

Seis puentes mixtos en la duplicación de la N-220 en Manises (Valencia)

Six composite bridges in the duplication of the N-220 in Manises (Valencia)

Juan Luis Bellod Thomas^a, David Sanz Cid^b, Javier Parras Martínez^c, Conchita Lucas Serrano^d, Juan Jesús Álvarez Andrés^e, Luis Sopeña Corvinos^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Director General. cesma@cesmaing.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. cesma@cesmaing.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Cesma Ingenieros, S.L. Ingeniero. cesma@cesmaing.com

^d Ingeniera de Caminos, Canales y P. Dragados S.A. Jefa Dpto. Estructuras, Geotecnia y Obras Marítimas. clucass@dragados.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados S.A. Jefe Servicio Puentes y Estr. de Obra Civil. jjalvarez@dragados.com

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados S.A. Ingeniero Estructural Dirección Técnica. lsopenac@dragados.com

RESUMEN

En la duplicación de la calzada de la N-220 en su acceso al aeropuerto de Manises surgen seis nuevos pasos superiores. Tres de ellos presentan 3 vanos (24-32-24 m) y un ancho de 11.8 m o 12.8 m. Dos de ellos son de 2 vanos con pila central, de 51 m o 70 m de longitud total y 8.3 o 11.5 m de ancho. El último es un viaducto de 363 m de longitud, con luz máxima de 59.7 m y ancho de 8.8 m. Todos los tableros son de doble acción mixta, con cajón metálico y losa superior hormigonada sobre prelosas colaborantes. Se definen pilas-pilote, salvo para el viaducto, que presenta pilas apantalladas. Se proyectan apoyos elastoméricos, normales y anclados, y apoyos con abrazaderas, con arreglo a la UNE-EN 1337-3.

ABSTRACT

Six new overpasses were designed in the duplication of the N-220 road at its access to Manises airport. Three of them have three spans (24-32-24 m) and a width of 11.8 m or 12.8 m. Two of them are two-span with a central pier, with a total length of 51 m or 70 m and a width of 8.3 m or 11.5 m. The last one is a viaduct with a length of 363 m, a maximum span of 59.7 m, and a width of 8.8 m. All the decks have double composite action, with steel box girders and concrete slabs on top of pre-slabs. Most of the piers are single-pile piers, except in the viaduct, whose piers are rectangular. Support members include elastomeric bearings, standard or anchored, or bearings with clamps, according to UNE-EN 1337-3.

PALABRAS CLAVE: proyecto de puente mixto, apoyos elastoméricos, doble acción mixta, pilas-pilote
KEYWORDS: composite bridge design, elastomeric bearings, double composite action, single-pile piers.

1. Introducción y antecedentes

Los seis puentes mixtos sobre los que versa la presente ponencia pertenecen, junto con otras estructuras, al proyecto de duplicación de la N-220 en Manises, cerca del aeropuerto de Valencia.

Dos de las estructuras, E-1 y E-2, surgen del nuevo trazado del enlace al aeropuerto,

mientras que las otras cuatro, E-10, E-11, E-12 y E-13, pertenecen al nuevo nudo de conexión entre la N-220 y la V-30. Las nuevas estructuras, junto con la duplicación de la N-220, buscan, por un lado, descongestionar el tráfico denso en una zona de alta demanda, dado que la N-220 conecta vías estratégicas como son la A-3, la A-

7 y la anteriormente mencionada V-30; y, por otro, mejorar el acceso al aeropuerto, que también está experimentando un aumento constante de viajeros.

La redacción del proyecto tuvo lugar entre 2015 y 2018 y el comienzo de las obras se dilató hasta 2022, tras su adjudicación a Dragados como contratista principal de la actuación.



Figura 1. Vista aérea de las estructuras E-10, E-11 y E-12, y pilas en espera de la E-13

Cesma participó tanto en la redacción del proyecto para la Administración, cuya autoría corresponde a CPS y a Egis-Eyser, como en la asistencia técnica al contratista durante la obra. En esta segunda fase se mantuvo la práctica totalidad de lo planteado en la elaboración del proyecto para las estructuras tratadas en la presente ponencia (trazado, tipologías, distribución de luces, etc.). Tan sólo se realizaron

pequeñas modificaciones puntuales que se tratan a continuación.

2. Condicionantes y concepción estructural

El principal condicionante, al tratarse de una duplicación de una carretera existente en un entorno urbano, es la escasez de espacio para ubicar las pilas y los estribos de las nuevas estructuras, lo que a veces conduce a distribuciones de luces descompensadas entre vanos.

Asimismo, se han de respetar los gálibos verticales mínimos, lo que, en el caso de la E-13, obliga a elevar la rasante considerablemente sobre el terreno natural.

Por otro lado, de acuerdo con el trazado del nudo de enlace entre la N-220 y la V-30, las estructuras E-10, E-11 y E-12 se disponen paralelas al paso superior existente de la N-220 sobre la V-30, lo que condiciona su concepción a fin de mantener una cierta homogeneidad.

Asimismo, en todo momento se busca emplear soluciones que ocasionen la mínima afección posible a las carreteras existentes, garantizando que puedan seguir en uso.



Figura 2. Vista aérea de las estructuras E-10, E-11, E-12 y E-13 (sin losa superior)

Como condicionante añadido, cabe mencionar que el diseño de las estructuras del proyecto para la Administración presentaba una definición muy racional, sin tener en cuenta otros condicionantes como la interacción entre todos los puentes, incluido el existente.

Con el objetivo de cumplir todos estos condicionantes, se plantea la ejecución de tableros mixtos para todas las estructuras, conformados por un cajón metálico abierto de sección trapezoidal y una losa superior de hormigón. Se dispone hormigón de fondo sobre todas las pilas intermedias, generando una doble acción mixta que permite optimizar los espesores de las chapas y la cuantía de acero estructural. Dependiendo del ancho de cada estructura, los cajones metálicos cuentan con dos o tres almas.

El empleo de estructuras mixtas permite mantener en servicio la V-30 y la N-220 durante la ejecución, siendo únicamente necesario realizar cortes totales nocturnos durante el izado y montaje de los cajones metálicos. A tal efecto, las losas de hormigón se resolvieron con prelasas en todo el ancho del tablero, adaptándolas a la geometría de cada una de las estructuras.

3. Descripción de los pasos superiores

3.1 E-10, E-11 y E-12

Las estructuras E-10, E-11 y E-12 son prácticamente idénticas entre sí, con la principal salvedad de que el ancho del tablero de la E-10 es de 11.80 m, mientras que el ancho de la E-11 y de la E-12 es de 12.80 m.

Se sitúan en una alineación recta en planta, presentando una longitud total de 80 m medida en el eje de la estructura, que se divide en tres vanos de 24-32-24 m de luz cada uno de ellos.

El tablero mixto queda conformado por una losa de hormigón y un cajón metálico, para un canto total variable de 1.1 a 1.5 m, de los cuales los 0.25 m superiores son constantes y corresponden a la losa superior.

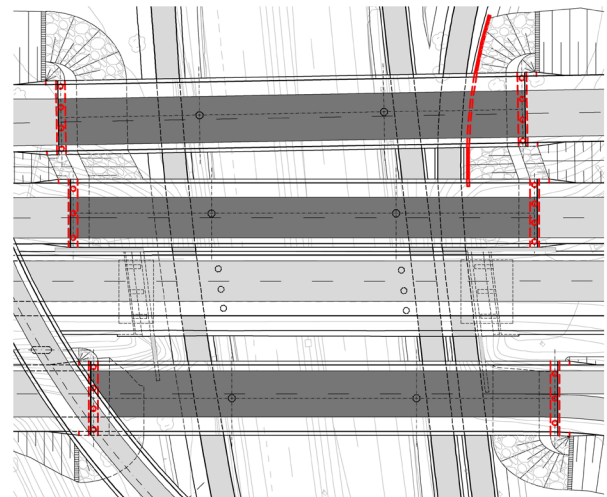


Figura 3. Estructuras E-10, E-11 y E-12. Planta

El cajón metálico tiene un ancho de platabanda inferior variable de 6.3 a 5.8 m, con almas laterales inclinadas y un alma central vertical. En todos los casos se rematan por platabandas superiores en donde se establece la conexión con la losa superior por medio de conectadores. El canto del cajón varía entre 0.85 m y 1.25 m. La losa superior se ejecuta con la ayuda de prelasas colaborantes de hormigón armado. En el fondo del cajón en zona de pilas se dispone una losa inferior de 0.25 m.

Los estribos son abiertos, dejando caer las tierras, y están formados por sillas sobre pilotes en donde apoya el tablero.

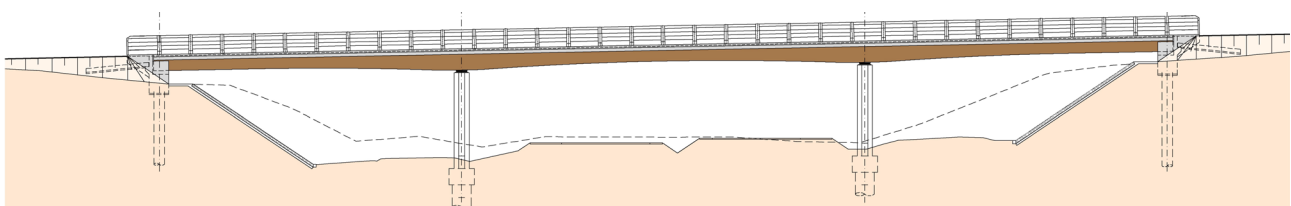


Figura 4. Alzado tipo de las estructuras E-10, E-11 y E-12

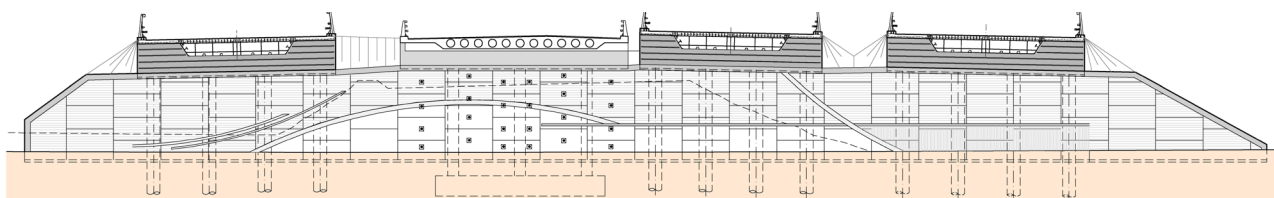


Figura 5. Propuesta alternativa de muro de suelo reforzado y estribos integrales para la E-10, E-11 y E-12

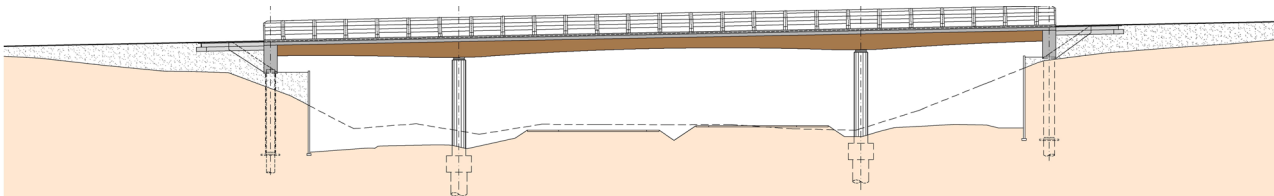


Figura 6. Propuesta alternativa para la E-10. Alzado

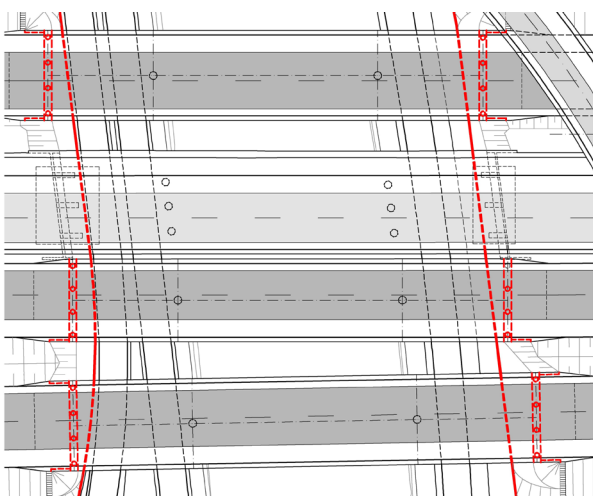


Figura 7. Propuesta alternativa para las estructuras E-10, E-11 y E-12. Planta

Las pilas están formadas por un fuste de hormigón armado de sección octogonal con una distancia entre caras paralelas de 1.2 m. Se cimentan por medio de un encepado sobre un único pilote de 1.5 m de diámetro.

Tras la adjudicación de la obra se plantearon ciertas propuestas de mejora, buscando asimilar los pasos superiores a la estructura existente. A tal efecto, se propuso reducir la longitud total, alineando sensiblemente los estribos, y reduciendo, por tanto, la luz de los vanos laterales.

De esta forma, se planteaba la opción de hacer un muro de tierra armada único que contuviera los terraplenes de todas las estructuras.

Para resolver la descompensación entre vanos, se planteaba unir rigidamente el tablero al

estribo, conformando una estructura integral, y garantizando que el peso del estribo compensaría el eventual levantamiento del tablero. Este planteamiento, adicionalmente, eliminaba las juntas de dilatación y los apoyos de neopreno sobre los estribos, reduciendo las labores de mantenimiento.

Finalmente, esta solución alternativa quedó descartada por indicación de la Dirección de Obra.

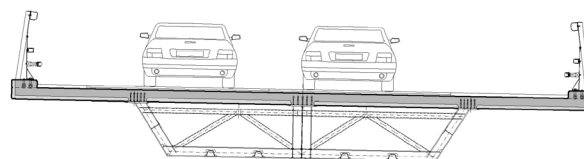


Figura 8. Sección tipo de las estructuras E-10, E-11 y E-12

3.2 E-1 y E-2

Por su parte, la E-1 y la E-2 se sitúan en una alineación curva en planta de radio constante igual a 40 m y 115 m, respectivamente, presentando una longitud total de 51 m y 70 m medida en eje de cada estructura, que se divide en dos vanos de 25.5 m de luz cada uno de ellos para la E-1, y dos vanos de 32 y 38 m para la E-2. El tablero, de nuevo, es mixto, formado por una losa de hormigón y un cajón metálico, para un canto total de 1.5 m, de los cuales 1.25 m corresponden al cajón y los 0.25 m restantes a la losa. El ancho total del tablero es de 8.3 m para la E-1 y de 11.5 m para la E-2.

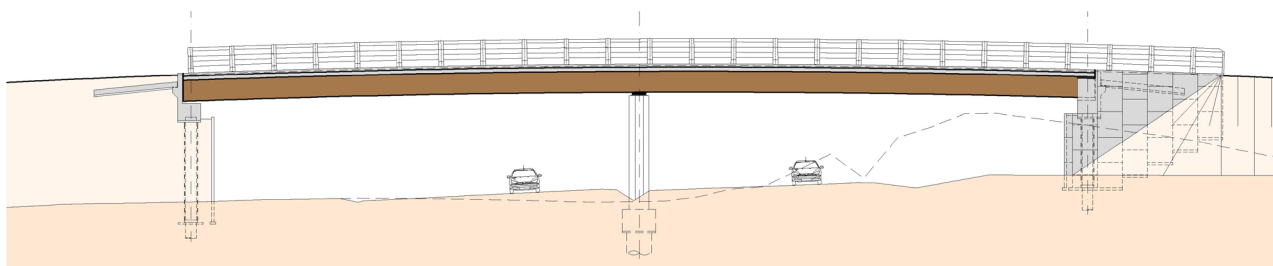


Figura 9. Alzado de la estructura E-2



Figura 10. Estructuras E-1 y E-2 durante la ejecución

El cajón metálico tiene un ancho de platabanda inferior de 2.4 m para la E-1 y de 4.7 m para la E-2, y almas inclinadas, rematadas por platabandas superiores de 0.5 m y 0.7 m de ancho, respectivamente, en donde se establece la conexión con la losa superior por medio de conectadores. La losa superior que se dispone sobre el cajón se ejecuta con la ayuda de prelosas colaborantes de hormigón armado, dejando voladizos a ambos lados de 2.15 m y 2.6 m, respectivamente. En la zona de pila se dispone una losa inferior de 0.25 m de espesor.

Los estribos están formados por sillas sobre pilotes de 0.65 m de diámetro en donde apoya el tablero. Como elemento de contención de las tierras se disponen muros de suelo reforzado. El estribo 1 es compartido entre ambas estructuras. Para evitar que los pilotes absorban cargas horizontales como

consecuencia de los empujes de las tierras se encamisan en un tubo de PVC relleno de grava.



Figura 11. Estribo compartido de la E-1 y la E-2

La única pila de cada estructura está formada por un fuste de hormigón armado de sección octogonal con una distancia entre caras paralelas de 1.2 m, y una altura de 6.6 m para la E-1 y 8.0 m para la E-2. Se cimenta por medio de un encepado sobre un único pilote de 1.5 m de diámetro.

3.3 E-13

Finalmente, la E-13 es la estructura más larga de todas, con una longitud de 363.6 m medidos en el eje del tablero, que se dividen en diez vanos de 25.35-36.5 x 2-34.2-36.5-59.7-36.5 x 3-25.35 m de luz, respectivamente. La mayor parte de su trazado se inscribe dentro de una curva circular de radio 310 m. En toda su longitud se define un peralte constante igual al 7%.

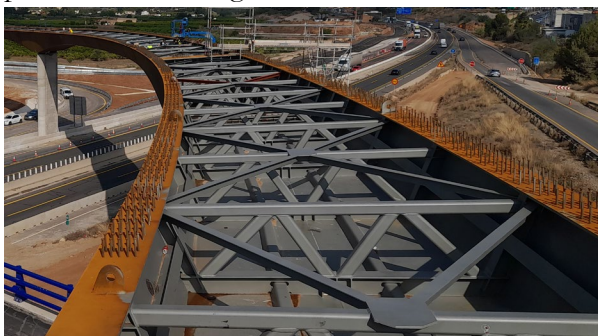


Figura 12. Cajón metálico de la E-13

Una vez más, el tablero es mixto, formado por una losa de hormigón y un cajón metálico, para un canto total constante igual a 1.25 m en los cuatro primeros vanos y en los tres últimos, y variable de 1.25 a 2.75 m en los tres vanos restantes, que corresponden con la luz mayor de la estructura. En todos los casos, el canto de la losa superior es igual a 0.25 m. El ancho total del tablero es de 8.8 m.

El cajón metálico tiene un ancho de platabanda inferior constante e igual a 3.5 m, con

almas laterales inclinadas que se rematan por platabandas superiores de 0.5 m de ancho, donde se establece la conexión con la losa superior por medio de conectadores. La losa superior que se dispone sobre el cajón se ejecuta con la ayuda de prelosas colaborantes de hormigón armado, dejando voladizos a ambos lados de 2.15 m. En el fondo del cajón en zona de pilas se dispone una losa inferior de 0.25 m de espesor.

El primero de los estribos es de hormigón armado, cerrado y con aletas en vuelta. Su cimentación es profunda por medio de seis pilotes de 1.25 m de diámetro y 19.5 m de profundidad, conectados por medio de un encepado de 10.8x7x1.5 m. El estribo 2 está formado por una silla cargadero que apoya sobre cuatro pilotes de 0.85 m de diámetro y 20 m de longitud.

Las pilas son apantalladas en todos los casos, con un espesor de 1.2 m y un ancho total de 3.5 m, que incluye los dos semicírculos de remate. Se disponen de forma que sus ejes sean perpendiculares al eje del tablero salvo en el caso de las pilas P-3, P-4 y P-6, que se disponen sensiblemente paralelas al eje de las vías sobre las que cruza el tablero, debido a las restricciones de espacio entre las calzadas inferiores. Esto condiciona la definición del diafragma de pilas y de las prelosas, como se comentará más adelante. En todos los casos, se cimentan por medio de encepados sobre pilotes de 1.25 m de diámetro.

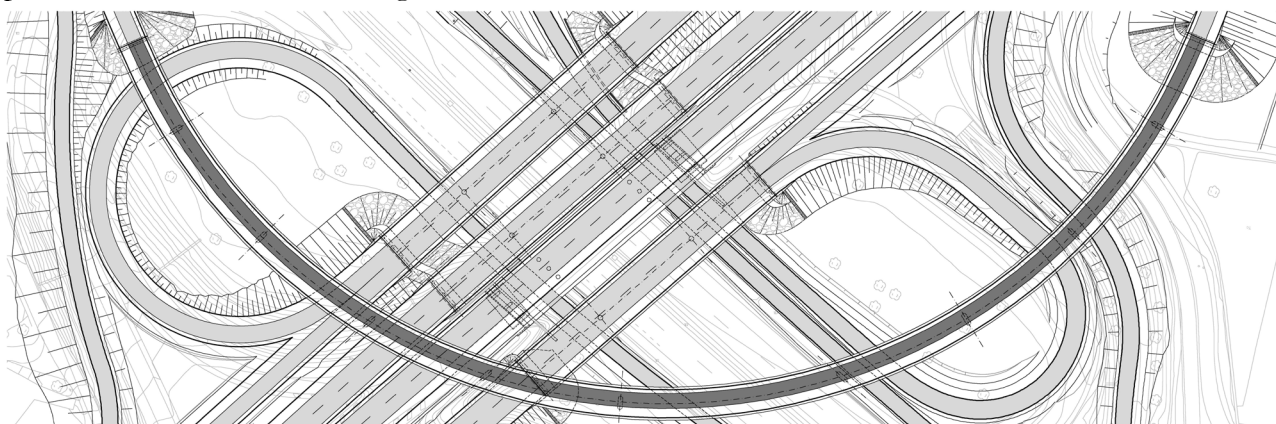


Figura 13. Planta de la estructura E-13

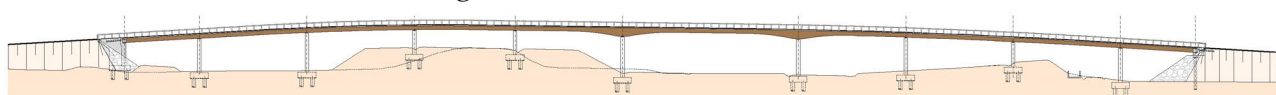


Figura 14. Alzado de la estructura E-13

4. Verificación estructural

Como particularidad de este proyecto, más allá del empleo de la normativa vigente en el momento de su redacción (IAP-11, EHE-08, EAE, Eurocódigos, etc.), cabe destacar la verificación pormenorizada que se hizo de los apoyos.

En el proyecto para la Administración los apoyos se diseñaron siguiendo la práctica habitual en España, que empleaba verificaciones en valores característicos independientes (cálculo en ELS). En general, todos los apoyos eran anclados, salvo los de las pilas-pilote.

Sin embargo, durante las labores de asistencia técnica, a propuesta de Cesma, se empleó la norma UNE-EN 1337-3 [1] para verificar los apoyos.

Esta norma sigue la metodología de los Eurocódigos, por lo que todas las verificaciones se realizan comparando acciones mayoradas, recogidas en numerosas combinaciones de acciones concomitantes, frente a resistencias minoradas, tanto para esfuerzos como para deformaciones (cálculo en ELU).

De acuerdo con la normativa, se realizaron las siguientes comprobaciones: deformación debida a la compresión, deformación por cizalla debida a la traslación, deformación por cizalla debida a la rotación angular, deformación máxima, tensiones máximas (compresión) y mínimas (tracción/despegue), espesor mínimo de las placas de refuerzo, condición límite de rotación, estabilidad a torsión y condición de no deslizamiento.

A partir de todas estas verificaciones, y tras múltiples iteraciones, resultó posible definir, para cada caso particular, el tipo de apoyo (estándar, anclado o con abrazaderas), así como sus dimensiones. Los apoyos anclados resultaron necesarios en aquellos casos en los que no se cumplían las tensiones mínimas de contacto o la condición de no deslizamiento. Para aquellos apoyos con esfuerzos de tracción en ELU, ante la ausencia de criterios en la norma UNE-EN

1337-3 y siguiendo las indicaciones de la Dirección de Obra, se diseñaron unas abrazaderas capaces de transmitir dichos esfuerzos, tal y como se describe en el apartado 5.1.



Figura 15. Apoyos anclados

Como comentario final, si bien para puentes de hormigón no existe gran diferencia entre el proyecto de apoyos en ELS o en ELU, puesto que domina el peso propio de la estructura; las diferencias para el caso de puentes mixtos son sustanciales. Esto generalmente conlleva que, si se emplea la norma UNE-EN 1337-3, casi siempre resulta necesario disponer apoyos anclados en estribos y en pilas de tableros curvos, puesto que no se cumple la condición de no deslizamiento como consecuencia del escaso peso propio de la estructura.

5. Aspectos particulares del proyecto

Se describen a continuación los aspectos particulares más relevantes de este proyecto.

5.1 Apoyos

Tal y como ya se ha venido comentando, uno de los aspectos en los que se ha hecho mayor hincapié en este proyecto son los apoyos.

En primer lugar, las estructuras E-10, E-11 y E-12, que son las de mayor ancho, estaban concebidas en el proyecto para la Administración con tres apoyos anclados sobre los estribos. Sin embargo, debido a la gran

anchura de los tableros y al poco peso de la estructura mixta, esto producía tracciones en los apoyos laterales, como consecuencia de las torsiones derivadas del carro de la instrucción.

Para resolver este punto, reduciendo dichas tracciones, se optó por eliminar el apoyo central, aumentando por tanto la reacción vertical sobre cada uno de ellos a causa de las cargas simétricas. Adicionalmente, para resistir las tracciones que no resultó posible eliminar, se introdujeron unas abrazaderas capaces de transmitir los esfuerzos de tracción.

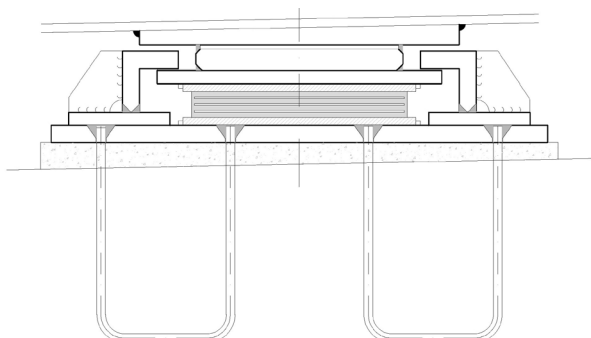


Figura 16. Abrazaderas en apoyos de los estribos de la E-10, E-11 y E-12.

Aparte de los apoyos con abrazaderas, se definieron gran número de apoyos anclados, especialmente para la estructura E-13. Un aspecto fundamental en este tipo de apoyos es que se debe garantizar que, al anclarlo, quede perfectamente alineado con el diafragma de pila del cajón metálico, de tal manera que no se produzcan excentricidades que puedan abollar tanto el fondo de cajón como el propio diafragma.

A tal efecto, en fase de proyecto se definió una secuencia de montaje que garantizara tal alineación. Para ello, el apoyo debía ser atornillado a la cuña de transición, previamente soldada al cajón metálico, antes del izado del correspondiente tramo.

En la pila o estribo quedaban, por tanto, unas vainas en espera para recibir los pernos de anclaje del apoyo. Para poder apoyar el cajón metálico provisionalmente antes de colocar el mortero de regularización bajo el apoyo, se dispusieron los medios auxiliares descritos en la ponencia *Seis puentes mixtos en la N-220 en Manises*

(Valencia): Aspectos constructivos relevantes del IX Congreso ACHE.



Figura 17. Apoyos anclados atornillados al cajón metálico de la E-13

Finalmente cabe mencionar que, desde un primer momento, la concepción de los apoyos tuvo en cuenta su eventual sustitución durante la vida útil de la estructura, definiendo los detalles necesarios a tal efecto.

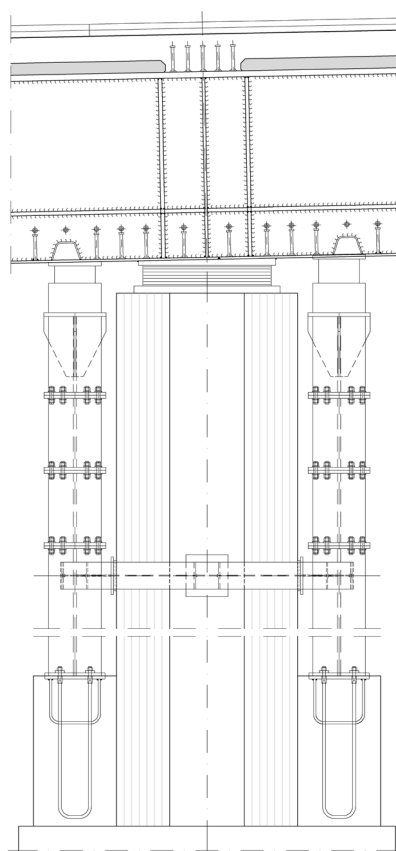


Figura 18. Pila con tacón y torre de apeo modular

Adicionalmente, a petición de la Dirección de Obra, y en vista de las futuras labores de mantenimiento y sustitución, se definieron

tacones de apeo sobre las zapatas o encepados y torres de apeo provisional a disponer sobre dichos tacones. Las torres de apeo contaban con un diseño modular, a base de casquillos de diferente longitud, que se unían mediante empalmes atornillados, lo que permitía ajustar su altura a cada una de las pilas.

5.2 Pilas-pilote

Salvo en el caso de las pilas de la estructura E-13, el resto de pilas se resuelven mediante pilas-pilote, de fuste único, con la peculiaridad de que este fuste presenta una sección octogonal, para que tengan la misma forma que las pilas del paso superior existente de la N-220 sobre la V-30.



Figura 19. Pila de sección octogonal

5.3 Pantalla de micropilotes y pilotes

Para evitar el descalce del terraplén en la aproximación del paso superior existente de la N-220, fue necesario realizar una pantalla, a modo de aletas de los estribos de la E-10. Esto se debe a que los estribos de las estructuras E-10, E-11 y E-12 no están alineados con los del paso superior existente, sino que se encuentran en una posición retranqueada, como se puede observar en alguna de las plantas mostradas en la presente ponencia.

Esta pantalla consistió, en primer lugar, en una pantalla provisional de micropilotes, tras la cual se ejecutó la pantalla de pilotes definitiva.

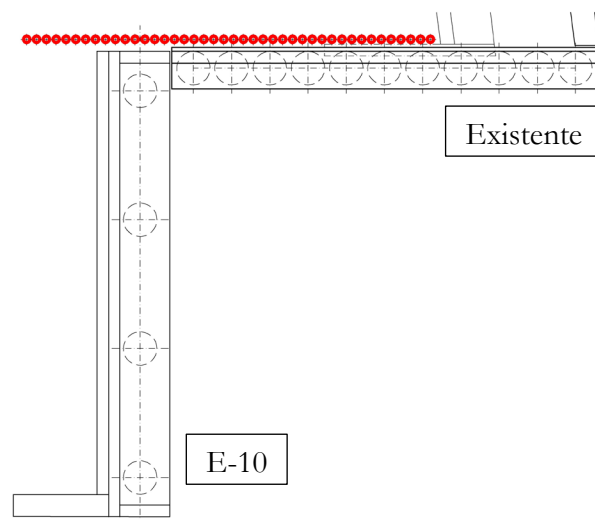


Figura 20. Pantalla de micropilotes y pilotes

5.4 Cambio de peralte en la E-2

Durante la fase de revisión del proyecto fue necesario introducir un cambio de sentido en el peralte de uno de los dos carriles del vial soportado por la E-2, de tal manera que ambos viales tuvieran el peralte hacia el interior de su curva correspondiente.

Este cambio tuvo como consecuencia estructural que fue necesario introducir un quiebro en la losa superior de hormigón, de tal forma que dicha losa siguiera el peralte de cada uno de los viales.

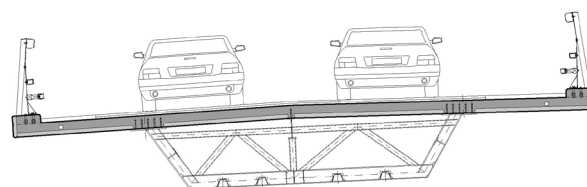


Figura 21. Nueva sección tipo de la E-2 en la zona próxima al estribo 2

Por su parte, introducir el quiebro en la losa tuvo como consecuencia dos derivadas adicionales. La primera de ellas consistió en que fue necesario dividir la prelosa en dos, de tal forma que cada una de las dos nuevas prelosas siguiera el peralte correspondiente de cada uno de los viales.

El hecho de dividir la prelosa en dos tuvo como segunda derivada que la prelosa dejaba de ser autoestable, siendo necesario anclarla a la estructura metálica en su borde interior. Para

materializar este anclaje fue necesario introducir un perfil longitudinal, armado, que se adaptara a la compleja geometría del tablero. Esto obligó, asimismo, a redefinir todos los detalles de unión de dicho nuevo perfil con los diagramas intermedios y los arriostramientos superiores.

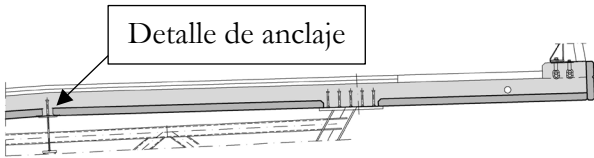


Figura 22. Detalle de prelosa en quiebro

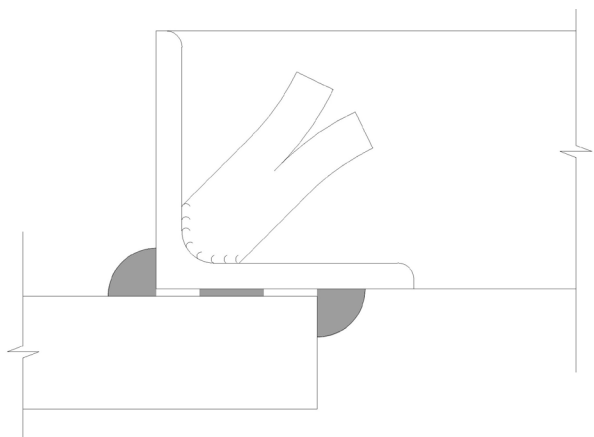


Figura 23. Detalle de anclaje de las prelosas en el perfil central

5.5 Pilas esviadas en la E-13

Por último, cabe mencionar que resultó necesario definir con esviaje algunas pilas de la E-13, debido a la proximidad a las calzadas existentes y al reducido espacio disponible.

Por tanto, hubo que definir diafragmas de pilas esviados, lo que obligó a aumentar el espesor del diafragma respecto a otras pilas.

Adicionalmente, también fue necesario realizar cajeados especiales en las prelosas dispuestas sobre dichas pilas para adecuarse a la geometría.

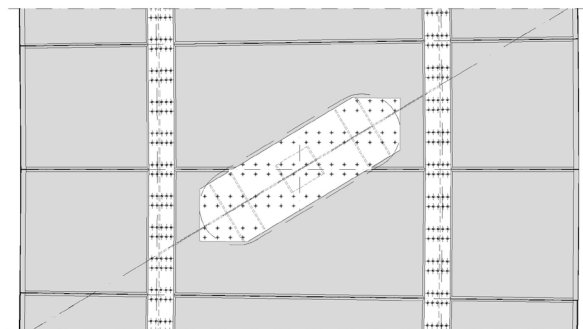


Figura 24. Cajeadado de prelosa sobre pila esviada

Referencias

[1] UNE-EN 1337-3. Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos elastoméricos

Ficha técnica de la estructura

Datos de la obra	
Ubicación y año de ejecución	Manises, Valencia, 2024
Propiedad	DGC, Ministerio de Fomento
Proyecto constructivo y AT al contratista	Cesma Ingenieros
Asistencia técnica a la Dir. Obra	Typsa
Empresa contratista	Dragados
Datos técnicos	
Estructuras	E-10 E-11 y E-12 E-1 E-2 E-13
Longitud total	80 m 80 m 51 m 70 m 363 m
Luces	Ver descripciones
Ancho del tablero	11.8 m 12.8 m 8.3 m 11.5 m 8.8 m
Canto del tablero	1.1-1.5 m 1.1-1.5 m 1.5 m 1.5 m 1.5-3.0 m
Espesor de prelosa prefabricada	0.08 m
Espesor medio de hormigón in situ	0.25 m
Cuantía de acero estructural en tablero	162 151 157 185 182 kg/m²
Cuantía de acero de armar en tablero	47 47 45 43 45 kg/m²
Presupuesto de ejecución material	8.032.206 €