

Viaducto ferroviario con tablero mixto bijáceno para sustituir un terraplén en obra de emergencia en la línea Bobadilla-Antequera

Viaducto ferroviario con tablero mixto bijáceno para sustituir un terraplén en obra de emergencia en la línea Bobadilla-Antequera

José Luis Martínez Martínez ^a, Illán Paniagua Serrano ^b, Gonzalo Moreno Bayo ^c,

José Antonio Martín Caro ^d

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y puertos. Ines Ingenieros Consultores. Director Técnico

^b Dr. en Geología. Ines Ingenieros Consultores. Director de Geotecnia

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ines Ingenieros Consultores. Director de proyectos

^d Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y puertos. Ines Ingenieros Consultores. CEO

RESUMEN

Basándose en la experiencia de la construcción, por la vía de emergencia, de un viaducto prefabricado o mixto de 85 m de longitud, distribuidos en tres vanos de 25, 35 y 25 m, en el PK 3+200 de la línea ferroviaria de Red Convencional de Bobadilla a Algeciras, el artículo pone de manifiesto las ventajas de esta tipología en casos de proyectos de emergencia en los que la fiabilidad y el plazo total de proyecto y construcción resultan condicionantes. También se exponen los procedimientos de análisis de riesgos e interoperabilidad necesarios para su puesta en servicio.

ABSTRACT

Based on the experience gained through the emergency construction of a precast or composite viaduct with 85 meters in length, distributed in three 25, 35 and 25-meter spans located at KP 3+200 of the railway line corresponding to the Conventional Network Bobadilla-Algeciras, the article evidences the advantages of this typology in case of emergency projects constrained by reliability, total design and construction term, as well as by risk and interoperability analysis procedures required for their commissioning.

PALABRAS CLAVE: Desastre natural, viaducto ferroviario, tablero mixto bijáceno, NoBo y AsBo.

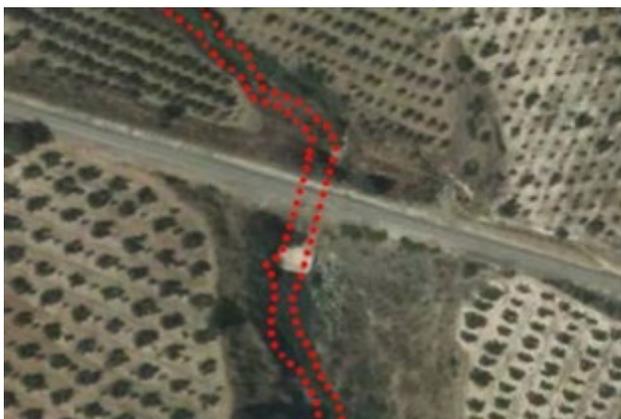
KEYWORDS: Severe weather, railway viaduct, twin-girder composite deck, NoBo and AsBo.

1. Introducción

El pasado 20 de octubre de 2018, en la provincia de Málaga, se produjo una precipitación torrencial en la que se llegaron a registrar 394 l/m² en las cercanías de la zona del PK 3+200 de la línea ferroviaria de Bobadilla a Algeciras.

La precipitación registrada (394 l/m²/día según datos de RTVE), mayor que la estimada para un periodo de retorno de 500 años, provocó el desbordamiento y arrastre de material a lo largo del cauce del Arroyo de las Tinajas. En el PK 3+200 existía un terraplén de unos 20 m de altura y unos 60 m de longitud, dotado de una notable obra de drenaje de fábrica de arenisca. Durante las lluvias la obra entró en carga y fue incapaz de desaguar el caudal lo que provocó que el arroyo de las Tinajas rebasara la vía, socavase el pie e hiciese deslizar el terraplén, dejando suspendido un tramo de 89 m de vía.

Adif habilitó una obra de emergencia para restituir el tráfico. Se contempló la restitución con un nuevo terraplén o la construcción de un viaducto prefabricado o mixto. Finalmente, se desarrolló esta última.



centrada, no electrificada en un ancho de 8.60 m. El canto es uniforme, de 2.15 m. La sección transversal está formada por dos vigas doble T de 1.80 m de canto arriostrada por pórticos en H cada 5.00 m. Se empleó acero autopatinable S-355 J2W. La losa superior, de 0.35 m de canto se hormigonó sobre prelosas, al igual que la losa inferior de la zona de apoyos en pilas (doble acción mixta), de 0.20 m de canto. Las fuerzas longitudinales se llevan a un estribo fijo, de hormigón, igual que las pilas y el estribo móvil.

El proyecto se completó en un mes y la construcción en cinco, incluida la fabricación en taller.

El artículo pone de manifiesto las ventajas de esta tipología. Así como los procedimientos de análisis de riesgos e interoperabilidad que se han requerido para su puesta en servicio.

2. Alternativas para el restablecimiento del servicio ferroviario

Las alternativas planteadas parten de la necesidad de restablecer a la mayor brevedad y con garantías el servicio ferroviario entre el puerto de Algeciras y la estación de Bobadilla,



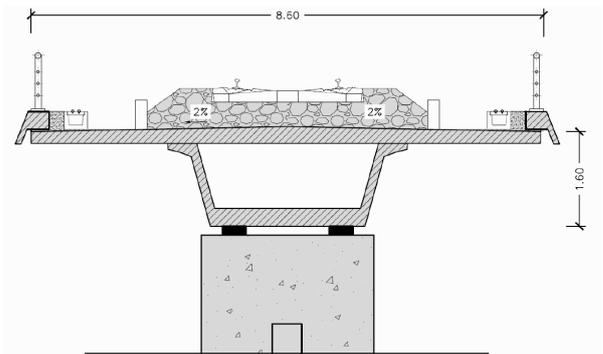
Figura 1. Vista área del cauce a la altura del PK 3+200 de la línea Bobadilla – Algeciras. Antes y después de producirse las lluvias torrenciales de octubre de 2018.

La obra es recta, de 85 m de longitud distribuidos en tres vanos de 25, 35 y 25 m. El tablero alberga una sola vía sobre balasto,

asegurando la funcionalidad de la infraestructura a largo plazo.

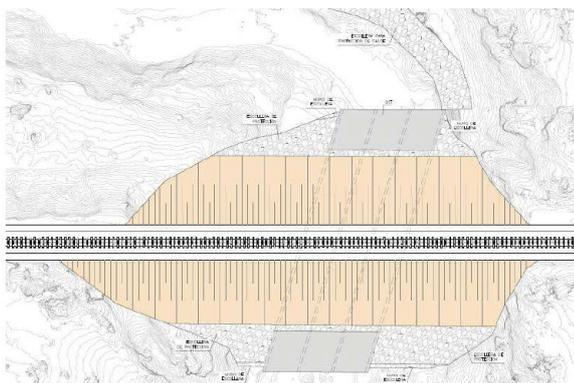


45,000 m³, los riesgos durante la ejecución (las lluvias para invierno podrían condicionar la puesta en obra de las tierras) y los inconvenientes de mantenimiento de un terraplén de gran altura, hicieron que finalmente se optase por un puente de 3 vanos que salvara el arroyo. Siendo la solución inicial de tres vanos con vigas prefabricadas tipo artesas, siguiendo una relación luz-canto cercana a L/18 y un canto de 1.40 m.



Con estos condicionantes se desarrollan dos alternativas tipológicas: la ejecución de un terraplén con una obra de drenaje transversal y la construcción de un viaducto.

En 5 días se toma una decisión, mientras se realizan trabajos de restitución topográfica y los de exploración geotécnica necesarios para determinar la solución.



La incertidumbre a la hora de dimensionar los caudales de avenida (los medidos en 2018 superaron en 3 veces los esperados para el periodo de avenida de los 500 años), el coste ambiental de realizar una obra de tierras de unos

Tras la consulta de los plazos de fabricación, entrega y transporte a distintos talleres, se opta por modificar el tipo de viga, pasando a viga metálica. Además, la sección de la pila se adecua al encofrado disponible.

La redacción de proyecto se realiza en el plazo de 1 mes, definiendo la estructura según las fases de obra, ya que se iba construyendo al tiempo que se iba definiendo la solución.

3. El viaducto

El viaducto a ejecutar sobre el Arroyo de las Tinajas es de tipología mixta bijácena, de 85.0 m de longitud de tablero, con tres vanos con luces entre apoyos 25 + 35 + 25 m y una altura máxima de pila de 16.60 m.

El tablero tiene 8.60 m de ancho, permitiendo la instalación de la vía única de la línea. Está formado por dos vigas metálicas de 1.80 m de canto sobre las que apoya la losa superior con un canto variable de 0.20 m a 0.38 m.

pernos conectores y se hormigona sobre prelasas que hacen de encofrado perdido.

El arriostramiento entre las vigas se materializa con marcos en H, simplificando el proceso de montaje. Los detalles de uniones se definieron buscando la mayor simplicidad de ejecución y aptitud frente a sollicitaciones de fatiga, aspecto que condiciona el diseño en un viaducto ferroviario sometido a un intenso tránsito de mercancías.

El material de toda la estructura metálica es acero autopatinable S-355-J2-W en aras de la durabilidad y facilidad de mantenimiento. La parte exterior de las alas inferiores, susceptible a la acumulación de polvo y humedad, se protegió con un sistema de pintura adecuado para acero autopatinable. Los rigidizadores de pila y estribos se cerraron con chapas estructurales o no estructurales para evitar rincones de acumulación de la suciedad.



Figura 8. Detalle de rigidizador transversal y marco en H, en taller.

En total, se dispusieron 140 toneladas de acero estructural, lo que resulta en una cuantía sobre el tablero de 190 kg/m².

Para garantizar los plazos de montaje, el puente se instaló sobre apoyos de neopreno que fueron luego sustituidos por apoyos deslizantes tipo POT. La rigidización para el gateo, el tope transversal y el anclaje de las barras en la riostra del estribo fijo, propiciaron una riostra con un diseño peculiar.



Figura 9. Vista de la riostra del estribo fijo.

El proyecto fue redactado por Ines Ingenieros entre los días 30 de octubre y 30 de noviembre de 2018 para iniciar la fabricación lo antes posible.

4. La obra

Tras el desmontaje de la vía, y las labores de preparación de acceso se excavó el terreno hasta el lecho rocoso para ejecutar las cimentaciones. Las fases constructivas fueron las siguientes:

- Encofrado, ferrallado y hormigonado de las cimentaciones, pilas y estribos
- Ejecución de cuñas de transición en el trasdós de los estribos
- Izado y colocación de las vigas metálicas del tablero, fabricadas en taller y transportadas a obra
- Colocación de prelasas en el tablero
- Ferrallado y hormigonado de la losa superior e inferior del tablero
- Impermeabilización de tablero
- Colocación de impostas, barreras y muretes guardabalasto

La obra comienza a finales de noviembre de 2018. La cimentación se termina el 15 de diciembre y el hormigonado de pilas y estribos a finales de ese mes. Las vigas metálicas fabricadas en el taller de TECADE de Sevilla llegan a obra en dos conjuntos de longitudes 32.15 y 53.70 m los días 15 y 18 de febrero del 19. El peso del tramo mayor era de 844 kN y el del menor, 564 kN.



Figuras 10 y 11. Dos instantes del montaje de los tramos.

Las prelosas se colocan a finales de febrero y el hormigonado del tablero se completa el 7 de marzo de 2019. La prueba de carga se lleva a cabo el 11 de abril con dos locomotoras de 1200 kN cada una.

Finalmente la puesta en servicio se realiza en fecha 13 de mayo de 2019, una vez aprobados los procedimientos de evaluación de riesgos.

Las actuaciones se acompañan de una serie de obras complementarias, medidas de adecuación del cauce, caminos de acceso para el mantenimiento, reubicación de instalaciones y drenaje de los tramos contiguos. conforme a las indicaciones de distintas administraciones.



Figura 12. Viaducto terminado durante la realización de las pruebas de carga.

5. Evaluación de seguridad e interoperabilidad para la puesta en servicio del viaducto

Otra de las complejidades que se presentaban en el proyecto y, más concretamente, durante las obras, era la de realizar una evaluación de la seguridad para la circulación ferroviaria y el cumplimiento de los requisitos en materia de interoperabilidad para que, una vez terminadas las obras, la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF) autorizase la puesta en servicio del tramo lo antes posible.

Y es que, a pesar de realizar el proyecto y ejecutar las obras del viaducto en tan solo 5 meses, si no se realizaban correctamente estos procesos sobre la seguridad de la circulación, se corría el riesgo de tener terminada la infraestructura y no poder poner en servicio la línea.

5.1. Evaluación de seguridad ferroviaria

Con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento de la Unión Europea 402/2013, siempre que se modifique un Sistema Ferroviario en uso, ya sea por un cambio técnico, de explotación u organizativo, debe evaluarse la importancia del cambio, para valorar si es o no un cambio significativo.

En caso de que lo sea, considerándose como significativo aquél con impacto en la seguridad, será necesario aplicar el proceso de

Gestión de Riesgos conforme al Método Común de Seguridad.

En el caso del viaducto sobre el Arroyo de las Tinajas, el cambio que se realizaba, consistente en la ejecución de un nuevo viaducto, era un cambio significativo, por lo que se debía realizar una evaluación del riesgo que demostrase la seguridad para la circulación ferroviaria en el tramo una vez se hubiese ejecutado el viaducto.

Para ello, se redactó inicialmente en proyecto una evaluación de los posibles peligros y sus riesgos existentes para la circulación, los cuales se mitigaban a partir de una serie de evidencias. Algunas de estas evidencias ya se definían en proyecto (como podían ser los cálculos de la estructura), pero otras debían ser generadas en obra (como por ejemplo: los ensayos en terraplenes y cuñas de transición, el control geométrico de la vía tras la primera nivelación o la prueba de carga del viaducto).

Durante las obras, para la verificación de que se tomarían todas las medidas necesarias para mitigar los riesgos detectados en proyecto, se contó con la presencia de un organismo evaluador de seguridad acreditado (AsBo).

Se trabajó conjuntamente entre todas las partes responsables del proyecto y obra y el AsBo, completándose un registro exhaustivo de todos los peligros con sus riesgos asociados y las medidas tomadas para su mitigación.

5.2. Cumplimiento de interoperabilidad

La Unión Europea, desde hace unos años, persigue el objetivo de lograr un sistema ferroviario interoperable, tanto de alta velocidad como convencional, mediante la adopción y posterior aplicación de las normas técnicas uniformes aplicables en todos los países de la UE.

Para ello, la UE ha creado especificaciones técnicas de interoperabilidad, en adelante ETI, que se aplican a los distintos subsistemas que lo componen, dividiéndose en un total de siete

subsistemas, agrupados en función de su naturaleza, en:

- Ámbitos de naturaleza estructural: infraestructuras, energía, control - mando y señalización, y material rodante.
- Ámbitos de naturaleza funcional: explotación y gestión del tráfico, mantenimiento y aplicaciones telemáticas al servicio de los pasajeros y del transporte de mercancías

En el caso del viaducto sobre el Arroyo de las Tinajas, el subsistema afectado por el mismo era únicamente el de Infraestructura.

Por ello, se redactó en fase de proyecto un estudio correspondiente al cumplimiento de los requisitos marcados por la ETI de Infraestructura.

Al igual que con la evaluación de la seguridad, fue necesaria la presencia de un organismo independiente (NoBo), en este caso encargado de efectuar el procedimiento de verificación “CE” de la interoperabilidad.

Gracias al trabajo realizado para la obtención de la verificación por parte NoBo en materia de interoperabilidad, junto a la emitida por el AsBo en materia de seguridad de circulación, fue posible que la AESF autorizase la puesta en servicio del tramo para el 13 de mayo de 2019, tan solo dos semanas después del inicio de su tramitación por la finalización de las obras del viaducto.

6. Conclusiones

Las variación en la intensidad de las precipitaciones se hace cada vez más notable y tiene su efecto en la infraestructura ferroviaria. Las precipitaciones torrenciales del 20 de octubre de 2018 desencadenaron el colapso del terraplén del PK 3+200 y su sustitución por un viaducto de 85 m de longitud .

La solución del viaducto mixto ha permitido la puesta en servicio de la infraestructura en un tiempo ajustado.

Los viaductos ferroviarios mixtos son relativamente escasos en España. Los primeros ejemplos aparecen desde 2005 en líneas de alta velocidad [1]. No obstante, las ventajas de esta tipología son claras en casos de proyectos de emergencia en los que la fiabilidad y el plazo total de proyecto y construcción resultan condicionantes.

Además, en los casos de proyectos de emergencia, debe realizarse exhaustivamente los procedimientos de análisis de riesgos e interoperabilidad, de manera que permita poner en servicio el tramo afectado sin demoras tras la finalización de las obras.

Agradecimientos

Deseamos agradecer la contribución a Ignacio Garrido (Director de Obra) y José Ignacio Serrano (Responsable de Área de Obras de Infraestructura, ADIF - Red Convencional).

También a Eugenio Nasarre, Ignacio Meana y Luis Esteras por su eficaz gestión de la emergencia.

Referencias

- [1] F. Millanes, L. Matute, M. Ortega, D. Martínez y E. Bordó. Desarrollo de soluciones mixtas y metálicas para viaductos de las líneas de alta velocidad españolas. Hormigón y Acero.7 (2010)
- [2] Reglamento (UE) n° 402/2013 de 30 de abril, relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo y por el que se deroga el Reglamento 352/2009.
- [3] Reglamento (UE) n° 1299/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea. Energía. Reglamento (UE) n° 1301/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, sobre las

especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema de energía del sistema ferroviario de la Unión)