Revista de Obras Públicas
nº 3.534. Año 159
Julio-Agosto 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Viaductos de dovelas prefabricadas de las nuevas calzadas de Despeñaperros

Precast segmental viaducts for the new lanes at Despeñaperros

Jose Rafael Jiménez Aguilar. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FCC CONSTRUCCIÓN S.A. Jefe del Departamento de Puentes II. Madrid (España). rjimeneza@fcc.es
Jose Ignacio González Esteban. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
FCC CONSTRUCCIÓN S.A. Director del Servicio de Estructuras. Madrid (España). jigonzalez@fcc.es

Resumen: Se han ejecutado cuatro viaductos de dovelas prefabricadas montadas vano a vano con junta seca, pretensado exterior y cimbra autolanzable superior en la autovía de Andalucía a su paso por el Parque Natural de Despeñaperros. Se han construido 3.369 metros de tablero de 13,6 metros de ancho en vanos isostáticos con luces de 39 y 45 metros. El objetivo que se planteó en la realización de estos viaductos fue la optimización de la construcción mediante la industrialización de todas las actividades. Este objetivo ha sido posible alcanzarlo por la implicación de todos los intervinientes y la coordinación de todos los medios auxiliares desde el proyecto de ejecución. El resultado ha sido un rendimiento en el montaje del tablero de dos vanos, 90 metros, cada cinco días.

Palabras Clave: Dovelas; Prefabricadas; Vano a vano; Pretensado exterior; Cimbra autolanzable

Abstract: Four viaducts have been built using span by span precast segmental construction, with dry joints and external prestressing, in the Andalucía highway in Despeñaperros Nature Park. A total of 3369 m of 13.6 m width deck has been constructed with 39.0 and 45.0 m isostatic spans. The objective proposed in the carrying out of these viaducts was the optimization of construction by way of the industrialization of all activities. It was possible to achieve this objective by the involvement of all participants and coordination of production resources from the design implementation onwards. This allowed a deck erection rate of two spans every five days.

Keywords: Segments; Precast; Span by span; External prestress; Launching Girder

1. Introducción

Los nuevos viaductos pertenecen al tramo de la Autovía de Andalucía (A-4) que atraviesa el Parque Natural de Despeñaperros en Sierra Morena, entre las localidades de Santa Elena (Jaén) y Venta de Cárdenas (Ciudad Real) con una longitud de 14.1 Km. La zona está declarada Parque Natural por la Junta de Andalucía por sus valores geológicos y paisajísticos, y también por su flora y fauna. Especial mención merece la zona denominada "Los Órganos" que está declarada Monumento Natural.

El paso de Despeñaperros ha sido históricamente un punto singular en la red de carreteras, con un 30% de tráfico pesado y un trazado sinuoso, que reducía la capacidad y la seguridad del tramo. En 1984 se desdobló el tramo existente con una nueva calzada en sentido a la meseta en la mitad norte del tramo, y otra calzada en sentido a Andalucía en la mitad sur. Ambos sentidos mantenían la mitad de su trazado con la calzada antigua y la otra mitad con la calzada nueva, de modo que en ambas había una zona con un trazado complicado que obligaba a limitar la velocidad máxima a 50 km/h.

La nueva actuación tiene un gran interés estratégico y ha sido promovida por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Ha consistido en la construcción de una doble calzada desde Santa Elena hasta Venta de Cárdenas de 9.4 Km de longitud. La complejidad de la orografía por la que

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de octubre de 2012.

Recibido: mayo/2012. Aprobado: mayo/2012



Fig. 1. Vista aérea de los Viaductos.



Fig. 3. Montaje del tablero.



Fig. 2. Vista aérea de los Viaductos.



Fig. 4. Viaducto de Manantial.

discurre la traza hace que hayan sido necesarios una sucesión de túneles y viaductos cuya longitud representa un 39% de la longitud total del tramo. El nuevo trazado tiene un radio mínimo de 760 m, una pendiente máxima del 5% y un peralte máximo del 8%. La longitud total de los tableros de dovelas prefabricadas construidos es de 3.369 m.

Las nuevas calzadas mejoran la permeabilidad a la fauna, la seguridad vial y su capacidad. El paso por el Monumento Natural de "Los órganos" se realiza en túnel evitando la alteración que suponía la calzada anterior; además se ha demolido una de las calzadas actuales, devolviendo su superficie al Parque. La otra calzada se convierte en una vía de servicio, principal vía de comunicación del P.N. de Despeñaperros.

2. Elección del sistema constructivo

En la elección de la tipología de los viaductos y de su sistema constructivo han pesado múltiples factores entre los que cabe destacar:

- La longitud total de los viaductos es de 3.369 metros repartidos en cuatro viaductos dobles próximos entre sí, especialmente los de Santa Elena, Manantial y Tinajuelas en los que la distancia máxima entre estribos adyacentes es de 307 metros. Estos factores permitían la utilización de elementos prefabricados montados con medios auxiliares de gran potencia que se desplazan entre los viaductos por la propia traza sin necesidad de desmontarlos.



Fig. 5. Precarga de la cimbra.

- Existencia de vías de comunicación y cauces de agua bajo los viaductos. Además de los múltiples cruces con la autovía actual, bajo el viaducto de Despeñaperros cruza el ferrocarril de le línea Madrid-Córdoba con gálibo estricto. Este factor hacía más indicada la utilización de medios auxiliares que trabajasen desde la calzada, por encima de la superficie del tablero, que además tenía la ventaja de reducir la afección al Parque Natural.

FCC CONSTRUCCION S.A. cuenta para la construcción de viaductos con tablero de una única calzada y luces medias con el sistema de dovelas prefabricadas montadas vano a vano mediante cimbra autolanzable superior con junta seca y pretensado exterior (2), que ha desarrollado y puesto a punto, y del que tiene una amplia experiencia tras haber construido anteriormente ocho kilómetros de tablero con 2.600 dovelas.

Este sistema constructivo, que es muy utilizado fuera de España, se utiliza en viaductos de gran longitud en zonas pobladas donde se requieren rendimientos muy elevados y que la construcción se realice sin afección al suelo. La demanda de espacio para la construcción de la estructura se reduce a la estrictamente necesaria para la ejecución de la subestructura. Las dovelas prefabricadas del tablero acceden desde la traza, sin demandar espacio adicional, y se fabrican en instalaciones separadas donde se reserva espacio para el acopio. Este método constructivo es idóneo para el Parque Natural porque sólo altera el entorno en un espacio reducido para la construcción de la subestructura, la velocidad de montaje reduce significativamente la duración de la construcción y las operaciones de fabricación del tablero y su suministro de materiales se saca del Parque Natural.

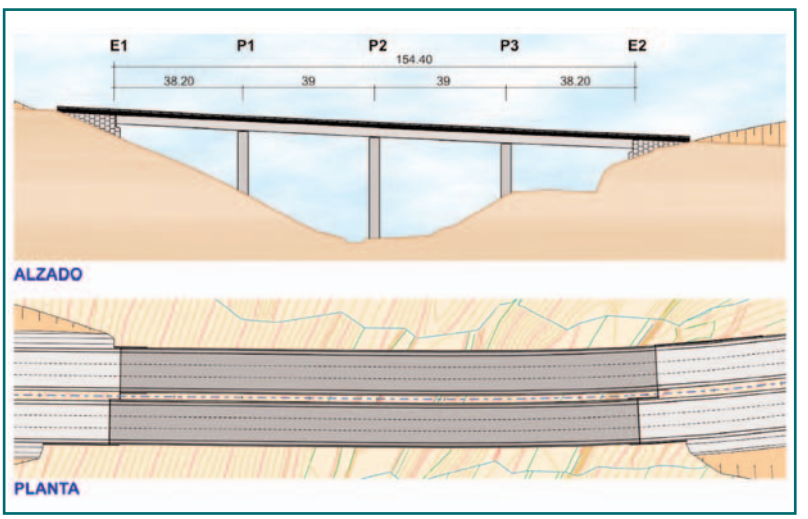
En el montaje se cuelgan las dovelas prefabricadas de la cimbra, pudiendo mantenerse un gálibo igual al final, lo que ha sido fundamental para resolver el paso sobre la línea de FFCC Madrid-Córdoba.

La ejecución del tablero construido con dovelas prefabricadas tiene unos costes de implantación muy elevados que sólo lo hacen económicamente viable para viaductos de gran longitud o para varios viaductos próximos donde la cimbra pueda desplazarse fácilmente por sus propios medios sin que sea necesario su desmontaje. Los cuatro viaductos a construir encajan a la perfección con este requisito.

Otra ventaja adicional para este método es la experiencia que de él se tiene. El equipo que desarrolló el sistema constructivo y proyectó los viaductos anteriores es el mismo que ha proyectado los viaductos de este tramo.

El proyecto de los viaductos de dovelas prefabricadas, el procedimiento constructivo y la asistencia durante la fabricación y montaje de dovelas han sido realizados por el Departamento de Puentes de FCC CONSTRUCCION S.A. Los medios auxiliares utilizados: encofrados de dovelas y cimbra, son también propiedad de FCC CONSTRUCCION S.A. El proyecto de ejecución se ha adaptado a los medios disponibles, optimizando la fabricación, transporte y montaje. Tanto la geometría como el armado de las dovelas están optimizados para los medios auxiliares de montaje. El resultado es una obra de más calidad y de mayor rendimiento.

Fig. 6. Viaducto de Santa Elena.



3. Descripción de los viaductos de dovelas prefabricadas

Se han construido cuatro viaductos de dovelas prefabricadas con dos tableros independientes cada uno. En total se han fabricado y montado 3.369 metros de tablero distribuidos en 79 vanos con un total de 1.202 dovelas con un peso máximo de 52 toneladas. Los viaductos desde el sur hacia el norte son: Viaducto de Santa Elena, Viaducto de Manantial, Viaducto de Tinajuelas y Viaducto de Despeñaperros.

Los vanos son isostáticos con luces de 39 y 45 metros. La sección transversal es un cajón de 13,6 metros y 3 metros de canto dependiendo del viaducto, con almas inclinadas 33° que gracias a la utilización del pretensado exterior sólo tienen 30 cm de espesor. Entre los vanos se han dispuesto losas de continuidad y una junta de dilatación cada tres vanos.

Las pilas son de sección cajón rectangular con espesores de tabique de 0.3 m y alturas de hasta 80 m que se ejecutan con encofrados trepantes en puestas de 6 m de altura. En función de la altura se tienen las siguientes secciones transversales:

- Hasta 40 m la sección es constante de 3 m x 4 m.
- Hasta 60 m la sección es variable, con sus paredes transversales inclinadas 1/70 manteniendo en cabeza los 3 m x 4 m.
- A partir de 60 m la sección es variable, con todas sus paredes inclinadas 1/70 manteniendo en cabeza los 3 m x 4 m.

La dimensión de la cabeza de pila la fija el espacio necesario para dar cabida a los medios auxiliares para el montaje del tablero.

Los estribos son flotantes sobre macizos de tierra armada.

Cada vano está compuesto por dovelas con tres geometrías diferentes:

- La dovela tipo de unos 3 metros de longitud.
- Las dovelas extremas de cada vano, de 1,87 metros de longitud, incorporan el diafragma que sirve para el anclaje del postesado exterior.
- Las dovelas de desvío del pretensado, de igual longitud que la dovela tipo, que incorporan los desviadores de los tendones que se sitúan en la losa inferior de la sección.

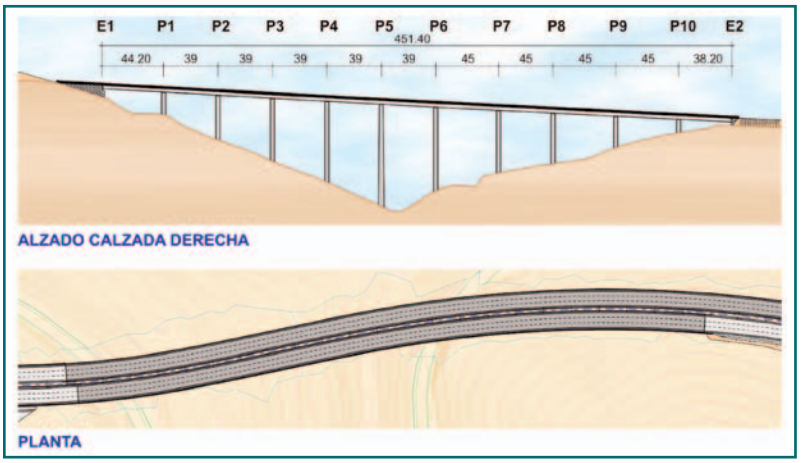


Fig. 7. Viaducto de Manantial.

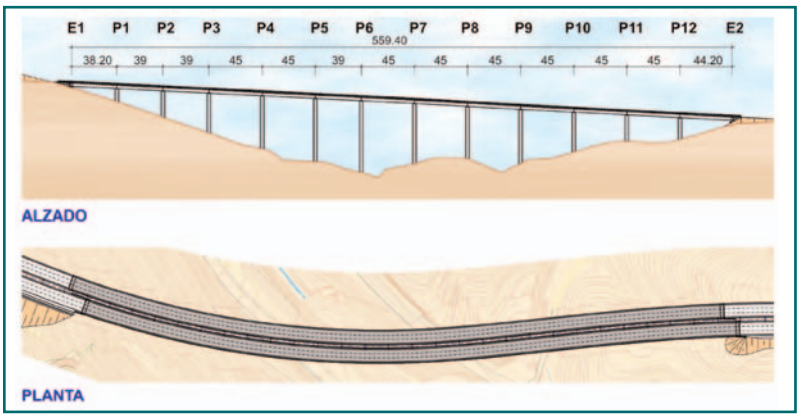


Fig. 8. Viaducto de Tinajuelas.

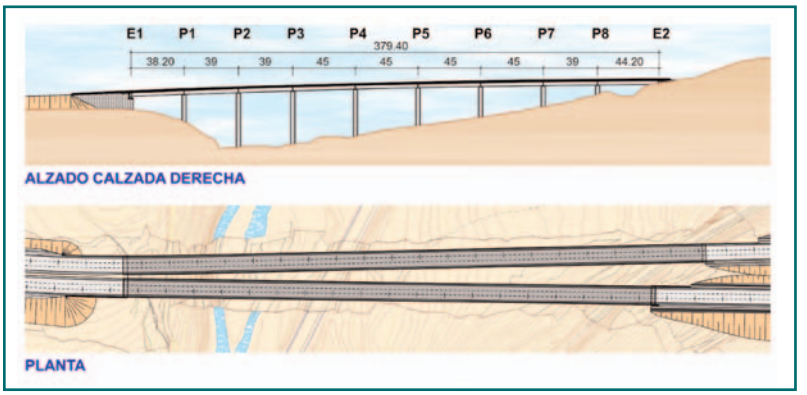


Fig. 9. Viaducto de Despeñaperros.

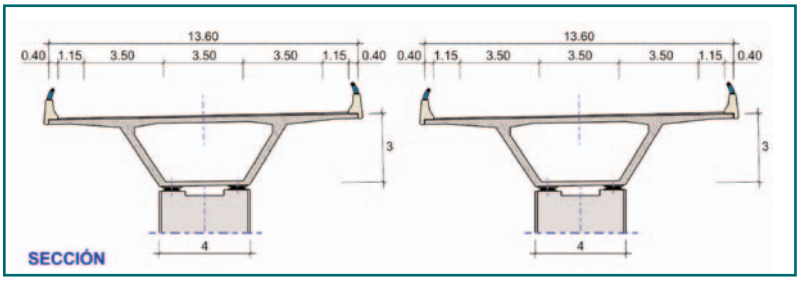


Fig.10. Seccion transversal del tablero.



Fig. 11. Vista aérea del parque de fabricación de dovelas.



Fig. 12. Vano completo acopiado en el parque de fabricación.

Los tendones de pretensado están formados por unidades de 31 ó 24 cordones de 0,6 pulgadas de diámetro, con doble protección mediante vaina de polietileno de alta densidad e inyección con lechada de cemento.

La unión entre dovelas se realiza mediante junta seca, que en el montaje vano a vano es preferible a la utilización de resina epoxi al simplificar las operaciones y permitir un mayor ritmo de montaje. No es necesario sellar las juntas con resina porque no se dispone pretensado interior. Todo el pretensado es exterior.

4. Fabricación de dovelas

Las dovelas se fabrican en la localidad de Santa Elena. Estas instalaciones se diseñan con criterios industriales. La zona de trabajo está cubierta para facilitar el trabajo de las personas e independizar la producción de las condiciones meteorológicas. Se dispusieron tres líneas de fabricación con un puente grúa cada una y se diferencian zonas en cada línea para cada actividad

Las dovelas se fabrican por el método de la dovela conjugada en línea corta, es decir, cada dovela se hormigona utilizando a la anterior, que se denomina conjugada, como encofrado para que posteriormente encajen perfectamente entre ellas. La perfecta coincidencia entre las caras en contacto es necesaria ya que el montaje de realiza en seco, es decir, sin interponer entre las dovelas ningún material. Este sistema requiere un control muy riguroso de la geometría de las dovelas fabricadas de modo que los errores inevitables que se producen durante la fabricación de cada dovela se eliminen en la geometría de la siguiente dovela que se hormigona. La fabricación se controla mediante topografía con una tolerancia de 0.1 mm en las lecturas y se utiliza un programa informático desarrollado por el Departamento de Puentes para controlar la geometría de fabricación.

La armadura se prefabrica en las mismas instalaciones con ayuda de premoldes. Una vez terminada la armadura se introduce en el encofrado y se hormigona. Durante el fraguado del hormigón se cuenta con un equipo de curado al vapor para evitar retrasos en la evolución de la resistencia en épocas frías. La manipulación de las dovelas se hace con la ayuda de un carro elefante que las coloca en la zona de acopio, que tenía una capacidad de 250 dovelas lo que permitía independizar las operaciones de fabricación y montaje. El transporte hasta el viaducto se hace mediante camiones góndola.



Fig. 13 Parque de fabricación.

La fabricación del tablero en estas instalaciones ha permitido sacar del Parque Natural las actividades que habitualmente intervienen en la construcción del tablero y son más agresivas con el medio ambiente, y fabricar las dovelas industrialmente. Los operarios se especializan en las actividades que realizan aumentando la calidad del producto final, tanto por la repetición de las actividades, como por las sugerencias de mejoras y cambios que proponen, que son estudiadas y adoptadas si es posible. La fabricación del tablero con encofrados en el suelo es más segura al eliminar numerosas actividades en altura, el encofrado es más accesible y los trabajos son más cómodos, incrementando la calidad final.

La producción habitual de estas instalaciones ha sido de una dovela por línea y por día. Se ha contado con tres líneas de fabricación, una de las cuales se dedicó en exclusiva a las dovelas de extremo de vano con diafragmas.

5. Montaje del tablero

El montaje se realiza utilizando una cimbra autolanzable superior de 117 metros de longitud formada por dos vigas en celosía sobre las que discurre el cabrestante que maneja las dovelas.

El montaje se realiza en las siguientes fases:

- Lanzamiento y posicionamiento de la cimbra sobre el nuevo vano a montar.

  El lanzamiento se realiza con los propios medios de la cimbra y utiliza la pila como apoyo, dejando libre la zona del vano a montar.

- Precarga de la cimbra con las dovelas para reducir la flecha activa para las operaciones posteriores.
- Colocación de las dovelas en su posición definitiva, fijando cada dovela a la anterior mediante barras pretensadas provisionales.



Fig. 14 Carro elefante.

Fig. 15. Cimbra precargando dovelas después del lanzamiento.





Fig. 16. Cuelgue de dovelas prefabricadas en su posición definitiva.

Se desplazan las dovelas a su posición definitiva donde vuelven a ser colgadas de la cimbra. Cada dovela se fija a la anterior mediante barras de cosido provisional. La colocación de la primera dovela tiene un control topográfico muy intenso porque marca la posición de la última. Por ejemplo, si hay un error en la pendiente de colocación de esta primera dovela y "apunta" hacia abajo, la última dovela llegará baja e incluso puede ser imposible colocarla si choca con la cabeza de pila.

- Tesado del pretensado exterior que une a todas las dovelas del vano. Destesado de las barras de cosido provisional.
- Descimbrado del vano quedando el tablero apoyado sobre gatos.
- Corrección de la posición del tablero actuando sobre los gatos.

  El pequeño error que se haya cometido en el montaje se elimina con el desplazamiento de los gatos. La capacidad de movimiento de los gatos es limitada por lo que el control de geometría durante el montaje tiene que comprobar que el error que se vaya a cometer en la posición de la última dovela sea menor que el movimiento admisible por los gatos.

- Hormigonado del mortero entre los apoyos y el tablero. Retirada de los gatos provisionales.

El rendimiento del montaje del tablero en las fases en las que se trabajaba a pleno rendimiento ha

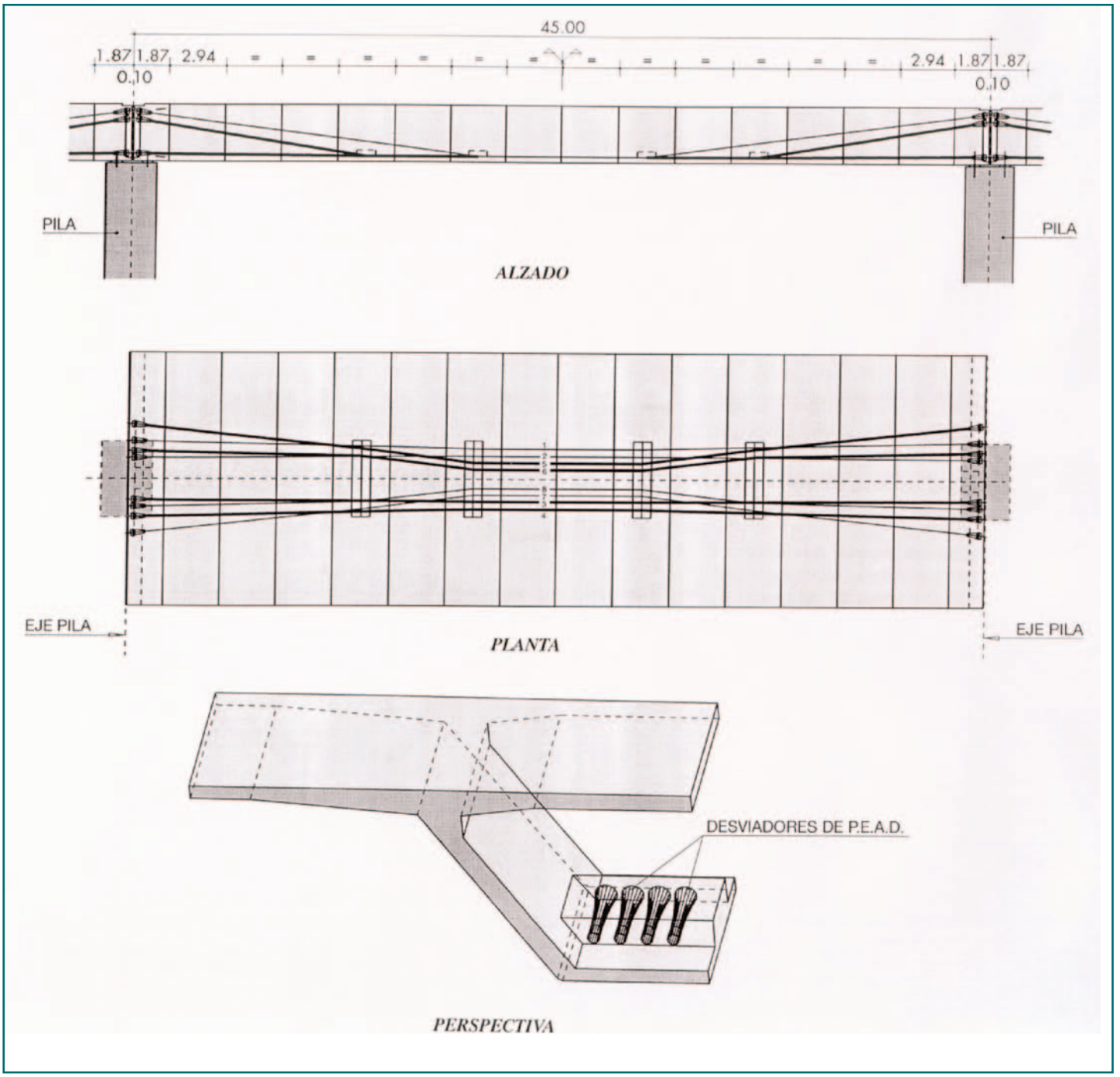


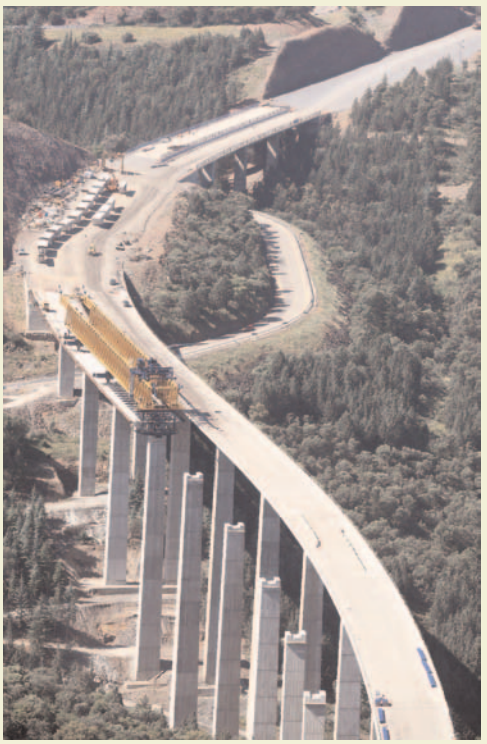
Fig.17. Esquema del pretensado exterior.

sido de dos vanos de tablero, 90 metros, cada cinco días.

Tras el montaje de las dovelas del viaducto queda el hormigonado de las losas de continuidad entre vanos, la colocación de pretiles y la impermeabilización junto al pavimentado. Estas operaciones se realizan a posteriori solapándose con el montaje de tablero sin afectar al rendimiento.

5. Conclusiones

Las nuevas calzadas de la autovía de Andalucía a su paso por el Parque Natural de Despeñaperros suponen una mejora sustancial en la capacidad y la calidad de la circulación, así como en la reducción de la afección sobre el medio ambiente.



FICHA TÉCNICA

Propiedad:
Ministerio de Fomento. Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía.
Ingeniero de Caminos Director de Obra:
José Lorente Gutiérrez
Empresa Constructora:
FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Empresa de postesado y movimientos del tablero:
David Olivares Latorre - BBR-PTE
Ingeniero de Caminos Jefe de Obra:
Pedro Carlos Vega Jorge - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Ingeniero de Caminos Jefe de Departamento:
Juan Diego Romero Martinez - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Ingeniero de Caminos Jefe de Oficina Técnica:
Ignacio Ferraro Santiago - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Ingeniero de Caminos Jefe de fabricación de dovelas y de montaje de tablero:
Miguel Marrades Martín de Rosales - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Jefe Departamento de Maquinaria:
Joaquín Domínguez Donado - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Ingenieros de Caminos Autores del proyecto de ejecución de los tableros y del procedimiento constructivo:
Jose Ignacio González Esteban - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Jose Rafael Jiménez Aguilar - FCC CONSTRUCCIÓN S.A.
Ingeniero de Caminos Autores del proyecto de ejecución de la subestructura:
Javier Mellado Fernández - IPES S.L.

Principales características:

Longitud de tablero	3.369 m
Luces	39 y 45 m
Canto	3 m
Ancho tablero	13.6 m
Altura máxima de pila	80 m



Fig.18. Vista interior del tablero con el pretensado exterior.

La fabricación y montaje de elementos repetitivos permite la industrialización de la construcción mediante la utilización de procedimientos estandarizados de fabricación, la aplicación de sistemas de control de calidad, obteniéndose las ventajas derivadas de la prefabricación en una instalación fija y el montaje de los elementos con maquinaria especializada, lo que permite conseguir rendimientos muy superiores a los obtenidos mediante construcción in situ.

El desarrollo de este sistema constructivo viene limitado por el elevado coste de los equipos de fabricación y montaje que hace que se necesite un gran volumen de obra para su amortización y por la necesidad de disponer de la tecnología de control de la fabricación y montaje necesaria para abordar la construcción con las adecuadas garantías de éxito. ◆

Referencias:

–(1) ÁLVAREZ POYATOS, J. L.; GONZÁLEZ ESTEBAN, J. I.; "Construcción de viaductos vano a vano por dovelas prefabricadas"; Primer Congreso Nacional de Prefabricación"; ACHE 2002.
–(2) TURMO CODERQUE, J.; "Estudio del comportamiento a flexión y cortante de puentes de dovelas de hormigón con pretensado exterior y junta seca"; Tesis Doctoral 2003.
–(3) GONZÁLEZ ESTEBAN, J. I.; JIMÉNEZ AGUILAR, J. R.; "Viaductos de la autovía de Andalucía en Despeñaperros"; V Congreso ACHE 2011.
–(4) TURNO CODERQUE, J..; RAMOS, G.; APARICIO BENGOECHEA, A.; "FEM Study on the Structural Behaviour of Segmental Concrete Bridges with Unbonded Prestressing and Dry Joints: Simply Supported Bridges"; Engineering Structures, Elsevier, Vol 27/11, November 2005 pp 1652-1661 ISSN 0141-0296
–(5) GONZÁLEZ ESTEBAN, J. I.; JIMÉNEZ AGUILAR, J. R.; ARRIBAS MAZARRAZÍN, D.; "Viaducto de Navia"; IV Congreso ACHE 2008.
–(6) GONZÁLEZ ESTEBAN; J. I.; JIMENEZ AGUILAR; J. R.; "Viaducto del Río España"; III Congreso ACHE 2005.
–(7) GONZÁLEZ ESTEBAN; J. I.; "Viaducto de Navia"; Hormigón y Acero; 2008; no 250; pags. 07-37; ISSN 0439-5689.
–(8) GONZÁLEZ ESTEBAN; J. I.; "Viaductos de dovelas prefabricadas por avance en voladizo"; II Jornadas sobre Puentes; Asociación Española de la Carretera 2010.