

Ampliación de plataforma en el desfiladero de La Hermida

Widening of the platform in La Hermida gorge

Juan Rodado López^a, Oscar Ramón Ramos Gutiérrez^b, Fátima Otero Vieitez^c, Jorge Eloy de Vena Retuerto^d, Pablo Carrión Mantilla^e

^a Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Grupo Puentes. Director Técnico de Ingeniería. j.rodado@grupopuentes.com

^b Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ORRAMOS INGENIERÍA. CEO. Universidad de Cantabria.

oramos@orramoseng.com

^c Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Grupo Puentes. Directora General Técnica. fotero@grupopuentes.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ORRAMOS INGENIERÍA. Jefe de Proyecto. idevena@orramoseng.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ORRAMOS INGENIERÍA. Ingeniero de Puentes. pcarrion@orramoseng.com

RESUMEN

La obra consiste en el ensanche y mejora de la carretera N-621 entre los PKs 154.5 (Cillórigo) y 174.5 (Panés), bordeando el río Deva en el conocido Desfiladero de La Hermida, para conseguir un ancho mínimo de calzada de 8 m con trazado corregido. Con el objetivo de evitar invadir el cauce del río, de acuerdo con la DIA, minimizando la necesidad de cortes totales de la vía, se han diseñado soluciones estructurales basadas principalmente en estructuras en voladizo con longitudes de hasta 5.5 m. Se han empleado costillas prefabricadas de hormigón armado o pretensado y losa superior, o bien, simplemente con losas en los voladizos más cortos. También se han diseñado obras de paso y estructuras singulares.

ABSTRACT

The project consists of the widening and improvement of the N-621 road between the KPs 154.5 (Cillórigo) and 174.5 (Panés), along the Deva River in the well-known La Hermida gorge, to achieve a minimum 8 m road wide with improved alignment. With the aim of avoiding the invasion of the riverbed, according to the EIS, minimizing the need of full traffic cuts, structural solutions mainly based on cantilever structures up to 5.5 m long have been designed. Reinforced or prestressed concrete precast ribs have been used with concrete top slab, or simply, reinforced slabs for the shortest cantilevers. Specific structures and small bridges have also been designed.

PALABRAS CLAVE: construcción, estructuras, desfiladero, ampliación, voladizo, micropilote, costilla.

KEYWORDS: construction, structures, gorge, widening, cantilever, micropile, rib.

1. Descripción general de la actuación

En el presente artículo se describen las obras realizadas para la actuación de mejora de plataforma y tratamiento ambiental de la carretera N-621 de León a Santander por Potes, en el tramo Castro Cillórigo – Panés, a través del

singular enclave del Desfiladero de La Hermida. Este tramo discurre mayoritariamente por Cantabria (aproximadamente el 60 % del trazado) y, en menor parte, por el Principado de Asturias, afectando a los términos municipales,

de Sur a Norte, de Cillorigo de Liébana, Tresviso, Peñarrubia y Peñamellera Baja.

La actuación tiene una longitud total de 17.2 km del tramo comprendido entre los PP.KK. 154.5 y 174.5 de la carretera N-621, distribuyéndose en los siguientes subtramos:

- Tramo A: PP.KK. 0+000 al 1+100 de proyecto (PP.KK. 154+500 al 155+600 de la carretera).
- Tramo B: PP.KK. 1+290 al 1+540.
- Tramo C: PP.KK. 2+000 al 3+770.
- Tramo D: PP.KK. 4+050 al 4+200.
- Tramo E: PP.KK. 4+600 al 6+000.
- Tramo F: PP.KK. 7+180 al 16+470.
- Tramo G: PP.KK. 16+700 al 20+287,45.



Figura 1. Estado inicial de la carretera.

1.1 Situación previa

La N-621 objeto de esta actuación es una carretera de montaña de doble sentido cuya importancia radica en que es la tradicional vía de comunicación entre León y la costa de Cantabria, cruzando la cordillera Cantábrica a través del Parque Nacional de los Picos de Europa.

La anchura que tenía la plataforma de la carretera antes de la obra era variable a largo del trazado, con una media de apenas unos 6 m que en algunas zonas alcanzaba sólo 5.50 m y con arcenes casi inexistentes. A lo sinuoso del trazado en planta, se une su encajonamiento entre las laderas de los Picos de Europa y el

cauce del río Deva, que se cruza en 4 ocasiones, que hacen que la situación previa de la carretera fuera muy peligrosa para la conducción, por falta de visibilidad, escasas zonas de parada o cruce y por las altas velocidades de los vehículos que circulaban.



Figura 1. Protección ante desprendimientos.

1.2 Características y condicionantes principales

Junto con este objetivo de mejora de la seguridad vial y confort de los usuarios, la actuación incluyó los siguientes aspectos:

- Adecuación de los miradores, zonas de parada existentes, intersecciones y accesos a caminos existentes.
- Integración ambiental y paisajista de los elementos funcionales de la carretera (obras de drenaje, barreras para contención de vehículos, muros y señalización).
- Tratamiento ambiental del corredor con propuesta de medidas compensatorias.
- Mejora de los sistemas de protección frente a desprendimientos en las laderas.

Para cumplir estos objetivos se definieron las siguientes características de la obra a construir:

- Clase de la carretera en C-40, fijando la velocidad de proyecto en 40 km/h.
- Ancho de plataforma en todo el tramo de 8 m mínimo, con dos carriles de 3 m y arcenes de 1 m cada uno. Esta anchura de carril

pretendía evitar un incremento de velocidad, con el fin de conseguir un incremento de la seguridad y el confort de los usuarios. A su vez, el ancho de los arcones posibilita el cruce con seguridad de dos vehículos de dimensiones importantes que circulen en sentidos opuestos. Estos arcones son pisables para proporcionar también sobreanchos necesarios en algunas zonas de trazado curvo.

- Aumento del radio mínimo a 50 metros en todas las alineaciones curvas que lo permitieran, lo que, a su vez, reducía los sobreanchos requeridos en dichas curvas.

- Disposición de sobreanchos para reducir la invasión del arcén por los vehículos, considerando que sólo fuera pisable la mitad del arcén. Se trató de disponer estos sobreanchos en la mayor parte de las curvas inferiores a 200 metros, siempre que fuera viable.

- No consideración de bermas laterales, al tratarse de un espacio singular, en el que las posibilidades de ocupación del espacio físico disponible son muy limitadas.

- Sistemas de contención y señalización adaptados al entorno y a las prescripciones de la DIA, basados en la utilización de pretilas mixtos metal-madera.



Figura 3. Barrera de protección instalada.

2. Estructuras para ampliación de la plataforma

Para conseguir la ampliación de la plataforma de ancho mínimo de 8 m más sobreanchos en las zonas curvas con los condicionantes que suponen la presencia del cauce del río a un lado y de las empinadas laderas de la montaña, ha sido necesario construir diferentes tipologías de estructuras que en la mayor parte del trazado consisten en voladizos por encima del cauce. En este artículo se describen las principales tipologías utilizadas para lograr esta ampliación, sin entrar a describir soluciones estructurales particulares que han sido también utilizadas en zonas puntuales de cruces de ríos o ampliaciones de estructuras existentes. El proyecto de las estructuras ha sido realizado por ORRAMOS Ingeniería.

Estas tipologías estructurales son las siguientes:

- Voladizos de losa: para longitudes menores de 1.5 m de voladizo. Se han utilizado a lo largo de unos 2.8 km.
- Voladizos progresivos o con costillas, para longitudes mayores de 1.5 m y hasta 5.5 m de voladizo. Se han empleado en unos 6 km.
- Estructuras de apoyos aislados, utilizadas en zonas singulares con voladizos mayores de 5.5 m.

En los siguientes apartados se describen cada una de estas estructuras y sus particularidades constructivas.

2.1 Estructuras en voladizo de losa

2.1.1. Voladizos de losa menores de 1 m

En aquellas zonas en las que la ampliación de anchura necesaria de la plataforma es inferior a 1 m, se han utilizado estructuras consistentes en una losa de hormigón armado ejecutada in situ sobre un zunchos o zapata corrida de hormigón armado también ejecutado in situ.

La losa tiene 30 cm de espesor y una longitud mínima de 4.5 m, incluyendo el voladizo menor de 1 m, que se hormigona sobre prelosas prefabricadas apoyadas en el zuncho. Las dimensiones del zuncho son diferentes dependiendo de la tipología de cimentación:

- Cimentación directa sobre el terreno natural: 90 cm de anchura y 30 cm de espesor.
- Cimentación profunda mediante micropilotes: 80 cm de anchura y 40 cm de espesor.
- Cimentación directa sobre muro de escollera: ancho variable en función de la anchura del muro desde 50 cm a 130 cm y canto variable desde 85 cm a 25 cm para los citados anchos respectivamente.

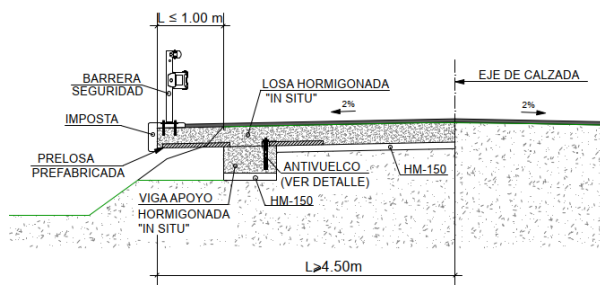


Figura 4. Voladizo de losa < 1 m con cimentación directa.

Para evitar el vuelco de la prelosa durante el hormigonado se dispone un anclaje o antivuelco en el zuncho de cimentación. La prelosa armada es prefabricada y para ello dispone de una celosía superior de rigidización.

La losa llega hasta el eje de la calzada permitiendo siempre el tráfico en la otra mitad de la calzada existente durante la construcción. Se han ejecutado tramos de losa con longitudes máximas de 31 m, dejando entre ellas juntas de dilatación con pasadores de acero galvanizado entubados en un lado de la junta para permitir el movimiento.

Los micropilotes, en el caso de requerirse por las condiciones de cimentación, van separados unos 3 m máximo en dirección longitudinal y consisten en tubos metálicos de 168.3 mm de diámetro y 9 mm de espesor con diámetro de perforación de 220 en roca ó 250

mm en suelos debido a la necesidad de entubación.

2.1.2. Voladizos de losa entre 1 m y 1.5 m

La solución de losa en voladizo se ha empleado hasta una longitud de voladizo de 1.5 m. La diferencia con los voladizos menores de 1 m es que, en este caso, es necesario añadir un segundo zuncho de cimentación y ambos zunchos deben ir cimentados sobre micropilotes, debido al incremento tanto de cargas verticales como horizontales.

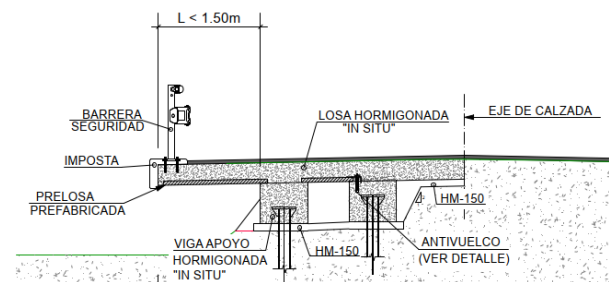


Figura 5. Voladizo de losa < 1,5 m con doble zuncho y micropilotes.

Cada uno de los zunchos o encepados corridos tiene un ancho de 70 cm y un canto de 60 cm, quedando con una distancia libre de 60 cm entre sus paramentos. Al igual que en voladizo menor de 1 m, la losa tiene un espesor de 30 cm y se hormigona sobre prelosas prefabricadas de hormigón armado colaborantes. La losa tiene una anchura mínima de 4.5 m, para permitir el paso del tráfico por el otro carril y garantizar la estabilidad estructural. La longitud máxima de los tramos de losa entre juntas de dilatación es de 30 m.



Figura 6. Prelosas y zunchos en voladizo < 1.5 m.

Los micropilotes se disponen con una separación en dirección longitudinal de 6 m, estando alineados el delantero o de compresión y el trasero o de tracción.

Las dimensiones de los micropilotes utilizados en este caso han sido las siguientes:

- Micropilotes delanteros en zona de junta de dilatación: tubo de 168.3x9 mm con perforación de 250 mm (suelos) y 220 mm (roca).
- Micropilotes delanteros en zona central: tubo de 152.4x9 mm con perforación de 250 mm (suelos) y 220 mm (roca).
- Micropilotes traseros: tubo de 139.7x9 mm con perforación de 220 mm (suelos) y 193 mm (roca).

2.2 Estructuras de voladizos progresivos

Se han designado como estructuras de voladizos progresivos a aquellas que disponen de costillas prefabricadas para voladizos mayores de 1.5 m y hasta los 5.5 m. Estas estructuras constan de los siguientes elementos estructurales que se describen en detalle a continuación:

- Costillas prefabricadas.
- Losa de hormigón in situ sobre prelosas.
- Encepado delantero de cimentación.
- Encepado trasero de cimentación.
- Micropilotes



Figura 7. Estructura terminada con voladizo progresivo.

2.2.1. Costillas prefabricadas

El elemento portante principal de las estructuras de voladizos progresivos son las costillas prefabricadas de hormigón pretensado. Se han fabricado siete tipos diferentes de costillas denominadas con letras de la A a la G, de mayor a menor longitud de voladizo. En todas ellas se han mantenido las mismas dimensiones máximas de la sección, con canto variable, con el fin de optimizar el uso de los encofrados en fábrica utilizando tapes para adaptar las costillas a las diferentes longitudes de cada tipo. A continuación, se indican los diferentes tipos y sus longitudes:



Figura 8. Costilla prefabricada.

- Tipo A: se emplea para los voladizos de mayor longitud que van desde los 5 a los 5.5 m. La longitud total de la costilla es de 6.9 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 20 a 60 cm y una longitud de 3.85 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 3.05 m. La costilla se pretensa mediante dos barras de 40 mm de diámetro situadas en la parte superior de su sección.

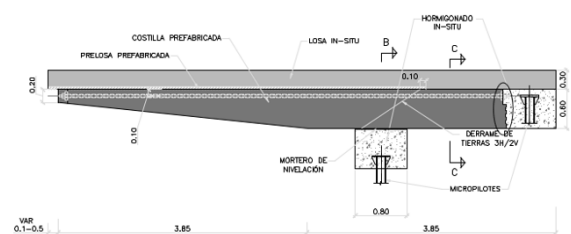


Figura 9. Costilla tipo A.

- Tipo B: se emplea para los voladizos de longitud desde los 4.5 a los 5 m. La longitud total de la costilla es de 6.4 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 20 a 60 cm y una longitud de 3.85 m, y un tramo

trasero con canto constante de 60 cm que mide 2.55 m. La costilla se pretensa mediante dos barras de 36 mm de diámetro situadas en la parte superior de su sección.

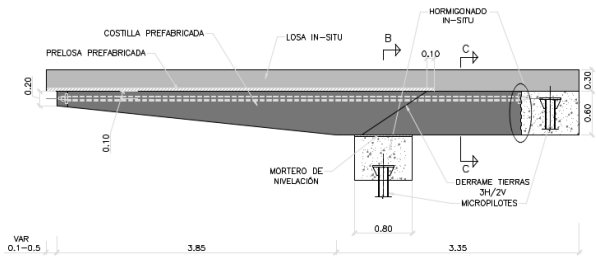


Figura 10. Costilla tipo B.

- Tipo C: se emplea para los voladizos de longitud desde los 4 a los 4.5 m. La longitud total de la costilla es de 5.8 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 25.2 a 60 cm y una longitud de 3.35 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 2.45 m. La costilla se pretensa mediante dos barras de 36 mm de diámetro situadas en la parte superior de su sección.

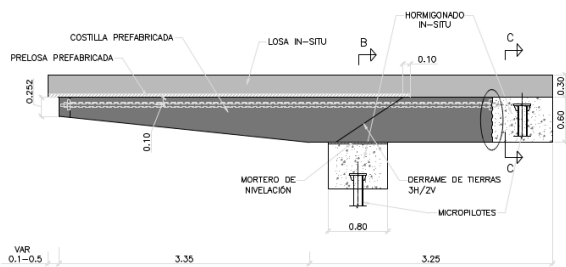


Figura 11. Costilla tipo C.

- Tipo D: se emplea para los voladizos de longitud desde los 3.6 a los 4 m. La longitud total de la costilla es de 5 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 30.4 a 60 cm y una longitud de 2.85 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 2.15 m. La costilla se pretensa mediante dos barras de 32 mm de diámetro situadas en la parte superior de su sección.

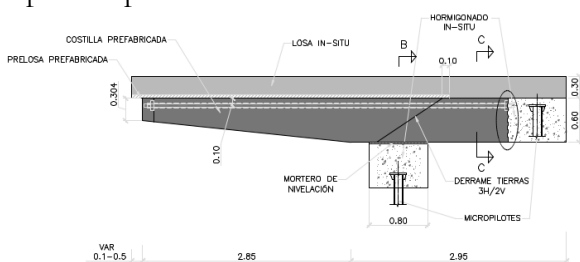


Figura 12. Costilla tipo D.

- Tipo E: se emplea para los voladizos de longitud desde los 3.2 a los 3.6 m. La longitud total de la costilla es de 4.6 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 34.5 a 60 cm y una longitud de 2.45 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 2.15 m. La costilla se pretensa mediante dos barras de 26,5 mm de diámetro situadas en la parte superior de su sección.

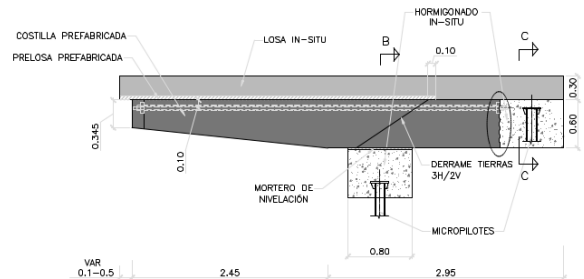


Figura 13. Costilla tipo E.

- Tipo F: se emplea para los voladizos de longitud desde los 2.8 a los 3.2 m. La longitud total de la costilla es de 3.8 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 38.7 a 60 cm y una longitud de 2.05 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 1.75 m. Esta costilla va simplemente armada sin barras de pretensado.

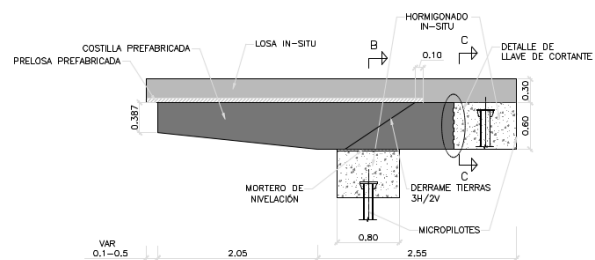


Figura 14. Costilla tipo F.

- Tipo G: se emplea para los voladizos progresivos más pequeños, de longitud desde los 1.85 a los 2.8 m. La longitud total de la costilla es de 3.0 m. Se compone de un tramo en voladizo con canto variable de 48.6 a 60 cm y una longitud de 1.1 m, y un tramo trasero con canto constante de 60 cm que mide 1.90 m. Esta costilla va simplemente armada sin barras de pretensado.

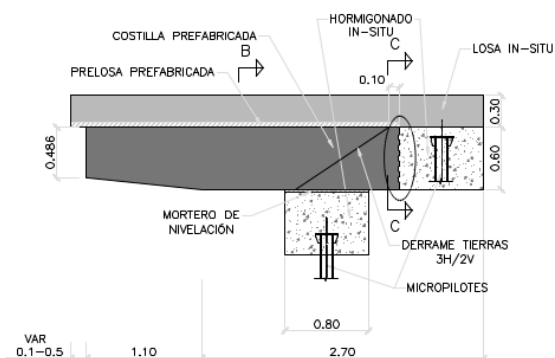


Figura 15. Costilla tipo G.

Es importante explicar que la longitud de los voladizos indicada se mide desde el eje del encepado delantero de apoyo, de ahí la diferencia de longitud entre los voladizos más pequeños con los voladizos de tipología de losa.

La sección de las costillas tiene una ligera forma trapezoidal para facilitar el desencofrado, con un ancho superior constante de 60 cm y un ancho inferior mínimo de 56 cm en la zona de canto constante.

Las costillas se prefabrican en la fábrica de Prethor (Grupo Puentes) en Lugo y disponen tanto de armaduras de espera traseras que quedan embebidas en el encepado trasero, como de cercos de armadura verticales que quedan embebidos en la losa superior. Para materializar el contacto con el hormigón in situ del encepado trasero se disponen unas llaves de cortante en el paramento trasero del prefabricado.



Figura 16. Costillas tipo A instaladas.

2.2.2. Losa de hormigón in situ

Sobre las costillas, que van espaciadas una distancia máxima de 4.5 m medida en el eje de trazado, se hormigona una losa in situ de 30 cm de espesor sobre prelosas prefabricadas colaborantes con celosía de armadura.

La losa tiene un pequeño vuelo por delante de la costilla que sirve para completar la longitud del voladizo y que varía entre 10 y 50 cm. Sobre esta zona se hormigona la imposta in situ para la instalación de las barreras.

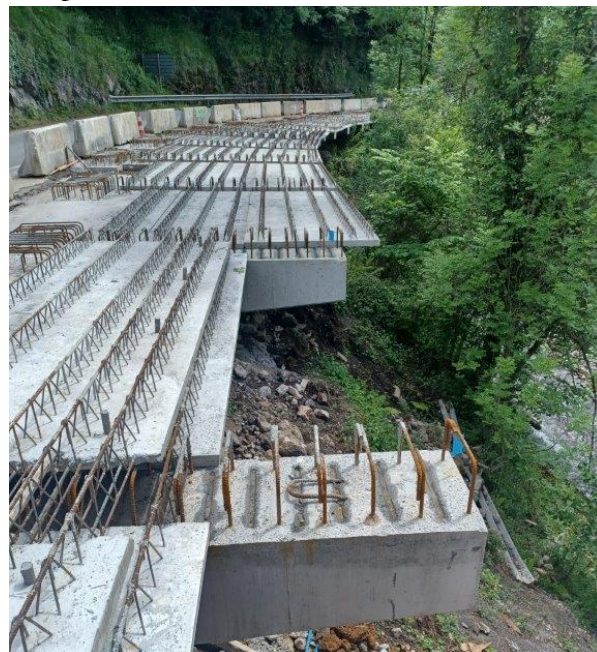


Figura 17. Prelosas sobre costillas.

La máxima longitud de losa entre juntas de dilatación transversales es de 34,8 m. Las juntas transversales disponen de pasadores de acero galvanizado que permiten el movimiento horizontal.

2.2.3. Encepado delantero

Las costillas apoyan en su parte delantera, tras el voladizo, en un encepado de hormigón armado con dimensiones en planta de 1.90 m, transversal a la costilla, por 0.80 m y un canto de 0.60 m. El apoyo se realiza a través de una capa de mortero de nivelación, garantizado el apoyo de la costilla en el tramo de canto constante.



Figura 18. Encepado delantero ferrallado.

2.2.4. Encepado trasero

En su parte trasera las costillas se conectan con un segundo encepado de hormigón armado con dimensiones en planta de 1.60 m, transversal a la costilla, por 0.80 m y un canto de 0.60 m, igual al del tramo trasero de la costilla.

Este encepado trasero queda, además, conectado con la losa a través de cercos de armadura que sobresalen por la parte superior.

La separación entre los ejes de los encepados delantero y trasero es variable dependiendo del tipo de costilla y las cargas transmitidas. En las costillas tipo A y B la separación varía de 2.3 a 2.4 m, en el tipo C de 2.2 a 2.3 m, en los tipos D y E la separación es constante de 1.9 m, en el tipo F se reduce a 1,5 m y en el tipo G es variable de 1.1 a 1.65 m.

Para la ejecución de los encepados, tanto delantero como trasero, se realizó una excavación lo más estricta posible para permitir la instalación de los encofrados, evitando así sobreexcavaciones y rellenos que podrían afectar a la plataforma. Igualmente, las costillas se instalaron en excavaciones estrictas en forma de acanaladuras con el mismo objetivo.



Figura 19. Encepado trasero ferrallado.

2.2.5. Micropilotes

Tanto el encepado delantero como el encepado trasero van cimentados sobre una pareja de micropilotes que resisten las cargas de compresión o tracción respectivamente.

En la siguiente tabla se resumen las características de los tubos metálicos de los

micropilotes utilizados en los diferentes tipos de voladizos progresivos:

Tabla 1. Micropilotes de voladizos progresivos

Costilla tipo	Sección micropilote (mm)		
	Delantero (junta)	Delantero	Trasero
A, B	177.8x11	168.3x9	139.7x9
C	168.3x9	152.4x9	139.7x9
D	152.4x9	152.4x9	127x9
E, F	139.7x9	127x9	127x9
G	139.7x9	127x9	127x9

Los micropilotes quedan conectados a los encepados mediante una cabeza de anclaje compuesta por una placa base y rigidizadores que se rosca al tubo del micropilote.

2.3 Estructuras de apoyos aislados

En aquellas zonas en las que se requieren voladizos de longitud superior a los 5.5 m por invadir la carretera ensanchada la zona del cauce del río en mayor medida, se han construido estructuras basadas en una losa de hormigón sobre un zuncho trasero, apoyado en el terreno, y una alineación de vigas delanteras sobre pilares aislados con su cimentación y vanos máximos de unos 10 m. Este ha sido el caso de la estructura situada entre los p.k. 3+141 y 3+199 que se describe a continuación.



Figura 20. Pilas en estructura de apoyos aislados.

Se trata de una estructura compuesta por una losa superior de 67.72 m de longitud y ancho variable entre los 9.39 m (pila 5) y los 3.63 m (pila 8), que apoya en el lado montaña en un zuncho

de hormigón armado cimentado con micropilotes y en el lado río en una alineación de vigas de hormigón armado con 7 vanos de luces $7.93+9.89+9.87+9.91+9.78+9.99+8.35$ m.

La losa tiene espesor constante de 30 cm y voladizos variables de 1,5 m a 2,5 m de longitud desde la viga de borde. Se construye mediante prelosas prefabricadas de hormigón armado colaborantes con celosía de armadura que apoyan en el zuncho y en las vigas de borde.

Las vigas tienen sección rectangular de 1 m de canto y 0.5 m de canto y quedan conectadas a la losa mediante cercos de armado que sobresalen por su parte superior.

El zuncho de apoyo trasero tiene una anchura de 80 cm y un canto de 80 cm incluyendo el espesor de la losa. Se cimenta por medio de una alineación de micropilotes espaciados unos 3 m entre sí, con tubo de 177 mm de diámetro y 11 mm de espesor.

Las vigas apoyan en pilares de hormigón armado in situ con sección cuadrada de 80 cm de lado. Las alturas son variables entre los 4.135 m de la pila 4 y los apenas 15 cm de la pila 8.

Las pilas se cimentan mediante encepados de micropilotes con dos o tres micropilotes alineados en dirección longitudinal del trazado y con la misma sección de los micropilotes del zuncho trasero.



Figura 21. Carretera terminada.

En la losa se dispone una junta de dilatación intermedia a la altura de la pila 4, donde las vigas apoyan mediante apoyos de neopreno. En el resto de las pilas las vigas apoyan mediante mortero de nivelación hormigonándose la junta entre ellas y conectándose con armadura al fuste de la pila.

3. Aspectos destacados del cálculo estructural

3.1 Criterios de diseño

En consonancia con lo actualmente establecido por la Dirección General de Carreteras, se realiza la adaptación o nuevo diseño de las estructuras se al amparo de los Eurocódigos:

- La Orden Circular 1/2019 de la DGC, de 25 de marzo de 2019, establece que los puentes y obras geotécnicas de la RCE deben proyectarse con los Eurocódigos Estructurales, junto con sus correspondientes Anejos Nacionales.
- Asimismo, el Real Decreto 470/2021 de aprobación del Código Estructural reconoce expresamente, a través de la disposición adicional segunda, la validez del conjunto de los Eurocódigos como forma de cumplir el Código Estructural.

Con respecto a las bases de cálculo adoptadas en proyecto original (IAP-11 y EHE-08, fundamentalmente) la adopción del marco normativo de los Eurocódigos no se traduce en una alteración o modificación sustancial de la geometría o dimensionamiento de los diferentes elementos estructurales, pero sí permite armonizar y unificar los criterios de diseño de las estructuras de una obra en la que, debido a su extensión en el tiempo, no parece lógico no se hiciera de esta manera.

3.2 Modelos de cálculo y comprobaciones

Para la obtención de los esfuerzos y armados se han desarrollado modelos de elementos finitos tridimensionales que representan las losas que forman la estructura mediante elementos lámina, con su espesor correspondiente, así como los micropilotes, vigas y zunchos que se han representado mediante elemento tipo viga.

La representación de los elementos tipo viga se realiza de manera independiente a la losa, realizando una unión rígida entre ambos

elementos. Las cargas que se encuentra sobre la losa se aplican directamente a la viga, con su excentricidad correspondiente.

La consideración de un modelo de cálculo espacial que representa fielmente la geometría de las estructuras permite obtener resultados válidos para el diseño, no solo de la zona central, sino también de la zona de unión entre dos tramos contiguos, donde la apertura de las cargas puntuales (sobrecarga) se ve interrumpida.

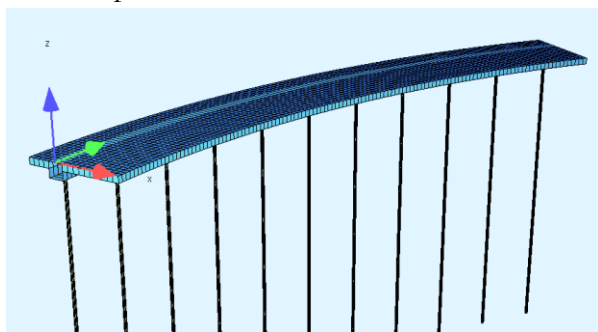


Figura 22. Modelo 3D estructura voladizo losa 1.0 m

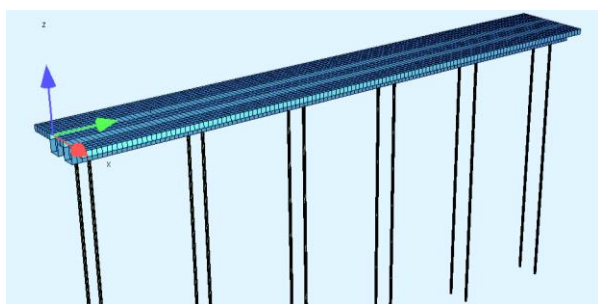


Figura 23. Modelo 3D estructura voladizo losa 1.5 m

En las estructuras de voladizos progresivos que disponen de costillas prefabricadas, se ha tenido en cuenta el proceso constructivo propuesto, convirtiendo a la estructura en una estructura evolutiva.

Inicialmente, se realiza el hormigonado y tesado de la costilla prefabricada. Durante este proceso, las vigas solo reciben esfuerzos verticales, debido a que todavía no existe empotramiento entre la viga trasera y la costilla.

Una vez dispuesta la costilla, se realiza el empotramiento entre viga trasera y costilla. Para considerar adecuadamente el efecto del peso de la losa, se introduce en la costilla la carga vertical de la losa, simulando el efecto del vertido del hormigón antes de que gane resistencia. Posteriormente, el peso propio de la losa se

introduce en los elementos tipo lámina, junto con el peso del firme y la barandilla. Finalmente, se deja fluir al puente hasta tiempo infinito.

El estudio de la redistribución de esfuerzos, desplazamientos, tensiones y reacciones se realiza mediante el modelo 3D.

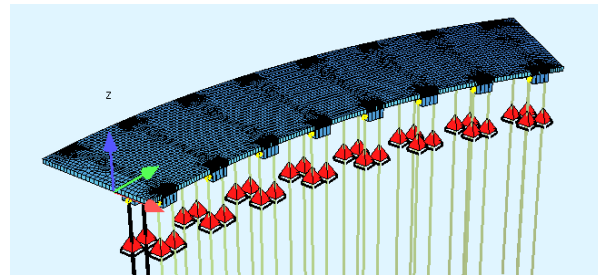


Figura 24. Modelo 3D estructura voladizo losa 1.5 m

El modelo utilizado para la estructura de apoyos aislados representa fielmente el ancho variable de la estructura, tomado de los datos de replanteo facilitados por la obra.

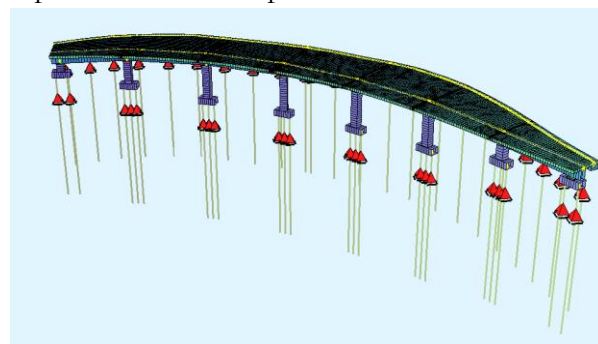


Figura 25. Modelo 3D estructura de apoyos aislados

Referencias

- [1] Eurocódigos estructurales. UNE-EN 1990, 1991 y 1992. AENOR.
- [2] Leonhardt, Fritz. Hormigón pretensado. Proyecto y construcción. Traducción de la segunda edición alemana por Alberto Corral bajo la supervisión de Juan Batanero. Madrid, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del cemento, 1967.