOMINGUEZ^c y Daniel GARCÍA SANTAMARÍA^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Desarrollo de Negocio. ignacio.pulido@tylin.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Jefe de Proyectos. carlos.moscoso@tylin.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Jefe de Proyectos. juanluis.mansilla@tylin.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. TYLin Spain. Jefe de Proyectos. daniel.garcia@tylin.com

RESUMEN

Durante la reparación ordinaria de un bache de grandes dimensiones en la plataforma del viaducto de la M-40 sobre el río Manzanares se pudo detectar que el hormigón de la cara superior de la losa se encontraba muy agrietado y deteriorado como consecuencia del ataque químico por árido-álcali, como se pudo constatar posteriormente. Adicionalmente, en una de las grietas de dicha zona se encontraron armaduras completamente rotas por efecto de la corrosión. La inspección especial del tablero puso de manifiesto importantes defectos en el pretensado de uno de los vanos del tablero, lo que llevó a la necesidad de implementar una pila adicional en el tablero como solución de refuerzo.

ABSTRACT

During the ordinary repair of a large pothole in the platform of the M-40 viaduct over the Manzanares River, it was detected that the concrete on the upper face of the slab was badly cracked and deteriorated as a result of chemical attack by aggregate-alkali. In addition, in one of the cracks in this area, reinforcements were found to be completely broken/sectioned due to corrosion. The special inspection of the deck revealed significant defects in the prestressing of one of the deck spans, with estimated losses of 30%, which led to the need to implement an additional pile in the deck as a reinforcement solution.

PALABRAS CLAVE: Reparación y refuerzo, patología; árido álcali; pretensado; deformación; grietas.

KEYWORDS: Repair/Reinforcement, Alkali Aggregate; Prestressing; Deformation; Cracking.

1. Descripción de la estructura

El viaducto se encuentra en el Pk 51+000 de la autovía M-40 distribuidor norte del enlace de la Zarzuela a la carretera M-607 de Colmenar, salvando el río Manzanares, la vía de enlace de la M-30 con la M-40 sentido A-6, la carretera M-605 (Madrid-El Pardo) y el club El Tejar de Somontes.

La estructura soporta la calzada derecha de la M-40 sentido norte a los túneles de El Pardo con una Intensidad Media Diaria total (IMD) de 126.732 vehículos, según los datos obtenidos del Mapa de Tráfico del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana para la estación de aforos M-197-0. La IMD de pesados es de 7.534, representando el 5.94% de la IMD total.

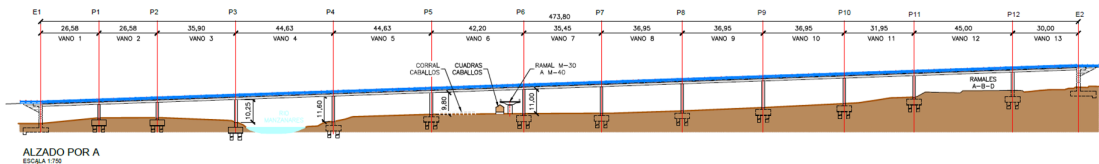


Figura 1. Alzado de la estructura.

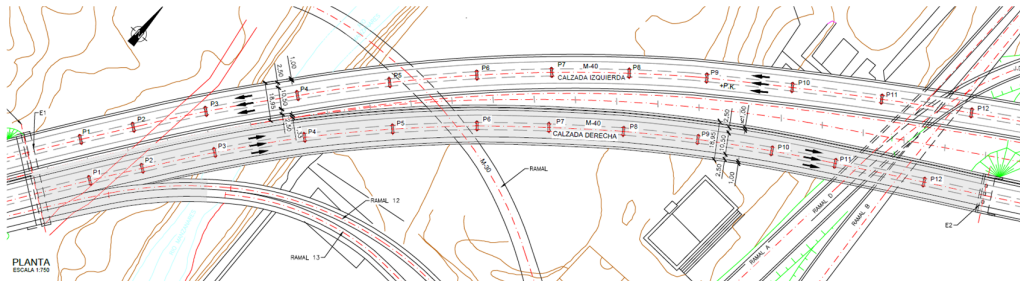


Figura 2. Planta de la estructura.

El tablero del tronco consiste en una losa pretensada de 5 m de base en la sección tipo y unos 18.95 m de ancho en la plataforma, la longitud de cada una de las alas es de unos 4.90 m, siendo la altura total de la sección de 1.80 m.

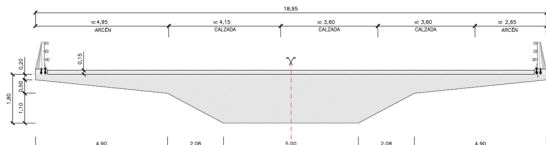


Figura 3. Sección transversal tipo.

El sistema de pretensado de la estructura es de tipo postesado interior adherente, quedando éste inyectado y completamente embebido en la sección del tablero. Dado el

proceso constructivo del puente, los cables de pretensado son continuos (salvo refuerzos y familias puntuales) a lo largo de toda la estructura, empalmándose, como suele ser habitual en este tipo de estructuras, mediante acopladores.

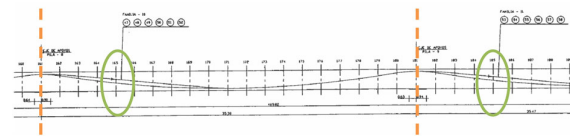


Figura 4. Esquema de alzado de pretensado. En naranja, ejes de pilas y, en verde, zonas de frente de fase/acopladores de pretensado.

El sistema de contención de la estructura se trata de una barrera metálicas anclada al

tablero. A este respecto, hay que destacar que, en la margen derecha, el sistema de contención se interrumpe cara 50 m aproximadamente, para alojar los báculos de iluminación, duplicándose los postes. Este detalle se reproduce tanto en la calzada derecha como izquierda.



Figura 5. Vistas generales de la estructura.

2. Descripción de daños

2.1. Descripción de daños en hormigón

El principal daño que manifiesta la estructura se puede detectar fácilmente en la plataforma a la altura del vano V6 del tablero. Dicha deformación se manifiesta a todo el ancho de la calzada si bien resultaba algo más acusada en la margen izquierda del viaducto. Dicha deformación se puede estimar en unos 10 en el eje de calzada, y de 20 cm y 15 cm en las márgenes izquierda y derecha respectivamente.



Figura 6. Vista general de plataforma. Apreciación clara de la deformación del tablero en el vano V6.

En enero de 2021, tras la nevada correspondiente al fenómeno climatológico

Filomena, en la plataforma surgió un bache entre el carril central y el izquierdo de circulación, tal y como se puede observar en las imágenes siguientes.



Figura 7. Detalle del bache aparecido en plataforma tras un episodio de nieve y frío significativo.

Durante su reparación de urgencia, se pudo constatar una importante degradación del hormigón de la cara superior del tablero, con grandes grietas y armaduras vistas con avanzados signos de corrosión.

En consecuencia, se programó una operación específica de inspección y saneo superficial de dicha zona deteriorada con objeto de valorar técnicamente el alcance de los daños existentes, pudiendo constatar lo siguiente:

- **Completa degradación superficial y en profundidad del hormigón.** Tras la retirada del firme se pudo verificar un aspecto muy degradado del hormigón, mostrando un aspecto superficial de “piel de cocodrilo” y con claros signos de “delaminación” respecto al núcleo de la sección.



Figura 8. Degradación y agrietamiento excesivo superficial del hormigón de la cara superior de losa.

- **Agrietamiento profundo del hormigón.** Tras la apertura y limpieza de la cata se pudieron observar varias

familias de fisuras de grandes dimensiones, si bien una de ellas era claramente la más predominante y la que se observaba claramente cómo profundizaba en la sección de la losa.

- **Rotura de armaduras.** En la cata realizada se descubrieron un total de 18 barras transversales de acero corrugado Ø20 y una del 1Ø25, de las cuales 14 aparecen seccionadas con unos 2 cm de barra “desaparecida/consumida”. Las armaduras seccionadas están a unos 7.25 m del extremo del voladizo.

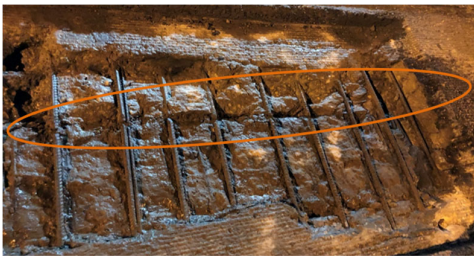


Figura 9. Presencia de grieta en profundidad del hormigón. Armaduras seccionadas por corrosión.



Figura 10. Detalle de armaduras seccionadas

- **Delaminación del hormigón.** Tanto en la propia zona más deteriorada como en el resto de las zonas del mismo vano V6, en donde se realizaron diferentes catas para conocer el estado del hormigón y de las armaduras del voladizo, se pudo constatar la degradación o preformación de planos de rotura horizontales del hormigón a modo de “delaminación” u “hojaldre”, generándose fragmentos de tipo laja durante el picado y la apertura de las propias catas. En todas las muestras se detectan compuestos blanquecinos y humedad en las interfases de los planos

de rotura, efectos ambos compatibles con la reacción de tipo árido-álcali.



Figura 11. Detalle de lajas de hormigón picado, con presencia de manchas blanquecinas y humedad interna ocluida, factores compatibles con problemas de reacción árido-álcali.

En paralelo, se realizó una campaña de testigos de hormigón en diferentes puntos de la estructura con objeto de conocer, con un poco más de detalle, su estado de conservación, observándose las siguientes conclusiones:

- Hormigón con cierto aire ocluido/porosidad interna.
- Numerosos poros rellenos de gel blanquecino.
- Se observan áridos rotos y fracturados internamente.
- Algún testigo presenta planos horizontales de rotura, generalmente a la altura de la armadura.
- Se observan áridos con “aureolas” blanquecinas.
- Parte de los testigos se rompen en planos horizontales durante su extracción.
- Parte de los testigos presenta un hormigón mucho más poroso y con aire ocluido en los primeros 7-10 cm.
- Resistencias a compresión simple acordes con las resistencias teóricas esperables.
- Módulo de deformación del hormigón del orden de un 30-40% inferior a los teóricos.
- Presencia excesiva de cloruros (>0,8% en peso de cemento) en profundidad en aquellos testigos con mayor grado de fisuración. Valores contenidos, por debajo de 0,25% en resto de muestras.

Todos los daños y aspectos anteriores mostraban la posibilidad de un ataque químico del hormigón por árido-álcali, por lo que se procedió a realizar un análisis mediante microscopía electrónica de barrido. Dicho estudio fue realizado por el CEDEX.

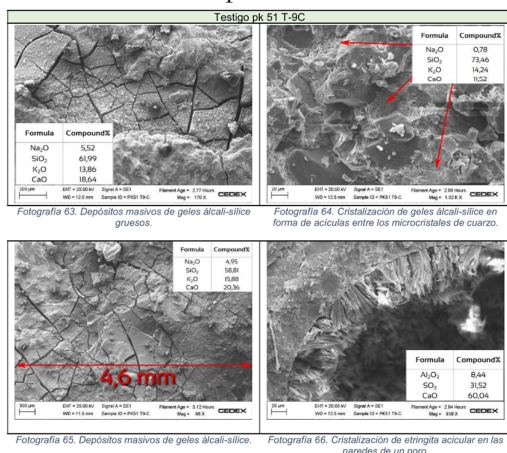


Figura 12. Resultado de microscopía electrónica donde se observan “depósitos masivos de geles álcali-sílice”

En cuanto al aspecto exterior del tablero por su cara inferior, se podría diferenciar entre los daños generales y comunes a todo el tablero, con sus diferentes grados de afección y los daños particulares del vano V6. En cuanto a los daños generales, cabría citar la presencia de humedades especialmente en las inmediaciones de los tubos de paso de los encofrados, así como la presencia de fisuras/grietas longitudinales y con un cierto patrón aleatorio con forma de “piel de cocodrilo”, con presencia de eflorescencias, especialmente en las zonas con mayor presencia de humedad.



Figura 13. Humedades en cara inferior de losa coincidentes con los tubos de sujeción de los encofrados y fisuras/grietas longitudinales en la cara inferior del tablero.

En el vano V6 la presencia de todos estos daños resultaba de una mayor entidad, así como otra serie de fisuras transversales la zona de centro de vano, compatible con esfuerzos de flexión positiva, acentuadas, probablemente, por el efecto del árido-álcali.



Figura 14. Detalle de fisuras transversales en vano V6

2.2. Daños en el sistema de pretensado

Con objeto de conocer el estado del pretensado de la estructura y aprovechando la propia fase de obras, se realizó una campaña intensiva de inspección del pretensado, centrada, fundamentalmente, en las secciones de pila y de acopladores, por ser éstas las más sensibles a manifestar daños. El total de la inspección abarcó del orden del 80% de dichas secciones de control, poniendo de manifiesto el buen estado general del mismo en la práctica totalidad el tablero salvo en las unidades correspondientes al vano V6, en donde se detectaron varias vainas con serias patologías en el acero de pretensado por corrosión, llegando a presentar, incluso, hasta 3 tendones completamente rotos y sin tensión, pudiendo estimar una **pérdida del pretensado teórico del orden del 30% del teórico.**

El diseño de este elemento y las verificaciones consiguientes en el tablero se realizaron conforme a las siguientes hipótesis:

- Capacidad en ELU para su carga teórica máxima ideal, es decir, como si se tratara de una pila más ejecutada inicialmente.
- ELS del tablero. Una pila que trabajara únicamente pasivo tendría efectividad para los incrementos de carga posteriores a su ejecución y, en una estructura como la del caso que nos compete, la fracción de la carga permanente es muy grande frente a las sobrecargas por lo que se requería que el refuerzo fuera “activo”, haciendo una puesta en carga de la pila de 4000 kN, reduciendo los esfuerzos del tablero, mejorando su comportamiento en servicio.
- En cuanto a la flexión negativa en la nueva pila, se aprovechó el saneo de la cara superior del tablero junto con la operación de rectificación de la rasante para implementar el refuerzo necesario.

4. Descripción de las actuaciones

A continuación, se incluye un resumen de las actuaciones más significativas desarrolladas para restablecer el nivel de seguridad y funcionalidad de la estructura.

Uno de los mayores retos de la obra fue su compatibilidad con el tráfico de la M-40, con una IMD por calzada en este tramo del orden de los 40.000 veh/día, debiendo mantener 3 carriles abiertos durante gran parte de la obra.

Saneo de cara superior de losa

Tras el fresado de la estructura se pudo constatar el deficiente estado de la cara superficial del tablero por efecto de la expansividad del hormigón en los vanos V5, V6 y V7, así como en otras zonas del tablero de forma más puntal, al igual que algunas zonas con

las armaduras rotas por corrosión, coincidentes con las grietas de mayor abertura.

Para ello se ideó un procedimiento de saneo por bataches que evitara que, ante una zona significativa de barras rotas, en algunas zonas superaran los 10 m de longitud, los voladizos nunca se vieran comprometidos.



Figura 17. Vista general de un batache longitudinal de saneo del tablero

Losa superior de refuerzo

Con objeto de restablecer la rasante, así como con objeto de mejorar la capacidad resistente del tablero, tanto a nivel longitudinal como transversal del vano V6, donde se concentraban las patologías del puente, se planteó la ejecución de una losa de refuerzo a todo lo ancho en este vano, conectada mediante una armadura de rasante al núcleo del tablero. A nivel resistente, este refuerzo de losa aporta tanto rigidez como capacidad resistente, lo cual resultaba doblemente efectivo.



Figura 18. Armado de la losa de refuerzo. Margen derecha

Saneo de cara inferior de tablero. Vano V6

Durante la operación de saneo de la cara inferior del tablero en la margen izquierda del vano V6 se observaron una serie grietas pasantes de arriba abajo en todo el alma del tablero, coincidentes con la zona donde se encontraron las armaduras del tablero rotas.

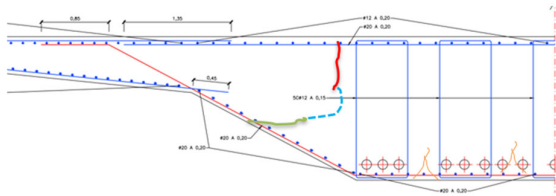


Figura 19. Esquema de grietas detectadas en el tablero. En Rojo, grieta inicial de plataforma; en verde, grieta en alma y el azul, grieta detectada con testigos.



Figura 20. Vista general de las grietas detectadas durante la operación de saneado del vano V6.



Figura 21. Delaminación sistemática del hormigón en zona de grieta



Figura 22. Rotura de áridos y delaminación en zona de grietas

Costillas de refuerzo

Debido a la deformación y pérdida de resistencia de la estructura en el vano V6, se disponen dos costillas metálicas ancladas transversalmente a la cara inferior del tablero.

para mejorar la rigidez la sección y favorecer la transmisión de cargas y el comportamiento estructural de esta zona local.

Se definieron 2 costillas metálicas, que se conectaron a la sección de hormigón de forma que funcionaran como elementos “mixtos”. Para facilitar su ejecución y puesta en obra, se realizó un nervio inferior de hormigón para el paso de la compresión derivada de la flexión negativa del voladizo.

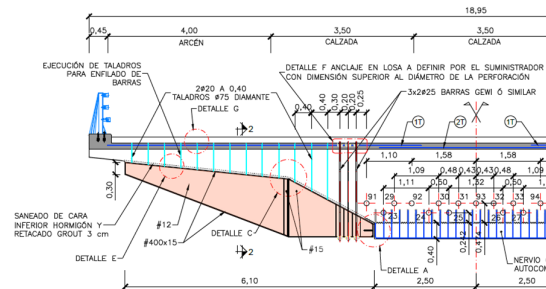


Figura 23. Detalle de costillas metálicas

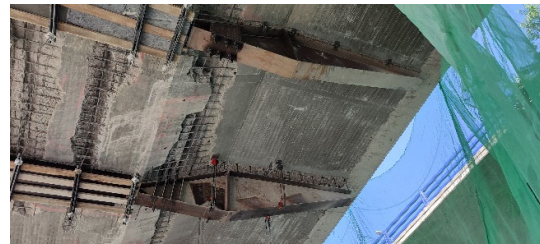


Figura 24. Vista general del montaje de las costillas

Pila de “refuerzo”

La nueva pila de refuerzo se diseñó bajo los criterios y premisas de cálculo anteriormente citadas. Su cimentación se realizó mediante 20 micropilotes tipo IU de 900 kN de capacidad cada uno.



Figura 25. Excavación para ejecución del encepado tras la ejecución de los micropilotes

En cuanto a la ejecución del encepado y alzado de pila, se trata de elementos bastante

estándar y su ejecución resultó bastante estándar, siendo su mayor complicación el tener que trabajar bajo el

tablero existente lo que condición bastante los medios auxiliares y, sobre todo, la colocación de los aparatos de apoyo definitivo junto con la operación de puesta en carga de la pila/apoyos



Figura 26. Operación de gateo y puesta en carga de pila de refuerzo.

Adecuación del sistema de contención

Dentro del global de las actuaciones se incluyó la sustitución del sistema de contención del tablero por uno acorde a los estándares actuales en materia de contención de vehículos y conforme a la norma UNE 1337.

La operación de sustitución de pretil se realizó conforme al siguiente procedimiento:

- Demolición del zuncho existente. El desarrollo de estos trabajos se realizó mediante hidrodemolición y picado mecánico, en función de la zona de trabajo. Para la recogida de los restos de construcción se dispuso un carro de alas con un cajón inferior para la recogida de los escombros y como sistema de seguridad anticaídas.



Figura 27. Vista general del carro de recogida de escombros

- Disposición de la ferralla conforme al nuevo detalle del zuncho. El sistema de contención implementado es de tipo

metálico con el habitual detalle de anclaje mediante argollas y barra pasante embebidas en el zuncho del tablero conforme al siguiente detalle:

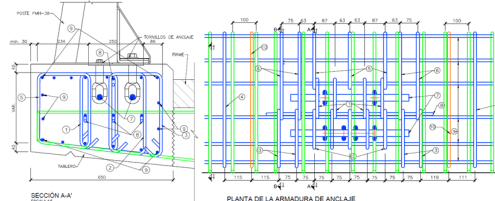


Figura 28. Detalle de armado de sistema de contención

Como particularidad, indicar la altura del zuncho era variable como consecuencia de las deformaciones del tablero, lo que obligó al ajuste de los cercos a lo largo de todo el tablero.

- Hormigonado de zócalo. Una vez ferrallado el zuncho se procedía a la nivelación y comprobación final de cotas y a su hormigonado. Como aspecto más reseñable, destacar la utilización del método CHARI para comprobar la madurez y correcto curado del hormigón de los zunchos con temperaturas por debajo de los 5 °C, puesto que gran parte de los trabajos se desarrollaron en invierno, con temperaturas mínimas por debajo de 0°C varios días consecutivos.



Figura 29. Hormigonado del zuncho del pretil

Impermeabilización

La ausencia de impermeabilización de origen en la estructura favoreció la entrada de agua a la estructura, y por lo tanto las reacciones árido-álcali, produciendo el deterioro en el hormigón mostrado.

En este sentido y con objeto de mejorar la durabilidad de la estructura se planteó la impermeabilización del tablero mediante un sistema de impermeabilización de tipo cementoso de dos componentes formulado con cementos, resinas sintéticas, aditivos y áridos seleccionados, que forman un revestimiento completamente impermeable y de muy alta

flexibilidad. El proceso de ejecución seguido consistió en:

- Preparación de superficie. Resulta fundamental para asegurar la efectividad de cualquier sistema de impermeabilización. Para ello se procedió a realizar el microfresado de toda la superficie del tablero así como a la mejora del mismo, eliminando crestas y valles, manchas de aceite, reparación de pequeñas coqueras, etc, dejando una superficie uniforme.
- Aplicación de impermeabilización. Se aplicaron 2-3 capas de mortero con una dotación aproximada de 1,5 kg/m², aplicadas perpendiculares entre sí y asegurando un solape mínimo de 15 cm entre bandas.

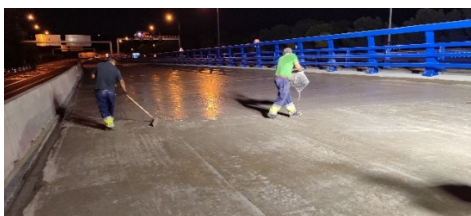


Figura 30. Aplicación de sistema de impermeabilización

- Curado. En un sistema de impermeabilización cementoso, resulta fundamental su hidratación, para lo que utilizaron arpilleras húmedas y regadas periódicamente.



Figura 31. Operación de curado del sistema de impermeabilización

5.Principales Participantes

Tabla 1. Principales Participantes

Propiedad:	M. Fomento. Demarcación de Carreteras en Madrid
Dirección de obra:	D. Andrés Hernández Sancho D. Ángel Gómez Castela
Empresa Constructora:	Sacyr D. Mariano Martín González D. Manuel Martínez Sanchez
Diseño de solución de reparación:	TYLin D. Ignacio Pulido Sánchez D. Enrique Bordo Bujalance D. Carlos Moscoso Gredilla
Asistencia Técnica especializada	TYLin D. Ignacio Pulido Sánchez D. Juan Luis Mansilla Domínguez D. Daniel García Santamaría